الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للبيطرة الجزائر

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE VETERINAIRE – ALGER

THESE

en vue de l'obtention

du diplôme de Doctorat Es-Sciences

Stress Thermique Chez le Poulet de Chair : Mise au Point de Solutions Techniques et Nutritionnelles

Soutenue le 26 Juin 2018

Présentée par : BERRAMA Zahra

Devant le Jury :

Président :	**LAMARA A.**	**MCA**	**ENSV**
Directrice de thèse :	**TEMIM S.**	**Professeur**	**ENSV**
Co-Directrice de thèse :	**AIN BAZIZ H.**	**Professeur**	**ENSV**
Examinateur :	**HALBOUCHE M.**	**Professeur**	**UMAB**
Examinateur :	**HAMMOUDI AH.**	**Professeur**	**ISV-Tiaret**
Examinatrice :	**MEFTI H.**	**MCA**	**SNV-Blida**

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail de thèse.

Je tiens à remercier, Monsieur **LAMARA A.**, Maître de conférences "A" à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire pour avoir accepté de présider, d'animer et de conduire avec la plus grande probité ma soutenance.

A Madame **TEMIM S.**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire ; ma Directrice de thèse ; j'aimerai profiter de cette occurrence pour lui exprimer toute ma gratitude, eu égard à l'attention aux orientations et au souci qu'elle a eu durant cette longue période, de me voir achever mon travail avec les meilleurs résultats possibles. Ses compétences et son expérience dans le domaine ont permis une bonne orientation de ce travail de thèse qui ne constitue que le point de départ d'une collaboration, que j'espère durable. Je tiens également à la remercier pour ses grandes qualités humaines.

A Madame **AIN BAZIZ H.**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire ; ma Co-Directrice de thèse, pour m'avoir soutenu et conseillé, pour ses compétences scientifiques et ses fines remarques pratiques, durant toutes les périodes de déroulement des expérimentations, où elle était l'élément moteur. Sa rigueur, sa patience et surtout sa bonne humeur ont permis à toute l'équipe de supporter les fortes chaleurs ambiantes. Sincères gratitudes.

A Monsieur **HALBOUCHE M.**, Professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem; c'est pour moi l'occasion de lui témoigner de toute ma reconnaissance pour avoir bien voulu donner son accord en vue d'examiner mon travail.

A Monsieur **HAMMOUDI AH.**, Professeur à l'Institut des Sciences Vétérinaires, Tiaret; c'est pour moi l'occasion de lui témoigner de toute ma reconnaissance pour avoir bien voulu donner son accord en vue d'examiner mon travail.

A Madame **MEFTI H.**, Maître de conférences "A" à l'Institut des Sciences Agronomiques de l'Université Saad Dahleb de Blida, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance pour avoir bien voulu donner son accord en vue d'examiner mon travail.

Je tiens aussi à remercier toute l'équipe de l'ITELV de Baba Ali et particulièrement : **Faiza, Mounira, Assia, Fayçal et Slimane** pour leur aide et sympathie. J'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec eux.

Ma gratitude et mes reconnaissances vont également à Madame **GOUAS Y.**, pour son soutien moral. J'ai toujours été très sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension, sa franchise et sa sympathie, ainsi qu'à ses qualités pédagogiques et scientifiques, j'ai beaucoup appris à ses côtés.

Je ne saurais terminer sans avoir une pensée très tendre à l'endroit de mon époux **Samir** et de mes trois chers enfants **Anis, Rayhane et Safouane**, pour leur soutien et apport quotidien à la réalisation de ce travail. Ils m'ont toujours donné l'espoir et le courage d'aller de l'avant.

DEDICACES

A la mémoire de mes défunts parents

A mon époux

A mes enfants

A mes frères

A ma sœur et mes belles sœurs

A ma belle famille SOUAMES

A tous ceux qui me sont chers

RESUME

L'objectif de cette thèse est de déterminer l'efficacité de deux types de solutions (technique et nutritionnelle) pour améliorer la thermotolérance des poulets élevés au chaud, en évaluant les performances de croissance et les réponses physiologiques. Deux protocoles expérimentaux ont été ainsi mis au point.

Dans la première étude, nous avons déterminé les effets du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation de l'eau de boisson en vinaigre (SV), du sexe (SEXE) et de leurs interactions sur la fréquence respiratoire, la température corporelle et les paramètres sanguins biochimiques, hématologiques et hormones thyroïdiennes des poulets de chair élevés à de fortes températures ambiantes. Au total, 1 100 poussins d'un jour ont été répartis en quatre traitements comme suit : (1) Groupe de poussins non conditionnés et non supplémentés durant toute la période de l'expérimentation ; (2) Groupe de poussins exposés à 38 ± 1°C pendant 24 h au 5ème jours d'âge; (3) groupe de poussins supplémentés par 2 mL de vinaigre par litre d'eau potable du 28ème au 49ème jour d'âge et (4) Groupe de poussins acclimatés à 38 ± 1°C pendant 24 h au 5ème jour d'âge et supplémentés par 2 mL de vinaigre par litre d'eau de boisson du 28ème au 49ème jour d'âge. Le CTP et le SEXE des poulets de chair n'ont pas affecté la fréquence respiratoire ou la température corporelle des poulets soumis à un stress chroniques. La SV a signification influencé la température corporelle en fonction de l'âge (J35, J42, J49) (effets linéaire et quadratique, P <0,05) sans affecter la fréquence respiratoire. Le CTP a réduit la glycémie (P <0,0001) et augmenté le taux d'hématocrite et le nombre de globules rouges (P <0,05). Les effets les plus importants de la SV seule ou associée au CTP sont représentés par une réduction des concentrations sanguines du cholestérol et des triglycérides. Un effet significatif (P <0,05) du CTP, du SEXE et du CTP × SEXE sur le rapport T3/T4 a été observé. Enfin, certaines réponses physiologiques positives induites par le CTP et SV, séparément ou en association chez des poulets soumis à un stress thermique chronique ont été observées. Cependant, un effet cumulatif des ces réponses positives n'était pas évident.

Dans la seconde étude, nous avons examiné l'impact de la supplémentation alimentaire en graines de cumin (*Cuminum cyminum L.*) sur les performances de croissance, les poids relatifs des carcasses et des viscères, les paramètres hématologiques et biochimiques du sang et les concentrations en hormones thyroïdiennes des poulets de chair soumis aux fluctuations naturelles de la chaleur estivale entre 28 et 49 jours d'âge. Au total, 440 poulets âgés de 28 jours ont été répartis en 2 groupes (5 répétitions de 44 sujets) de poids corporel similaire (971 ± 48 g) : un groupe "Témoin" nourri avec un régime standard et un groupe "Cumin" recevant le même régime standard supplémenté de 0,2% de cumin. Dans nos conditions expérimentales, la supplémentation alimentaire en cumin n'a pas significativement modifié le taux de croissance et le poids corporel final des poulets exposés à la chaleur, mais a légèrement amélioré le taux de conversion alimentaire (-7%, P = 0,1). Par ailleurs, aucune différence significative des rendements de carcasse et des viscères (foie, cœur, gésier, rate, bourse et thymus), de la morphologie intestinale et des quantités de graisses abdominale n'a été enregistrée entre les deux groupes expérimentaux. De même, les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes (T3 et T4) ne révèlent aucune modification notable par l'inclusion du cumin dans le régime alimentaire (P> 0,05). Néanmoins, cet additif a réduit significativement (P <0,01) les concentrations plasmatique du glucose, du cholestérol, des triglycérides et des protéines totales et a augmenté le taux de calcium sanguin des poulets élevés au chaud. Ainsi, la supplémentation du régime alimentaire en cumin peut être un moyen efficace pour améliorer la conversion alimentaire et réduire les troubles de la glycémie, de la lipidémie et de la calcémie des poulets exposés aux fortes chaleurs estivales. En conclusion, les solutions nutritionnelles semblent permettre une meilleure adaptation physiologique à long terme du poulet de chair en réduisant sa glycémie et sa lipidémie, favorisant ainsi une moindre production de chaleur métabolique et un moindre stress au chaud.

Mots clés : Température ambiante, vinaigre, acclimatation précoce, cumin, poulet

ABSTRACT

The aim of this thesis is to determine the efficacy of two approaches types (technical and nutritional) to improve the thermotolerance of broiler reared under warm climate by estimating its growth performance and its physiological responses. However, two experimental designs were considered.

In the first study, the effects of early-age thermal conditioning (ETC), vinegar supplementation (VS) of drinking water, broilers sex and their interactions on respiratory rate, body temperature and blood parameters (biochemical, haematological and thyroid hormones) of broiler chickens reared under high ambient temperatures were determined. A total of 1,100 one-day-old chicks were divided into four treatments: a non-conditioned -and non-supplemented chicks as "Control"; chicks exposed to 38±1°C for 24h at 5days of age as "heat-conditioned" group; chicks given drinking water supplemented with 0.2% of commercial vinegar from 28 to 49 days of age as "vinegar supplemented" group; chicks both heat-conditioned and vinegar-supplemented as the "combined" treatment. ETC and broiler sex, did not affect the respiratory rate or body temperature of chronic heat-exposed chickens. VS changed the body temperature across time (d35, d42, d49) (linear and quadratic effects, $P<0.05$) without changing respiratory rate. Heat-conditioned chickens exhibited significant ($P<0.0001$) lower glycemia and higher ($P<0.05$) haematocrit and red blood cell count. Furthermore, the greatest improvements of VS, alone or associated with ETC, were seen in lowering cholesterol and triglyceride blood concentrations. Significant ($P<0.05$) effect of ETC, sex and ETC× s on T3:T4 ratio was observed. Finally, some beneficial physiological responses induced by ETC and VS, separately or in association, on chronically-heat-stressed chickens were observed. However, the expected cumulative positive responses when the two treatments were combined were not evident.

In the second experiment, the study was conducted to determine the effect of dietary supplementation with cumin (*Cuminum cyminum L.*) seeds on growth performances, relative weights of carcass and viscera, haematological and biochemical parameters, and thyroid hormones concentrations of broiler chickens subjected to natural fluctuation of Algerian summer ambient temperatures. A total of 440 28-day old chickens were divided into 2 groups (5 replicates of 44 birds) with similar body weight (971g±48): a "Control" group fed with a standard diet and a "Cumin" group receiving a basal diet supplemented with 0.2% of cumin. Dietary cumin supplementation did not significantly modify the growth rate and final body weights of heat-exposed chickens but it slightly reduced feed intake (-12%; $P=0.07$), thus significantly improved feed conversion ratio (-12%; $P<0.05$). Carcass traits, viscera (liver, heart, gizzard, spleen, bursa and thymus) intestine morphology and abdominal fat of heat stressed birds did not reveal any changes by cumin inclusion compared to the control ones. Also, thyroid hormones (T3 and T4) concentrations were not significantly influenced by dietary cumin ($P>0.05$). However, heat-exposed chickens supplemented with cumin exhibited a significant ($P<0.01$) lower values of plasma glucose, cholesterol, triglycerides and total proteins and higher calcium concentrations than those of control group. Cumin dietary may be a successful means to enhancing diet conversion and reducing glaecimic, lipidaemic and calcaemic disorders in chronically-heat exposed chickens.

Keywords: Ambient temperature, vinegar, early heat acclimation, cumin, broiler

ملخص

الهدف من هذه الرسالة هو تحديد فاعلية نوعين من الحلول (التقنية والتغذوية) لتحسين التحمل الحراري للدجاج من خلال تقييم أداء نموه واستجاباته الفسيولوجية. لذلك تم تطوير بروتوكولين تجريبيين.

تم تحديد في الدراسة الأولى آثار التكييف الحراري المبكر (CTP) ،إضافة الخل لمياه الشرب (SV) ، الجنس (SEX) والتفاعل بينهم على معدل التنفس ، درجة حرارة الجسم، المعلمات البيوكيميائية و التكوينية للدم وهرمونات الغدة الدرقية عند الفراريج المربية في درجة حرارة عالية. تم تقسيم 1100 كتكوت عمر يوم واحد إلى أربع مجموعات على النحو التالي: (1) مجموعة من الكتاكيت الغير مكيفة حراريا وبدون أي إضافات مائية خلال فترة التجربة بأكملها ؛ (2) مجموعة الكتاكيت المكيفة حراريا عند 38 ± 1 درجة مئوية لمدة 24 ساعة في اليوم الخامس من العمر ؛ (3) مجموعة من الكتاكيت التي أضيف إلى مائها الشروب 2 مل من الخل لكل لتر من اليوم ال28 إلى ال49 من العمر و (4) مجموعة من الكتاكيت المكيفة حراريا عند 38 ± 1 درجة مئوية لمدة 24 ساعة في اليوم الخامس من العمر و التي أضيف إلى مائها الشروب 2 مل من الخل لكل لتر من اليوم ال28 إلى ال49 من العمر. لم يؤثر CTP و SEX على معدل التنفس أو درجة حرارة جسم الدجاج المربى تحت ظروف الإجهاد الحراري. أثرت SV على درجة حرارة الجسم بدلالة العمر (اليوم 35 ، 42 ، 49) (علاقة خطية والتربيعية ، $P < 0.05$) دون التأثير على معدل التنفس. خفض CTP الجلوكوز في الدم ($P < 0.0001$) وارتفعت الهيماتوكريت وخلايا الدم الحمراء ($P < 0.05$). أهم الآثار المترتبة على SV وحدها أو مع CTP هي انخفاض مستويات الدم من الكولسترول والدهون الثلاثية.لوحظ تأثير معنوي ($P < 0.05$) من CTPو SEX و CTP × SEX على نسبة T3 / T4.وأخيرا ، لوحظت بعض الاستجابات الفسيولوجية الإيجابية الناجمة عن CTP و SV ، بشكل منفصل أو باشتراكهما معا عند الدجاج المعرض للإجهاد الحراري المزمن. ومع ذلك ، لم يكن التأثير التراكمي لهذه الردود الإيجابية واضحا.

تهدف الدراسة الثانية إلى تحديد تأثير المكملات الغذائية من بذور الكمون (*Cuminum cyminum L.*) على أداء النمو، الذبيحة وأوزان الأحشاء النسبية، المعلمات الدموية والكيميائية الحيوية للدم و مستويات هرمون الغدة الدرقية عند الدجاج الخاضع للتغيرات الطبيعية في درجات حرارة الصيف بين اليوم 28 و 49 من العمر.تم تقسيم 440 دجاجة ذات 28 يوم من العمر إلى مجموعتين ذات وزن جسم مماثل (971 ± 48 ز): مجموعة "الكنترول" التي تتغذى على نظام غذائي عادي ومجموعة "الكمون" التي تتغذى على نفس النظام + 0.2 ٪ من الكمون في ظروفنا التجريبية ، لم تؤثر المكملات الغذائية "الكمون" بشكل كبير على معدل النمو ووزن الجسم النهائي للدجاج المعرض للحرارة، ولكن تحسن طفيف في معدل التحويل الغذائي (-7٪ ، $P = 0$، 1). بالإضافة إلى ذلك ، لم يُسجَّل بين المجموعتين التجريبيتين أي اختلاف معنوي في مردود الذبيحة و الأحشاء (الكبد ، القلب ، الحزاز ، الطحال ، الجراب و الغدة الصعترية) ، و المورفولوجيا المعوية و الدهون في منطقة البطن. وبالمثل ، لم تكشف تركيزات البلازما من هرمونات الغدة الدرقية (T3 و T4) أي تغييرات كبيرة من خلال إدراج الكمونفي النظامالغذائي ($P > 0.05$).غير أن هذا المضاف يقلل بشكل كبير ($P < 0.01$) تركيزات البلازما من الجلوكوز والكولسترول والدهون الثلاثية والبروتينات الكلية ويزيد مستويات الكالسيوم في دم الدجاج المعرض للإجهاد الحراري المزمن. في الواقع ، يمكننا القول أن إضافة الكمون في الغذاء طريقة فعالة لتحسين التحويل الغذائي والحد من اضطرابات الجلوكوز في الدم ، شحوم الدم وكالسيوم الدم في الدجاج المعرضين لحرارة الصيف. وهكذا ، نستنتج أن هذا المكمل الغذائي يسمح على ما يبدو بتكييف فسيولوجي أفضل على المدى الطويل للفروج عن طريق خفض سكر الدم ، وبالتالي تعزيز إنتاج أقل من الحرارة الداخلية وبذالك إجهاد حراري أقل.

الكلمات الرئيسية: درجة حرارة المحيط، الخل، التكيف الحراري، الكمون، دجاج

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : acide désoxyribonucléique

ARN : acide ribonucléique

AVT : argénine-vasotocine

avUCP : avian Uncoupled Protein

CAT : catalase

CTP : conditionnement thermique précoce

EM : énergie métabolisable

GH : growth hormone

GMQ : gain moyen quotidien

GR : globule rouge

GSH : glutathion Reductase

GSH-Px : glutathion peroxydase

GSSG : disulfure de glutathion (forme oxydée)

H/L : hétérophiles/ lymphocytes

H_2O_2 : péroxyde d'hydrogène

HDL : high density lipoprotein

HPA : hypothalamic-pituitary-adrenal axis

HR : humidité relative

HSP : heat shock proteins

L : linéaire

LDL : low density lipoprotein

MDA : malondialdéhyde

PO/AH : aire pré-optique au niveau de l'hypothalamus antérieur :

PV : poids vif

Q : quadratique

RH : relative humidity

SOD : superoxide Dismutase;

SV : supplémentation en vinaigre

T3 : triiodothyronine

T4 : thyroxine

T_a : température ambiante

THI : temperature-humdity index

THVI : temperature-humdity-vilocity index

TRH : thyrotropin-releasing-hormone

Ts : température sèche

V : vitesse du vent

ZNT : zone de neutralité thermique

.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Variations des valeurs limites de la zone de thermoneutralité des poulets de chair……. 7

Tableau 2 Température ambiante et humidité relative de la zone de confort thermique par semaine d'âge du poulet de chair…….. 8

Tableau 3a Effet du stress thermique chronique cyclique et constant sur le statut oxydatif du poulet de chair en fin de période de finition…….. 26

Tableau 3b Effet du stress thermique chronique cyclique et constant sur le statut oxydatif du poulet de chair en fin de période de finition…….. 27

Tableau 4 Effet de l'élévation de la température ambiante sur la consommation d'aliments, le gain de poids et l'indice de conversion alimentaire des poulets de chair…… 31

Tableau 5 Effet des acides organiques sur les performances de croissance du poulet de chair en condition de thermoneutralité…… 49

Tableau 6 Effets de quelques acidifiants sur les performances de croissance et la physiologie de la volaille soumise aux conditions de stress thermique…….. 50

Tableau 7 Effet du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (VS) et du sexe (F et M) sur la température corporelle et la fréquence respiratoire des poulets âgés de 35, 42 et 49 jours et élevés à des fortes températures estivales……. 65

Tableau 8 Les effets du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (SV) et du SEXE (F et M) sur les paramètres biochimiques du poulet de chair âgé de 49 jours et élevés à des fortes températures estivales……. 66

Tableau 9 Effet du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (VS) et du SEXE (F et M) sur les paramètres hématologiques des poulets de chair âgés de 49 jours et élevés à des fortes températures estivales. 67

Tableau 10 Effet du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (SV) et du SEXE (F et M) sur les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes des poulets de chair âgés de 49j et et élevés à des fortes températures estivales……... 69

Tableau 11 Composition de l'aliment de base de l'expérimentation……. 81

Tableau 12 Effets de la supplémentation alimentaire en cumin sur le gain de poids, l'ingéré alimentaire et l'indice de conversion alimentaire des poulets de chair élevés à des fortes températures estivales entre l'âge de 28 et 49 jours……. 83

Tableau 13 Effet de la supplémentation alimentaire en cumin (sur le poids des carcasses et des organes internes et en pourcent du poids corporel des poulets de chair élevés à des fortes températures estivales……... 84

Tableau 14 Effet de la supplémentation alimentaire en cumin sur les paramètres hématologiques et biochimiques et les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes chez les poulets de chair élevés à des fortes températures estivales …… 86

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Equilibre Thermogénèse-Thermolyse…….. 4

Figure 2 Zone de thermoneutralité et réactions du poulet face à une augmentation de la température ambiante……... 5

Figure 3 Les quatre zones de thermotolérance en fonction de l'index de chaleur « THVI » et le temps d'exposition des poulets…… 8

Figure 4 Mécanismes de perception et de régulation de la température interne du poulet. 10

Figure 5 Principales voies de thermolyse chez le poulet de chair…….. 12

Figure 6 Evaluation de différentes durées d'exposition thermique des poussins pour une meilleure acquisition de la thermotolérance……. 35

Figure 7 Effet de la manipulation thermique à l'âge de 3 jours sur les pertes de chaleur sensibles du poulet de chair soumis à un stress thermique (35°C pendant 6 heures à l'âge de 42 jours)…… 39

Figure 8 Effet du conditionnement thermique sur le taux d'Hsp 70 au niveau du cerveau, foie et rein des poulets de chair soumis à un stress thermique …… 42

Figure 9 Évolution de la température ambiante moyenne quotidienne et de l'humidité relative au cours de la période expérimentale (28-49 jours).……... 82

SOMMAIRE

INTRODOCTION GENERALE…….. 01

REVUE DE LITTERATURE

Chapitre I. Concept de la thermorégulation, Stress thermique et mécanismes physiologiques d'adaptation du poulet de chair au chaud……. 04

I. Concept de la thermorégulation……... 04

I.1. Température corporelle et zone de thermoneutralité……... 05

I.2. Facteurs de variation de la zone de neutralité thermique (ZNT)……..... 06

I.3. Mécanismes d'adaptation de la thermorégulation chez le poulet de chair au chaud…..... 09

I.3.1. Perception de la chaleur ambiante par le poulet……..... 09

I.3.2. Augmentation de la thermolyse……... 10

I.3.3. Diminution de la thermogénèse……... 13

II. Stress thermique…….. 14

III. Les réponses physiologiques et impact du stress thermique……... 15

III.1. Impact de la chaleur sur la température corporelle……..... 15

III.1.1. Age…….. 16

III.1.2. Type de poulet……..... 16

III.1.3. Type, durée et intensité du stress thermique……... 16

III.1.4. Facteurs d'élevages……..... 17

III.2 Impact de la chaleur sur les paramètres du sang……..... 18

III.2.1. L'équilibre acido-basique et électrolytique du sang……... 19

III.2.2. Hématologie et paramètres biochimiques du sang…….. 20

III.3. Impact de la chaleur au niveau cellulaire……..... 23

III.3.1. Protéines du choc thermique……..…. 23

III.3.2. Stress oxydatif……..... 24

III.3.3. Protéines de découplage mitochondrial aviaire (avUCP)……... 28

III.4. Impact de la chaleur sur le profil hormonal du poulet……... 28

III.5. Impact de la chaleur sur la production et la croissance du poulet de chair…… 29

Chapitre II. …….Stratégies de lutte contre les effets néfastes du stress thermique…… 32

I. Solution Technique : Acclimatation Précoce……. 32

I.1. Principe et caractéristiques de l'acclimatation précoce…….. 32
I.1.1 L'âge……... 33
I.1.2. Température de l'exposition thermique……. 33
I.1.3. Durée du traitement thermique……... 34
I.2. Impact de l'acclimatation précoce sur la production et la croissance du poulet au chaud…….. 35
I.2.1. Impact sur la croissance…….. 36
I.2.2. Impact sur la qualité de la carcasse……. 36
I.2.3. Impact sur la mortalité……..... 37
I.3. Impact de l'acclimatation précoce sur la physiologie du poulet au chaud……. 38
I.3.1. Impact sur la thermorégulation et la température corporelle…….. 38
I3.2. Impact sur les Paramètres du sang…….. 39
I.3.3. Impact au niveau cellulaire……. 41
I.3.4. Impact sur le profil hormonal……. 42
I.3.5. Impact sur l'immunité et le développement de certains organes…… 43
44
II. Solution Nutritionnelle…… 44

II.1 Les additifs alimentaires…….. 44
II.1.1 Les acides organiques…….. 44
II.1.1.1. Mode d'action et propriétés métaboliques…….. 45
II.1.1.2. Effets des acides organiques en conditions d'ambiance chaude……. 46
II.1.1.2.1. Effets sur la croissance et la production du poulet de chair…… 47
II.1.1.2.2. Effets sur la physiologie du poulet de chair…… 51
II.2. Les additifs phytogènes……... 52
II.2.1. Effet des additifs phytogène sur la croissance et la production…….. 53
II.2.2. Effet des additifs phytogènes sur la physiologie du poulet…… 55

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre I. Les effets du conditionnement thermique précoce et de la supplémentation de l'eau de boisson en vinaigre sur les réponses physiologiques des poulets de chair femelles et mâles élevés sous les températures estivales méditerranéennes……..... 57

I. Introduction……. 58
II. Matériels et Méthodes……..... 61
II.1. Animaux et Modèle Expérimental…….. 61
II.2. Mesures et analyses de laboratoire…… 62
II.2.1. Température corporelle et fréquence respiratoire……... 62
II.2.2. Analyses de laboratoire……... 62
II.3. Analyses statistiques……... 63
III. Résultats…….. 64
IV. Discussion……... 70
V. Conclusion…….. 75

Chapitre II. ..Performance de croissance, rendement de carcasse et des viscères, constituants sanguins et concentrations d'hormones thyroïdiennes des poulets de chair soumis à un stress chronique et nourris par un régime supplémenté en graines de cumin (*Cuminum cyminum L)*…… 76

I. Introduction……... 77
II. Matériels et Méthodes……... 78
II.1. Animaux et Modèle Expérimental…… 78
II.2. Mesures et analyses réalisées…… 79
II.2.1. Les Performances de croissance…… 79
II.2.2. Les caractéristiques de la carcasse…… 79
II.2.3. Analyses de laboratoires……... 79
II.2.3.1. Analyses hématologiques……. 79
II.2.3.2. Analyses biochimiques……. 80
II.2.3.3. Dosage des hormones thyroïdiennes…… 80

II.3. Analyses statistiques…… 81
III. Résultats…… 82
III.1. Performances de croissance…….. 82
III.2. Carcasse et caractéristiques des organes internes…… 83
III.3. Biochimie, hématologie et concentrations d'hormones thyroïdiennes……. 85
IV. Discussion……. 86
V. Conclusion…… 92

CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES…… 93

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ANNEXES

LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Berrama Z., Temim S., Djellout B., Souames S., Moula N, Ain Baziz H. (2018): The effects of early age thermal conditioning and vinegar supplementation of drinking water and physiological responses of femal and male broiler chikens reared under summer Mediterranean. International Journal of Biometeorology 62 (6):1039-1048. DOI: https://doi.org/10.1007/s00484-018-1507-5

Berrama Z., Temim S., Souames S., Ain Baziz H. (2017): Growth performance, carcass and viscera yields, blood constituents and thyroid hormone concentrations of chronic heat stressed broilers fed diets supplemented with cumin seeds (*Cuminum cyminum L*.). KafkasUniv Vet FakDerg 23 (5): 735-742. DOI: 10.9775/kvfd.2017.17663

****

Berrama Z., Temim S., Souames S., Ain Baziz H. (2015). Can dietary cumin supplementation alleviate heat effects on growth traits and some physiological responses of broiler chickens reared under Algerian summer condition? 32nd World Veterinary Congress, Istanbul, September 13-17.

Berrama Z., Ouagueni N., Tetah F., Zitouni F., Souames S., Boudjenah A., Ai Baziz H., Temim S. (2013). Supplémentation alimentaire en vitamine C chez des poulets acclimatés et élevés en conditions estivales algériennes: Quel climat sur les paramètres zootechniques et physiologiques? 11èmes Journées des Sciences vétérinaires, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire.

BerramaZ., Souames S., Temim S., Ouagueni N., Boutella A., Ikhefoulma N., Lamari L., Boudjenah A., Ain Baziz H. (2012). Effect of dietary cumin supplementation on growth performance and some haematological parameters of broiler chickens reared under Mediterranean summer conditions. 3rd Mediterraneansummit of WPSA and 6th international poultry conference: 26-29 March, Alexandria-Egypt

Berrama Z., Temim S., Sais M., Mebkhout F., Tetah F., Souames S., Souames A., Boudjenah A., Ain Baziz H. (2012). Effet de l'acclimatation précoce associée à la supplémentation de cumin sur la croissance et quelques paramètres sanguins chez le poulet de chair élevé dans la chaleur. 2ème Symposium de la Recherche en Sciences avicoles. Batna, 17-18 octobre.

Berrama Z, Temim S, Souames S., Ouagueni N., Boutella A., Ikhefoulma N., Tetah F., Zitouni F., Lamari I., Boudjenah A., Ain Baziz H. (2012) : Complémentation alimentaire en cumin (CuminumCyminum) chez le poulet de chair élevé au chaud : effet sur la croissance et quelques paramètres sanguins. 10èmes Journées des Sciences vétérinaires, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire.

Berrama Z., Temim S., Souames S., Kebaili SA., Driss M., Tetah F, Zitouni F., Boudjenah A, Ain Baziz H. (2012). Intérêt d'une distribution d'acide acétique dans l'eau de boisson en période de chaleur : impact sur les paramètres zootechniques et physiologiques du poulet de chair. 10èmes Journées des Sciences vétérinaires, Ecole Nationale Supérieure Vétérinaire.

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis la deuxième guerre mondiale, l'aviculture s'est développée pour devenir dans de nombreux pays, parmi les premières productions animales tant par le volume des viandes produites, que par le tonnage des aliments composés. Le dynamisme de l'aviculture s'explique par la conjugaison de nombreux facteurs, la nature même des espèces concernées, dont les cycles de production sont relativement courts, à manipulation aisée, à progrès génétique rapide, assurant une souplesse nécessaire pour adapter en permanence l'offre à la demande. En effet, l'aviculture offre les meilleurs rendements de conversions des calories végétales en calories animales et de transformations des protéines.

En Algérie, le secteur avicole représente l'une des voies sur lesquelles le pays s'est engagé. Cependant, l'aviculture nationale a été marquée par des contraintes structurelles liées à la dépendance à l'égard du marché mondial des intrants avicoles (Boukhelifa, 1993), l'incohérence du fonctionnement des filières avicoles et la faiblesse des performances technico-économiques, réalisées par les ateliers avicoles (Benouarab, 1998).

En outre, de part sa situation géographique, l'Algérie subit le phénomène du réchauffement climatique. Ainsi, la saison chaude dure près de six mois (de mai à octobre), et l'ensoleillement annuel dépasse les 2000 heures sur la quasi-totalité du territoire national (Stambouli, 2011). Ces conditions environnementales sont défavorables pour le poulet de chair car elles le placent dans une zone d'inconfort thermique (Dei et Bumbie, 2011).

L'augmentation de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur, induisent un état de stress thermique chez le poulet de chair, qui se traduit par une augmentation de la mortalité et une chute de la productivité (St-Pierre et al., 2003). Ceci engendre des pertes économiques considérables, accentuées par la mise à l'arrêt de l'activité de l'élevage en périodes de forte chaleur, observé chez les éleveurs dont les bâtiments sont inadaptés au climat chaud.

Pour lutter contre les effets néfastes du stress thermique en production avicole, la construction de bâtiments à ambiance contrôlée est un investissement très coûteux et économiquement inapproprié. Aussi, il est impératif de recourir à des solutions pratiques plus simples, moins coûteuses et adaptées à nos conditions d'élevages.

Plusieurs types de solutions ont été ainsi explorés, soit en condition de chaleur simulée (en laboratoire), soit en conditions réelles d'élevage menées sous différents climats (zone tempérée, tropicale…).

Actuellement, **les solutions nutritionnelles** sont les plus envisagées pour lutter contre la chaleur. L'utilisation d'additifs dans l'alimentation des volailles s'est donc développée, avec un nombre important de produits mis sur le marché, dont les plus courants sont les probiotiques, les prébiotiques, les enzymes et les acides organiques. Plus récemment, il y a une tendance croissante vers l'addition de produits phytogènes ou leurs extraits tels que les herbes, les épices, ainsi que les huiles essentielles et les oléorésines (Windisch et al., 2008).

Une autre stratégie technique prometteuse est **le conditionnement thermique précoce,** testé pour limiter les mortalités dues aux coups de chaleur, survenant en période de finition (De basilio et Picard, 2002). Ses effets favorables sur l'acquisition d'une meilleure thermotolérance ont été vérifiés en station expérimentale (Yahav et al, 1997), en conditions d'élevage en zone tropicale (De Basilio et al, 2001) et dans nos conditions d'élevage local en période estivale (Temim et al., 2009).

Dans l'état actuel des connaissances, l'ensemble des solutions testées chez le poulet en conditions de chaleur donne, d'une part, des résultats mitigés et non reproductibles de par la grande variabilité et spécificité des élevages (souche génétique, structure d'élevage, aliment, environnement) ou des contraintes thermiques expérimentales. D'autre part, l'amélioration des performances, induite par ces solutions, reste en dessous de celles obtenues en thermoneutralité.

Les précédentes recherches menées au sein de notre laboratoire ont montré les effets favorables de deux types de solutions : l'acclimatation précoce (Temim et al., 2009) et la supplémentation hydrique en vinaigre (Ain baziz et al., 2011) sur la thermotolérance et les paramètres zootechniques des poulets soumis à la chaleur.

Ces résultats obtenus nous ont incités à réaliser d'autres démarches expérimentales afin de mieux comprendre l'impact positif de ces deux solutions. Pour cela, nous avons envisagé les objectifs suivants :

- 1) évaluer l'intérêt de l'association de ces deux types de stratégies déjà testées seules et explorer leur impact (seules ou en association), sur la physiologie du poulet (publication n°1).

- 2) tester une nouvelle solution nutritionnelle basée sur l'inclusion de graine de cumin pour réduire les effets néfastes du stress thermique chronique pendant les longs mois d'été (publication n°2).

Le présent document s'articule sur trois parties :

- La première partie présente une revue de littérature, organisée en deux chapitres :

- le premier synthétise les travaux relatifs : (**i**) à la fonction de la thermorégulation chez les homéothermes en général et chez le poulet de chair en particulier ; (**ii**) aux mécanismes physiologiques d'adaptation du poulet de chair aux conditions d'ambiance chaude et (**iii**) aux effets néfastes de l'exposition chronique à la chaleur sur la production, la croissance et la physiologie du poulet de chair.

- le deuxième chapitre aborde les données récentes concernant : (**i**) le conditionnement thermique précoce ; (**ii**) la supplémentation en acides organiques et (**iii**) l'utilisation des additifs phytogènes comme moyens de lutte contre les fortes chaleurs chez la volaille.

- La deuxième partie du document est consacrée à notre étude expérimentale présentée sous forme d'articles publiés traduits en français (articles originaux en anglais disponibles en annexe).

- Enfin dans la troisième partie une conclusion générale dresse un bilan des différents résultats et propose quelques recommandations et perspectives attendues, en termes de développements de solutions adaptées à nos conditions climatiques d'élevage.

Revue de littérature

Chapitre I. Concept de la thermorégulation, Stress thermique et mécanismes physiologiques d'adaptation du poulet de chair au chaud

I. Concept de la thermorégulation

La thermorégulation est une importante fonction de l'organisme qui permet le maintien de l'homéostasie thermique de l'animal (Mandonnet et al., 2011). C'est un mécanisme physiologique qui met en jeu un ensemble de réactions comportementales, physiologiques et organiques qui agissent sur le métabolisme énergétique, afin d'aboutir à un équilibre entre les processus de production de chaleur « **thermogenèse** », et perte de chaleur « **thermolyse** » (**Figure 1**).

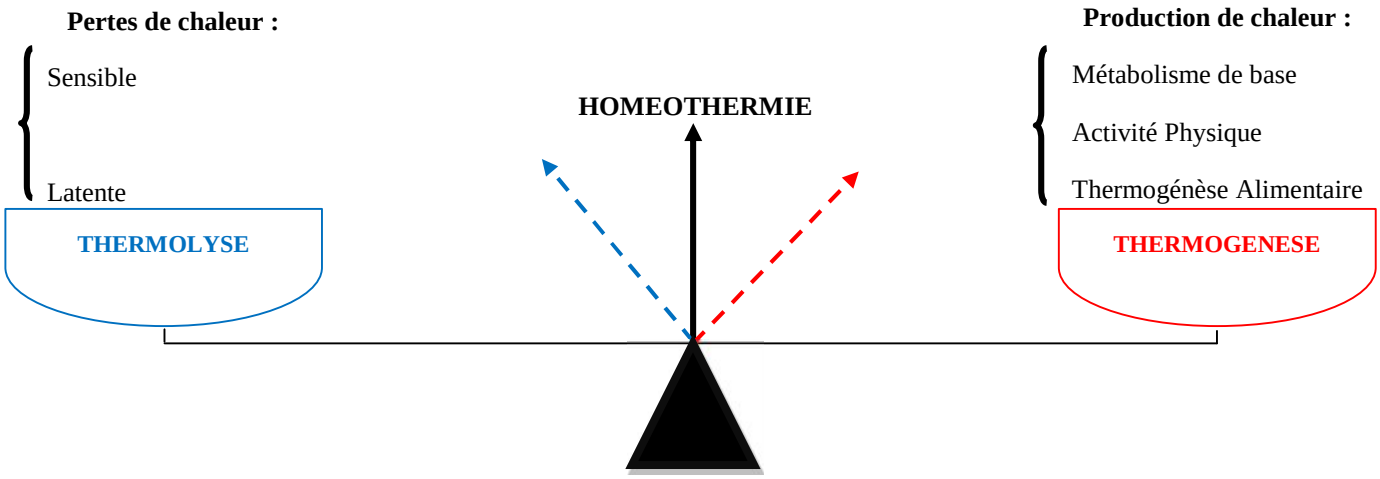


Figure 1. Equilibre Thermogénèse-Thermolyse

I.1. Température corporelle et zone de thermoneutralité

En général, tout organisme homéotherme présente deux types de température, en considérant que le corps est composé de deux entités différentes, représentées par un noyau central ou thermique et une enveloppe. Le noyau central, composé de viscères, de l'encéphale et des muscles profond, possède une température constante, appelé **température centrale (interne)**. L'enveloppe, formée des muscles supérieurs, des tissus sous-cutanés et de la peau présente une température variable et intermédiaire entre la température centrale et la température ambiante, appelée **température périphérique** (Reece, 1997).

Le poulet de chair est un animal homéotherme. Sa température centrale reste quasi-constante dans certaines limites de variation de la température externe. L'homéothermie est maintenue sous certaines conditions, pour assurer un fonctionnement normal des organes vitaux (Valancony, 1997) et une meilleure extériorisation phénotypique des capacités génétiques de l'animal (Olanrewaju et al., 2010). La température corporelle interne physiologique du poulet se situe dans une plage étroite de 41-42°C (Sottnik, 2002), permise par un équilibre entre la production et les pertes de chaleur de l'organisme, qui reflète le confort thermique de l'animal (Cable et al., 2007 ; Dzenda et al., 2011). Ce dernier est conditionné par un intervalle de température ambiante nommé zone **de neutralité thermique « ZNT »,** délimitée par deux valeurs critiques de température ambiante appelées respectivement, température critique inferieure et température critique supérieure (Mont, 1979 ; Castello, 1990 ; Amand et al., 2004) (**Figure 2**).

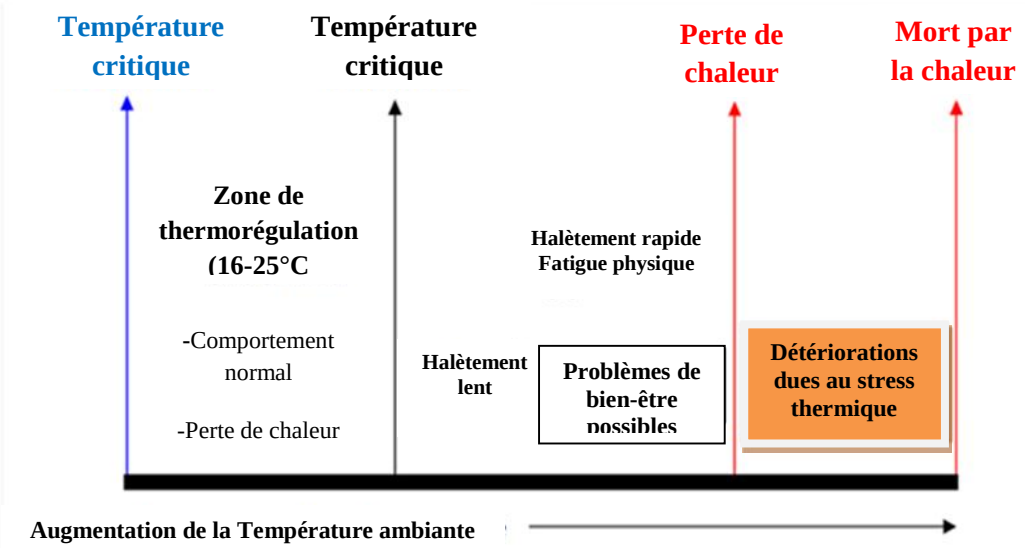


Figure 2. Zone de thermoneutralité et réactions du poulet face à une augmentation de la température ambiante (Akbarian 2014)

I.2. Facteurs de variation de la zone de neutralité thermique (ZNT)

Une grande variation des limites inferieures et supérieures de la ZNT est rapportée en fonction de l'âge et du type de poulet, et l'environnement climatique auquel il a été adapté (Sottnik, 2002 ; Daghir, 2008 ; Pereira et Naas, 2008 ; Fass, 2010 ; Hosseini et al., 2013 ; Suganya et al., 2015)(**Tableau 1 et 2**).

Chez le poussin âgé de 1 à 7 jours, la ZNT est très réduite, elle varie entre 33 et 35°C (Castello, 1990 ; Moraes et al., 2002) alors que chez l'adulte, elle se situe entre 18 et 22°C (Charle, 2002). Des intervalles de températures ambiantes idéales de 18 à 24°C et de 18 à 25°C ont été rapportés respectivement, pour le poulet élevé en zones tropicales (Holik, 2009) et le poulet élevé en régions chaudes (Die et Bumbie, 2011).
En effet, cette différence de valeur critique supérieure est généralement due aux grandes variations de l'humidité relative de l'air ainsi que des mouvements de l'air dans les zones tropicales. Les forts taux d'humidité ambiante altèrent la thermorégulation du poulet, en réduisant ces capacités à dissiper l'excès de chaleur par évaporation, réduisant ainsi, son intervalle de confort thermique (Luthra, 2017).

Ainsi, la température ambiante, l'humidité relative et la ventilation représentent les 3 principaux facteurs environnementaux qui influencent la thermorégulation chez le poulet (Yahav, 2005). Plusieurs études ont été effectuées pour déterminer les plages de thermotolérance du poulet en prenant en considération certains de ces facteurs (Hahn, 1976 ; Yahav et al., 2005 ; Eigenberg et al., 2009; Luthra, 2017). Un index de chaleur, nommé index de température et d'humidité « **THI** » qui prend en considération la température humide et sèche de l'air a largement était utilisé et développé pour plusieurs animaux de ferme (Buffington et al., 1981 ; Zulovich et DeShazer, 1990 ; Xin et al., 1992 ; Brown-Brandl et al., 1997 ; Nascimento et al., 2011 ; Campos et al., 2013).
Pour le poulet de chair, cet index est toujours calculé par l'équation suivante (Tao et xin, 2003) :

$$THI = 0.85 * Ts + 0.15 * Th$$

où, T_s = température sèche. (°C) et T_h= température humide au temps t (°C).

Ces mêmes auteurs ont déterminé quatre zones de thermotolérance chez le poulet de chair (**Figure 3**) en calculant un nouvel index de chaleur (**THVI**) tout en intégrant un troisième

facteur qui est la vitesse de l'air. Ce dernier facteur ambiant est aussi important que la température ambiante et l'humidité de l'air même pour les poulets élevés dans un bâtiment fermé (courant d'air, ventilation).

$THVI = THI * V^{-0.058}$ où, V = vitesse du vent ($0,2 < V < 1,2$m/s).

Pour ce faire, des corrélations entre l'augmentation de la température corporelle du poulet de 1, 2,5 et 4° C et les temps d'exposition aux THVI nécessaires pour induire ces augmentations de température corporelles respectives ont été établies.

Il est à noter que ces index (**THI**) ont aussi été utilisés pour déterminer la relation entre les facteurs climatiques et les paramètres de production du poulet (Medeiros et al., 2005; Oliveira et al., 2006b) en climat semi-aride (Chepete et al., 2005) et de la souche lourde du poulet commercial (Purswell et al., 2012).

Tableau 1. Variations des valeurs limites de la zone de thermoneutralité des poulets de chair (Synthèse personnelle)

Températures optimale de la neutralité thermique (°C)	**Références**
23-29	Meltzer, 1983
10-22	Kampen, 1984
5-15	Ruckebrusch et al., 1991
18-28,5	Oluyemi et Roberts 2000
18-22	Charles et Walker, 2002
18-22	Lin et al., 2006b
18-30	Pereira et Naas, 2008
10-27	Daghir, 2009
18 -24	Holik, 2009
16-26	FASS, 2010
18-25	Deiet Bumbie, 2011
20-25°C	Hosseini et al., 2013
10-27	Suganya et al., 2015

Tableau 2 : Température ambiante et humidité relative de la zone de confort thermique par semaine d'âge du poulet de chair (Macari et Vurlan, 2001)

	Condition de confort		Condition de stress	
Age (sem)	**Température ambiante (°C)**	**Humidité relative (%)**	**Température ambiante (°C)**	**Humidité relative (%)**
1	34,0	60	30	80
2	31,5	60	25	80
3	28,5	60	38	80
4	25, 5	60	37	80
5	23,0	60	36	80
6	22,5	60	35	80

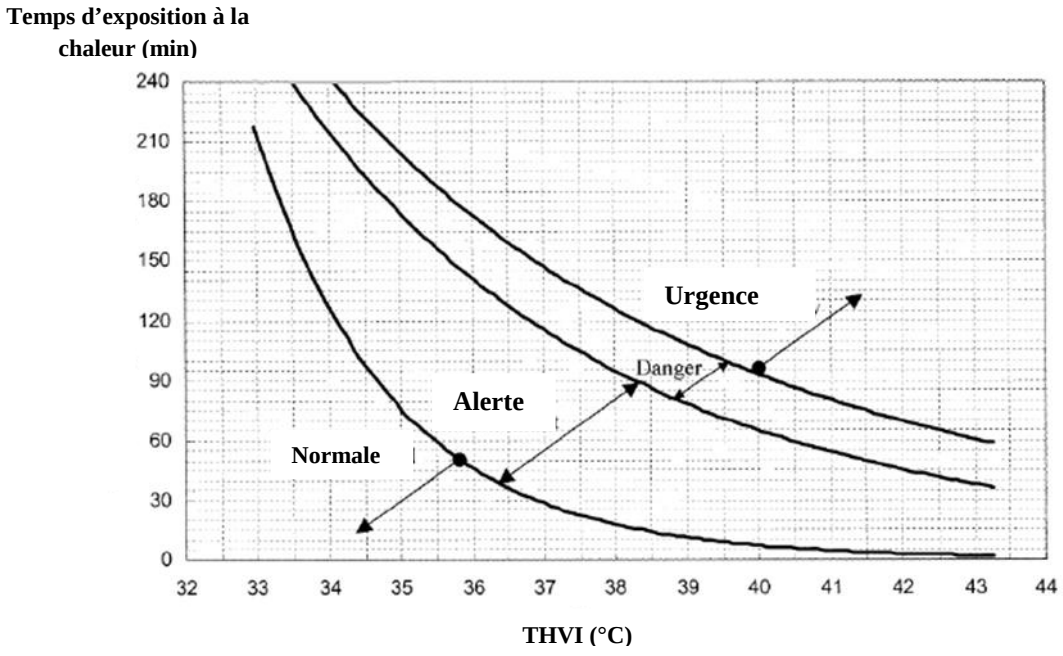


Figure 3 : Les quatre zones de thermotolérance en fonction de l'index de chaleur « THVI » et le temps d'exposition des poulets (Tao et Xin, 2003).

I.3. Mécanismes d'adaptation de la thermorégulation chez le poulet de chair au chaud

Toute variation de la température ambiante au-delà des deux bornes (inférieure et supérieure) de la ZNT incite l'animal à fournir un effort de thermorégulation pour lutter soit contre le froid (température ambiante <20°C) (Yalçin et *al.*, 2001) soit contre la chaleur (température ambiante >25°C) (Mérat, 1990).

I.3.1. Perception de la chaleur ambiante par le poulet

La charge thermique de l'environnement est détectée à la surface du corps par des thermorécepteurs périphériques correspondant à des neurones sensitifs, dont les terminaisons sont disséminées dans la peau à proximité des capillaires sanguins, des pattes et du bec (Yahav, 2005). Les informations thermiques perçues par les récepteurs périphériques, couplées aux informations sur la température sanguine, reçue par les thermorécepteurs centraux, disséminés dans les différentes zones profondes de l'organisme sont transmises sous forme d'influx nerveux au centre de thermorégulation (aire pré-optique au niveau de l'hypothalamus antérieur : PO/AH) (Kiyohara et al., 1995).

Ces informations sont intégrées sous forme d'une température corporelle moyenne qui est comparée à une **température de référence,** comprise dans la zone de neutralité thermique, au dessus de laquelle des réponses thermogéniques adéquates sont déclenchées.

Les influx nerveux issus du noyau pré-optique se propagent vers deux autres régions hypothalamiques appelées **centre de la thermolyse** (partie antérieure de l'aire pré-optique) et **centre de la thermogenèse** (partie postérieure de l'hypothalamus).Une fois stimulés par le noyau pré-optique, ces centres déclenchent une série de réactions pour réduire la température corporelle et maintenir l'équilibre énergétique du métabolisme (**Figure 4**).

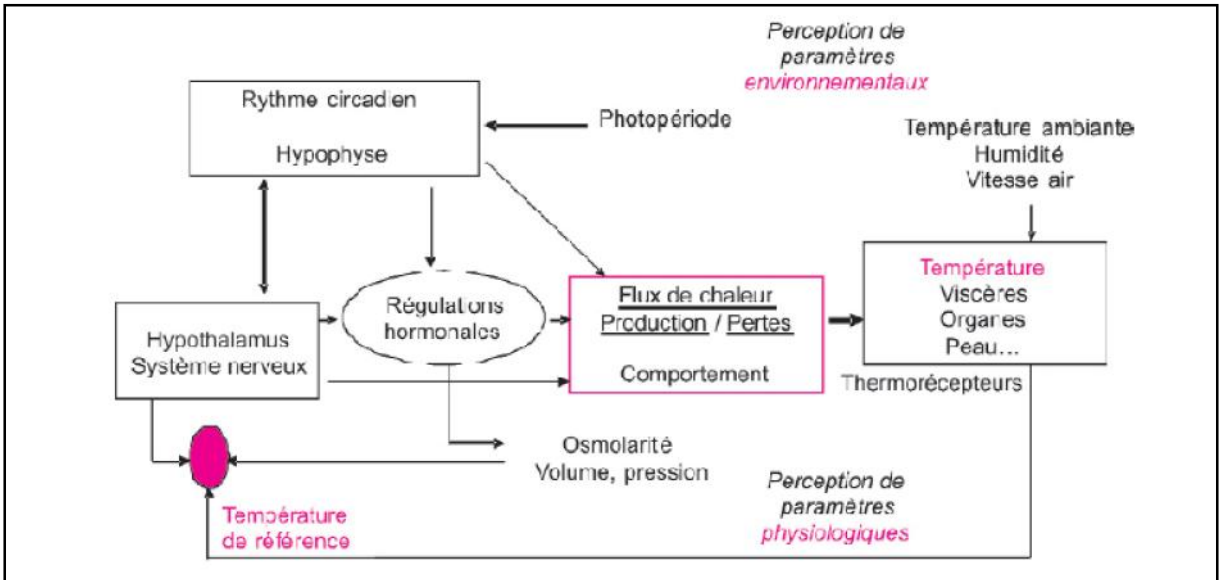


Figure 4. Mécanismes de perception et de régulation de la température interne du poulet (Yahav et al., 2005 ; Collin et al., 2011)

Ainsi, lors de fortes chaleurs ambiantes, l'ajustement de l'équilibre thermogénèse-thermolyse est représenté par l'augmentation de la thermolyse et la diminution de la thermogenèse.

I.3.2 Augmentation de la thermolyse

La thermolyse correspond aux pertes de chaleur qui s'effectuent par **voie sensible** (radiation, convection et conduction) (Chaiyabutr, 2004 ; DeShazer et al., 2009) et par **voie latente** (évaporation respiratoire et cutanée), auxquelles sont rajoutées les pertes de chaleur par excréta (Yahav et al., 2005) (Figure 5).

Les pertes de chaleur par voie sensible sont fonction de la surface d'échange du corps et de la conductibilité de la chaleur. Les contributions des différentes régions du corps au maintien de l'équilibre thermique ont été largement étudiées (Richards, 1971 ; Malheiros et al 2000 ; Shinder et al 2007 ; Nascimento et al., 2013). Shinder et al.(2007) ont décrit la contribution des zones sans plumes et celles emplumées dans la thermolyse en considérant les pattes comme une partie vasomotrice sensible. Des études plus anciennes avaient suggéré que la moitié de la production de chaleur totale peut être perdue au niveau des zones sans

plumes(Wolfenson, 1983). En ambiance chaude, 83 % du flux sanguin passe, par des anastomoses artério-veineuses, dans ces parties du corps, contre 17 % dans les conditions de thermoneutralité (Wolfenson, 1983). La présence de ces mécanismes d'échange artério-veineux au niveau des pattes a aussi été rapportée par Etches et ses collaborateurs en (2008).

De ce fait, la conductibilité thermique des tissus joue aussi un rôle important, contribuant à l'évacuation de la chaleur générée dans le corps vers le milieu externe via la peau par une installation d'un plus grand gradient peau-environnement. Ces variations de température périphérique correspondent à des phénomènes de redistribution du volume sanguin entre le noyau et la surface du corps et une vasodilatation des vaisseaux sanguins sous cutanés.
Ces pertes de chaleurs sensibles soutenues par ces réactions végétatives suscitées sont aussi favorisées par des réactions comportementales (Nielsen, 2012). Le déploiement des ailes adapté par le poulet exposé à la chaleur augmente la surface des échanges thermiques (Etches et al., 2008). Des études antérieures ont rapporté que les oiseaux exposés à une température ambiante élevée passent plus de temps à ajuster la position des ailes pour essayer de perdre de la chaleur et réduire leurs effet isolant (Mack et al., 2013).
Toutefois, lorsque ces moyens d'élimination thermique passifs deviennent insuffisants pour le maintien de l'homéothermie, d'autres moyens actifs (évaporatifs) compensent ce déficit et se mettent en place (Sturkie, 1986 ; Lacey et al., 2000 ; Chepete, 2008). Bien que le poulet soit dépourvu de glandes sudoripares, les pertes d'eau par voie cutanée peuvent atteindre 40 % de l'évaporation totale en thermoneutralité (Dawson, 1982). Toutefois, en conditions de chaleur, cette voie d'élimination d'eau est négligeable, et les pertes de chaleur par les voies respiratoires sont beaucoup plus importantes (Mamefatou, 2012) (**Figure 5**). Ainsi, pour chaque gramme d'eau vaporisée, environ 2,4 kJ de chaleur sont perdus (Renaudeau et al., 2012).

Cette augmentation des pertes évaporatives en climat chaud est associée à une polypnée (Whittow, 2000). L'accroissement parallèle de la fréquence respiratoire à l'augmentation de la température ambiante a largement été rapporté (Teeter et al., 1985 ; Zhou et Yamamoto, 1997). L'installation de l'hyperventilation s'observe visuellement par le halètement du poulet et correspond à une accélération importante de la fréquence respiratoire (Mamefatou, 2012), généralement accompagnée d'une diminution du volume d'air inspiré.

La quantité de chaleur éliminée par voie latente, via le halètement et l'évaporation cutanée, est fonction de la teneur en eau du corps et de l'humidité relative de son microenvironnement. La déshydratation peut affecter ces échanges thermiques et par conséquence un réajustement du volume circulatoire, par une augmentation de l'abreuvement du poulet pendant les périodes chaudes, s'avère nécessaire pour reconstituer ces pertes hydriques non générées par le métabolisme. De même, l'humidité relative du milieu ambiant peut affecter de manière marquée le potentiel de refroidissement par évaporation. Plus l'humidité relative augmente, plus les capacités d'évaporation par expiration baissent.

Lorsque la température de l'environnement augmente au-dessus de 30ºC, la fréquence respiratoire (estimée à 25 inspirations/min en condition de thermoneutralité) peut se multiplier par 10 (Nillipour et Melog, 1999). A ce stade, l'hyperventilation s'accompagne d'une réduction du volume d'air inspiré et entraine une perturbation de l'équilibre acido-basique, aboutissant à une alcalose respiratoire.

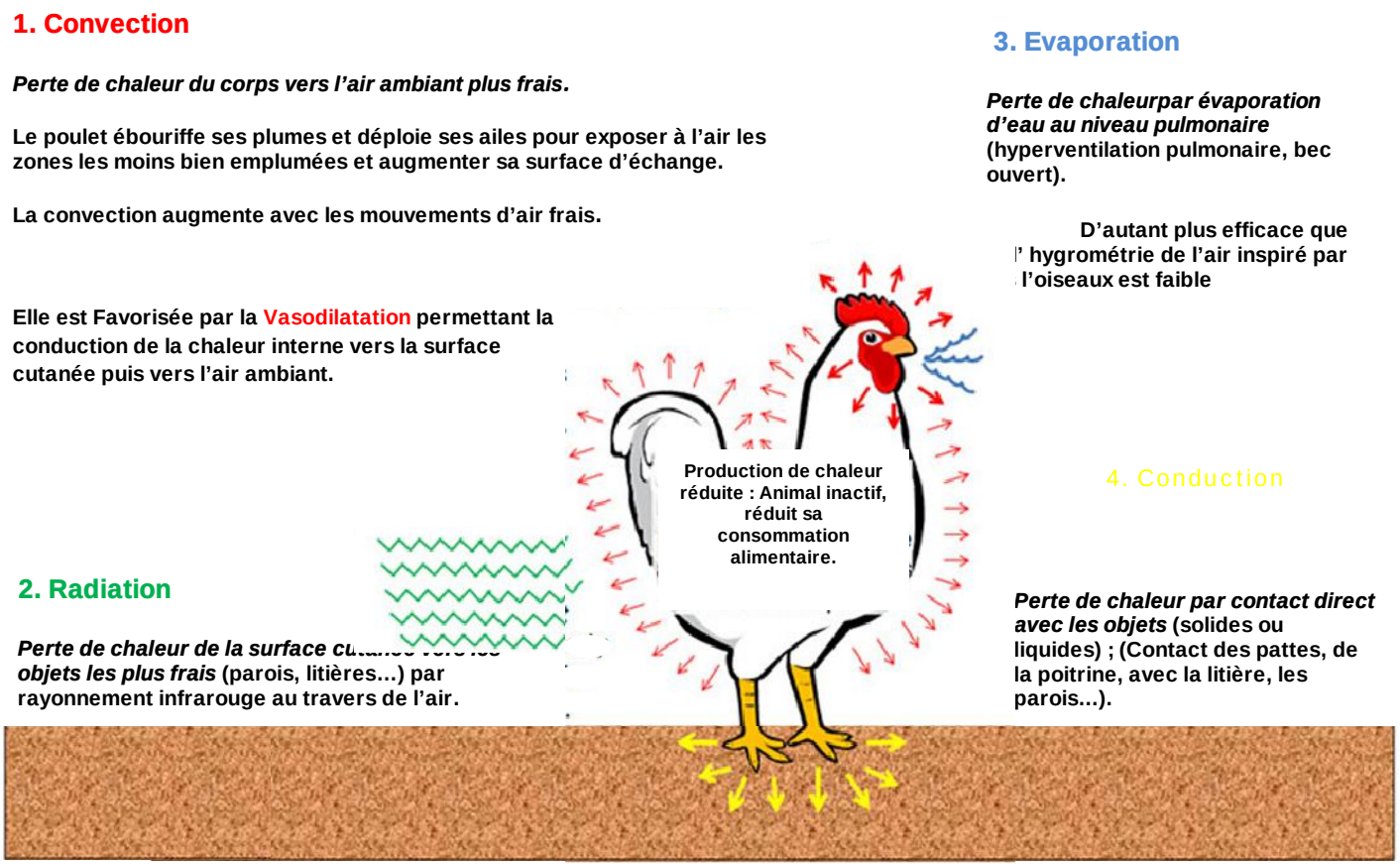


Figure 5. Principales voies de thermolyse chez le poulet de chair

I.3.3 Diminution de la thermogénèse

Dans un environnement chaud, généralement le poulet réduit sa thermogénèse en réduisant son métabolisme à un niveau d'entretien le plus bas. Ainsi, à une température ambiante de 32°C, la production de chaleur à jeun de poulet âgé de 6 semaines a diminué de 20% par rapport à une température ambiante de 22°C (Geraert et al., 1996).

De même, en ambiance chaude, l'activité physique est limitée (Pereira et al., 2007), ce qui réduit les contractions musculaires et par conséquent, l'intensité métabolique des cellules musculaires générée par les mouvements de la grande masse de muscle du poulet à croissance rapide (Mahmoud, 2010) . En condition de confort thermique, le poulet passe 65% de son temps, couché avec quelques interruptions de positions debout. Cependant, ces dernières deviennent plus importantes lors d'une exposition à la chaleur (Mahmoud, 2010), et l'augmentation de la fréquence des positions debout semble contribuer à l'augmentation des pertes de chaleur par voie sensible (Geraert, 1991).

Toutefois, l'intense activité des muscles respiratoires, survenue lors du halètement du poulet, aboutit à une augmentation de la production de chaleur (Geraert, 1991), qui reste sans effet significatif sur le bilan énergétique total de l'animal (Hillman et al., 1985), probablement due à la contribution de cette adaptation physiologique (halètement) aux pertes de chaleur par évaporation et à une compensation par la diminution de la demande des autres tissus .

Face à une augmentation des températures ambiantes, le poulet manifeste des modifications de son comportement alimentaire (Mahmoud, 2010; Syafwan et al., 2012) réduisant ainsi, sa consommation alimentaire. Des baisses de l'ingéré alimentaire de 24% et 9% ont été enregistrées respectivement entre 22 -32°C et 25 -36°C chez le poulet de chair pour des durées d'élevage de 21 à 42jours (Geraert et al., 1996) et de 1 à 42jours (Attia et al., 2017). Cette baisse de la consommation alimentaire est fortement corrélée à l'augmentation de la température interne (Picard et al., 1993). Ainsi, les fortes températures ambiantes, stimulent les récepteurs thermiques périphériques qui transmettent des influx nerveux supprimant l'activité du centre de l'appétit dans l'hypothalamus (Marai et al., 2007). Par conséquent, moins de nutriments seront disponibles pour les différentes activités et synthèses enzymatiques, productions hormonales et productions de chaleur.

Il est à noter que malgré une thermogenèse par g d'aliment ingéré plus élevée en ambiance chaudes, la diminution de l'ingéré permet de limiter la thermogenèse alimentaire globale (Geraert et al., 1996).

Lorsque ces adaptations de thermorégulation ne suffisent plus, l'ensemble des mécanismes, qui sont à l'origine de l'augmentation de la thermolyse ou de la diminution de la production de chaleur, sont saturés et l'animal stocke de la chaleur ce qui entraine une augmentation de sa température centrale. Cette dernière est le principal indicateur de l'efficacité de la thermorégulation, généralement mesurée par la température cloacale chez le poulet (Cable et al., 2007; Moller, 2010). Ainsi, l'homéothermie n'est plus maintenue et l'animal est en situation d'hyperthermie. Dans ce cas, l'animal présente un **état de stress thermique.**

II. Stress thermique

Le stress thermique correspond à une manifestation de diverses réactions chez l'animal pour faire face à l'augmentation de température ambiante, qui provoque inévitablement une augmentation de la température corporelle (Yousef, 1984), souvent fatale pour le poulet.

Il existe deux type de stress thermique, l'un est dit « aigu » et l'autre « chronique ». La durée et l'amplitude du pic de chaleur étant les deux paramètres qui déterminent le type de stress thermique.

Le stress thermique aigu, qualifié aussi de « coup de chaleur » (De Basilo et Picards, 2000), apparaît lorsque la température ambiante dépasse les 35°C pendant une courte durée. Ce type de stress induit des réactions immédiates et radicales qui convergent vers un seul objectif, la survie de l'animal. Ce type de stress thermique provoque une forte mortalité dans les élevages.

Le stress thermique chronique, apparaît lors d'exposition à des températures ambiantes élevées, généralement de nature cyclique entre 29 et 35°C pendant le jour (températures ambiantes plus fraîches durant la nuit) et s'étalant sur des périodes relativement longues, allant de quelques jours à plusieurs semaines. Les changements provoqués par ce type d'exposition sont relativement faibles jusqu'à atteindre un nouvel équilibre (homéostasie) qui permet à l'animal de s'adapter à son nouvel environnement : on parle alors

d'acclimatation. Dans ce type d'exposition, la mortalité n'est que très légèrement augmentée alors que les performances de croissance sont largement affectées.

III. Les réponses physiologiques et impact du stress thermique

Chez le poulet, un état de stress thermique implique des changements physiologiques avec intervention de plusieurs organes pour assurer leurs besoins métaboliques et essayer de réduire l'hyperthermie engendrée. Toutefois, ces changements physiologiques aboutissent généralement à une aggravation de cette situation de stress (Sinka et al., 2007).

III.1. Impact de la chaleur sur la température corporelle

La température ambiante est un important paramètre environnemental qui joue un rôle clef dans l'homéostasie thermique de l'organisme animal. On désigne par température ambiante létale, la température à partir de laquelle l'organisme n'est plus capable de réguler sa température interne et finit par mourir, suite à une défaillance multi-organique et prostration. Ainsi, chez le poulet, le seuil critique supérieure de la température interne au-delà duquel, la mort de l'animal survient, varie de 44°C à 47°C (Randall, 1943 ; Weaver, 2002 ; Chepete, 2008) ; sous une température ambiante de 30°C à 32°C (El boushy, 1983 ; Beber et Teeer, 1994 ; yahav et hvrwitz, 1996) qui peut, en fonction de certains facteurs, atteindre les 44°C. Cependant, la marge de variation entre la température corporelle physiologique moyenne du poulet et ce seuil critique reste assez faible, généralement estimé de 1 à 1,5°C pouvant aller dans certaines conditions jusqu'à 4 °C (Amand et al., 2004). Ce qui traduit la grande sensibilité de cette espèce à la chaleur.

L'augmentation de la température interne du poulet de chair suite à une exposition à la chaleur a largement été observée (De Basilio et al., 2003 ; Ayo et Sinkalu, 2007 ; Dzenda et al, 2011 ; Sinkalu et al., 2011 ; Syafwan et al., 2011 ; Yahav et al., 2011). Cependant, cette augmentation varie avec plusieurs facteurs notamment, l'âge, le sexe, le génotype, l'état nutritionnel de l'animal, l'intensité et la durée du stress thermique, la composition de la ration alimentaire ainsi que d'autres paramètres et pratiques d'élevage tels que l'humidité relative, la ventilation et les programmes lumineux appliqués.

III.1.1. Age

Les effets négatifs de la chaleur augmentent avec l'âge de l'animal (Sandercock et al., 2001 ; Lin et al., 2005 ; Zeferino et al., 2016). Ainsi, en réponse à un même niveau de stress thermique (Ta : 32°C, RH : 75% pendant 2h), la température rectale du poulet âgé de 63 jours est plus élevée que celui de 35 jours (43,8 vs 43,1°C) (Sandercock et al., 2001). Pareillement, chez des poussins, de souche chair, âgés de 5 jours, la comparaison des températures mesurées en début et fin de période d'élévation thermique (27-36°C) montre que l'augmentation de la température corporelle (+1°C) reste stable sur une période de 24h (Yahav et Hurwitz 1996, Yahav et al., 1997a).

III.1.2. Type de poulet

Une grande sensibilité à la chaleur du poulet commercial a largement été rapportée (Wilson et al., 1975; Sandercock et al., 2006, Soleimani et al.,2011). Ainsi, à un même âge, l'exposition de femelles appartenant à 3 différents génotypes pendant 3h, à une température ambiante de 36°C révèle une plus importante élévation de la température corporelle (43,65°C) du poulet commercial par rapport aux 2 autres génotypes de poules domestiques (41,62 et 41,91°C) (Soleimani et al., 2011). Plusieurs auteurs suggèrent une interaction entre le génotype et la taille de l'animal ou le génotype et le poids vif de l'animal (Zulkifli et al., 1999). D'après Soleimani et al. (2011), le poids corporel est négativement corrélé avec le caractère tolérance à la chaleur. En effet, la faible masse corporelle et le bon développement des parties glabres (appendices, crête et barbillon) chez les poulets White leghorn (souche ponte) expliquent leur meilleure thermotolérance par rapport aux souches commerciales (Lac leod, 1984).

III.1.3. Type, durée et intensité du stress thermique

Une élévation cyclique de la température ambiante affecte moins la thermotolérance du poulet qu'une exposition constante à la chaleur (Mahmoud et al., 2004). Globalement, des observations en laboratoires ou en conditions naturelles ont révélé que les valeurs de la température corporelle du poulet de chair suivent les fluctuations de la température ambiante et de l'humidité relative au cours de la journée (Zhou et al., 1999 ; Ayo et Sinkalu, 2007 ;

Sinkalu et al., 2015). Cependant, des valeurs extrêmes sont obtenues au cours des périodes les plus chaudes de la journée (13-15h) (Ayo et Sinkalu, 2007 ; Sinkalu et al., 2015). Par ailleurs, l'élévation de la température interne des poulets, enregistrée à des températures constantes (+1.5°C ; 32°C entre J36-J42) (Zeferino et al., 2016) est d'autant plus importante que celle obtenue après une exposition à des températures ambiantes élevées cycliques (+1°C ; 22-32/22°C) (Deeb et Cahaner, 1999). Ainsi, l'hyperthermie moins accentuée par l'élévation cyclique de la température ambiante peut s'expliquer par une éventuelle dissipation de la chaleur pendant les périodes les plus fraiches de la journée permettant une légère récupération.

D'un autre coté, les variations de la température centrale des volailles dépendent aussi de la sévérité et la durée du stress thermique (Toyomizu et al., 2005). Des études antérieures ont rapporté que l'organisme du poulet adulte nécessite 2 à 3jours pour s'adapter aux fortes chaleurs. Ainsi lors d'une élévation brusque et rapide de la température ambiante (0,55°C/2 min), l'hyperthermie s'installe chez le poulet lorsque son environnement thermique dépasse les 30°C (Boone, 1968). Or, une augmentation progressive et prolongée de la température ambiante (de 30,6°C à 40,6°C en 5 h), permet au poulet adulte de maintenir sa température interne physiologique jusqu'à un seuil de température ambiante de 33°C (Boone et Haughes, 1971).

III.1.4. Facteurs d'élevages

Certains facteurs d'élevage interagissent avec la température ambiante, réduisant ainsi, les capacités thermorégulatrices des poulets. La sévérité de l'impact négatif du stress thermique sur les performances et la physiologie des poulets de chair est aggravée par une augmentation de l'humidité relative (Balnave, 2004) et/ou avec la diminution de la vitesse de l'air (Veldkamp et al., 2002). Cependant, la température interne des poulets de chair âgés de 6 semaines et maintenus à une Ta de 28° et une HR de 80% est supérieure de 0,4°C par rapport à celle des poulets maintenus à 28°C et 50% d' HR (Lacey et al., 2000).

En période chaude, l'application des programmes lumineux de type continu qui modifient la fréquence d'alternance des périodes de jour et de nuit favorise l'augmentation de la température ambiante (surtout si des ampoules à haute énergie sont utilisées), réduit les périodes de repos de l'animal et induit un stress thermique chronique (Evans et al., 2012). L'élimination des périodes de repos sont à l'origine de l'accroissement du stress

physiologique (Campo et Davila, 2002) qui est associé aux différents processus de production du poulet de chair (Schwean-Lardner et al., 2012). Par ailleurs, l'élimination des périodes d'obscurité perturbe la libération de la mélatonine qui est la principale neuro-hormone synthétisée et libérée par la glande pinéale (Vanecek, 1998 ; Korkmaz et al., 2011 ; Zeman et Herichova, 2011). La mélatonine joue un rôle central dans la régulation des rythmes biologiques (journalier et saisonnier) des différents systèmes physiologiques notamment, le système cardio-respiratoire, reproducteur, excréteur, thermorégulateur, comportemental, immunitaire et neuro-endocrinien chez les oiseaux (Pevet et Challet, 2011). Il a été démontré que l'exposition à la lumière inhibe la biosynthèse de la mélatonine dans la glande pinéale et la rétine du poulet (Zawilska et Iuvone, 1989). Chez les dindes et les poules domestiques maintenues sous une lumière continue, une forte diminution de la teneur en mélatonine pinéale (Zawilska et Wawrocka, 1993 ; Zawilska et al., 2007), et une augmentation de la température cloacale du poulet de chair (Sinkalu et al., 2015) ont été observées. Outre sa fonction principale de synchroniseur de l'horloge biologique, la mélatonine et ses métabolites possèdent une puissante activité antioxydante (Tan et al., 2007 ; Zisapel et Cardinali, 2008 ; Maldonado et al., 2012). Dans une étude récente, une diminution marquée de la température cloacale chez des poulets traités à la mélatonine, comparée à celle obtenue dans un des deux groupes non traités par la mélatonine (Sinkalu et al., 2015) a démontré et confirmé l'effet hypothermique de la mélatonine (Murakami et al., 2001; Isobe et al., 2002). Le mécanisme exact et le site d'action par lesquels la mélatonine influence la température corporelle sont méconnus (Deacon et Arendt, 1995). Deux hypothèses sont émises, une action hypothermique centrale de la mélatonine en agissant sur le diencéphale, le thalamus et l'hypothalamus (Nakahara et al., 2003), ou une action périphérique pour ajuster la perte de chaleur (Deacon et Arendt, 1995).Des récepteurs de mélatonine de haute affinité ont été localisés au niveau d'un site majeur de perte de chaleur (artères cérébrales et artères de la queue)chez les rats (Deacon et Arendt, 1995).

III.2. Impact de la chaleur sur les paramètres du sang

D'une manière générale, le stress thermique entraine des changements morphologiques et quantitatifs des paramètres sanguins (Lin et al., 2004a, Borges et al., 2007), aboutissant à une perturbation et parfois même à une suppression des principales fonctions du sang notamment, le transport (O_2, CO_2, nutriments, déchets, hormones et métabolites), la régulation de la

température interne (dissipation de la chaleur), le maintien de l'équilibre acido-basique et la protection contre les maladies (Yahav et al., 1997b ; Rastogi, 2007).

III.2.1. L'équilibre acido-basique et électrolytique du sang

En réponse au stress thermique, les oiseaux augmentent leur fréquence respiratoire qui est généralement associée à une augmentation des échanges du dioxyde de carbone (CO_2) au niveau des poumons et par conséquent, d'une diminution de la pression partielle de CO_2 et de concentration en ions H^+. En conséquence, le pH sanguin augmente (Deyhim et Teeter, 1991 ; Hockings et al., 1994 ; Sandercock et al., 2001 ; Nassiri-Moghaddam et al., 2006 ; Borges et al., 2007 ; Attia et al., 2011) perturbant ainsi l'équilibre acido-basique et entrainant l'installation d'une alcalose respiratoire (Altan, 2003 ; Borges et al., 2004 ; Yalcin, 2004 ; Attia et al., 2011 ; Fisinin et Kavtarashvili, 2015).

La variation de l'équilibre acido-basique est particulièrement plus importante chez le poulet adulte en raison de sa plus grande taille et de sa plus grande susceptibilité au stress thermique (Sandercock et al., 2001) et est proportionnelle au changement de la température corporelle, au niveau et la durée de l'exposition à la chaleur (Fisinin et Kavtarashvili, 2015). Ainsi, les poulets souffrent d'une alcalose légère à 35°C (pH = 7,55), modérée à 38°C et sévère à 41°C (pH = 7,65) (Ahmed et Sarwar, 2006). Toutefois, ce déséquilibre du pH sanguin reste faible et variable dans les conditions de stress thermique chronique (Ta<35°C), probablement due à la cyclicité des phases de polypnée et des phases de pauses (Teeter et al., 1985). Par contre, une alcalose respiratoire fait généralement suite à une hyperthermie aigue (Teeter et al., 1985 ; Sandercock et al., 2001).

Afin de corriger le pH, les oiseaux augmentent l'excrétion du bicarbonate ($HCO3^-$) par voie rénale. Le bicarbonate est un ion chargé négativement qui nécessite une liaison avec un ion chargé positivement, tel que Na^+ ou K^+, pour être excrété par l'urine. Cependant, dans les conditions de stress thermique, un déficit de ces ions peut être observé (Mushtaq et al., 2005 ; Nasseem et al., 2005). Belay et al. (1990) ont rapporté que l'alcalose respiratoire induite par le stress thermique est liée à un bilan minéral négatif de K^+ et Na^+.

Les perturbations de l'homéostasie des électrolytes sanguins induites par l'alcalose respiratoire sont accentuées par les fluctuations du bilan hydrique. Ainsi, une fuite de ces électrolytes est généralement observée par augmentation de l'excrétion urinaire lors d'une

augmentation accrue du taux de consommation d'eau. Ainsi que lors d'une déshydratation, si l'ingéré hydrique ne compense pas les pertes d'eau par voie latente.
Cependant, chez la volaille correctement hydratée, un stress thermique de 35 à 45°C, pendant 10 à 12 heures de temps, ne produit aucun changement significatif des concentrations sériques de sodium, potassium, chlorure et calcium.

III.2.2. Hématologie et paramètres biochimiques du sang

Le système hématologique est particulièrement sensible aux changements des températures ambiantes ce qui lui confère la particularité d'être un indicateur important des réponses physiologiques des animaux. Des changements morphologiques et quantitatifs des cellules se traduisent par la variation des valeurs de l'hématocrite, le nombre des leucocytes circulant, les érythrocytes et l'hémoglobine (Borges, 1997 ; Borges, 2001 ; Olanrawaju et al., 2006 ; Attia et al., 2017).
Lors du stress thermique, une diminution de l'hématocrite et celle du niveau d'hémoglobine ont été enregistrées par plusieurs auteurs (Kubena et al., 1972 ; Yahav et Hurwitz, 1996 ; Olanrawaju et al., 2006). Ainsi, un stress thermique aigu cause une augmentation du volume plasmatique et sanguin, et par conséquent, une diminution du volume des globules rouges et de la viscosité du sang total (Zhou et al., 1999, Olanrawaju et al., 2006). Ceci est probablement dû à une augmentation du flux des molécules d'eau de l'espace interstitiel vers le sang (Sturkie, 1986), nécessaires au transfert de chaleur du centre vers la périphérie du corps (Zhou et al., 1999). Par ailleurs, lorsque la perte accrue d'eau par voies respiratoire, cutanée et urinaire, provoquée par les différents processus de refroidissement du corps n'est pas compensée, une déshydratation s'installe. Cette dernière peut être à l'origine d'une hémoconcentration et donc d'une augmentation de l'hématocrite (Huston, 1960 ; Moye et al., 1969 ; Khan et al., 2002 ; Ajakaiye et al.,2010). Une relation inverse existe entre l'intensité des températures auxquelles sont exposés les oiseaux et la diminution de la concentration d'hémoglobine (Tolba, 2000 ; Mahmoud et al., 2013). Lors de courtes expositions (2 et 4h) à 42°C, une réduction de -12% de la concentration d'hémoglobine a été révélée chez des poussins chair (Osman, 1996). De même, les fortes températures affectent le nombre des hématies et réduisent leur durée de vie (Atta et al., 2017 ; Adenkola et Angani, 2017). Ainsi, une diminution de -6% du nombre des érythrocytes a été enregistrée lors d'une exposition prolongée (de 7 à 42 j) des poulets à une température de 30°C (Yahav et al., 1997b). Cette

diminution est généralement concomitante à une réduction de l'érythropoïèse en réponse à une diminution générale du métabolisme de base (Huston et al., 1962). Par ailleurs, suite à un stress thermique, l'augmentation de la production des radicaux affecte l'intégrité de la membrane érythrocytaire (Schalm et al., 1975; Sahin et al., 2001), fragilise ainsi, le globule rouge (Langsdorf et al., 1993) et peut conduire à sa destruction (Adenkola et Angani, 2017).

Les proportions des différents types de leucocytes semblent être modifiées par la chaleur (Altan et al., 2000 ; Altan et al., 2003; Yalçin et al., 2005 ; Skomorucha et al., 2010). Une altération du rapport hétérophiles/lymphocytes se traduit principalement par une augmentation des hétérophiles et une diminution du nombre des lymphocytes (Cīrule et al., 2012) et par conséquent, une augmentation du rapport hétérophiles/lymphocytes (Mashaly et al., 2004 ; Akşit et al., 2006; Campo et al., 2006 ; Attia et al., 2017). La libération des glucocorticoïdes en réponses à un stress thermique, provoque la destruction des lymphocytes dans les tissus lymphoïdes entrainant une lymphopénie. Par contre, la libération des hétérophiles par la moelle osseuse s'accentue, augmentant ainsi leur nombre dans la circulation, toutefois, leurs activités phagocytaires et bactéricides restent réduites (Swenson et Reece, 1996, Berne et Levy, 1998).Cependant, ces changements impliquent une réduction de la fonction immunitaire et, par voie de conséquence, les poulets soumis à un stress thermique sont plus sensibles aux maladies (Iyaser, 2014).

Plusieurs études, menées pour déterminer l'effet de la chaleur ambiante sur la glycémie des poulets, révèlent une grande variabilité des résultats. Ainsi, certains auteurs notent que la concentration du glucose sanguin augmente significativement en condition d'ambiance chaude (Hazelwood, 1965 ; Donkoh, 1989 ; Sahin et al., 2001 ; Khan et al., 2002 ; Ozbey et al., 2004). A l'inverse d'autres travaux signalent une baisse de la glycémie du poulet élevé au chaud (Arad et al., 1983). Cependant, Bogin et al. (1981) ont constaté que l'exposition des poulets au stress thermique n'affecte pas la glycémie. Ces données contradictoires peuvent être partiellement expliquées par le fait que l'action de la chaleur sur la glycémie du poulet dépend de plusieurs facteurs tels que le statut nutritionnel, l'âge et le type de stress. Il a été rapporté que les poulets au chaud ont une glycémie à jeun similaire à celle des poulets nourris *ad libitum* à 22°C mais qui est augmentée à l'état nourri (Padhila, 1995). Cependant, ce même auteur rapporte une insulinémie inchangée pour les deux états nutritionnels des poulets élevés au chaud. Lagana et al. (2007) et Bueno et al. (2016) ont montré que lors d'un stress thermique chronique cyclique, la glycémie du poulet n'est pas modifiée, tandis que lors d'un stress thermique chronique constant et continu, la concentration du glucosesérique augmente

(González et Silva, 2006). Ces réponses semblent être dues à un meilleur état d'adaptation du poulet lors des fortes températures cycliques. Par ailleurs, Puvadolpirod et Thaxton, (2000) ont rapporté que l'hyperglycémie était liée à des états de stress aigu. Ainsi, la concentration de glucose dans le sang semble être une réponse directe de l'augmentation des glucocorticoïdes pendant le stress (Kolb, 1984 ; Post et al., 2003 ; Olanrewaju et al., 2006) pour augmenter l'énergie disponible nécessaire à la survie des animaux (Ognik et Sembratowicz, 2012).

De même, en réponse à ce déficit énergétique, les taux de cholestérol (Attia et al., 2011), des lipoprotéines de type LDL (Habibian et al., 2014) ainsi que ceux des triglycérides plasmatiques (Kataria et al., 2008) augmentent avec le niveau élevé des corticostérones (Sahin et al., 2002 ; Yuan et al., 2008). Le mécanisme exact par lequel la chaleur ambiante influence la concentration de lipides sériques n'est pas entièrement connu. Cependant, il est généralement admis que ces changements sont causés par l'hyperactivité de la glande surrénale (Siegel, 1995). Les hormones de stress, telles que les corticostérones, induisent une néoglucogenèse à partir de précurseurs non glucidiques comme le lactate, les acides aminés et le glycérol (Linne et Ringsrud, 1999) accentuant ainsi, le catabolisme lipidique et protidique. Pearce (2011) a rapporté une augmentation des concentrations des acides gras non estérifiés circulants, par augmentation de lipolyse induite par l'épinéphrine.

Par ailleurs, dans des conditions de stress, l'oxydation des LDL est considérée aussi comme un des principaux mécanismes provoquant des perturbations lipidiques tels l'hypertriglycéridémie (Douillet et al., 1998; Wu et al., 1998 ; Devaraj et Jialal, 2000), l'hypercholestérolémie (Chen et al., 1997) et des changements dans la distribution des acides gras (Douillet et al., 1998) dans des conditions de stress.

Lors d'une exposition des poulets aux fortes chaleurs ambiantes, les concentrations moyennes des protéines totales, de l'albumine et des globulines plasmatiques sont généralement réduites (Habeeb et al., 1993 ; Zhou et al., 1998 ; Hassan, 1999 ; Kalamah, 2001 ; Khan et al., 2002 ; Attia et al., 2017). Ainsi, les niveaux réduits de protéines sériques totales, l'augmentation des taux de créatinine, d'urée et d'acide urique ont également été attribués au rôle protéolytique de la corticostérone (Kataria et al., 2008). En revanche, l'exposition chronique au stress thermique diminue les niveaux de la plupart des acides aminés libres du plasma, en particulier les acides aminés soufrés. Ces réductions peuvent être expliquées par une diminution de la synthèse protéique (Hamoud et al., 1993 ; Zhou et al., 1998).

III.3. Impact de la chaleur au niveau cellulaire

III.3.1. Protéines du choc thermique

Les cellules vivantes possèdent un système d'adaptation au stress environnemental. Ainsi, lors de fortes températures ambiantes, les cellules stressées réagissent de façon stéréotypée : elles suspendent leur métabolisme normal, pour se concentrer sur la production d'un groupe de protéines connues sous le nom de protéines de stress ou protéines du choc thermique «Heat Shock Proteins : HSP » (Lindquist, 1988 ; Etches et al., 1995 ; Al-Aqil et Zulkifli, 2009). Ces polypeptides furent découverts en 1962 par le chercheur italien Ferrucio Ritossa. Dans un premier temps, un rôle protecteur intervenant dans la thermotolérance leur a été attribué, puis par la suite, il apparut que la synthèse de ces protéines était également induite par toute une série de facteurs pouvant compromettre la survie cellulaire telle que l'exposition à des métaux lourds ou à d'autres agents chimiques comme l'ozone et les radicaux libres à l'hypoxie, l'anoxie, le manque de glucose ou les infections. En condition de chaleur, les structures des protéines cellulaires sont altérées, perturbant ainsi le métabolisme cellulaire et entrainant une toxicité. Les fonctions principales des HSPs consistent à protéger les cellules stressées et d'éviter que les protéines ne soient dénaturées par le stress. Elles fonctionnent comme un chaperon moléculaire en se liant à d'autres protéines cellulaires, aident au transport des protéines à travers les membranes et à leurs translocation dans les organites intracellulaires, stabilisent la protéine dénaturante, replient et dénaturent les protéines de façon réversible et facilitent la dégradation et l'élimination de la protéine dénaturée de façon irréversible (Chirico et al., 1988 ; Gething et Sambrook, 1992 ; Gabai et al., 1997 ; Etches et al., 1995 ; Hart, 1996 ; Soleimani et al., 2012). De plus, un effet neuroprotecteur leur a été contribué.

L'exposition d'une cellule à un choc thermique induit trois étapes successives : la première étape, dite d'altération, conduit à la dénaturation des protéines ayant pour conséquence la perte de leur fonction et la formation d'agrégats protéiques insolubles (Nguyen et al., 1989). La seconde étape, la réponse au choc thermique, se caractérise par l'activation transcriptionnelle des gènes hsp aboutissant à la synthèse des HSPs. Enfin la phase de récupération durant laquelle les altérations morphologiques sont corrigées. Les protéines retrouvent alors des activités similaires à leurs valeurs initiales. L'activation des gènes hsp est alors interrompue et les HSPs retrouvent leur niveau basal d'expression.

En général, les HSPs sont regroupées en six grandes familles en fonction de leur poids moléculaire : une famille de faible poids moléculaire (small HSPs ou sHSPs : entre 15 et 30 kDa) et les familles : HSP47, HSP60, HSP70, HSP90 et HSP110.

Ainsi, les travaux *in vivo* et *in vitro* réalisés sur plusieurs espèces aviaires (poulet, dinde, caille et canards) ont révélé l'expression de trois grandes familles d'HSPs (HSP23, HSP70 et HSP90) (Miller et Qureshi 1992 ; Wang et Edens, 1993 ; Bao et al., 2004; Sun et al., 2007 ; Hao et al.,2012 ; Jaiswal et al., 2017). Leur expression peut être détectée après 60 minutes d'exposition aux fortes chaleurs et peut durer de 3 à 5 jours (Kregel, 2002).

III.3.2.Stress oxydatif

Plusieurs travaux de recherches indiquent l'implication du stress thermique dans l'induction d'un état de stress oxydatif (Altan et al., 2003 ; Sahin et al., 2003 ; Mujahid et al., 2005 ; Lin et al., 2006a ; Mujahid et al., 2011 ; Ganaie et al., 2013 ; Akbarian et al., 2016). Ce dernier est un état caractérisé par un déséquilibre entre la production des espèces réactives de l'oxygène et les capacités antioxydantes de l'organisme (enzymes antioxydantes et systèmes antioxydants non enzymatiques) (Halliwell et al., 2004). Le stress oxydatif se traduit par l'accumulation de produits d'oxydation des biomolécules (lipides, protéines, acides nucléiques : ADN et ARN) au niveau plasmatique et au niveau cellulaire (Davies, 1995) telles que les espèces réactives de l'oxygène, de l'azote et du chlore qui sont décrits comme potentiellement toxiques (Halliwell et al., 2004). Ces phénomènes contribuent au développement de plusieurs dysfonctionnements métaboliques qui peuvent entraîner des destructions tissulaires et provoquer des lésions au niveau des structures des cellules entrainant la mort cellulaire (Bernabucci et al., 2002; Lord-Fontaine et Averill-Bates, 2002 ; Halliwell et al., 2004). En outre, le stress oxydatif peut rompre l'homéostasie redox en modifiant l'équilibre redox ou l'équilibre de la balance antioxydants/pro-oxydants de plusieurs couples redox cellulaires (par ex. glutathion réduit (GSH) et disulfure de glutathion (GSSG) et thiorédoxine réduite et oxydée) entrainant une altération de l'expression des enzymes clés dans la désintoxication, la défense antioxydante, les transitions cellulaires et les réponses inflammatoires (Ganaie et al., 2013).

Généralement, pour contrôler la production des espèces réactives, les cellules développent des systèmes de défense qui utilisent à la fois des composés non enzymatiques à faible poids moléculaire tel que la vitamine C et l'acide urique et des composés enzymatiques à fort poids moléculaire tels que la superoxyde dismutase (SOD), le glutathion peroxydase (GSH-Px) et

l'arylestérase qui limitent le taux et la progression de l'oxydation et protègent ainsi les cellules contre les dommages oxydatifs.

Les résultats de nombreux travaux mesurant l'effet du stress thermique aigu et chronique sur le statut oxydatif du poulet de chair sont récapitulés dans le tableau 3 : Des niveaux élevés de produits de la peroxydation lipidique (oxydation des lipides polyinsaturés) tels que les aldéhydes (par exemple le malondialdéhyde ou MDA) et les isoprostanes, ainsi que les protéines carbonylées dans le sérum, le plasma et les tissus sont considérés comme des indicateurs biologiques du stress oxydant.

L'augmentation du taux du MDA varie avec le type de stress thermique. Ainsi, une exposition aigue des poulets âgés de 30 jours pendant 5 h à 40°C (Wang et al., 2009) révèle une augmentation de 4 fois le taux normal des MDA, tandis qu'une exposition chronique des poulets âgés de 14 jours pendant 2 semaines à une température cyclique de 24/32 -24 °C sur une durée de 8 heures par jour (Toyomizu et al., 2010) augmente les MDA de 1,2 à 1,5 fois le taux normal.

De même, une variation des réactions antioxydantes enzymatiques et non enzymatiques est généralement observée selon l'intensité et la durée du stress thermique. Cependant, après un stress thermique aigu, l'activité des enzymes antioxydantes (CAT, GSH-Px et SOD) est fortement augmentée pour protéger les cellules contre la production excessive du superoxyde. Par contre, une grande variabilité des résultats est rapportée en conditions de stress thermique chronique. Pamok et al. (2009) ont rapporté que l'exposition de poulets de chair pendant 21 jours à une température ambiante constante de 38°C entraîne une augmentation de l'activité du GSH-Px dans les érythrocytes, tandis que Seven et al. (2009) ont observé une diminution de l'activité de cette même enzyme dans le sang, le foie, les reins et le cœur des poulets de chair exposés à 34°C pendant 41 jours. L'activité des divers enzymes antioxydantes reste néanmoins dépendante en grande partie des conditions d'ambiances appliquées mais dépendent aussi de l'espèce animale et des tissus concernés.

Cependant, une activité réduite des SOD hépatique a été révélée chez des cailles exposées au chaud (Sahin et al., 2010). D'autres part, plusieurs auteurs ont enregistré de faibles concentrations des composants antioxydants non enzymatiques (endogènes) tels que le glutathion, la vitamine C, E, A et les cofacteurs Zn, Mn, Cu, Se dans les tissus des poulets de chair et des cailles japonaises soumis aux fortes chaleurs chroniques (Sahin et al., 2003 ; Kumaret al., 2011; Pandey et al., 2012). Ceci traduit un épuisement de ces composants du

système antioxydant qui peut être expliqué par leur rôle piégeurs des radicaux libres pour assurer une concentration des ROS équilibrée. Ainsi lors d'un stress thermique chronique, un renforcement de ce système par voie externe semble être nécessaire (Ajakaiye et al., 2011 ; Harrison, 2013).

Tableau 3a : Effet du stress thermique chronique cyclique et constant sur le statut oxydatif du poulet de chair en fin de période de finition (Akbarian et al., 2014)

Lignée et caractéristiques de l'exposition	**Effets Physiologiques**	**Références**
	Stress thermique chronique cyclique	
Arbor Acres **T_a°C :** Témoin : 22°C STC : 28/34-28°C **Période d'exposition :** De j 39 à j49	**Mitochondries du foie:** ↑Production de H_2O_2 **Foie, Filet:** ↑MDA	Feng et *al*. 2008
Ross **T_a(°C) :** Témoin : 24°C STC : 32-24°C **Période d'exposition** De j 14 à j28	**Muscle *Pectoralis superficialis*:** ↓activité 3HADH; ↑MDA; ↑ARNr avUCP.	Azad et *al*. 2010b
Hubbard **T_a(°C)** : Témoin : 26.7°C, (RH=65±5%) STC : 35°C (8h/j) (RH=75±5%) **Période d'exposition**: De j 22 à j42	**Sérum:** ↑ oxidants totaux (équivalent de µm d'H_2O_2/L) des antioxidants totaux (équivalent de m*M* de vitamin C/L), ceruloplasmine ; ↓ paraoxonase et arylestérase	Sohail et *al*. 2011
Femelles du Xuefeng black-bone (poulet noir) **T_a(°C)** : Témoin : 24°C STC : 37-24°C **Période d'exposition** De j 42 à 57j.	**Sérum :** ↑MDA; ↓ de l'activité des GSH, GSH-Px, SOD et CAT. **Bourse de Fabricius :** ↑du taux ARNm HSP27, HSP70 et HSP90. **Thymus**: ↓ ARNm HSP27 et HSP90; ↑ ARNm HSP70. **Rate**: ↑ ARNm HSP27, HSP70 et HSP90.	Liu et *al*. 2014

Tableau 3b : Effet du stress thermique chronique cyclique et constant sur le statut oxydatif du poulet de chair en fin de période de finition (Akbarian et al., 2014)

Lignée et caractéristiques de l'exposition	Effets Physiologiques	Références
	Stress thermique chronique constant	
ISA 15 **T_a(°C)** : Témoin : 22°C STC : 32°C **Période d'exposition** De j28 à j38	**Muscle de la cuisse:** ↑ARNr UCP	Dridi et *al*. 2008
Poulet de chair **T_a(°C)** : Témoin : 26±2°C CHS : 38±2°C **Période d'exposition** De j 28 à j 49	**Serum:** ↑ MDA à j 1, 4, 7, 11 **RBC:** ↑ activité GSH-Px à j 1, 4, 7, 11	Pamok et *al*. 2009
Ross **T_a(°C)** : Témoin : 21°C STC : 34°C **Période d'exposition:** De j0 à j42	**Plasma :** ↑ MDA, ↑activité SOD et CAT ; ↓ activité GSH-Px **Foie :** ↑MDA, GSH et activité CAT ; ↓ activité GSH-Px **Muscle:** ↑ MDA, GSH **Rein :** ↑ GSH et activité CAT ; ↓ activité GSH-Px. **Cœur :** ↑ GSH et activité CAT; ↓ activité GSH-Px.	Seven et *al*. 2009
Ross (mâles) **T_a(°C)** : Témoin : ↓ de 25,5 à 18°C STC : 32°C **Période d'exposition :** De j14 à 42 j.	**Plasma:** ↑ acide urique après 2 et 4 semaines d'exposition **Foie :** ↑GSH total et GSSG;	Willemsen et *al*. 2011

MDA : malondialdehyde; RH: Humidité relative; CAT: Catalase; SOD: Superoxide Dismutase; GSH, Glutathion; GSH-Px: Glutathion Peroxidase; GR: Glutathion Reductase; H_2O_2, Péroxyde d'hydrogène ; 3HADH, 3-hydroxylacyl CoA dehydrogénase; avUCP: Protéines découplantes aviaries; GSSG, glutathion disulfide; HSP, Proteines du choc thermique.

III.3.3. Protéines de découplage mitochondrial aviaire (avUCP)

Le stress thermique réduit la production cellulaire des protéines de découplage mitochondrial aviaire (avUCP : avian Uncoupled Protein) qui jouent un rôle important dans la thermogénèse et le contrôle de la production des espèces réactives d'oxygène (ROS). La réduction de la production de l'avUCP au chaud est considérée comme une principale cause de la surproduction des espèces d'oxygènes réactifs (ROS) induite par la stimulation de la capacité d'oxydation métabolique dans les mitochondries. En effet, une exposition aigue au chaud réduit l'expression de l'ARNm de l'avUCP et le taux de protéine dans les mitochondries du muscle squelettique (Mujahid et al., 2006 ;Mujahid et al., 2007, Del Vesco et al., 2013). Au contraire, les conditions d'ambiance chaude chronique entrainent une augmentation de la synthèse des UCP dans le but de réduire la production de ROS. Ainsi, l'action stimulatrice du stress thermique chronique constant ou cyclique sur la production de l'avUCP est révélée par une augmentation de 70 à 100% du taux en transcrits des avUCP au niveau des mitochondries des muscles pectoraux superficiels (Dridi et al., 2009; Toyomizu et al., 2010).

IV. Impact de la chaleur sur le profil hormonal du poulet

Les fortes températures environnementales modifient l'activité du système neuroendocrinien de la volaille (HaitooK, 2006 ; Lara et Rostagno, 2013), entraînant l'activation de l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HPA) et l'élévation des concentrations plasmatiques des corticostérones (Puvadolpirod et Thaxton, 2000 ; Sahin et al., 2002 ; Eutamene et Bueno, 2007 ; Star et al., 2008 ; Skomorucha et al., 2010) de l'ACTH (Aguilera, 1996). La température corporelle et l'activité métabolique des poulets sont régulées par les hormones thyroïdiennes, la triiodothyronine (T3) et la thyroxine (T4) et par leur équilibre. La plupart des auteurs s'accordent à dire que les concentrations de T3 diminuent en ambiance chaude (Geraert et al., 1996 ; Star et al., 2008 ; Elnagar et al., 2010 ; Mack et al., 2013), par contre, la revue bibliographique révèle une grande variation des résultats relatifs aux modifications des concentrations de T4 par la chaleur ambiante, rapportant ainsi, une diminution (Bobek et al., 1980), une augmentation (Williamson et al., 1985 **;** Cogburn et Freeman, 1987 ; Elnagar et al., 2010) et/ou parfois aucune modification (Mitchell et Carlisle, 1992 ; Mack et al., 2013). En raison de l'implication des hormones thyroïdiennes dans la régulation du bilan énergétique et du processus thermogénique, leur diminution ou absence dans la circulation sanguine améliore la durée de survie des oiseaux exposés à la chaleur (Bowen et al., 1984). Un niveau

plasmatique élevé de l'hormone de croissance (GH) a été signalé chez le poulet soumis à un stress thermique. Cette élévation des concentrations de GH semble avoir un rôle dans la mobilisation des acides gras, puisque la GH est une hormone lipolytique majeure chez les oiseaux (Johnet et al., 1973). Ce qui conduit à un détournement du métabolisme, permettant de fournir des substrats énergétiques pour le métabolisme musculaire, qui contribuerait à soutenir l'activité musculaire, liée à l'hyperventilation pendant l'exposition à la chaleur.

Par ailleurs, chez l'espèce aviaire, l'argénine-vasotocine (AVT) est une hormone neuro-hypophysaire, antidiurétique, considérée parmi les principales hormones activées durant le stress thermique (Wang et al., 1989). Elle est sécrétée par la glande pituitaire postérieure, et activée par l'état de déshydratation des poulets (Arad et al., 1985 ; Etches et al., 2008). Elle stimule la réabsorption de l'eau par les reins dans le plasma et permet également la disponibilité accrue d'acides gras libres, nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques supplémentaires des muscles respiratoires lors du halètement. Ainsi, dans une étude menée sur des canards, un stress thermique aigu de 40°C pendant 3h a entrainé une augmentation de la température corporelle (+1.5°C), des taux circulant de l'AVT (+2pg/ml) et du niveau de l'hyperventilation (+ 5 fois) des animaux (Gray et Maloney, 1997).

V. Impact de la chaleur sur la production et la croissance du poulet de chair

Les effets négatifs du stress thermique sur la production du poulet de chair ont été largement étudiés (Géraert et al., 1996 ; Mashaly et al., 2004 ; Khan et al., 2012 ; Renaudeau et al., 2012). Ainsi, la chute inévitable de la productivité est généralement observée par un ralentissement de la croissance, une diminution du rendement de la carcasse en viande, une altération de la qualité de la viande, et une augmentation de la mortalité (Yalcin, 2001 ; Toyomizu et al., 2005 ;Attia et al., 2011 ; Ghazi et al., 2012 ; Lara et Rostagno, 2013 ; Attia et al., 2017). Cette réduction du rendement en viande au chaud est généralement le résultat d'une baisse de la consommation alimentaire par le poulet dans le but de minimiser la production de chaleur métabolique pour permettre le maintien de l'homéothermie (Ferket and Gernat, 2006). Ainsi, dans une étude menée sur le poulet de chair élevé au chaud, une baisse de 63% du taux de croissance était attribuée à la réduction de l'ingéré alimentaire (Abu-Dieyeh, 2006a). Aussi, un faible apport alimentaire signifie moins de nutriments disponibles pour la croissance et le développement musculaire. De même, Yalcin et ses collaborateurs (2001) ont constaté une réduction de 23% du poids corporel des poulets exposés aux fortes températures suite à une

réduction de 15% de leur ingéré alimentaire. Par ailleurs, la réduction de l'apport en nutriments associée à la réduction du rendement en viande du poulet soumis à une ambiance chaude peuvent être dues aussi à une faible digestibilité des aliments et à une augmentation de la perméabilité intestinale (iléon) aux protéines. Le tableau 4 récapitule les résultats de nombreux travaux mesurant l'effet de l'élévation de la température ambiante (aigue ou chronique ; constante ou cyclique) sur la consommation d'aliments, le gain de poids et l'indice de conversion alimentaire des poulets de chair.

Par ailleurs, l'exposition aux fortes chaleurs altère la composition de la carcasse en modifiant la proportion de ses différentes parties à savoir, une diminution du pourcentage des muscles pectoraux (Tankson et al., 2001 ; Imik et al., 2012 ; Zhang et al., 2012 ; Zeferino et al., 2016), une augmentation du pourcentage de gras abdominal (Ain-Baziz et al., 1996, Lu et al., 2007 ; Zhang et al., 2012), ainsi qu'une modification de la proportion des viscères (Oliveira et al., 2006a ; Zhang et al., 2012 ; Zeferino et al., 2016). La baisse du développement des muscles de la poitrine peut être en partie expliquée par la prédominance des fibres musculaires blanches glycolytiques à contraction rapide (McKee, 2003). Ces fibres sont très riches en ATP et leur métabolisme ainsi que leur hypertrophie nécessitent un apport important en glycogène. Or, dans les conditions d'ambiance chaude, la baisse de l'ingéré alimentaire réduit l'apport en glycogène, réduisant ainsi la synthèse protéique dans ces muscles pectoraux (Temim, 2000 ; Zhang et al., 2012).

D'autre part, la qualité de la viande des poulets est également compromise par la chaleur. En effet, lorsque le poulet est élevé en ambiance chaude, l'aspect et la texture de la viande, qui représentent les deux principaux indicateurs de la qualité, sont généralement affectés (Imik et al., 2012). De nombreuses études ont montré que le stress thermique augmente les cas de viande de type PSE (pâle, soft et exsudative), entraine un épuisement rapide des réserves glycogéniques des viandes, une dénaturation rapide des protéines des viandes, une diminution du pH de la viande (Sandercock et al., 2001 ; Debut et al., 2003), une diminution des capacités de conservation de la viande à l'état cru et une baisse de la tendreté de la viande (Zhang et al., 2012).

De plus, d'importantes pertes de production sont engendrées par les fortes mortalités liées généralement aux coups de chaleurs, surtout quand ils surviennent pendant la phase de finition où le poulet est plus susceptible, en raison de sa plus grande masse corporelle. Des

taux de mortalité variant de 41 à 61 % ont été rapportés en fonction de l'état physiologique de l'animal (âge, sexe et race) (Gous et Morris, 2005 ; Hailook, 2006 ; Lu et al., 2007).

Tableau 4. l'effet de l'élévation de la température ambiante sur la consommation d'aliments, le gain de poids et l'indice de conversion alimentaire des poulets de chair (Synthèse personnelle)

Type de stress NT/ST (°C)	Période d'application (Jours)	Période de mesure (jours)	% de variation des paramètres de croissance			Auteurs
Température ambiante constante						
			Gain de poids	**Ingéré alimentaire**	**Indice de conversion**	
25/35	25-42	1-42	-11,3*	-9*	+6*	Attia et al., 2017
21/32	21-34	21-42	-11,3*	-0,28	+13,2*	Abdelqader et al. Fataftah,2016
25/32	28-42	28-42	-32,4	-20,2	+16	Zefirino et al.,2016
24/32	21-35	21-35	-4,5*	+2,8	+8,02*	Najafi et al., 2015
26/35	1-42	1-42	-32,6*	-16,4*	+25,6*	Sohail et al., 2012
22/32	22-32	1-42	-36	-26	+16	Faria Filho et al., 2007
25/30	28-56	28-56				Al fataftah et al., 2007
25/35	28-56	28-56				Al fataftah et al., 2007
25/35	28-56	1-56	23,7*	-11*	+21,5*	Abu-Dieyeh, 2006
Température ambiante cyclique						
23,9/23,9-38	21-42	1-42		-13*	+13,3*	Niu et al., 2009 Laganá et al 2007
21-25/31-33	22-45	1-42	-28,7	-16,6	+18,3	Guerreiro et al., 2004
25/15-35			-32	-26	+10	Yahav et al., 1995
24/24-35			-6	-7	-1,5	Stilborn, 1988

Chapitre II. Stratégies de lutte contre les effets néfastes du stress thermique

Différentes stratégies d'ordre génétique (croisement avec des poulets sélectionnés pour un génotype thermotolérant), technique (mise à jeun partielle, acclimatation…) ou nutritionnel (alimentation alternée, supplémentation en additifs, réajustement de la composition de la ration…) peuvent être mises en place pour améliorer la tolérance des oiseaux à des variations de conditions thermiques. Un moyen pour améliorer la tolérance à la chaleur des poulets de chair sans nuire à leurs performances de croissance est l'acclimatation périnatale à la chaleur.

I. Solution technique : L'acclimatation Précoce

I.1. Principe et caractéristiques de l'acclimatation précoce

C'est une technique qui consiste à acclimater le poulet au jeune âge par une exposition postnatale des poussins à la chaleur pour limiter l'élévation de leur température interne lors d'un coup de chaleur ultérieur (Yahav et McMurtry, 2001 ;De Basilio, 2002). Certains auteurs qualifient cette réponse de l'organisme animal par une adaptation épigénique (Nichelmann et al., 1999; Tzschentke et al., 2001), définie comme des changements non génétiques survenant au cours de courtes phases critiques du développement de la thermorégulation durant l'ontogenèse post-natale, modifiant ainsi, l'expression des gènes sans altération de la séquence nucléotide de l'ADN (Jablonka et al., 2009) et permettant une adaptation durable à de nouvelles températures ambiantes (de Kloet et al., 2005; Leventopoulos et al., 2007, Yossifoff et al., 2008 ; Kisliouk et Meiri, 2009 ; Kisliouk et al., 2010 ; Soleimani et al., 2011). En effet, Soleimani et al. (2011) ont rapporté que la réponse épigénétique a été modulée avec succès par la manipulation thermique précoce.

Plusieurs études ont testé l'efficacité des différentes conditions de l'exposition précoce des poussins à la chaleur en examinant leurs conséquences sur la thermotolérance du poulet, mais également sur d'autres paramètres (Arjona et al., 1988; Yahav et Hurwitz, 1996; Zhou et al., 1997; Yahav et Plavnik1,999 ; Yahav et al., 2004 ; Collin et al., 2005, 2007).

Cependant, la plupart des travaux avait pour objet d'évaluer les conditions dans lesquelles les seuils de thermotolérance des poussins pouvaient être manipulés, sans pour autant avoir des effets néfastes sur leur survie et leur croissance.

Plusieurs critères ont ainsi été considérés :

I.1.1. L'âge

Pour que l'acclimatation postnatale soit efficace, l'exposition précoce à la chaleur doit coïncider avec le moment où les mécanismes régissant la thermorégulation sont encore immatures (Dunnington et Siegel, 1984; Arad et Itsaki-Glucklich, 1991; Whittow et Tazawa, 1991; Modrey et Nichelmann, 1992).

Ainsi, l'analyse des données bibliographiques révèle que les poulets sont généralement acclimatés à leur première semaine d'âge (de 1 à 7 j), durant laquelle, le système thermorégulateur neuroendocrinien est encore plastique, notamment la thermosensibilité des neurones de l'aire pré-optique de l'hypothalamus antérieur (Tzschentke, 2007). Ceci contribuerait à la modification à long terme de la température de référence (Figure 3) et donc des seuils de réponse de l'animal (flux de chaleur, comportement…).

Cependant, dans la plupart des travaux, le choix de l'âge du conditionnement thermique précoce, est basé sur les premières expériences d'acclimatation réalisées par Arjona et al. (1988) sur des poussins âgés de 5 jours (Yahav et Hurwitz, 2001 ; De Basilio et al., 2003, Temim et al., 2009 ; Toplu et al., 2014). D'autres auteurs ont testé l'efficacité de cette technique sur des poussins à différents âges : de 1 à 5j (Yahav et Mc Murtry, 2001) ; de 1 à 3j) (Eltantawy et al., 1998) ; à 3 et à 5j (Abdel-Mutaal et al., 2003) .

I.1.2.Température de l'exposition thermique

La température d'exposition utilisée, varie selon les auteurs de 36 à 40°C, dans la plupart des expériences. La grande part de la variabilité des résultats obtenus par les différents protocoles est généralement attribuée à la variation des valeurs de ce paramètre d'ambiance qui est un facteur déterminant de l'efficacité du conditionnement thermique précoce du poulet de chair. De plus une étroite relation a été mise en évidence entre l'âge des poussins et la température d'acclimatation appliquée. Ainsi, pour une meilleure efficacité, la température d'exposition doit être augmentée au fur et à mesure que l'âge des poussins à acclimater augmente de 1 à 7 jours (De Basilio et al., 2003).

Certains travaux ont pris en considération la mesure de l'humidité relative au cours de l'application du conditionnement thermique. De faibles valeurs qui ont atteint parfois 40% sont enregistrées. Ces faibles teneurs sont généralement dues à l'utilisation des radiant à gaz et des lampes à infrarouges qui ont tendance à assécher l'air.

I.1.3. Durée du traitement thermique

La durée d'exposition la plus généralement testée est de 24 h. Néanmoins, d'autres études ont également testé des durées de 1, 3, 4, 6 et 12 heures d'exposition qui ont révélé des effets variables sur la température interne du poussin à court et long terme. Les résultats de De Basilio et al.(2003) ont montré qu'une exposition de 12 heures à une température de 40°C au $5^{ème}$ jour d'âge des poussins ne modulait pas à long terme la tolérance à la chaleur, par contre, une exposition de 24h à une même température ambiante et à un même âge des poussins réduisait l'hyperthermie des poulets exposés à un stress thermique tardive.

Pareillement, les résultats d'une étude plus récente, dans laquelle plusieurs durées d'expositions (3, 6, 12 ou 24 heures) à une température ambiante de 38°C au $4^{ème}$ jour d'âge de poulet soumis à un stress thermique, ont révélé que la durée du conditionnement thermique la plus appropriée, qui donne les meilleurs taux de croissance et la meilleure thermotolérance, se situe entre 12 et 24h (Marandure et al., 2011) (**Figure 6**).

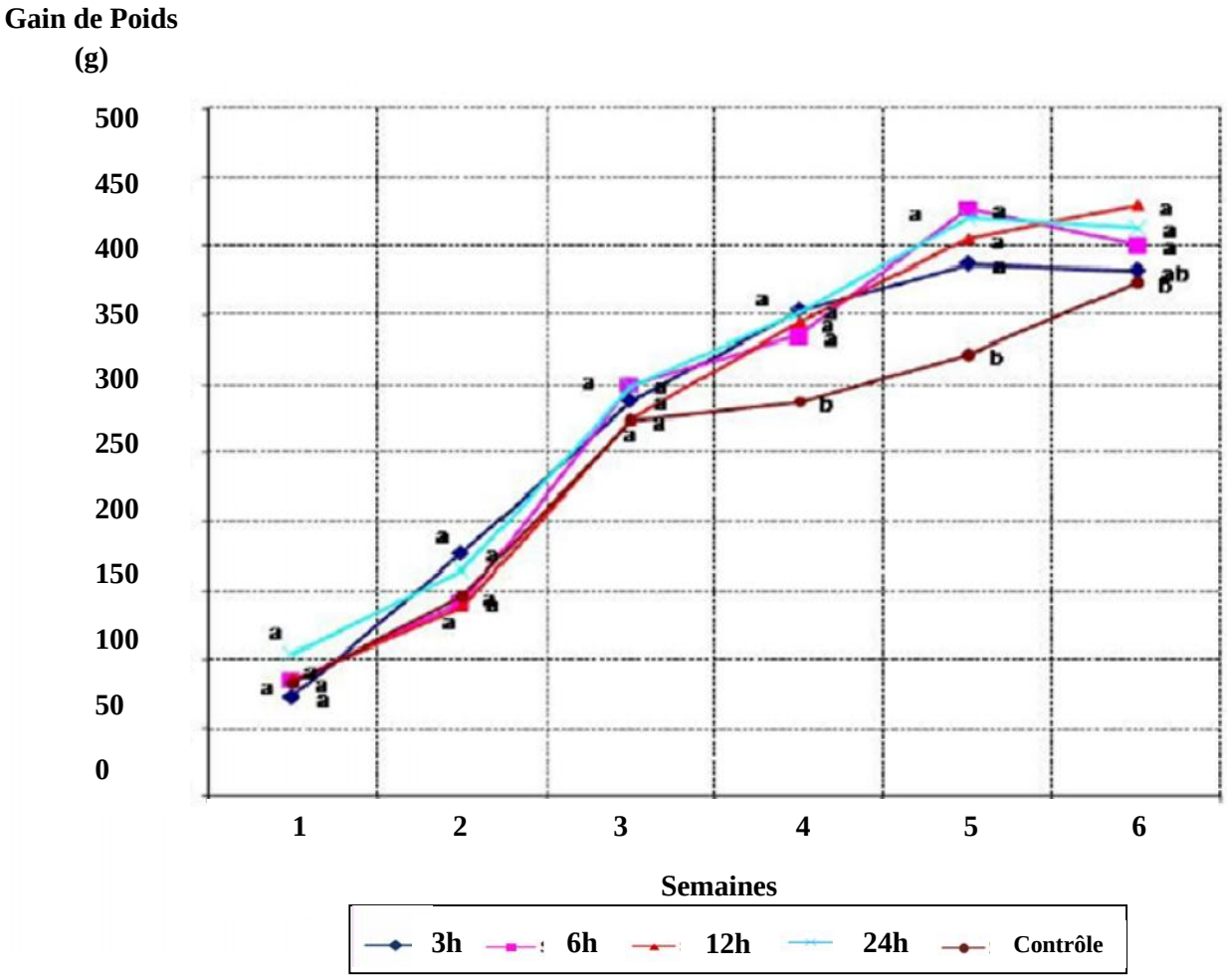


Figure 6. Evaluation de différentes durées d'exposition thermique des poussins pour une meilleure acquisition de la thermotolérance (Marandure et al., 2011).

I.2. Impact de l'acclimatation précoce sur la production et la croissance du poulet au chaud

La mise en place des différentes conditions d'application de la technique d'acclamation précoce à la première semaine d'âge des poussins a surtout pris en considération l'amélioration de la thermotolérance des poulets à l'âge d'abattage lors d'un stress thermique aigu (Hillman et al., 1985). Cependant, pour que cette technique puisse être applicable, elle doit préserver les performances de production du poulet (Collin et al., 2011).

I.2.1. Impact sur la croissance

L'acclimatation postnatale à la chaleur ne semble pas nuire aux performances zootechniques des poulets à l'âge d'abattage. Ainsi, les expositions des poussins aux fortes températures pendant 24 heures à la première semaine d'âges emblent retarder la croissance initiale en réduisant l'ingéré alimentaire et le gain de poids à la première semaine (Zaboli et al., 2017). Cette altération de la croissance est rapidement suivi d'une phase de compensation avec une récupération complète du gain de poids perdu qui semble même aboutir au 42ème jour à un poids corporel plus élevé que les sujets non acclimatés (Yahav et Hurwitz, 1996 ; Abdel-Mutaal, 2003 ; Temim et al., 2009 ; Zaboli et al., 2017). L'augmentation du poids final du poulet acclimaté coïncide généralement avec l'augmentation de l'ingéré alimentaire, 48 à 72 heures après le conditionnement thermique (De Basilio, 2003). Dans d'autres études, aucune reprise de gain de poids perdu n'est enregistrée entre le 7ème et le 42ème jour d'âge (Kouki et al., 2016). Par ailleurs, certains auteurs ont constaté que l'acclimatation précoce n'entraînait aucune différence de poids corporel entre les sujets acclimatés et non acclimatés (Dawoud, 1998 et Yahav et Plavnik, 1999).

I.2.2. Impact sur la qualité de la carcasse

La qualité et la composition de la carcasse ne sont pas détériorées par l'acclimatation précoce, mais au contraire, des améliorations ont été rapportées (El-Tantawy et al., 1998). En effet, Bedrani et al. (2009) ont signalé une augmentation de 4,3% du poids de la carcasse des poulets acclimatés au 5ème jour d'âge. Cependant, ces mêmes auteurs ont rapporté que cet effet bénéfique du conditionnement thermique précoce des poulets élevés au chaud pourrait varier selon le sexe. Les poulets acclimatés en période post-natale (37°C pendant 24h au 3ème j d'âge) tendent à avoir un poids de muscle pectoral plus important au 42ème jour d'élevage (Halevy et al., 2001). Pareillement, cette réponse a été enregistrée chez le poulet de chair acclimaté en fin d'embryogénèse. Ceci nous emmène à suivre l'hypothèse avancée par Piestun et al. (2011) qui ont suggéré que l'augmentation de la température pendant l'incubation influençait l'activité des myoblastes, modifiait leur processus de différentiation et augmentait le rendement du muscle pectoral en augmentant le nombre de fibres musculaire de ce muscle.

Une variabilité des résultats, relatifs à l'effet de la manipulation thermique à la première semaine d'âge sur l'adiposité abdominale des poulets élevés au chaud, est révélée par les différentes études. Ainsi, certains auteurs trouvent que le dépôt de gras au niveau abdominal est significativement réduit par cette technique, alors que d'autres travaux n'ont trouvé aucun effet du conditionnement thermique précoce sur les proportions de graisse abdominale.
Par ailleurs, la qualité technologique du filet (pH ultime, la couleur et la tendreté) du poulet élevé au chaud est significativement améliorée par le conditionnement thermique postnatal (Toplu et al., 2014).

I.2.3. Impact sur la mortalité

La plupart des travaux réalisés sur la manipulation thermique au cours de la première semaine d'âge des poussins ont révélé une meilleure acquisition de la thermotolérance. Cette dernière est généralement observée par la diminution du taux de mortalité des poulets de chair en phase de finition, suite aux élévations subites des températures ambiantes (Arjona et al.,1988 ; Khalifa et al., 2000 ; Yahav et McMurtry, 2001 ; De Basilio et al., 2003 ; Temim et al., 2009; Boudouma et al.,2010 ; Abougabal, 2015 ; Zaboli et al., 2017).
L'exposition postnatale des poussins âgés de 3 ou 5 jours aux températures de 37,5 à 38°C pendant 24h a réduit de moitié la mortalité des poulets de chair âgés de 42 jours et soumis à un coup de chaleur (Yahav et Mc Murty, 2001). Pareillement, dans une étude plus récente, l'acclimatation précoce (39°C à J5 pendant 24h) a réduit considérablement (-65%) les pertes de poulets de chair au cours d'un stress thermique chronique (Kouki et Bergaoui, 2016).
Ainsi, en fonction des différents protocoles d'acclimatation postnatale, appliqués et des différentes conditions de stress thermique auxquelles sont soumis les poulets, une variation de 2 à 65% de la réduction du taux de mortalité est enregistré (Smith et Ghee, 1990, De Basilio et al., 2001, Kouki et Bergaoui, 2016).
Cependant, très peu sont les études qui n'ont observé aucune amélioration du taux de survie des poulets acclimatés à la première semaine d'âge (May et al., 1987).

I.3. Impact de l'acclimatation précoce sur la physiologie du poulet au chaud

I.3.1. Impact sur la thermorégulation et la température corporelle

La stimulation précoce des mécanismes d'adaptation à la chaleur semble améliorer le développement du système de thermorégulation dès les 24 heures qui suivent la stimulation (De Basilio et al., 2003) jusqu'à la fin de la période d'élevage (DeBasilio et al., 2001).
Ainsi, la variation de la température corporelle est un bon indicateur de l'impact de l'acclimatation précoce sur l'amélioration de la capacité de survie des poulets élevés en conditions de stress thermique et de l'amélioration de leurs thermorésitance acquise (DeBasilio et al., 2003). En effet, les manipulations thermiques, de poussins âgés de 3 jours, entrainent une réduction significative de la production de chaleur, ainsi qu'une augmentation de la perte de chaleur sensible (**Figure 7**) des poulets exposés à un choc thermique aiguë à l'âge de la commercialisation. Ces réponses positives coïncident avec une baisse de la température corporelles (Yahav et Hurwitz, 1996 ; Yahav, 2000 ; Yahav et al., 2005).

Pareillement, cet impact positif du conditionnement thermique en période postnatale, sur les pertes de chaleur sensibles à long terme, a aussi été mis en évidence par l'amélioration des réponses vasomotrices du système sanguin périphérique (Yahav et al., 2009). De même, certaines études suggèrent aussi une amélioration de la perte de chaleur par évaporation suite à une acclimatation précoce. La fréquence respiratoire augmente de 50 inspirations par minute lors d'une exposition des poulets acclimatés (à j5) à une température de 33 °C au 57ème jour d'élevage (Zhou et al., 1997).

La réduction de la température interne, révélée dans la plupart des études sur l'acclimatation, varie de -0,13 à -1.3°C (De Basilio 2001 ; Kouki et Bergaoui 2016)

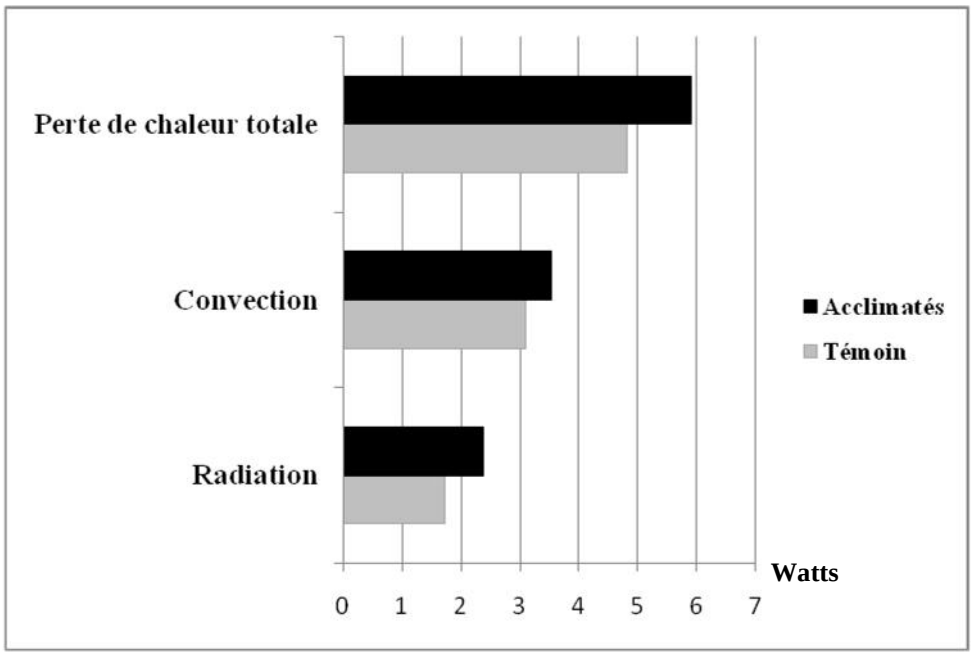


Figure 7. Effet de la manipulation thermique à l'âge de 3jours sur les pertes de chaleur sensibles du poulet de chair soumis à un stress thermique (35°C pendant 6 heures à l'âge de 42jours) (Yahav et al., 2005).

I.3.2. Impact sur les paramètres du sang

La réponse au stress thermique peut être aussi modulée par l'acclimatation thermique précoce des poussins, en modifiant la concentration de plusieurs paramètres sanguins, suggérant ainsi, des changements métaboliques, hémodynamiques, immunitaires, hormonaux, enzymatiques et autres (Yahav et al., 1997b). Les résultats obtenus dans la plupart des expériences révèlent une réduction de l'augmentation de l'hématocrite des sujets acclimatés (Tolba, 2000 ; Uni et al., 2001 ; Hassan et al., 2012). Cependant, aucun effet sur le nombre total d'érythrocytes et la concentration plasmatique en hémoglobine n'est observé par l'exposition de poussins âgés de 5 jours à une température de 40°C pendant 24h (Hassan et al., 2012). L'effet négatif des températures ambiantes chaudes sur le niveau des protéines, glucose, lipides et calcium plasmatique est largement réduit par la manipulation thermique des poussins (Rahimi ,2005 ; El-Tahway, et al., 2010 ; Requena et al., 2010 ; Toplu et al., 2014 ; Abougabel, 2015). Une augmentation des concentrations des protéines plasmatiques totales associée à une

augmentation du rapport Albumine/Globuline (Dawoud, 1998 ; El-Tahway, et al., 2010) suggèrent une amélioration du métabolisme protéique et de l'immunité humorale des poulets acclimatés (Zhang et al.,2012). De même, les espèces aviaires adaptés aux conditions de fortes chaleurs présentent des valeurs d'albumines sériques plus élevées (Wood et al., 1971 ; Ahmed, et al.,2000 ; Yousef et al., 2014). Ces derniers auteurs ont rapporté que les poulets acclimatés à la première semaine d'âge présentaient des concentrations d'albumine plasmatiques plus importantes (1,76 g/dl) que celles des poulets non acclimatés et soumis ou non à un stress thermique (1,01 et 1,74g/dl, respectivement). Cependant, suite à une exposition aux fortes températures à l'âge de 35j, ces sujets acclimatés présentent un plus faible taux de globuline (0,72g/dl) en le comparant au taux initial enregistré avant le choc thermique (1,15g/dl) et en le comparant aussi à la concentration d'albumine des poulets témoins non acclimatés (1,48g/dl).

Une meilleure utilisation cellulaire des réserves énergétiques et notamment hépatique, en condition de choc thermique, est généralement révélée par de plus faibles taux de glycémie et de triglycéridémie chez le poulet acclimaté à un âge précoce (Rahimi, 2005 ; Toplu et al., 2014).Cette réponse favorable sur la glycémie n'est pas observée à court terme et semble même varier avec la durée de la manipulation thermique (Requena et al., 2010;Attia et al.,2011). En effet, Tanizawa et al. (2014) n'ont enregistré aucun effet de l'acclimatation des poussins à l'âge de 6 jours (40°C pendant 3heures) sur la concentration du glucose plasmatique, lorsque ces derniers étaient exposés à un choc thermique (40°C pendant 15 min) à l'âge de 10 jours. Les modifications de la cholestérolémie lors d'exposition de poulets acclimatés à la chaleur ont suscité peu d'études. Les quelques données disponibles (Rahimi, 2005 ; Toplu et al., 2014 ; Abougabel, 2015) révèlent toutefois une variation des résultats. L'étude réalisée par Rahimi en (2005) a montré que les taux de cholestérol plasmatique des poulets acclimatés à j3 ou à j4 à une température de 38 ±1°C, pendant 48h ou 72h, restaient inchangés, à court (à 2 sem d'âge) et long termes (à 6 sem d'âge), par rapport aux sujets non acclimatés. Par ailleurs, deux études plus récentes rapportent une diminution significative de la cholestérolémie par l'acclamation précoce sous l'effet d'un stress thermiques chronique ou aigu (Toplu et al., 2014 ; Abougabel, 2015). Ces auteurs ont signalé aussi que le niveau plasmatique des lipoprotéines de classes LDL et HDL n'est pas modifié par le conditionnement thermique précoce (40-42°C pendant 4h à j7) des poulets de chair.
Les perturbations de l'homéostasie des électrolytes induite par l'alcalose respiratoire sous les conditions d'un stress thermique semblent être améliorées par la manipulation thermique

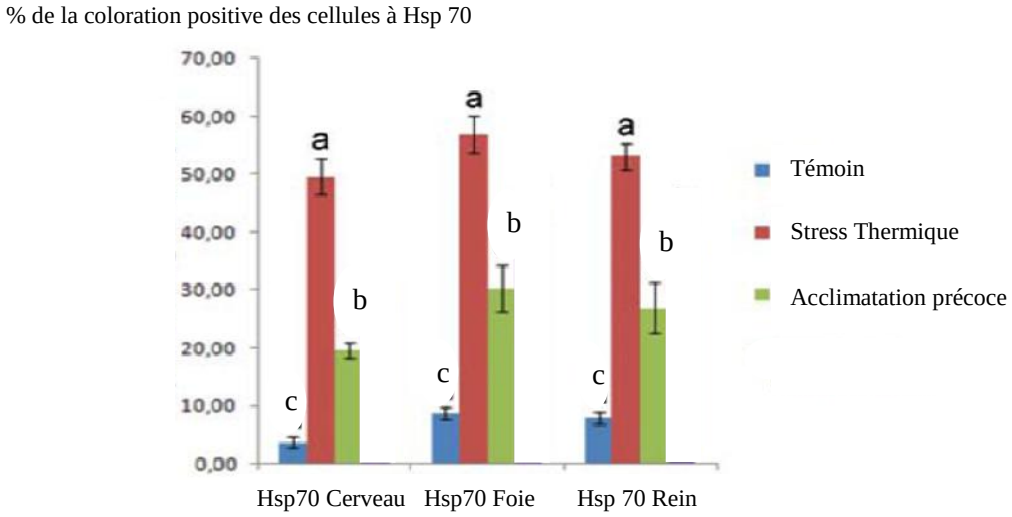
précoce. En effet, une meilleure réabsorption du sodium au niveau rénal est enregistrée lors de coup de chaleur subit par des poulets acclimatés à un âge précoce (De Basilio, 1999).
De même, une amélioration des concentrations sanguines en calcium (Rahimi, 2005), sodium et potassium (Abougabel, 2015) semble être induite par l'exposition du poussin à de fortes températures non létales à un âge précoce. Ainsi, le fonctionnement rénal, des oiseaux acclimatés et exposés au chaud, semble être amélioré (Wideman et al., 1991 ; El-Badry et al 2009). La présence des enzymes hépatiques, à savoir l'ALAT et l'ASAT au niveau sérique, est généralement synonyme d'un endommagement des tissus hépatiques et musculaires résultant le plus souvent d'un état de stress excessif (Vahdatpour et al., 2011). Cependant, la réduction des concentrations plasmatiques de ces enzymes hépatiques, chez le poulet acclimaté et soumis à un stress thermique en phase de finition, reflète un effet positif direct ou indirect de cette technique sur le bon fonctionnement du foie (Abougabal, 2015).

I.3.3. Impact au niveau cellulaire

L'exposition postnatale à la chaleur pourrait modifier, à long terme, la structure de la chromatine et/ou la méthylation de zones de l'ADN, impliquées dans la régulation de gènes importants pour la thermorégulation (Yossifoff et al., 2008). De même, Tanizawa et al. (2014) ont rapporté que le niveau d'expression des ARNm des gènes, en relation avec la thermorégulation, pouvait être aussi modulé par une courte durée d'exposition (3h) à des fortes températures (40°C) à l'âge de 6 jours et modifie à court terme (4 jours après acclimatation) la réponse des poulets à la chaleur. Les travaux menés par Taouis et al. (2002) ont montré que l'expression de l'ARNm de la protéine découplante aviaire (avUCP), potentiellement impliquée dans la production de chaleur et la limitation du stress oxydant, était fortement diminuée dans le muscle pectoral des poulets acclimatés à l'âge de 7j.

En outre, il a été montré que l'importance de la stimulation de thermotolérance est liée à l'expression des protéines de choc thermique(Hsp) (Solomon et al., 1991 ; Krebs et Bettencourt, 1999).L'expression de la Hsp 70 au niveau du cerveau, foie et reins des poulets exposés au stress thermique est significativement diminuée par le conditionnement thermique précoce (Toplu et al., 2014) (**Figure 8**). Une corrélation positive est mise en évidence entre le taux de synthèse des Hsp 70 et la température interne des poulet élevés au chaud (Gabriel et al., 1996 ; Whitehead et Keller, 2003). Par ailleurs, les résultats des travaux de Zulkifli et al.

(2003) ainsi que ceux de Liew et al. (2003) n'ont révélé aucun effet de l'acclimatation des poulets sur l'expression de l'Hsp70.



Des lettres différentes (a,b,c) sont attribuées aux valeurs statistiquement différentes ($p<0.05$), n = 10poulets par groupe

Figure 8. Effet du conditionnement thermique sur le taux d'Hsp 70 au niveau du cerveau, foie et rein des poulets de chair soumis à un stress thermique (Toplu et al., 2014)

I.3.4. Impact sur le profil hormonal

L'acclimatation postnatale à la chaleur aurait aussi pour conséquence la diminution des concentrations plasmatiques en corticostérone et en triiodothyronine T3, hormone thyroïdienne, qui régule la thermogenèse (Yahav et McMurtry 2001 ; Yahav et al., 2004, Toplu et al., 2014 ; Kouki et Bergaoui, 2016 ; Zaboli, 2017). En effet, le pic de corticostérone, généralement induit par un coup de chaleur en fin d'élevage, est moins élevé quand les poussins sont acclimatés au préalable (Yahav et al., 2004). Pareillement, dans une étude plus récente, la diminution de la concentration plasmatique des corticostérones est associée à une réduction de l'expression des gènes de la thyrotropin-releasing hormone (TRH) et à une baisse de la température interne, suite à une exposition des poulets à un coup de chaleur, après

seulement 4 jours de leurs conditionnement thermique (Tanizawa et al., 2014). Ceci, peut expliquer la réduction de l'activité thyroïdienne par l'acclimatation précoce chez le poulet de chair et ainsi, la diminution de sa thermogénèse (Arjona et al., 1990). D'autre part, Taouis et al. (2002) ont supposé que la diminution du taux circulant de T3 pouvait être due à une importante baisse (-85%) de l'expression des gènes de l'avUCP, impliqués dans la thermogénèse au niveau des tissus musculaire et adipeux.

I.3.5. Impact sur l'immunité et le développement de certains organes

Le rapport hétérophiles/ lymphocytes (H/L) représente un bon indicateur du niveau du stress. Ainsi, des valeurs de 0,2, 0,5 et 0,8 caractérisent respectivement, des niveaux de stress faibles, moyen et élevés (Gross et al., 1988). Dans des conditions de stress thermique chronique (35°C, 6h/j, de 21à 42j), l'acclimatation précoce des poussins à l'âge de 5 jours a nettement diminué l'état de stress des poulets de chair à l'âge de 42 j, en réduisant de -24% le rapport H/L (Toplu et al., 2014). De même, l'augmentation de ce rapport lors d'une exposition à un coup de chaleur est moins importante chez le poulet acclimaté à j5 par rapport aux témoins non acclimatés (Arjona et al., 1990). Cependant, Hassen et al. (2012) n'ont enregistré aucune différence significative de la valeur du ce rapport (Non acclimatés : 0,40 ; Acclimatés : 0,39) entre les poulets acclimatés et ceux non acclimatés, suite à une exposition à un stress thermique aigue, à l'âge de 42j. Ceci est probablement dû à la courte durée du coup de chaleur (2h) appliquée dans cette étude. De même, l'amélioration de la fonction immunitaire, par le conditionnement thermique précoce, semble être aussi révélée par un meilleur développement des organes lymphoïdes. Dans une étude menée sur des canard de barbarie, l'acclimatation précoce à l'âge de 3 jours (38°C à j3 pendant 24h) réduisait sensiblement l'effet négatif du stress thermique (42-43°C pendant 3j à raison de 4h/j), induit à la 9ème semaine d'âge en enregistrant un meilleurs poids relative de la rate, thymus et de la bourse de Fabricius (El-Badry et al., 2009). Ceci pourrait être en relation avec l'amélioration de l'efficacité de transformation de l'aliment, généralement associée à l'amélioration de l'utilisation digestive chez les animaux acclimatés (Uni et al., 1998). En effet, Temim et ses collaborateurs (2009) ont montré que le traitement thermique précoce modifie la morphométrie intestinale en augmentant les longueurs d'intestins ainsi que les hauteurs et volumes de villosités intestinales au niveau duodénal et iléal, reflétant ainsi, une amélioration de l'absorption des nutriments par l'acclimatation précoce.

II. Les Solutions Nutritionnelles

Pour réduire le stress thermique, l'approche nutritionnelle peut se révéler plus facile à adapter et plus rapide à mettre en œuvre que les solutions techniques qui sont souvent très lourdes à appliquer et demandent des investissements et des capitaux importants. Au cours de ces dernières années, diverses méthodes d'alimentation et stratégies nutritionnelles ont été proposées et testées expérimentalement pour lutter contre le stress thermique chez les volailles. Toutefois, l'adoption systématique de l'une d'entre elles n'est actuellement pas effectuée, compte tenu du manque de connaissances de leur mode d'action précis et de l'obtention de résultats mitigés et non reproductibles. Parmi ces solutions, l'utilisation des additifs alimentaires suscite un regain d'intérêt.

II.1. Les additifs alimentaires

Plusieurs produits utilisés comme additifs alimentaires sont actuellement disponibles sur le marché. Parmi ces nombreux produits proposés, les plus courants sont les probiotiques (microorganismes vivants) (Mountzouris et al., 2010), les prébiotiques (substrats pour la croissance de certaines bactéries du microbiote digestif et indigestible par l'animal hôte) (Patterson et Burkholder, 2003), les enzymes (Yang et al., 2009), les acides organiques acidifiants (Vieira et al., 2008), les additifs phytogènes (Hernández et al., 2004), et les huiles essentielles (Basmacioğlu-Malayoğlu et al., 2010).

Dans cette partie, seuls seront abordés, les propriétés générales ainsi que les effets bénéfiques de la supplémentation en acides organiques acidifiants et en additifs phytogènes chez le poulet exposé à la chaleur.

II.1.1. Les acides organiques

Les acides organiques font partie des divers additifs alimentaires pouvant être ajoutés soit à l'alimentation des animaux, soit à leur eau de boisson. Ils représentent un groupe d'acides gras à chaîne courte (composés de moins de sept atomes de carbone) possédant un ou plusieurs groupes carboxyles (R-COOH) comme groupe fonctionnel. Ainsi, ce sont des composés organiques qui présentent des propriétés acides. Parmi les acides organiques utilisés en alimentation animale, les acides gras à chaîne courte simple monocarboxyliques tels que, l'acide formique (C1), acétique (C2), propionique (C3) et butyrique (C4) ainsi que d'autres acides carboxyliques à groupe hydroxyle tels que, l'acide lactique, malique, tartrique, fumarique et citrique, sont les plus couramment utilisés chez les volailles en raison de leurs propriétés chimiques et physiques adaptables aux régimes alimentaires des volailles (Dibner

et Buttin, 2002). L'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique sont bien connus pour leur rôle dans le métabolisme énergétique, en particulier, l'acide acétique qui est présent sous la forme d'acétyl-coenzyme A dans les cellules et qui est essentiel pour la production d'ATP et la biosynthèse des acides gras à longue chaîne (Hamano et Kurimoto, 2016).

II.1.1.1. Mode d'action et propriétés métaboliques

Plusieurs études ont examiné les effets de la supplémentation alimentaire en acides organiques sur les performances du poulet de chair élevé dans des conditions de neutralité thermique (Dibner et Buttin, 2002 ; Ricke, 2003 ; Anjum et Chaudhry, 2010 ; Islam, 2012). Cependant, le mode d'action de ces acides organiques n'est pas encore bien élucidé. Plusieurs hypothèses sont émises dont la plupart d'entre-elles, associent leur mode d'action à une diminution du pH dans le tractus gastro-intestinal supérieur (jabot, proventricule et gésier) (Kim et al., 2005 ; Salgado-Tránsito et al., 2011).

D'une manière générale, de par leur effet acidifiant, les acides organiques agissent comme :**(i)** des régulateurs de la flore endogène en interférant avec le développement des bactéries indésirables (Afsharmanesh et Pourreza, 2005 ; Mroz, 2005) et en modifiant la flore intestinale. Ces effets inhibiteurs directs sur la croissance des bactéries pathogènes ont longuement été expliqués par le fait que les acides organiques peuvent facilement pénétrer la paroi cellulaire des bactéries et perturber les fonctions cellulaires normales, y compris la réplication et la synthèse protéique des bactéries (Denyer et Stewart, 1998; Davidson, 2001). En effet, Les acides organiques sous leur forme non dissociée (acide), peuvent diffuser passivement à travers la paroi cellulaire des bactéries, s'y dissocier à la faveur d'un pH supérieur à leur constante de dissociation (pKa) et provoquer une baisse de pH interne (Choct, 2001; Moran, 2005) qui provoque un état de stress conduisant à des dysfonctionnements cellulaires, empêchant ainsi la croissance bactérienne(Mani-Lopez et al., 2012 ; Kim et al., 2015). **(ii)** des améliorateurs de l'utilisation digestive des nutriments en améliorant leur digestibilité. Ainsi, au niveau du proventricule, la réduction du pH gastrique active le pepsinogène ainsi que, d'autres zymogènes, assurant une meilleure activité enzymatique (Jongbloed et al., 2000). De plus, les digestas acides peuvent réduire la vitesse des vidanges gastriques et par conséquent, augmenter le temps de séjour des nutriments dans le tractus gastro-intestinal (Kidder et Manners, 1978 ; Mayer, 1994).

De plus, les acides organiques peuvent aussi stimuler la sécrétion du suc pancréatique et améliorer la morphologie intestinale telle qu'une augmentation des villosités intestinales (Dibner et Buttin, 2002)

II.1.1.2. Effet des acides organiques en condition d'ambiance chaude

Une étroite relation existe entre la thermorégulation, l'équilibre acido-basique et électrolytique (Hillman et al., 1985). Comme évoqué précédemment, en conditions d'ambiance chaude, le poulet augmente sa fréquence respiratoire qui est généralement associée à une diminution de la pression partielle de CO_2 et de concentration en ions H^+ dans le sang. En conséquence, le pH sanguin augmente (Nassiri-Moghaddam et al., 2006 ; Borges et al., 2007 ; Attia et al., 2011) perturbant ainsi, l'équilibre acido-basique et entrainant l'installation d'une alcalose respiratoire (Attia et al., 2011 ; Fisinin et Kavtarashvili, 2015).

Pour lutter contre cette hausse du pH sanguin, Teeter et Smith (1985) et Zulkifli et al. (2006) ont rapporté que l'inclusion d'acidifiant dans l'eau ou l'aliment du poulet réduit les effets négatifs du stress thermique en agissant sur l'équilibre acido-basique, toute en veillant à ne pas provoquer une acidose. Cependant, une meilleure efficacité de la supplémentation hydrique en acides, par rapport à celle dans l'aliment, est généralement attribuée à l'augmentation de la consommation d'eau et à la diminution de l'ingéré alimentaire en conditions de chaleur (Daskiron et al., 2004). Toutefois, une utilisation plus importante en acides organiques dans l'aliment du poulet de chair par rapport aux acides inorganiques est aussi rapportée (Kim et al., 2015)

Les effets de la supplémentation de ces additifs sur la santé et les performances de croissance du poulet de chair ont été largement étudiés en conditions de thermoneutralité (Kim et al.2015, Khan et al., 2016) mais rarement en ambiance chaude (Daskiron et al., 2004). Cependant, l'analyse de la bibliographie (tableaux 5 et 6) révèle une grande variabilité des résultats qui peut en partie s'expliquer par le fait que l'action des acides organiques dépend de plusieurs facteurs à savoir, l'effet tampon de la ration, la dissociation dans l'eau, le taux la période et la durée d'inclusion dans la ration ou dans l'eau et surtout de l'effet individuel de chaque acide organique (formule chimique, forme chimique, pka, …). En effet, chaque acide possède son spectre d'activité et pourrait influencer différemment (Gaucher, 2015).Ils peuvent être utilisés individuellement, mais en pratique, ce sont plus souvent des mélanges d'acides qui sont privilégiés afin d'assurer un plus large spectre d'activité (Al-Kassi et Mohssen, 2009 ; Huyghebaert et al., 2011 ;Allen et al., 2013) en supposant un effet synergétique positif

(Alçiçek et al., 2004 ; Samanta et al.,2008 ; Kil et al., 2011). Toutefois, Smulikowska et al. (2010) et Wlosek (2012) ont rapporté des effets négatifs de certains mélanges d'acides organiques.

D'autre part, El Kerdawy (1996) et Abdel-Fattah et al. (2008) ont rapporté qu'une acidification maximale de 3% pouvait être tolérée par le poulet de chair sans aucune perturbation des fonctions hépatiques et rénales. En effet, certains auteurs ont rapporté que l'impact positif des acides organiques était dose-dépendant (Hernández et al., 2006, Panda et al., 2009a ;2009b ; Kim et al., 2015). Une amélioration des performances de croissance à un taux d'inclusion de 0,1 à 1% d'acide formique, 0,2 à 2,5 d'acide butyrique avec de plus faibles performances à 2,5% (Kim et al., 2015), 0,2% d'acide propionique (Al-Kassi et Mohssen, 2009) et de 0,1 à 0,3% pour l'acide acétique (Furuse et Okuruma, 1989 ; Hudha et al., 2010 et Ur Rehman et al., 2016) a été observée. Alors qu'une détérioration a été enregistrée avec des doses de 4,5% pour l'acide fumarique (Biggs et Parsons, 2008) et 6% pour l'acide citrique (Nourmohammadi et al., 2010) et acétique (Furuse et Okuruma, 1989).

En conditions de stress thermique, la suplémentation alimentaire en acide organique, en phase de démarrage (J1-J18) du poulet de chair, semble être moins efficace qu'une supplémentation continue durant toute la période d'élevage (J1-J40) ou une inclusion uniquement en période de croissance (J19-J40) (Daskiran et al., 2004). Ces mêmes auteurs ont suggéré que l'ajout de ces additifs en période de croissance ont significativement réduit les pertes économiques causées par la chaleur. En revanche, cet impact positif est de moindre importance lorsqu'une inclusion précoce (phase de démarrage) est associée, et complètement absent lorsque la supplémentation est réalisée uniquement en phase de démarrage. Ces auteurs ont conclu qu'une supplémentation précoce en acides induit une adaptation du poulet, ce qui estompe leur efficacité et activité pendant les périodes les plus vulnérables.

II.1.1.2.1. Effets sur la croissance et la production du poulet de chair

En conditions de thermoneutralité, plusieurs auteurs ont rapporté un effet positif des acides organiques sur le gain de poids et l'efficacité alimentaire (Panda et al., 2009a ; Adil et al., 2011 ; Hashimi et al., 2014 ; Khan et al., 2016). Ces auteurs ont associé cette amélioration à l'impact positif de ces additifs sur le tractus digestif et l'amélioration de la digestibilité de l'aliment. Cependant, la plupart des données bibliographiques ne révèle aucune amélioration de l'ingéré alimentaire (Choct, 2001 ; Adil et al., 2011 ; Khan et al., 2016). A l'inverse, elle rapporte que la croissance des poulets n'est pas significativement modifiée par l'inclusion de

ces additifs et serait même parfois légèrement détériorée (Gunal et al., 2006; Abdel-Fattah et al., 2008 ; Kopecký et al., 2012).

En condition de chaleur, l'utilisation d'acidifiant permet de réduire les effets néfastes du stress thermique sur la croissance du poulet de chair (Naseem et al., 2005 ; Younis, 2007 ; Hassan 2009 ; Moeini et al., 2011 ; Heidari et al., 2013).

Ainsi, Furuse et Okumura (1989) ont rapporté une amélioration de la croissance du poulet rationné, recevant un aliment supplémenté en acide acétique, à raison de 2,5%. De même, Hassan et al (2009) ont montré que la supplémentation de l'eau de boisson en acide acétique, à raison de 1,5ml/litre d'eau chez le poulet de chair soumis à un stress thermique chronique (32°C pendant 6 semaines), a permis une augmentation du poids vif et de la consommation d'eau.

D'autre part, une étude qui avait pour objectif d'évaluer la supplémentation de l'eau de boisson en acide acétique sous forme de vinaigre, sur les performances de ponte des poules élevées au chaud, a montré que l'addition de faibles concentrations (400 à 600 ppm) a significativement amélioré la production des œufs (Kadim et al., 2008).

De même, dans une étude plus récente, l'ajout de 0,5% d'acide butyrique dans l'aliment du poulet de chair, soumis à un stress thermique (32°C) pendant la phase de croissance (J21-J35), a permis de rétablir le retard de croissance causé par la chaleur et d'aboutir à un meilleur poids vif final de (+8%), un gain de poids de (+12%) et un indice de conversion alimentaire de (-13%) (Abdelqader et Alfataftah, 2016). Ce qui contredit les résultats de Daskiran et al. (2004) qui ont montré que l'addition d'un acidifiant en phase de croissance (J19-J40) du poulet de chair soumis à un stress thermique chronique et cyclique était sans effet sur la croissance pondérale et l'efficacité alimentaire mais réduisait considérablement la mortalité. En effet, cette dernière a significativement diminué avec l'augmentation du taux d'inclusion (- 50% ; -63% ; -67% et -72% pour 0,05, 0,1, 0,2 et 0.3%, respectivement). De même, des résultats de deux études antérieures avaient déjà rapporté l'impact positif des acidifiants sur la viabilité du poulet élevé en ambiance chaude (Bottje et Harisson, 1985 ; Teeter et Smith, 1985). Par ailleurs, une addition d'un acidifiant de commerce au régime alimentaire du poulet élevé au chaud pendant la phase de croissance a significativement amélioré les rendements de carcasse et parties nobles par rapport à une acidification en phase de démarrage seule ou une acidification continue (démarrage + croissance) (Daskarian et al., 2004). Toutefois, cette addition reste sans effet sur le gras abdominal quelque soit la période d'inclusion de l'acidifiant.

Tableau 5. : Effet des acides organiques sur les performances de croissance du poulet de chair en condition de thermoneutralité (Kim et al., 2015)

Acide Organique	Nbre d'étude	Taux d'inclusion (%)	Gain de poids (%)		Ingéré alimentaire (%)		Indice de conversion (%)		Références
			Moy	Intervalle de variation	Moy	Intervalle de variation	Moy	Intervalle de variation	
Acide citrique	8	0,5-6	4,7	-16,7 à 25,2	-1,3	-24,9 à 13,1	6	-4,2 à 25,2	Biggs and Parsons, 2008 ; Chowdhury et al., 2009 ; CitricacidAo et al., 2009 ; Nourmohammadi et al., 2010 ; Haque et al., 2010 ; Salgado- Tránsito et al., 2011 ; Esmaeilipour et al., 2011 ; Nourmohammadi et al., 2012
Acide Fumarique	3	1,25-4,5	1,3	-2,3 à 4	1,9	-1 à 5	0,2	-2,2 à 3,1	Skinner et al., 1991; Pirgozliev et al., 2008 ; Biggs and Parsons, 2008
Acide Formique	5	0,1 - 1	2,8	-3,8 à 10,3	0,4	-1 à 4,1	5,3	0,5 à18,2	Hernández et al., 2006 ; García et al., 2007 ; Al-Kassi and Mohssen, 2009 ; Panda et al., 2009b ; Bozkurt et al., 2009
Acide Butyrique	5	0,1- 2,5	1,9	0,3 à 4	-0,6	-4,5 à 2,1	2,5	-1 à 5,9	Leeson et al., 2005 ; Leeson et al., 2005 ; Panda et al., 2009a ; Mahdavi and Torki 2009 ; Aghazadeh and Tahayazdi, 2012
Acide Propionique	1	0,2	1,2		5,1		6,1		Al-Kassi and Mohssen, 2009

Tableau 6. : Effets de quelques acidifiants sur les performances de croissance et la physiologie de la volaille soumise aux conditions de stress thermique (Synthèse personnelle).

Lignée et caractéristiques de l'étude	Effets	Références
	Stress thermique chronique cyclique	
Hubbard **Acidifiant :** Acide acétique **T_a°C :** 33°C **(**6 semaines) **Niveau d'inclusion :** 1,5 ml /L d'eau	**Performances de croissance:**↑PVfinal (+20%) ↑ consommation d'eau (+8%) **Organes lymphoides :** ↑ poids du thymus, Bourse de Fabricius et rate par rapport au poids vif du poulet **Immunité** : ↓ le ratio hétérophile/lymphocyte **Intestin :** ↓ nombre total des spores aérobies formées et le nombre total des entérobactéries.	Hassan et al., 2009
Hubbard **Acidifiant** : **Acide butyrique** **T_a°C :** 32°C **(**J21-J35) **Niveau d'inclusion :** 0,5g /kg d'aliment	**Performances de croissance:** ↑PVfinal (+8%) ; ↑GMQ (+12%) ; ↓ ingéré alimentaire (-2%) ; améliore l'indice de conversion alimentaire(-13%) **Intestin:** ↑poids intestin, ↑hauteurs villosités, ↑surfaces des villosités, ↑nombre des bactéries bénéfiques	Abdelqader et Alfataftah 2016
Ross-308 **Acidifiant** : **Acide formique** **T_a°C :** 30-36°C **Témoin** : pH de l'eau 7,4 **Trt :** pH de l'eau 4,7	**Performances de croissance:** ↓PV (J21-J42) ; aucun effet sur l'ingéré alimentaire, conversion alimentaire et la flore intestinale. **Carcasse** : réduit contamination par E. coli.	Acikgoz et al., 2011
Cobb-500 **Acidifiant** : **Mélange du commerce** **T_a(°C)** :35°C (J35-J41) **Niveau d'inclusion** 500ppm dans l'eau : J0-J7 ; J11 ; J20 ; J22 puis 100ppm : J34-J41.	**Performances de croissance:** ↑ PV final (+7%) ; ↓ ingéré alimentaire (-3%) ; ↓ indice de conversion alimentaire (-9%). Aucun effet sur la consommation d'eau. **Température corporelle** : Réduit TC après 1jours d'exposition. **Immunité** : améliore le rapport hétérophile/ lymphocyte	Zulkifli et al., 2006
Poule pondeuse **Acidifiant** : **Formiate de Sodium** **Ta :** non précisée **Niveau d'inclusion :** 1, 2 et 3g/kg d'aliments.	**Efficacité alimentaire :** aucun effet sur l'ingéré alimentaire ; seul le niveau d'incorporation de 2% améliore le taux de conversion alimentaire. **Sérum :** réduit le taux de cholestérol et des lipides totaux	Youssef et al., 2013

TC : température corporelle, PV : poids vif, T_a : température ambiante

II.1.1.2.2. Effets sur la physiologie du poulet de chair

Selon zulkifli et al. (2006), la supplémentation de l'eau de boisson en acide organique réduit significativement l'effet négatif de l'augmentation de la température corporelle du poulet de chair, suite à une élévation des températures ambiantes. En effet, parmi les hypothèses émises, cette réponse positive pourrait s'expliquer par l'augmentation de la consommation d'eau, ce qui améliore et renforce les pertes de chaleur par évaporation et ainsi, réduit l'hyperthermie (Sayed et Scott, 2007).

Très peu d'études ont été consacrées à l'effet des acidifiants sur le profil biochimique des poulets en condition d'ambiance chaude. Cependant, les résultats obtenus semblent être intéressants, dans la mesure oŭ une amélioration de la glycémie et la lipidémie a été enregistrée suite à l'incorporation d'acidifiants, sous forme d'acides organiques ou sels dans l'eau ou l'aliment des volailles (Zulkifli et al., 2006). En effet, une addition d'un acidifiant du commerce a significativement réduit l'hyperglycémie des poulets supplémentés, après un jour d'exposition à la chaleur, par rapport aux sujets non supplémentés. Toutefois, cet effet hypoglycémiant n'a pas été observé après le $4^{ème}$ et $7^{ème}$ jour d'exposition des poulets aux fortes températures ambiantes.

Par ailleurs, chez la poule pondeuse, un apport alimentaire en sels de sodium de l'acide formique influe sur les taux de lipides totaux et de cholestérol circulants (youssef et al., 2013). Ces taux diminuent significativement avec l'augmentation du taux d'incorporation de l'additif dans la ration. Les plus faibles teneurs sont en effet enregistrées par le plus fort taux d'inclusion (0,3%). Ces résultats concordent avec les observations des travaux antérieurs, réalisés en conditions d'élevage thermoneutres, rapportant que les concentrations lipidiques en termes de cholestérol et de lipides totaux sont significativement réduites par les acidifiants alimentaires (El-Kardawy, 1996 ; Abdo, 2004 ; Abdel Fattah et al., 2008 ; Normohammadi et al., 2010). Aucune variation des concentrations des protéines totales dans le sang n'a été associée à l'acidification de la ration alimentaire des poulets de chair élevés dans des conditions de thermoneutralité (Abdel-Fattah et al., 2008, Nourmohamadi et al., 2010).

En effet, d'après les résultats rapportés par Abdel-Fattah et al. (2008), l'incorporation de 1,5 et 3% d'acide acétique dans le régime alimentaire était sans effet sur le taux des protéines totales du sang. En revanche**,** une diminution significative des lipides totaux et du taux de cholestérol a été enregistrée chez les poulets supplémentés.

Des diminutions de (-27%) et (-32%) du taux de cholestérol ont été enregistrées respectivement chez les groupes supplémentés à 1,5 et 3 % d'acide acétique par rapport au

groupe témoin. Ceci contredit les observations d'El-afifi et al. (2001) qui n'ont rapporté aucune variation du profil sanguin des lipides, chez les poussins de chair complémenté en acide citrique.

D'après Young et Foegeding (1993), l'effet bénéfique des acides organiques sur le profil lipidique du poulet serait en relation avec l'augmentation de l'utilisation énergétique des cellules microbiennes, suite à une inhibition de nombreuses enzymes microbiennes par la diminution du pH intracellulaire de ces microbes.

D'autre part, plusieurs effets positifs sur le tractus digestif ont été attribués aux acides organiques en condition d'élevage standard ou en condition de stress thermique (Hassan et al., 2009 ; Levy et al., 2015; Qaisrani et al., 2015).

Abdelqader et Alfaftah, (2016) ont rapporté une réduction des altérations de l'épithélium intestinal causées par le stress thermique (32° de J21 à J35) et traduites par une amélioration des paramètres reflétant l'intégrité de l'intestin, à savoir une amélioration de la morphométrie des villosités intestinales, du poids total des intestins, ainsi qu'une stimulation de la prolifération des cellules intestinales chez le poulet supplémenté en acide butyrique (0,5%). Parallèlement, ces auteurs ont observé une amélioration des performances de croissance du poulet soumis aux conditions de chaleur et supplémenté en acide butyrique suggérant ainsi, une amélioration de la digestibilité et l'absorption intestinale.

II.2. Les additifs phytogènes

En alimentation animale, les additifs phytogènes sont représentés par des plantes entières, parties de plantes ou extraits de plantes pouvant être incorporés dans l'aliment et/ou l'eau, des animaux de rente, afin d'améliorer leur productivité et les qualités des produits alimentaires issus de ces animaux (Hernández et al., 2004 ;Windisch et al., 2008). Parmi ces additifs, on retrouve les herbes, les épices et leurs extraits tels que les huiles essentielles (Basmacioğlu Malayoğlu et al., 2010). Plusieurs propriétés biologiques leurs sont attribuées. Des pouvoirs antioxydants (Botsoglou et al., 2002), antimicrobiens (Dorman et Deans, 2000) et immunitaires (Çabuk et al., 2006) ont souvent été rapportés et conférés aux différents composants bioactifs de ces additifs, à savoirs : les terpènes, phénols, flavonoïdes, alcaloïdes et glycosides (Mehmet et al., 2005).

En effet, ces propriétés biologiques peuvent permettre au poulet d'exprimer de meilleures performances de production en conditions normales et d'améliorer leur thermorésistance et réduire les effets néfastes en condition de stress thermique.

Toutefois, au cours de ces dernières années, les épices ont suscité l'intérêt de nombreux travaux de recherches basés sur l'utilisation des produits phytogènes en nutrition des poulets de chair (Horosova et al., 2006, Cross et al., 2007, Al-Kassie et al., 2011, 2012, Puvača et al., 2013). La pluparts de ces travaux sont réalisés dans des conditions d'élevage standard, les études relatives aux effets bénéfiques des additifs phytogènes en générale et des épices en particuliers, en conditions de chaleur, sont toutefois moins nombreuses, et les conclusions pouvant en être tirées varient généralement d'une étude à une autre.

II.2.1. Effet des additifs phytogène sur la croissance et la production

En condition de thermoneutralité, les additifs phytogènes représentent une alternative aux antibiotique facteurs de croissance car ils favorisent une meilleure digestibilité des nutriments, augmentent l'activité des enzymes digestives et la sécrétion des sucs gastriques et pancréatiques, protègent les microvillosités intestinales et améliorent les performances des volailles grâce à leur activité antimicrobienne (Hernandez et al. 2004, Toledo et al., 2007). En effet, Jamroz et al. (2006) avaient constaté que l'addition de 5g d'origan, 1g de thym et 1g de piment rouge par kilogramme d'aliment, stimule la sécrétion du mucus intestinal chez les poulets en réduisant ainsi les adhérences et stabilisant l'équilibre microbien au niveau intestinal. Par ailleurs, l'effet de la supplémentation alimentaire en certaines épices sur la croissance, l'indice de consommation et l'indice de conversion a été largement décrit (Al-Kassie, 2010 ; Al-Kassie et al., 2011). En effet, l'addition de cumin dans l'aliment du poulet de chair à des doses croissantes variant de 0,5 à 1,5%, durant 6 semaines (de 1 à 42 jours d'âge) a permis d'améliorer significativement la croissance (+6%) et l'indice de conversion alimentaire (-9%), sans modification notable de l'ingéré.

De même, en condition de stress thermique chronique, la supplémentation alimentaire en herbes, épices ou leurs extraits tels que le romarin, le thym, les graines de cumin noir (le nigelle), cumin, curcumin, extrait de pépin de raisin, huile de romarin, permet d'atténuer les pertes économiques causées par le stress thermique chez les volailles en améliorant leur taux de survie, performances de croissance ainsi que la rentabilité de l'élevages par l'augmentation de l'indice de production (Tollba et Hassan 2003 ; Hosseini-Vashan et al., 2012 ;Çiftçi, et al., 2013 ; Hajati et al., 2015).Maini et et al. (2007) ont signalé qu'une supplémentation

alimentaire en poudre de feuilles de menthe séchées à raison de10 g/kg ou 30 g/kg comme antioxydants améliorait significativement le gain de poids vif chez le poulet ainsi que le taux de conversion alimentaire pendant la saison estivale.

Dans une étude réalisée afin de déterminer l'effet d'un même niveau d'incorporation (2%) alimentaire de 4 épices (cumin, fenugrec, gingembre et cannelle) sur les performances de croissance, le rendement de carcasse ainsi que le poids de certains organes internes du poulet de chair élevé en saison estivale (T_a : 35-42°C), les résultats ont révélé : **(i)** quelque soit l'épice incorporée, le gain de poids est significativement réduit à la première phase d'élevage (J1-J21) sans aucune altération de la prise alimentaire, sauf pour les poulets supplémentés en fenugrec, qui ont enregistré une augmentation de 8% de l'ingéré alimentaire. Cet effet négatif sur le gain de poids a été inversé et largement récupéré au cours de la deuxième phase d'élevage (J22-J42) où le poulet est plus vulnérable aux fortes chaleurs. Ainsi, de J22 à J42, une augmentation du gain de poids a été enregistrée par les 4 épices incorporées avec un meilleur gain pour le groupe supplémenté en fenugrec. Cette amélioration est associée à une augmentation de la consommation alimentaire par les poulets supplémentés en fenugrec et cannelles mais sans aucune modification de la prise alimentaires des groupes cumin et gingembre. Cependant la meilleure efficacité alimentaire, classée par ordre décroissant, a été enregistrée par le gingembre suivi de fenugrec, cumin et la cannelle en dernier. **(ii)** : Le cumin et le fenugrec n'ont pas modifié le poids de la carcasse par rapport au poids vif des poulets, alors que le gingembre et la cannelle ont significativement augmenté le pourcentage de carcasse cependant la cannelle et le fenugrec ont significativement amélioré le poids de la poitrine des poulets. Toutefois, aucune modification des poids des cuisses, ailes, gras abdominal, cœur, foie et gésier n'a été enregistrée par ces 4 additifs.

Cependant, peu d'études ont montré des effets négatifs des additifs phytogènes à des taux d'incorporation appropriés sur les performances de croissance du poulet de chair (Lau et King, 2003).

Par ailleurs, en condition de thermoneutralité, la supplémentation alimentaire en additifs phytogènes a montré des effets bénéfiques sur la qualité de la viande de volaille stockée (Lopez-Bote et al., 1998 ; Spernakova et al., 2007). Cet effet est lié au potentiel antioxydant de ces additifs qui permet une meilleure stabilité oxydative des viandes au cours du processus du stockage (Young et al., 2003 ; Govaris et al., 2007 ; Stanaćev et al., 2011). En effet, chez la dinde, la complémentation alimentaire en extrait d'origan, à raison de 200 mg/kg, a diminué significativement la peroxydation des lipides des viandes fraiches et cuites durant le stockage réfrigéré (Botsoglou et al., 2003).

II.2.2. Effet des additifs phytogènes sur la physiologie du poulet

Comme nous l'avions précédemment décrit, les fortes températures ambiantes génèrent chez le poulet de chair, des radicaux libres et d'autres espèces de réactives d'oxygène dans les fluides corporels et les tissus, perturbant ainsi le métabolisme animal. Ce dysfonctionnement est généralement causé par une surproduction de ces radicaux ou par une diminution des défenses antioxydantes (Spurlock et Savage, 1993). Par conséquent, pendant les périodes de stress thermique, un apport exogène d'une source antioxydante peut se révéler utile pour rééquilibrer cette balance (Cafantaris, 1990). Cependant, les propriétés antioxydantes des épices ont largement été décrites (Craig, 1999 ; Nakatani, 2000, Lambert et al., 2001, Ruberto et al., 2002) et Wei et Shibamoto, 2007). En effet, en conditions de stress thermique, l'incorporation de certaines épices chez la volaille permet la création d'un environnement approprié pour l'élimination des radicaux libres. Sahin et al. (2012) ont rapporté une réduction du taux de Malondialdhyde sérique, musculaire et hépatique ainsi que la concentration des protéines du choc (Hsp70) par l'ajout de 200 et 400 mg de la curcumine qui est un polyphénol extrait du curcumin par kilogramme d'aliment, chez la caille soumise à un stress thermique chronique (34°C : 8h/j de J10 à J42).

Pareillement, Leung, en (1980) a démontré que les huiles issues des graines de cumin présentaient une activité antioxydante élevée due aux flavonoïdes en particulier l'apigénine et la lutéoline. Ainsi, la supplémentation en graines de cumin à raison de 2,5 et 5% du régime alimentaire chez des souris avait tendance à faire augmenter la superoxyde dismutase, la catalase et le glutathion réduit (Gangandeep et al., 2003). De même, Il a été démontré que le cuminaldéhyde, qui est un autre composant du cumin, présente de forte capacité à piéger l'anion superoxyde (Krishnakantha et Lokesh, 1993). En outre, certains auteurs ont rapporté que le potentiel antioxydant des graines de cumin augmentait avec de leurs teneurs en composants phénoliques (Juhainmi et Ghafoor, 2013).

Par ailleurs, les composants actifs du cumin semblent atténuer les effets négatifs du stress sur le système immunitaire (Chauhan et al., 2010) en réduisant la chute de la synthèse des lymphocytes T, les taux élevés de corticostérones et la taille des glandes surrénales et en augmentant le poids de la rate et du thymus. Cependant, l'incorporation de 2% de graines de cumin dans l'aliment des poulets élevés au chaud n'a pas modifié le poids du thymus et de la rate mais a significativement augmenté le poids de la bourse de Fabricius (Elagib et al., 2013). Des effets hypoglycémiants ont également été attribués aux graines de cumin (Srinivasan, 2005). Dans un test de tolérance au glucose chez le lapin, le cumin a significativement

augmenté la capacité d'utilisation du glucose (Roman-Ramos et al., 1995). De même, chez des rats diabétiques, une supplémentation alimentaire en poudre de cumin (1,25%) réduit l'hyperglycémie, la glycosurie ainsi que l'urémie (Willatgamuwa et al., 1998).

Un impact positif des additifs phytogènes sur la lipidémie du poulet élevé au chaud a été observé (Hosseini-Vashan et al., 2012 ; Hajati et al., 2015). En effet, à un taux d'incorporation de 1% dans l'aliment, le cumin noir ou l'ail réduit les taux plasmatiques du cholestérol et des lipides totaux des poulets de chair exposés pendant 3h/j à une température ambiante de 38°C de J35à J40 (Tollba et Hassan, 2003). Dans les mêmes conditions environnementales, Tollba (2003) a noté que l'ajout de thym à 1% ou de fenouil à 1%, comme additifs alimentaires, améliorait les taux plasmatiques des protéines totales et de la triiodothyronine (T3).

Partie Expérimentale

Chapitre I.

Les effets du conditionnement thermique précoce et d la supplémentation de l'eau de boisson en vinaigre sur les réponses physiologiques des poulets de chair femelles et mâles élevés sous les températures estivales méditerranéennes

Publication N°1

Résumé

Les effets du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation de l'eau de boisson en vinaigre (SV),le sexe (SEXE) et leurs interactions sur la fréquence respiratoire, la température corporelle et les paramètres sanguins (paramètres biochimiques, hématologiques et hormones thyroïdiennes) des poulets de chair élevés à de fortes températures ambiantes ont été déterminés. Au total, 1100 poussins d'un jour ont été répartis en quatre traitements : (1) Groupe de poussins non conditionnés et non supplémentés durant toute la période de l'expérimentation ; (2) Groupe de poussins exposés à 38 ± 1°C pendant 24 h au 5ème jours d'âge; (3) groupe de poussins supplémentés par 2 mL de vinaigre par litre d'eau potable du 28èmeau 49ème jour d'âge et (4) Groupe de poussins acclimatés à 38 ± 1°C pendant 24 h au 5ème jour d'âge et supplémentés par 2 mL de vinaigre par litre d'eau de boisson du 28èmeau 49ème jour d'âge. Tous les groupes ont été exposés aux fluctuations naturelles de la température ambiante de l'été (température ambiante moyenne diurne d'environ 30 ± 1°C et humidité relative moyenne de 58 ± 5%). Le CTP et le SEXE des poulets de chair n'ont pas affecté la fréquence respiratoire ou la température corporelle des poulets soumis à un stress chronique. Sans effet sur la fréquence respiratoire, la SV a significativement influencé la température corporelle selon l'âge (J35, J42, J49) (effets linéaire et quadratique, P <0,05) sans affectée la fréquence respiratoire. Le CTP a significativement réduit la glycémie (P <0,0001) et augmenté le taux d'hématocrite et le nombre de globules rouges (P <0,05). Les effets les plus importants de la SV seule ou associée au CTP étaient représentés par une réduction des concentrations sanguines du cholestérol et des triglycérides. Un effet significatif (P <0,05) du CTP, du SEXE et du CTP × SEXE sur le rapport T3/T4 a été observé. Enfin, certaines réponses physiologiques positives induites par le CTP et SV, en association ou non, chez des poulets soumis à un stress thermique chronique, ont été observées. Cependant, un effet synergique des ces réponses positives n'était pas évident.

Mots-clés: Stress thermique. Acclimatation à la chaleur. Poulet de chair. Supplémentation au vinaigre. Paramètres sanguins.

I. Introduction

Au cours de ces dernières années, le réchauffement climatique a conduit à une plus importante élévation des températures ambiantes que celle connue au cours du dernier siècle (Meehl et Tebaldi, 2004). Des travaux de recherches en microclimat prévoient encore à l'avenir, une augmentation considérable de l'intensité, de la durée et de la fréquence des périodes de chaleurs extrêmes (Meehl et Tebaldi, 2004). En Algérie, ces événements sont plus renforcées en raison de la position géographique du pays, où une grande partie se situe dans le bassin méditerranéen qui représente le «point chaud» du changement climatique (Sahnoune et al., 2013).La saison chaude, qui dure près de six mois de l'année (de mai à octobre), et l'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national, qui dépasse les 2000h annuellement (Stambouli 2011), soumettent le poulet de chair (en particulier le poulet commercial moderne) à des conditions de températures environnementales défavorables qui dépassent généralement les normes recommandées, stipulant une zone de thermoneutralité de 18 à 25°C (Die et Bumbie 2011). Ainsi, cette augmentation prévue de l'intensité et de la durée des vagues de chaleur pourrait causer au poulet de chair un état de stress thermique chronique qui sera à l'origine d'une chute de la productivité et par conséquent d'une perte économique considérable (St-Pierre et al., 2003). Ces pertes économiques pourraient être aggravées par l'abandon de la production généralement adopté par les producteurs de poulets de chair, durant ces périodes chaudes de l'année. L'effet négatif du stress thermique sur la productivité peut s'expliquer par une réduction du taux de croissance suite à une diminution de l'ingéré alimentaire (Lara et Rostagno, 2013) et par une augmentation du taux de mortalité suite à un affaiblissement du système immunitaire des poulets par la chaleur (Quinteiro-Filho et al., 2010).

Ainsi, le poulet de chair est très sensible aux variations de la température ambiante (Geraert, 1991). Lorsque celle-ci dépasse le seuil de la valeur critique supérieure (30°C) (Donkoh 1989), des perturbations des mécanismes homéostatiques peuvent s'observer.

Il est bien connu que les hormones thyroïdiennes sont indispensables au maintien de l'homéostasie métabolique et au contrôle de la température corporelle et qu'ils jouent un rôle fondamental dans la croissance du poulet (McNabb 1995, Reyns et al., 2002).Une élévation de la température ambiante s'accompagne généralement d'une diminution du taux de sécrétion des hormones thyroïdiennes (Sokolowicz et Herbut 1999, Star et al., 2008) en réponse à une diminution de l'activité de la thyroïde (Bowen et Washburn 1985) afin de réduire la production de chaleur interne des poulets. Une corrélation négative entre la concentration

plasmatique de triiodothyronine (T3) et la température ambiante a été rapportée (May et al.1986, Yahav et al., 1995). Cependant, la revue bibliographique révèle une grande variation des résultats relatifs aux modifications des concentrations plasmatiques de thyronine (T4) par la chaleur ambiante, rapportant ainsi, une diminution (Sohail et al., 2010), une augmentation (Cogburn et Freeman, 1987 ; Elnagar et al., 2010) et/ou parfois aucune modification (Mitchell et Carlisle, 1992 ; Geraert et al., 1996 ; Mack et al., 2013).

De même, plusieurs paramètres hématologiques et biochimiques sont sensibles aux variations de la température environnementale (Vecerek et al., 2002).Des changements morphologiques et quantitatifs des cellules du sang se traduisent par la variation des valeurs de l'hématocrite, le nombre des érythrocytes et l'hémoglobine (Borges, 1997 ; Borges, 2001 ; Olanrawaju et al., 2006 ; Attia et al., 2017). Lors du stress thermique, une diminution de l'hématocrite et celle du niveau d'hémoglobine ont été enregistrées par plusieurs auteurs (Deaton et al., 1969 ; Kubena et al.,1972 ; Borges et al., 2004 ;Olanrawaju et al., 2006).

En outre, il a été rapporté que lors d'un stress thermique, la concentration des protéines totales sériques diminuait (Khan et al 2002, Backer 2009) et le niveau plasmatique des nutriments énergétiques, tels que le glucose, le cholestérol et les triglycérides, augmentait (Garriga et al. 2005, Kataria et al., 2008, Rashidi et al.2010). Pareillement, Yeh et al. (1992) ont rapporté que le taux de calcium sérique augmente significativement en condition d'ambiance chaude.

Diverses stratégies nutritionnelles sont développées et testées afin de réduire l'impact négatif du stress thermique sur les paramètres zootechniques et physiologiques des poulets de chair. En effet, au cours de ces dernières années, l'utilisation des acides organiques tel que l'acide acétique comme additifs alimentaires est devenue une pratique courante par l'industrie des aliments de volaille. De même, plusieurs supplémentations alimentaires ou hydriques en acides acétique ont été mises en places et testées (Abal-Fattah et al., 2008, Ghazalah et al., 2011). D'un point de vue général, Daskiran et al. (2004), ont rapporté qu'en conditions de chaleur, l'acidification de l'eau de boisson s'avère plus efficace que l'acidification de l'aliment. Ceci est probablement lié à l'augmentation de la consommation d'eau et la réduction de la prise alimentaire par le poulet élevé au chaud.

Peu de travaux ont fait objet de recherche sur l'effet de l'acidification de l'eau de boisson sur les performances de croissance et les réponses physiologiques des poulets de chair exposés aux fortes températures ambiantes (Hassan et al., 2009; AinBaziz et al., 2011 ; Heidari et al., 2013).

Durant les périodes chaudes de l'été, l'addition du vinaigre dans l'eau de boisson est devenue une pratique fréquente par les éleveurs algériens de poulets pour lutter contre les effets néfastes du stress thermique. Toutefois, ces pratiques restent non fondées sur des bases scientifiques qui les justifient. L'acide acétique est le principal composant biologiquement actif du vinaigre (Ren et al., 1997). Dans des conditions de thermoneutralité, des études antérieures ont révélé un impact positif de la supplémentation alimentaire et hydrique en acide acétique sur la productivité des poules pondeuses (Farran et al., 2005) ainsi que les performances de croissance et certains paramètres physiologiques du poulets de chair (Abdel Fattah et al., 2008). De même, en condition de chaleur, Kadim et al. (2008) ont constaté que la supplémentation de l'eau de boisson en acide acétique à une concentration de 400 à 600 ppm a significativement amélioré les caractères de qualité de l'œuf.

Par ailleurs, un autre moyen de lutte contre les effets néfastes du stress thermique chez le poulet est le conditionnement thermique précoce des poussins. Cette pratique consiste à exposer les oiseaux à une température ambiante élevée pendant leur première semaine de vie afin de modifier leur réponse thermorégulatrice et de développer leur capacité à faire face au stress thermique pendant les périodes de croissance et finition (Dunnington et Siegel 1984; Yahav et Hurwitz 1996). Il a été rapporté que le conditionnement thermique précoce des poussins peut modifier les réponses comportementales, physiologiques et métaboliques des poulets exposés à des températures ambiantes élevées (Arjona et al., 1990, Lin et al., 2004b). Les effets positifs de cette technique sur le taux de survie, la thermotolérance à court et à long terme et les performances de croissance des poulets de chair soumis à un stress thermique aigus ont été rapportés en conditions climatiques tropicales naturelles ou simulées (De Basilio et al 2001, Yahav et Plavnik 1999; 2013), ainsi qu'en conditions d'ambiance chaude de l'été méditerranéen (Temim et al 2009, Boudouma et al., 2012).

De ce fait, les résultats de l'analyse bibliographique ainsi que les besoins des aviculteurs algériens confrontés au défi climatique, d'une mise en place et développement de solutions pratiques simples, sûres et peu coûteuses ont suscité notre intérêt à élaborer des stratégies adaptées à nos conditions d'élevages. Dans ce but, nous avons choisi de tester la supplémentation de l'eau en vinaigre en tant que pratique nutritionnelle et le conditionnement thermique précoce des poussins en tant que technique de conduite d'élevage, comme alternative à réduire les effets néfastes du stress thermique chronique pendant les longs mois d'été.

La présente étude fait suite aussi aux travaux antérieurs qui ont permis d'évaluer à court terme, l'acquisition de la thermotolérance par le conditionnement thermique précoce du

poulet de chair soumis à un stress thermique aigu, en évaluant l'efficacité de cette technique à réduire et améliorer les réponses physiologiques des poulets de chair commerciaux exposés aux fluctuations prolongées des températures ambiantes estivales. Par conséquent, cette étude a été menée pour examiner les effets du conditionnement thermique précoce, la supplémentation en vinaigre et les effets d'interaction possibles des deux approches combinées sur les réponses physiologiques et métaboliques (fréquence respiratoire, température corporelle, contenu sanguin et concentrations d'hormones thyroïdiennes) des poulets de chair femelles et mâles soumis à un stress thermique chronique.

II. Matériels et Méthodes

II.1. Animaux et Modèle Expérimental

Sur une durée de 49 jours, 1100 poussins de poulet de chair, souche ISA HUBBARD, âgés d'un jour et issus d'un même couvoir local ont été utilisés dans cette expérimentation. Dés le premier jour (J1), les poussins ont été répartis de manière aléatoire en 20 lots de 55 sujets de poids vifs moyens similaires (39 ± 0,68 g).
Pour la période allant de 1 à 5 jours d'âges, tous les poussins (20 lots) ont été élevés dans un même bâtiment, dans des conditions d'élevage standard.

Au début de la matinée du 5ème jour d'élevage, 10 lots de poussins ont été transférés dans des caisses en plastiques vers un autre bâtiment préalablement chauffé (30°C). Les poussins ont été soumis à un conditionnement thermique (38°C pendant 24h avec une augmentation progressive de la température ambiante sur une durée de 5h). Au matin du sixième jour, les poussins acclimatés ont été reconduits dans leurs parquets respectifs, dans le bâtiment d'élevage initial.

Du 28ème au 49ème jour d'élevage, l'eau de boisson de 10 lots de poussins (5 lots conditionnés ; 5 lots non conditionnés) a été supplémentée en vinaigre à raison de 2 mL par litre d'eau potable.

Ainsi, dans le but de déterminer les effets des 3 facteurs à savoir, le conditionnement thermique précoce (CTP : Conditionné ; Non conditionné), la supplémentation de l'eau de boisson en vinaigre (SV : 0% ; 0,2%) et le sexe du poulets (SEXE : Femelles ; Mâles) quatre groupes de traitements ont été mis en place comme suit : (1) Groupe de poussins non

conditionnés et non supplémentés durant toute la période de l'expérimentation ; (2) Groupe de poussins exposés à 38 ± 1°C pendant 24 h au 5ème jours d'âge; (3) groupe de poussins supplémentés par 2 mL de vinaigre par litre d'eau potable du 28èmeau 49ème jour d'âge et (4) Groupe de poussins acclimatés à 38 ± 1°C pendant 24 h au 5ème jour d'âge et supplémentés par 2 mL de vinaigre par litre d'eau potable du 28èmeau 49ème jour d'âge.

Pendant toute l'expérimentation, tous les poussins ont été nourris avec un même aliment standard adapté à l'âge: un aliment démarrage (2800 kcal ME / kg, 20% de protéines brutes) distribué de J1 à J10, un aliment croissance (2900 kcal ME / kg, 19 % de protéines brutes) de J11 à J42 et un aliment finition (2930 kcal ME / kg, 17% de protéines brutes) de J43 à J49.

De J28 à J49, l'eau et l'aliment ont été distribués à volonté et l'ensemble des animaux était élevé dans un même bâtiment et soumis aux mêmes fluctuations des températures ambiantes de la saison estivale (les valeurs moyennes de la température ambiante et de l'hygrométrie diurnes enregistrées au cours de l'essai étaient respectivement de 30°C±1 et 58 % ± 5).

II.2. Mesures et analyses de laboratoire

II.2.1. Température corporelle et fréquence respiratoire

A 35, 42 et 49 jours d'âge, des mesures individuelles de la température cloacale et la fréquence respiratoire ont été réalisées sur les mêmes sujets (20 sujets : 10 femelles et 10 mâles de chaque groupe de traitement). La température cloacale a été obtenue en introduisant dans le rectum, un thermomètre à sonde, d'environ 3 cm. La fréquence respiratoire a été mesurée, en comptant le temps nécessaire pour 10 inspirations successives (t10), au cours d'une séquence d'hyperventilation, définie par l'ouverture du bec. Le nombre d'inspirations par minute a été ensuite calculé (Perez et al., 2006).

II.2.2. Analyses de laboratoire

À la fin de la période expérimentale (J49) et afin de déterminer les paramètres sanguins, des prélèvements ont été réalisés chez 16 poulets (8 femelles et 8 mâles) de chaque groupe expérimental. Le sang a été collecté, par saignée, après une mise à jeun préalable d'environ 12 heures, dans des tubes à EDTA et des tubes à héparine.

Le sang recueilli dans les tubes EDTA a été utilisé pour mesurer l'hématocrite, la concentration d'hémoglobine, le nombre des globules rouges, le volume globulaire moyen (MCV ou VGM), la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (MCH ou TCMH), la concentration moyenne en hémoglobine (MCHC ou CCMH) et le nombre total des plaquettes (PLT). Ces analyses ont été réalisées le jour même, sur du sang frais, en utilisant un analyseur automatique d'hématologie « ERMA PCE-210 » (Post et al., 2003).

Le sang recueilli dans les tubes à héparine a été centrifugé à 3000 tours par minute pendant 10 minutes. Les plasmas sanguins ont été collectés et conservés à -20°C jusqu'au jour de l'analyse.

Les dosages du glucose, des protéines totales, du cholestérol total et le calcium plasmatiques ont été réalisées par une technique enzymatique colorimétrique grâce à un spectrophotomètre (LKB Novastec). Les kits de réactifs utilisés sont de marque SPINREACT (SPINREACT, SA, Espagne) à différentes longueurs d'ondes :

- La concentration du glucose a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode GOD-POD à 505 nm (Trinder, 1969) ;
- la concentration totale en protéines a été analysée par la méthode Biuret (test colorimétrique) à 540 nm (Gornall et al., 1949);
- la concentration plasmatique en cholestérol a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode CHOD-PAP à 505 nm (Meiattini et al., 1978);
- la concentration plasmatique en triglycérides a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode enzymatique GPO-PAP à 505 nm (Fossati et Prencipe, 1982) **;**
- la concentration en calcium plasmatique a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode du complexe β-Cresophtaleine v/v à 570 nm (Stern et Lewis, 1957).

Les concentrations plasmatiques de triiodothyronine t (T3) et thyroxine (T4) ont été mesurées par la méthode radio-immunologique (RIA) (Eastman et al., 1975).

II.3. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'un logiciel statistique (SAS Institute Inc). Les données sur la température corporelle et la fréquence respiratoire ont été analysées en tant que mesures répétées en utilisant la procédure du modèle linéaire généralisé

(GLM) du SAS. La signification de la tendance dans le temps a été déterminée en utilisant une analyse polynomiale orthogonale, tandis que toutes les analyses de données de laboratoire ont été effectuées en utilisant la procédure GLM de SAS 9.3 comme un plan d'arrangement factoriel 2 × 2 × 2. Les effets du conditionnement thermique précoce (CTE), de la supplémentation en vinaigre (VS), du sexe des poulets de chair (SEXE) et de leurs interactions ont été déterminés. L'unité expérimentale était un lot de 55 poussins avec 5 répétitions. La signification statistique a été fixée à P <0,05. Les analyses des moindres carrés ont été utilisées pour détecter les différences.

III. Résultats

Les effets du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (SV) et du sexe(SEXE) sur la température corporelle et la fréquence respiratoire des poulets de chair âgés de 35, 42 et 49 jours et soumis à un stress thermique chronique sont présentés dans le tableau 7.

D'après nos résultats, le sexe ainsi que le conditionnement thermique précoce n'ont pas affecté significativement (P> 0,05) la température corporelle et la fréquence respiratoire des poulets de chair élevés dans des conditions estivales chaudes. Cependant, la supplémentation de l'eau de boisson en vinaigre a significativement modifié la température corporelle sans faire varier la fréquence respiratoire. En effet, la température corporelle des poulets de chair supplémentés en vinaigre a changé linéairement (P = 0,002) et quadratiquement (P = 0,012) en fonction de l'âge.

Tableau 7 : Effet du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (VS) et du sexe (F et M) sur la température corporelle et la fréquence respiratoire des poulets âgés de 35, 42 et 49 jours et élevés à des fortes températures estivales.

	TempératureCorporelle (°C)			TauxRespiratoire (inspiration/min)			*P** Orthogonal Polynomials			
							Température Corporelle		TauxRespiratoire	
	J35	J42	J49	J35	J42	J49	L	Q	L	Q
CTP										
Non conditionné	42,39	42,72	42,56	141,00	167,28	208,62	0,372	0,732	0,133	0,440
Conditionné	42,32	42,66	42,62	139,02	166,49	216,37				
SV										
0%	42,44	42,58	42,52	141,78	163,75	213,39	0,002	0,012	0,785	0,063
0,2%	42,28	42,80	42,69	138,24	170,02	211,60				
SEXE										
F	42,29	42,61	42,55	141,32	166,32	214,30	0,842	0,732	0,878	0,372
M	42,43	42,77	42,67	138,70	167,45	210,69				

**** : P<0.05; L: Linéaire.; Q : Quadratique***

Les effets du CTP, VS, SEXE et leurs interactions sur la biochimie du sang des poulets de chair soumis à un stress thermique chronique sont présentés dans le tableau 8.

L'analyse statistique a montré que le CTP et la SV n'ont pas affecté significativement (P> 0,05) la concentration plasmatique des protéines totales, mais ont fait varier la concentration du glucose plasmatique. La glycémie des poulets acclimatés (CTP) était significativement diminuée (-11%, P <0,0001), tandis que celle des poulets supplémentés en 0,2% de vinaigre (VS) était significativement augmentée (+ 9%, P <0,01). Une interaction significative (P <0,05) entre le CTP et la SV sur les concentrations plasmatiques du cholestérol total et des triglycérides a été observée. Pareillement, la SV a significativement diminué les concentrations du cholestérol (-32%, P <0,0001) et triglycérides (-15%, P = 0,014). De même, une interaction significative (P <0,0001) entre CTP et VS a été observée sur la concentration plasmatique du calcium des poulets soumis à un stress thermique chronique.

Les résultats ont montré que les concentrations plasmatiques des protéines totales, glucose et calcium des femelles étaient similaires à celles des mâles. Tandis que, les valeurs du cholestérol et triglycérides plasmatiques étaient plus élevées chez les femelles que les mâles. De plus, une interaction significative entre la SV et le SEXE sur les profils plasmatiques des triglycérides et du calcium a été observée. Cependant, seulement le taux du calcium plasmatique des poulets élevés au chaud était affecté par l'interaction des 3 facteurs (CTP×SV×SEXE).

Tableau 8 : Les effets du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (SV) et du SEXE (F et M) sur les paramètres biochimiques du poulet de chair âgé de 49 jours et élevés à des fortes températures estivales.

Facteurs		**Total Protein (g/dL)**	**Glucose (mg/dL)**	**Cholesterol (mg/dL)**	**Triglyceride (mg/dL)**	**Calcium (mg/dL)**
CTP	Non conditionné	3,09	243,11	87,16	59,03	6,34
	Conditionné	3,05	215,62	84,63	59,29	6,27
SV	0%	3,02	219,67	101,52	63,42	6,30
	0,2%	3,12	239,06	68,74	54,18	6,30
SEXE	F	3,15	230,04	90,99	64,43	6,21
	M	2,99	228,68	80,81	53,89	6,39
SEM		0,07	4,63	2,48	2,15	0,23
Valeurs de P*						
CTP		0,653	<0,0001	0,471	0,932	0,829
SV		0,358	0,005	<0,0001	0,0008	0,995
Sexe		0,116	0,837	0,005	0,001	0,569
CTP×SV		0,780	0,368	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CTP×SEXE		0,410	0,428	0,491	0,845	0,351
SV×SEXE		0,288	0,265	0,068	0,002	0,005
CTP×SV×SEXE		0,219	0,904	0,165	0,586	0,0007

Les effets du CTP, SV et SEXE et leurs interactions sur les paramètres hématologiques des poulets de chair soumis à un stress thermique chronique sont présentés dans le tableau 9.

Le CTP des poussins a significativement augmenté l'hématocrite et le nombre de globules rouges circulants (+ 6,5%, P = 0,012et, +6%, P <0,05, respectivement). Cependant, ce même facteur (CTP) a fait baisser le niveau des MCHC sans réduire les valeurs de l'hémoglobine (P = 0,215). Par ailleurs, le SEXE des poulets soumis à un stress thermique chronique a significativement influencé le nombre de globules rouges (P = 0,03), MCV (P <0,001), et MCHC (P = 0,0017). Par ailleurs, aucun effet significatif (P> 0,05) de la SV ainsi que les différentes interactions entre les 3 facteurs étudiés sur les paramètres hématologiques des poulets de chair élevés sous un climat chaud n'a été observé.

Tableau 9 : Effet du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (VS) et du SEXE (F et M) sur les paramètres hématologiques des poulets de chair âgés de 49 jours et élevés à des fortes températures estivales.

Facteurs		Hct %	GR×10^6(µL)	Hmg (g/dL)	MCV(fL)	MCH (pg)	MCHC (g/dL)	PlTs×10^6 (µL)
CTP	Non conditionné	26,52	2,56	8,74	104,21	34,13	32,96	15,11
	Conditionné	28,25	2,70	9,06	104,54	33,54	32,07	15,32
SV	0%	27,46	2,64	8,84	104,51	33,49	32,24	16,07
	0,2%	27,31	2,62	8,97	104,25	34,19	32,78	14,35
SEXE	F	27,19	2,71	9,10	101,93	33,63	33,08	16,14
	M	27,57	2,55	8,70	106,83	34,05	31,93	14,29
SEM		0.49	0,05	0,18	0,60	0,33	0,24	1,13
Valeurs de P*								
CTP		0,015	0,042	0,215	0,701	0,215	0,013	0,894
SV		0,833	0,819	0,617	0,764	0,143	0,126	0,289
SEXE		0,587	0,033	0,119	<0,001	0,376	0,0017	0,251
CTP×SV		0,260	0,399	0,676	0,652	0,567	0,099	0,201
CTP×SEXE		0,842	0,423	0,409	0,235	0,785	0,256	0,125
SV×SEXE		0,969	0,541	0,980	0,05	0,295	0,830	0,425
CTP×VS×SEXE		0,481	0,367	0,509	0,791	0,778	0,721	0,088

Les effets du CTP, SV, SEXE et leurs interactions sur les hormones thyroïdiennes (T3, T4) des poulets de chair soumis à un stress thermique chronique sont présentés dans le tableau 10.

Aucun effet significatif (P> 0,05) de la supplémentation de l'aliment en graines de cumin sur les concentrations plasmatiques de T3 et T4 et sur le rapport T3: T4 n'a été observé. Cependant, les résultats ont révélé de légères augmentations numériques (non significative) des T3 (+13%) et T4 (+10%) chez les poulets supplémentés en cumin et exposés aux fortes chaleurs.

Les concentrations plasmatiques de T3 et T4n'ont pas été affectés significativement (P>0,05) par le CTP des poussins et la SV des poulets. Cependant, les résultats ont révélé que le rapport T3/T4 a été réduit significativement (P = 0,04) par le CTP des poussins à J5.

En outre, aucune différence liée au SEXE n'a été enregistrée entre les concentrations plasmatiques des T3 des poulets élevés au chaud. En revanche, les taux des T4, ainsi que le rapport T3/T4 étaient significativement (P = 0,04 ; P = 0,016 respectivement) différents entre les deux sexes. En effet, les T4 plasmatiques et les ratios T3/T4 ont connu respectivement, une augmentation (P = 0,04) et une diminution significatives (P = 0,016) chez les femelles par rapport aux mâles.

Mise à part l'effet significatif (P=0,045) de l'interaction entre le CTP des poussins et le SEXE des poulets sur le rapport T3/T4, toutes les autres interactions entre les différents facteurs étudiés se sont révélées sans effet significatif (P>0.05) sur les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes et le ratio T3/T4.

Tableau 10 : Effet du conditionnement thermique précoce (CTP), de la supplémentation en vinaigre (SV) et du SEXE (F et M) sur les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes des poulets de chair âgés de 49j et élevés à des fortes températures estivales.

Facteurs		T3(pm)	T4(pm)	T3/T4
CTP	Non conditionné	2,41	7,52	0,59
	Conditionné	2,57	9,43	0,35
SV	0%	2,60	7,78	0,54
	0,2%	2,39	9,17	0,40
SEXE	F	2,39	9,69	0,33
	M	2,59	7,26	0,61
SEM		0,24	0,82	0,08
Valeurs de P				
CTP		0,632	0,107	0,04
SV		0,545	0,238	0,212
SEXE		0,567	0,043	0,016
CTP×SV		0,213	0,639	0,906
CTP×SEXE		0,483	0,774	0,045
SV×SEXE		0,584	0,575	0,071
CTP×SV×SEXE		0,515	0,897	0,242

IV. Discussion

La température corporelle et la fréquence respiratoire sont des paramètres physiologiques qui peuvent être considérés comme indicateurs lors d'un stress thermique. Dans cette étude, le conditionnement thermique précoce des poussins à l'âge de 5j, ainsi que le sexe des poulets n'ont pas influencé les variations de la température corporelle des poulets élevés au chaud en période de croissance (J35, J42) et à l'âge de l'abattage (j49). Des travaux antérieurs ont rapporté que la principale réponse physiologique des poulets acclimatés à la chaleur était une atténuation de l'hyperthermie, enregistrée durant les périodes chaudes (May et al., 1987 ;Teeter et al., 1992 ; De Basilio et al., 2003). Cependant, la plupart de ces études ont été conduites afin d'élucider l'effet de l'acclimatation précoce sur l'acquisition de la thermotolérance à court et long terme, en mesurant la température rectale du poulet, généralement après une exposition à un coup de chaleur et ceci, soit quelques heures ou jours après son acclimatation, soit ultérieurement à l'âge de 6 semaines.

Dans nos conditions expérimentales, l'absence d'effet du CTP sur les variations de la température rectale des poulets élevés au chaud est probablement lié à une adaptation naturelle à la chaleur des poulets non acclimatés et exposés aux fortes températures ambiantes, pendant une période prolongée (condition estivale). Ces résultats corroborent les travaux de Hassan et al. (2012), qui ont rapporté que les réponses des poulets de chair soumis à un stress thermique précoce étaient similaires à celles exprimées par des poulets adaptés à la chaleur, lors d'une exposition à un stress thermique chronique.

De plus, Collin et al. (2007) ont rapporté que les manipulations thermiques, précoces ou tardives au cours de la période d'embryogénèse des poulets de chair n'ont pas permis d'obtenir une amélioration durable (à long terme) de la thermotolérance, exprimée par les valeurs des températures rectales, mesurées à28, 35 et 41 jours d'âge.

À notre connaissance, aucune étude n'a fait objet des effets de la supplémentation hydrique en vinaigre sur la fréquence respiratoire et la température rectale des poulets de chair exposés à une température ambiante élevée. Dans la présente étude, la supplémentation en vinaigre (SV) a significativement influencé la température corporelle selon l'âge des poulets, soumis aux fluctuations des températures ambiantes de la saison estivale. Cependant, des effets linéaire et quadratique, significatifs, ont été enregistrés. Après 2 semaines de supplémentation en période de croissance (à J42), une augmentation de la température rectale a été observée, suivie d'une réduction de l'hyperthermie, à la fin de la troisième semaine de supplémentation (à J49). Ceci

démontre une possible contribution de la SV dans l'amélioration, à long terme, de l'acquisition de la thermotolérance des poulets de chair soumis à un stress thermique chronique. Ces résultats nous permettent de confirmer les hypothèses que les supplémentations hydrique ou alimentaire en acides peuvent rétablir le pH sanguin à des valeurs normales, afin de corriger et maintenir l'équilibre thermique (Hilmann et al., 1985). Cependant, aucun effet significatif de la SV sur la fréquence respiratoire du poulet exposé à la chaleur n'a été observé.

Par ailleurs, les paramètres biochimiques sanguins sont également sensibles aux fluctuations des températures ambiantes, ce qui leurs confèrent la particularité d'être d'une part, des indicateurs importants des réponses physiologiques des animaux et d'autre part, de les utiliser pour évaluer la tolérance des poulets à la chaleur. Les protéines plasmatiques jouent un rôle important dans l'homéostasie. Des études antérieures ont rapporté que le profil des protéines plasmatiques chez les oiseaux a changé avec les variations des conditions thermiques environnementales (Zhou et al., 1999 ; Lin et al., 2006a). En outre, la réponse au stress thermique peut également être modulée par l'acclimatation thermique précoce des poussins, en modifiant la concentration de plusieurs paramètres sanguins (Yahav et al., 1997b). Selon notre étude, le CTP n'a pas modifié la concentration plasmatique des protéines totales, des poulets élevés en ambiance chaudes. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés par Toplu et al. (2014), mais ne correspondent pas avec ceux observés par d'autres auteurs (Zhou et al., 1999 ; Al-Zghoul et al., 2015). Ces derniers ont rapporté, par contre, une augmentation des taux plasmatiques des protéines totales, des poulets exposés à un stress thermique suite à des manipulations thermiques pré et post-natales, suggérant ainsi, une amélioration de l'immunité humorale ainsi qu'une protection contre les lésions musculaires générées par le stress thermique (Al-Zghoul et al., 2015).

De même, le profil des protéines plasmatiques ne semble pas être affecté, ni par la SV ou le SEXE des poulets, ni par aucune des interactions étudiées. Pareillement, aucune variation significative de ce paramètre sanguin n'a été associée à l'acidification de la ration alimentaire, des poulets de chair élevés dans des conditions de thermoneutralité (Abdel-Fattah et al., 2008 ; Nourmohamadi et al., 2010).

Nos résultats révèlent que le CTP des poussins a réduit les effets néfastes des températures ambiantes chaudes sur les niveaux du glucose plasmatique et confirment ceux rapportés précédemment par Toplu et al. (2014). Cependant, la SV augmente les concentrations du glucose. Certains travaux réalisés chez l'homme et le lapin ont montré que le vinaigre possède une activité hypoglycémiante (Ostman et al., 2005 ; Setorki et al., 2010 ; Mahmoodi et al.,

2013). Des résultats contradictoires ont également été rapportés. Johnston et al. (2010) ont observé que les propriétés hypoglycémiantes postprandiales du vinaigre étaient influencées par les moments de prélèvement du sang. Ainsi, ces mêmes auteurs ont précisé que cette propriété hypoglycémiante ne peut durer après les 5 heures qui suivent la consommation du vinaigre.

Dans cette étude, la supplémentation en vinaigre seule (SV) ou en association avec le conditionnement thermique précoce (SV×CTP) a significativement modifié les profils lipidiques sanguins, des poulets soumis à un stress thermique chronique, en diminuant les concentrations plasmatiques du cholestérol total et des triglycérides. En effet, certaines études ont rapporté qu'en conditions de thermoneutralité, la supplémentation alimentaire en acidifiant a significativement réduit les taux plasmatiques de cholestérol, lipides totaux et triglycérides (Abdo 2004 ; Abdel-Fattah et al., 2008).

De plus, les propriétés hypolipidémiques et hypocholestérolémiques du vinaigre ont précédemment été rapportées (Shishehbor et al., 2007 ; Setorki et al., 2010 ; Capcarova et al., 2014). Plusieurs mécanismes, par lesquels le vinaigre peut agir sur le profil lipidique ont été décrits. Fushimi et al. (2006) ont étudié l'efficacité du vinaigre pour la prévention d'une hyperlipidémie chez le rat et ont montré que l'acide acétique, l'ingrédient actif du vinaigre, pourrait contrôler ces paramètres sanguins par différents mécanismes: inhibition des voies métaboliques, au niveau hépatique, de la cholestérogenèse et de la lipogenèse, l'oxydation des acides gras, ainsi que la stimulation de l'excrétion des acides biliaires. De même, l'effet inhibiteur de l'AMPK (protéine kinase activée par l'AMP), produite au niveau hépatique par le métabolisme de l'acide acétique, sur la synthèse des acides gras et des stérols a déjà été rapporté (Winder et Hardie, 1999).

Nos résultats ont également montré que les poulets mâles soumis à un stress thermique chronique ont présenté des profils lipidiques plus faibles que les femelles, en termes de concentration plasmatique de cholestérol et triglycérides. La revue de la littérature nous révèle un manque en études relatives aux effets du sexe sur les variations quantitatives des métabolites sanguins, chez le poulet de chair commercial élevé en climat chaud.

Dans notre étude, aucun effet significatif du CTP et la SV sur les concentrations du calcium sanguin n'a été enregistré. Ces résultats sont similaires avec ceux rapportés par Hassan et al.

(2012) pour les poulets soumis à un conditionnement thermique précoce (24h à J5) et ceux adaptés à la chaleur lors d'un stress thermique chronique. De même, Al-Zghoul et al. (2015) ont rapporté que la manipulation thermique, durant l'embryogenèse des poulets de chair, n'affectait pas la concentration de calcium dans le sang.

Des études menées par Kishi et al. (1999) ont révélé qu'un régime contenant de l'acide acétique ou du vinaigre était sans influence sur le taux du calcium sérique des rats ovariectomisés. Toutefois, en conditions de neutralité thermique, l'ajout de certains acides organiques, au régime alimentaire du poulet de chair, était à l'origine d'une augmentation significative du de la calcémie (Bolinget al., 2001 ; Abdo et al., 2004). Cette augmentation était liée à la baisse du pH du tractus gastro-intestinal par ces acides entrainant ainsi, une amélioration de la digestibilité et par conséquent, une augmentation de l'absorption du calcium (Abdel-Fattah et al., 2008).

Par ailleurs, nos résultats révèlent que les concentrations calciques du sang des poulets soumis à un stress thermique chronique sont influencées par l'effet significatif des interactions entre le CTP et la SV ($P < 0,001$) ; la SV et le SEXE ($P = 0,005$) et entre le CTP, la SV et le Sexe ($P = 0,0007$).

Plusieurs études ont indiqué que la diminution de la concentration d'hémoglobine, associée à une élévation de la température ambiante, s'accompagnait généralement d'une diminution des valeurs de l'hématocrite et du nombre de globules rouges (Sturkie 1986 ; Zhou et al., 1999). Cette diminution a été essentiellement attribuée aux difficultés de l'absorption et du transport de l'oxygène (Phillips et al., 1985), à la baisse de l'érythropoïèse (Donkoh et al., 1989) et / ou à une hémodilution, qui fait suite à une augmentation de la consommation d'eau (Darre et Harisson, 1987). Des études antérieures ont révélé que le conditionnement thermique précoce peut entrainer des changements hémodynamiques chez les poulets élevés en ambiance chaude, en augmentant l'hématocrite, le nombre des érythrocytes circulants et la concentration en hémoglobine (Yahav et Plavnik 1999 ; Yalcin et al., 2009). Pareillement, dans la présente étude, le CTP a entrainé une augmentation de la valeur de l'hématocrite et du nombre de globules rouges, avec une légère augmentation de la concentration d'hémoglobine qui reste non significative ($P = 0,215$). L'augmentation de ces paramètres pourrait être une réponse positive des poulets au CTP, ce qui nous laisse supposer une éventuelle atténuation de la dépression de l'érythropoïèse, causée par le stress thermique. Cependant, le CTP a diminué la concentration moyenne en hémoglobine (MCHC), sans modifier la teneur corpusculaire

moyenne en hémoglobine (MCH), le volume globulaire moyen (MCV) et le niveau des plaquettes sanguines (PLT). De même, aucun effet significatif sur les paramètres hématologiques n'a été enregistré par la SV seule ou en association avec le CTP. Très peu, sont les études consacrées aux effets de la supplémentation alimentaire ou hydrique en acidifiants sur les paramètres hématologiques des poulets élevés dans les conditions thermiques standards ou élevées. Cependant, en conditions de stress thermique, les travaux de Tollba (2010) n'ont révélé aucun effet significatif de la supplémentation alimentaire en acide citrique sur le nombre de globules rouges.

Par ailleurs, cette étude montre que le nombre de globules rouges, le MCV et la MCHC varient significativement (P <0,05) en fonction du SEXE. Les femelles soumises à un stress thermique chronique présentent un nombre de globules rouges et une concentration moyenne en hémoglobine (MCHC) plus élevés (P = 0,03 ; *P*=0,002, respectivement), un volume corpusculaire moyen plus faible (P <0,001) et un niveau d'hémoglobine similaire (P=0,12) que les mâles soumis aux mêmes conditions d'ambiance. Ce profil hématologique nous laisse à supposer que les femelles sont moins stressées, et en même temps, il s'appui d'une manière irréfutable que les mâles sont plus vulnérables aux changements environnementaux (Fernandes et al., 2016). Aucun effet d'interaction des trois facteurs n'a été observé sur les paramètres hématologiques mesurés.

Dans la présente étude, aucun effet du CTP et la SV sur les concentrations plasmatiques des T3 et T4 n'a été enregistré. En revanche, le CTP a significativement réduit le rapport T3/T4. Pareillement, May et al. (1986) ont rapporté qu'une courte acclimatation précoce n'a pas modifié les concentrations des hormones thyroïdiennes circulantes, mais elle a entrainé d'autres réponses physiologiques et endocriniennes. En effet, Bowen et Washburn (1985) ont montré que l'augmentation de la thermorésistance, observée dans leur précédent travail (Bowen et Washburn, 1984) chez des poulets conditionnés, n'était pas due à des modifications de la fonction thyroïdienne mais plutôt à une diminution des taux plasmatiques de corticostérone. De plus, Yalcin et al. (2009) ont signalé que les oiseaux soumis à une acclimatation prénatale étaient moins stressés et présentaient une meilleure résistance à la chaleur, comparativement aux individus non acclimatés. Ces mêmes auteurs ont estimé que l'élévation numérique (non significative) des niveaux de T3 dans le sang était due à une moindre utilisation de T3 dans le métabolisme oxydatif et par conséquent, à une moindre absorption hépatique entrainant ainsi une concentration plasmatique en T3 plus importante. Par ailleurs, plusieurs études ont rapporté que l'acclimatation thermique précoce des oiseaux

améliorait la thermotolérance au stress thermique, en réduisant la concentration plasmatique de triiodotyronine (T3) (Tanizaw et al., 2014 ; Dalkilic et al., 2015).

Dans des conditions de neutralité thermique, Abdel-Fattah et al. (2008) et Nourmohammadi et al. (2010) ont rapporté, que la supplémentation alimentaire des poulets de chair en d'acidifiants, tels que l'acide acétique et l'acide citrique, a augmenté le taux sérique de T3 sans modifier les T4.

Dans cette présente étude, la concentration des T4 ainsi que le rapport T3/T4 varient significativement avec le facteur SEXE (P = 0,043 ; P = 0,016, respectivement). Ainsi, les femelles présentent une concentration plus élevée de T4, un ratio T3/T4plus faible et une faible diminution non significative (P> 0,05) de la concentration des T3 par rapport aux mâles leurs conférant ainsi, une meilleure adaptation aux fortes températures estivales prolongées.

V. **Conclusion**

Dans nos conditions expérimentales, le conditionnement thermique précoce des poussins à l'âge de 5 jours ainsi que la supplémentation de l'eau de boisson en 0,2% de vinaigre, testés pour permettre aux poulets de chair (mâles et femelles) de faire face aux fortes températures estivale prolongées, induit des réponses physiologiques positives. Ainsi, le CTP a permis d'améliorer la glycémie, certains paramètres hématologiques (hématocrite et globules rouges) ainsi que les ratios T3/T4 des poulets de chair soumis à un stress thermique chronique. Par ailleurs, des effets positifs de la SV, seule ou en association au CTP, sur le profil lipidique des poulets soumis à un stress thermique chronique sont rapportés dans cette présente étude.

Chapitre II. Performance de croissance, rendement de carcasse et des viscères, constituants sanguins et concentrations d'hormones thyroïdiennes des poulets de chair soumis à un stress chronique et nourris par un régime supplémenté en graines de cumin (*Cuminum cyminum L.)*

Publication N° 2

Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer l'impact de la supplémentation alimentaire en graines de cumin (*Cuminum cyminum L.*) sur les performances de croissance, les poids relatifs des carcasses et des viscères, les paramètres hématologiques et biochimiques du sang et les concentrations en hormones thyroïdiennes des poulets de chair soumis aux fluctuations naturelles de la chaleur estivale entre 28 et 49 jours d'âge. Au total, 440 poulets âgés de 28 jours ont été répartis en 2 groupes (5 répétitions de 44 sujets) de poids corporel similaire (971 ± 48 g) : un groupe "Témoin" nourri avec un régime standard et un groupe "Cumin" recevant le même régime standard supplémenté de 0,2% de cumin. Dans nos conditions expérimentales, la supplémentation alimentaire en cumin n'a pas significativement modifié le taux de croissance et le poids corporel final des poulets exposés à la chaleur, mais a légèrement amélioré le taux de conversion alimentaire (-7%, P = 0,1). Par ailleurs, aucune différence significative des rendements de carcasse et des viscères (foie, coeur, gésier, rate, bourse et thymus), de la morphologie intestinale et des quantités de graisses abdominale n'a été enregistrée entre les deux groupes expérimentaux. De même, les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes (T3 et T4) ne révèlent aucune modification notable par l'inclusion du cumin dans le régime alimentaire (P> 0,05). Néanmoins, cet additif réduit significativement (P <0,01) les concentrations plasmatique du glucose, du cholestérol, des triglycérides et des protéines totales et augmente le taux de calcium sanguin des poulets élevés au chaud. En effet la supplémentation du régime alimentaire en cumin peut être un moyen efficace pour améliorer la conversion alimentaire et pour réduire les troubles de la glycémie, la lipidémie et la calcémie des poulets exposés aux fortes chaleurs estivales.

Mots-clés: paramètres sanguins, poulets de chair; Carcasse, stress thermique chronique; Climat, *Cuminum cyminum*, Performance, Hormones thyroïdiennes

I. Introduction

Pendant la saison estivale, le stress thermique chronique constitue un réel problème pour la production avicole. Il est à l'origine d'une perte économique considérable en diminuant la productivité (St-Pierre et al., 2003). Park et ses collaborateurs (2013) ont rapporté que l'exposition à la chaleur diminue le taux de croissance des poulets de chair suite à une réduction de l'ingéré alimentaire, et génère aussi de nombreux changements physiologiques, hormonaux et moléculaires. En outre, il a été établi que le stress thermique chronique affecte le développement de plusieurs organes internes tels que les organes digestifs (proventricule, gésier et intestin) et lymphoïdes (thymus, rate et bourse de Fabricius), ce qui pourrait compromettre l'efficacité de la digestibilité et de la capacité d'absorption, ainsi que les réponses immunitaires des oiseaux (Marchini et al., 2011, Park et al., 2013,).

Ces dernières décennies, le nombre de travaux de recherche ayant pour but de pallier les contraintes des fortes chaleurs sur la production avicole a considérablement augmenté (Renaudeau et al., 2012). Plusieurs approches nutritionnelles utilisant des additifs alimentaires naturels ont été suggérées. A cet égard, de nombreuses études ont montré que la supplémentation en nutriments antioxydants, sous leur forme synthétique (vitamines, minéraux) ou naturelle (herbes, épices), peut être utilisée pour améliorer la productivité (Ayaşan, 2011), augmenter la disponibilité des nutriments et prévenir les effets néfastes du stress thermique (Sahin et al., 2003, Çiftçi et al., 2013).

Parmi les additifs alimentaires, le *Cuminum cyminum* est une petite plante annuelle et herbacée appartenant à la famille des *Apiaceae* (*Umbelliferae*), cultivée en Arabie, Inde et Chine ainsi que dans les pays riverains de la Méditerranée (Thippeswamy et Naidu, 2005). Les graines de *Cuminum cyminum* ont montré d'excellentes propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, généralement attribuées à leurs composants majeurs tels que le cuminaldéhyde, les terpinènes, les polyphénols et les flavoïdes (Alinian et al., 2015). En revue de la littérature, peu de travaux ont fait objet de recherche sur l'effet du cumin (*Cuminum cyminum* L.) sur les performances zootechniques et les réponses physiologiques des poulets de chair exposés aux fortes températures ambiantes. Néanmoins, quelques études se sont intéressées aux effets de l'inclusion alimentaire de *Cuminum cyminum L.* sur les performances de croissance des poulets de chair élevés dans les conditions standards de thermoneutralité (Golian et al., 2010 , Al-Kassi, 2010). Al-Kassy, (2010) a constaté qu'une supplémentation alimentaire de 0,5 ou 1% de graines de cumin était à l'origine d'une amélioration du gain pondéral et du taux de conversion alimentaire ainsi que d'une diminution

des valeurs hématologiques (hémoglobine, globules rouges et l'hématocrite) chez des poulets élevés en conditions de neutralité thermique.

Dans des conditions de stress thermique, la supplémentation alimentaire en cumin (2 g/kg) des poussins à croissance lente a amélioré le gain de poids, augmenté le poids de carcasse du foie, de pancréas et de proventricule en pourcent du poids vif et augmenté les valeurs de l'hématocrite et la concentration sanguine en hémoglobine (Ali et al., 2010). Les résultats de ce travail nous ont incités à étudier l'influence du cumin sur les performances de croissance, le métabolisme et les hormones thyroïdiennes des poulets de chair de souche commerciale élevés sous climat chaud. Le but de cette étude était d'évaluer l'efficacité de la supplémentation alimentaire en graines de cumin (2 g/kg) à améliorer les performances de croissance, le rendement des carcasses, les poids des organes lymphoïdes et certains paramètres hématologiques, biochimiques et hormonaux des poulets de chair élevés en conditions chaudes (fluctuation naturelle des températures ambiantes des saisons estivales) en Algérie

II. Matériels et Méthodes

II.1. Animaux et Modèle Expérimental

Au total, 500 poussins de poulet de chair, de souche ISA HUBBARD, non sexés, âgés d'un jour et provenant d'un même couvoir local ont été utilisés dans cette expérimentation.

Pour la période allant de 1 à 28 jours d'âges (période pré-expérimentale), les poussins ont été élevés dans des conditions d'élevage standard et nourris avec un aliment démarrage standard (2 800 kcal ME / kg, 20% de protéines brutes) de J1 à J10 et un aliment croissance (2900 kcal ME / kg, 19% de protéines brutes) de J11 à J28.

A l'âge de 28 jours (début de la période expérimentale), 440 poussins ont été sélectionnés et répartis, sur la base de leur poids corporels, en 2 groupes de poids vifs moyens similaires (971 ± 48 g), avec 5 lots de répétition à raison de 44 sujets par lot. Les poulets du groupe « Témoin » ont été nourris avec un aliment classique adapté à l'âge (un aliment croissance de 28 à 42 jours d'âge et un aliment finition de 43 à 49 jours d'âges) dont la composition est présentée dans le **tableau 11**. Les poulets du groupe « Cumin » ont reçu le même aliment classique supplémenté avec 0,2% de cumin (*Cuminum cyminum L.*) sous forme de poudre fine.

Avec un accès libre à l'alimentation et à l'eau, durant toute cette période expérimentale, l'ensemble des poulets était maintenu dans des conditions d'élevage similaires et exposé aux fluctuations naturelles de la température ambiante estivale (**Figure 9**).

II.2. Mesures et analyses réalisées

II.2. 1. Les Performances de croissance

Pour chaque groupe expérimental (Témoin et Cumin), le poids corporel, le gain de poids, l'ingéré alimentaire ainsi que l'indice de conversion alimentaire (g d'aliment / g de gain de poids) ont été déterminés à la fin de chaque phase d'élevage, à savoir j42 et j49.

II.2.2. Les caractéristiques de la carcasse

A l'âge de 49 jours, 10 poulets par groupe ont été pesés, sacrifiés par saignée puis plumés. Après éviscération, les carcasses, le gras abdominal ainsi que les organes internes prélevés (foie, cœur, gésier vide, rate, thymus, bourse de Fabricius et intestin) ont été pesés puis leurs poids été rapportés aux poids vifs des poulets. Aussi, la longueur totale de l'intestin a été mesurée et la densité intestinale calculée.

II.2.3. Analyses de laboratoires

A la fin de la période expérimentale (J49), 10 oiseaux, ayant un poids corporel similaire au poids vif moyen de leurs groupes, ont été sélectionnés pour déterminer les différents paramètres sanguins. Les oiseaux ont été mis préalablement à jeun pendant approximativement 12 heures avant la prise de sang.

II.2.3.1. Analyses hématologiques

A l'abattage, les échantillons de sang ont été collectés par saignée, dans des tubes à EDTA. Les déterminations du taux d'hématocrite, la concentration d'hémoglobine et le nombre total de globules rouges (GR) ont été réalisées le jour même sur du sang frais, en utilisant un analyseur automatique d'hématologie comme décrit par Post et al., (2003).

II.2.3.2. Analyses biochimiques

Les échantillons de sang ont été collectés par saignée dans des tubes à héparine, puis centrifugés à 3000 tours par minute pendant 10 min. Les plasmas sanguins obtenus ont été collectés et conservés à -20°C jusqu'au jour de l'analyse.

Le glucose, les protéines totales, le cholestérol total et le calcium plasmatiques ont été déterminés par l'utilisation d'un spectrophotomètre (LKB Novastec) et des kits commerciaux (SPINREACT, SA, Espagne) à différentes longueurs d'ondes :

- La concentration du glucose a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode GOD-POD à 505 nm (Trinder, 1969) ;

- la concentration totale en protéines a été analysée par la méthode Biuret (test colorimétrique) à 540 nm (Gornall et al., 1949);

- la concentration plasmatique en cholestérol a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode CHOD-PAP à 505 nm (Meiattini et al., 1978);

- la concentration plasmatique en triglycérides a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode enzymatique GPO-PAP à 505 nm (Fossati et Prencipe, 1982) **;**

- la concentration en calcium plasmatique a été déterminée en mg/dL en utilisant la méthode du complexe β-Cresophtaleine v/v à 570 nm (Stern et Lewis, 1957).

II.2.3.3. Dosage des hormones thyroïdiennes

Les échantillons sanguins ont été collectés dans des tubes à héparine, centrifugés à 3000 tours par minute pendant 10 min. Les plasmas ont été récupérés, étiquetés et conservés dans des eppendorfs à -20°C jusqu'au jour de l'analyse. Les concentrations plasmatiques de triiodothyronine total (T3) et thyroxine (T4) ont été mesurées par la méthode radio-immunologique (RIA) (Eastman et al., 1975) .

II.3. Analyses Statistiques

Les données ont été exprimées par la moyenne ± erreur standard et soumises à une analyse de variance à un facteur (ANOVA 1), effectuées à l'aide du programme StatView (Abacus Concepts, 1996, Inc,, Berkeley, CA94704-1014, USA). Les différences ont été considérées statistiquement significatives à $P<0,05$.

Tableau 11. Composition de l'aliment de base de l'expérimentation

Ingrédients (g/100 g)	**Démarrage(d1-10)**	**Croissance (d11-42)**	**Finition (d43-49)**
Maïs	60,90	64,80	68,60
Son de blé	5,90	5,00	6,00
Tourteau de soja (46% CP)	29,20	26,40	21,80
Calcaire	0,57	1,20	1,30
Phosphate Bicalcique	2,40	1,60	1,30
Méthionine	0,03	-	-
Premix minéraux-vitamines D-C[a]	1,00	1,00	-
Premix minéraux-vitamines F[b]	-	-	1,00

[a] ***Chaque kilogramme de l'aliment démarrage et croissance fournit****: 850,000 IU de Vitamine A; 170,000 IU de vitamine D3; 1,350 IU de vitamine E; 199 mg de vitamine K3, 100 mg de vitamine B1; 450 mg de vitamine B2; 150 mg de vitamine B6; 1 mg de vitamine B12; 1,5 mg de Biotine; 600 mg d'acide pantothenique; 1,000 mg de niacine; 40 mg d'acide folique; 34 800 de chlorure de choline: 100 000 mg; 738,8 mg de cendres brutes; 142,7 mg de calcium; 5,1 mg de magnésium; 130,5 mg de sodium; 1,2 mg de soufre; 15,5 mg de cendres insolubles; 3 600 mg de fer (carbonate de Fe); 7 488 mg de zinc; 2250 mg de cuivre (sulfate); 75 052 mg de manganèse (oxyd); 121 mg d'iode (iodate); 40 mg de cobalt (carbonate); 25 mg de sélénium (sélénite); 120 000 mg de méthionine; 10 000 mg de BHA-éthoxyquine; 85 mg de molybdène; 6 000 mg de narasine.*

[b] ***Chaque kilogramme de l'aliment finition fournit****: 1 000 000 UI de vitamine A; 240 000 UI de vitamine D3; 2 500 UI de vitamine E; 200 mg de vitamine K3, 180 mg de vitamine B1; 600 mg de vitamine B2; 290 mg de vitamine B6; 1 mg de vitamine B12; 1,5 mg de biotine; 900 mg d'acide pantothénique; 2900 mg de niacine; 26 mg d'acide folique; 49,998 mg de chlorure de choline: 100 000 mg; 766 mg de cendres brutes; 204,3 mg de calcium; 5,1 mg de magnésium; 130,5 mg de sodium; 1,2 mg de soufre; 15,5 mg de cendres insolubles; 3 600 mg de fer (carbonate de Fe); 7 488 mg de zinc; 2 250 mg de cuivre (sulfate); 75 052 mg de manganèse (oxydé); 121 mg d'iode (iodate); 40 mg de cobalt (carbonate); 25 mg de sélénium (sélénite); 120 000 mg de méthionine; 10 000 mg de BHA-éthoxyquine; 85 mg de molybdène*

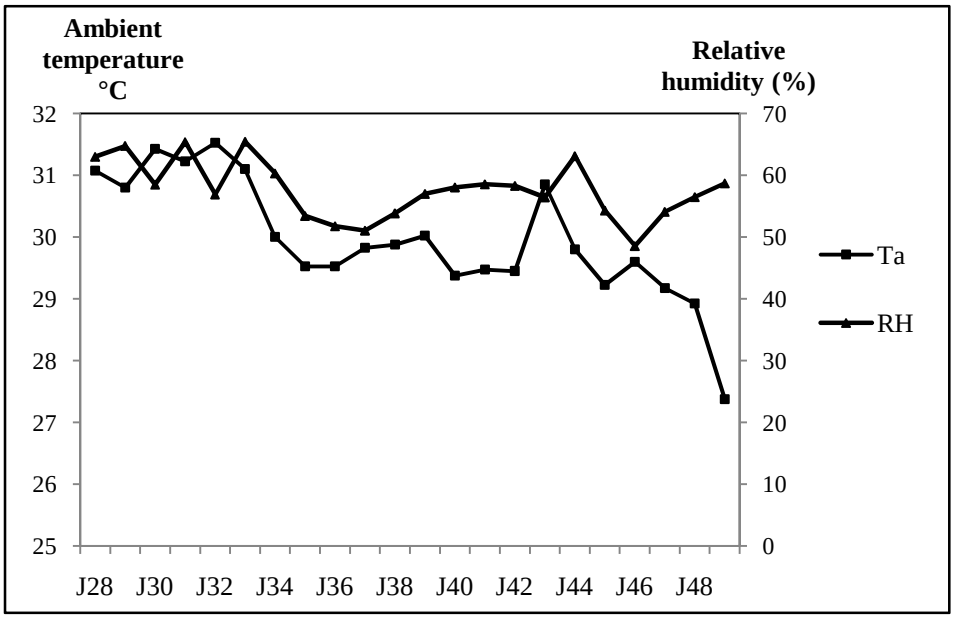


Figure 9. Évolution de la température ambiante (T_a) moyenne quotidienne et de l'humidité relative (HR) au cours de la période expérimentale (28-49 jours). Ta : température ambiante; HR : humidité relative.

III. Résultats

III.1. Performances de croissance

Les effets de la supplémentation alimentaire en graine de cumin à 0,2% sur le gain de poids corporel, la consommation alimentaire et le taux de conversion alimentaire des poulets soumis à une chaleur chronique sont présentés dans le **Tableau 12**.

Dans cette étude, les résultats ont montré que les poids corporels des poulets supplémentés au cumin étaient similaires à ceux des animaux témoins avec des moyennes de (1886 ± 68 g vs 1799 ± 59 g, P> 0,05) et (2302 ± 62 g vs 2264 ± 69 g, P> 0,05), respectivement à 42 et 49 jours d'âge (données non présentées dans le tableau 2). L'inclusion du cumin dans le régime alimentaire n'affectait pas le gain de poids global des poulets soumis à la chaleur, et ce, malgré un gain de poids plus faible durant la période de finition (-11%, P = 0,03). Durant la période 28-42 jours d'âge, une diminution significative de l'ingéré alimentaire a été observée lors de l'inclusion alimentaire de cumin (-20% par rapport au témoin, P <0,05) chez les poulets exposés à la chaleur, mais sans effet significatif durant la période 43-49 jours d'âge. Durant la période de croissance (28-42 j), la supplémentation en cumin a entraîné une

diminution significative de l'indice de conversion alimentaire contre une augmentation pour la période de finition (42-49 j). Cependant, en considérant toute la période expérimentale (28-49 j), cet indice de conversion alimentaire tend à diminuer de -7% (P = 0,11) suite à l'inclusion de 0,2% de cumin.

Tableau 12. Effets de la supplémentation alimentaire en cumin sur le gain de poids, l'ingéré alimentaire et l'indice de conversion alimentaire des poulets de chair élevés à des fortes températures estivales entre l'âge de 28 et 49 jours.

Variables	**Groupe Témoin**	**Groupe Cumin**	**P**
Ingéré alimentaire(g)			
28-42 jours	1012±53	810±48	**0,03**
43-49 jours	1082±68	1146±26	**0,41**
28-49 jours	2094±120	1956±65	**0,35**
Gain de poids(g)			
28-42 jours	845±35	898±19	**0,23**
43-49 jours	465±12	416±13	**0,03**
28-49 jours	1310±43	1314±19	**0,93**
Indice de conversion			
28-42 jours	1,20±0,03	0,90±0,05	**<0,01**
43-49 jours	2,32±0,10	2,76±0,11	**0,02**
28-49 jours	1,60±0,04	1,49±0,04	**0,11**

III.2. Carcasse et caractéristiques des organes internes

Les effets de l'inclusion des graines de cumin sur les poids des carcasses et des viscères et leurs poids relatifs sont présentés dans le **Tableau 13**.

La supplémentation alimentaire (0,2% de cumin) n'a pas affecté significativement (P> 0,05) le poids et le poids relatif de la carcasse, du gésier, du foie, du cœur, de la graisse abdominale par 100 g du poids corporel de poulets élevés dans des conditions de stress thermique

chronique. De même, aucun effet significatif n'a été enregistré pour le poids, la longueur, la densité de l'intestin ainsi que le poids des organes lymphoïdes (thymus, bourse et rate).

Tableau 13. Effet de la supplémentation alimentaire en cumin (sur le poids des carcasses et des organes internes et en pourcent du poids corporel des poulets de chair élevés à des fortes températures estivales

Variables	**Groupe Témoin**	**Groupe Cumin**	**P**
Carcasse (g)	1600,13±48,33	1616,53±47,27	0,81
Carcasse (% PV)	69,40±9,00	70,02±7,00	0,46
Foie (g)	45,23±2,54	44,29±2,29	0,76
Foie (% PV)	2,00±1,00	1,90±1,00	0,85
Coeur (g)	10,15±0,62	9,36±0,44	0,31
Coeur (% PV)	$2,00\pm22x10^{-4}$	$2,00\pm17x10^{-4}$	0,26
Gésier (g)	31,94±1,27	32,85±0,83	0,55
Gésier (% PV)	1,40±0,01	1,40±0,00	0,46
Gras abdominal (g)	29,00±1,42	28,66±2,48	0,68
Gras abdominal (% PV)	1,30±0,01	1,20±0,01	0,72
Intestin (g)	101,53±4,68	95,89±3,74	0,35
Intestin (%PV)	4,37±0,12	4,07±0,13	0,10
Longueur Intestine (cm)	239,70±4,21	241,30±4,18	0,79
Densité Intestine (g/cm)	0,42±0,02	0,40±0,01	0,25
Rate (g)	2,96±0,22	3,07±0,16	0,68
Rate (% PV)	0,13±0,10	0,13±0,09	0,82
Bourse de FABRICIUS (g)	1,53±0,31	1,20±0,15	0,35
Bourse de FABRICIUS (% PV)	0,07±0,01	0,05±0,01	0,28
Thymus (g)	7,26±0,46	8,57±0,07	0,27
Thymus (% PV)	0,36±0,04	0,39±0,03	0,38

III.3. Biochimie, hématologie et concentrations d'hormones thyroïdiennes

Les effets de la supplémentation en cumin sur la biochimie du sang, les paramètres hématologiques et les concentrations d'hormones thyroïdiennes (T3, T4) chez les poulets de chair soumis à un stress thermique chronique sont présentés dans le **Tableau 14**.
Une diminution significative des concentrations plasmatiques en glucose (-10%, P <0,05), triglycérides (-53%, P<0,001), cholestérol (-34%, P <0,0001) et protéines totales (-16%, P <0,001) a été enregistrée pour les groupes supplémentés en cumin. Tandis qu'une augmentation hautement significative (P <0,0001) de la concentration de calcium plasmatique par cet additif alimentaire a été observée.

Les paramètres hématologiques (pourcentage d'hématocrite, nombre de globules rouges et concentration en hémoglobine) n'ont pas été affectés par la supplémentation alimentaire en cumin. Cependant, une légère tendance à une diminution de ces paramètres sanguins a été observée.

Aucun effet significatif (P> 0,05) de la supplémentation de l'aliment en graines de cumin sur les concentrations plasmatiques de T3 et T4 et sur le rapport T3: T4 n'a été observé. Cependant, les résultats ont révélé de légères augmentations numériques (non significative) des T3 (+13%) et T4 (+10%) chez les poulets supplémentés en cumin et exposés aux fortes chaleurs.

Table 14. Effet de la supplémentation alimentaire en cumin sur les paramètres hématologiques et biochimiques et les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes chez les poulets de chair élevés à des fortes températures estivales

Variables	Groupe Témoin	Groupe Cumin	P
Glucose (mg/dL)	236,38±9,08	212,13±3,63	0,019
Proteins totales (g/dL)	3,27±0,10	2,75±0,07	0,0002
Triglycerides (mg/dL)	94,19±11,91	43,95±2,93	0,0003
Cholestérol (mg/dL)	107,33±4,71	70,29±4,27	<0,0001
Calcium (mg/dL)	4,71±0,38	10,51±0,48	<0,0001
Hématocrite (%)	26,40±0,57	25,19±0,44	0,103
GR ($x10^6/\mu L$)	2,54±0,06	2,44±0,05	0,190
Hémoglobine (g/dL)	8,66±0,23	8,13±0,29	0,166
T3 (pmol)	2,38±0,23	2,70±0,35	0,457
T4 (pmol)	6,13±3,88	6,73±2,91	0,701
T3/T4	0,86±0,29	0,48±0,09	0,222

IV. Discussion

Selon notre étude, l'inclusion du cumin dans le régime alimentaire n'a pas d'effet significatif sur le gain de poids corporel global des poulets exposés à la chaleur. Ces résultats sont en désaccord avec ceux obtenus chez des poussins à croissance rapide élevés dans des conditions de thermoneutralité (Al-Kassi, 2010), et des poussins à croissance lente soumis à un stress thermique (Ali, et al., 2010). L'amélioration du gain de poids corporel chez des souches locales égyptiennes, par la supplémentation en cumin (Ali, et al., 2010) pourrait s'expliquer par la rusticité et par conséquent, une moindre sensibilité au stress thermique. Elle peut également être justifiée par la durée et l'intensité du traitement thermique appliqué (4h par jour pendant 3 jours consécutifs par semaine), alors que dans nos conditions expérimentales, les oiseaux étaient quotidiennement exposés à une température élevée durant la période estivale. D'après nos résultats, la consommation réduite d'aliments pendant les premières semaines de la supplémentation en cumin pourrait être liée à une période d'adaptation des poulets à l'odeur et au goût du régime supplémenté. Cependant, la consommation alimentaire

globale (28-49 jours d'âge) des oiseaux supplémentés en cumin était semblable à celle du groupe témoin. De même, un ajout de 0,2% de cumin dans la ration alimentaire des poulets à croissance lente et soumis à un stress thermique, n'a aucune influence significative sur la consommation d'aliments (Ali, et al., 2010).

Pareillement, la supplémentation alimentaire en cumin (doses croissantes de 0,5 à 1,5%) chez le poulet de chair commercial maintenu sous des conditions de neutralité thermiques, n'a pas varié significativement la consommation alimentaire (Al-Kassi, 2010). Durant toute la période expérimentale (J28-J49), l'inclusion de 0,2% de cumin dans le régime alimentaire a amélioré l'indice de conversion alimentaire (-7%) toute en réduisant légèrement la consommation d'aliment et sans pour autant affecter le taux de croissance. Cet effet positif du cumin sur l'indice de conversion alimentaire est en accord avec les résultats rapportés antérieurement par la littérature (Al-Kassi, 2010 ; Ali, et al., 2010) et pourrait révéler une meilleure efficacité alimentaire, probablement liée aux propriétés et bienfaits de cette épice à améliorer l'activité des enzymes digestives, et par conséquent, la digestibilité et l'absorption des nutriments (Muthamma Milan et al., 2008).

Dans des conditions de températures ambiantes élevées, les oiseaux diminuent leur consommation d'aliments, réduisant ainsi l'apport d'éléments nutritifs, indispensables au développement des différents organes internes (Park et al., 2011). Dans la présente étude, à l'âge de 49 jours, l'aliment supplémenté en 0,2% de graines de cumin n'a pas amélioré le poids de la carcasse et les organes internes. En revue de la littérature, des résultats contradictoires relatifs aux effets des additifs alimentaires naturels (Shirzadegan et al., 2015) et synthétiques (Sahin et al., 2003) utilisés dans l'alimentation avicole, sur les caractéristiques des carcasses et le rendement des différents organes ont été rapportés. Contrairement à nos résultats, Ali et al., (2010) ont montré que l'effet négatif du stress thermique sur le rendement de la carcasse a été réduit en ajoutant 0,2% de *Cuminum cyminum* pendant 12 semaines d'élevage (21-84 jours). En outre, ces auteurs ont enregistré une amélioration significative des poids relatifs du foie, pancréas et proventricule par rapport aux poids vif corporel des poulets. Cependant, à l'instar de nos résultats, ces auteurs n'ont enregistré aucun effet significatif de la supplémentation alimentaire en cumin sur les poids relatifs du cœur, gésier et graisse abdominale. Il est très probable que les réactions des poulets de chair à cet additif alimentaire puissent être influencées par l'intensité du stress thermique et également par la durée et la période d'inclusion du cumin.

De plus, l'absence d'impact positif sur le rendement de la carcasse, rapportée dans cette présente étude, est probablement associée à l'absence de différences de poids corporel à l'âge

d'abattage entre les deux groupes d'oiseaux. En effet, certains travaux ont rapporté une forte relation entre le poids vif et le rendement de carcasse des poulets de chair (Fanatico et al., 2005). Plusieurs études ont montré que le stress thermique peut affecter la maturation intestinale (Porto et al., 2015). Marchini et al. (2011) ont constaté une diminution de la longueur intestinale et une réduction de la capacité d'absorption intestinale des poulets de chair élevés sous un climat chaud. Selon nos résultats, la supplémentation en cumin n'a pas affecté la morphométrie intestinale des oiseaux élevés à des températures ambiantes élevées. Il est important de signaler l'absence de travaux relatifs à l'effet du cumin sur les caractéristiques morphométriques de l'intestin des poulets élevé au chaud. La plupart des études relatives aux effets des graines de cumin sur le système digestif des poulets de chair ont été effectués dans des conditions de thermoneutralité. Il a été rapporté que les graines de *Cuminum cyminum* amélioraient l'absorption des nutriments et réduisaient le temps du transit intestinal (Muthamma Milan et al., 2008). Une étude récente réalisée par Sharifi et al., (2013) n'a montré aucune amélioration du tractus gastro-intestinal, en ajoutant 1,5% de *Cuminum cyminum* dans le régime alimentaire des poulets de chair élevés dans des conditions standard. Dans notre étude, l'absence d'amélioration de la morphologie intestinale était peut-être due à la période d'inclusion du cumin dans le régime alimentaire (28 à 49 jours) qui coïncidait avec la période du ralentissement du développement intestinal. Ainsi, certains auteurs ont rapporté que le développement de l'intestin grêle, lié au poids corporel des poulets de chair, est plus rapide en début de la phase de démarrage (1 à 6-10 jours) puis ralenti au-delà du 10ème jour d'âge, déterminant ainsi la fin de la phase de développement rapide (Sklan, 2001). De même, Teixeira et al., (2004) ont rapporté que la longueur totale de l'intestin était influencée par le gain de poids des poulets de chair. Cependant, notre expérimentation a montré que la supplémentation en cumin était sans effet significatif sur le gain de poids.

Il a été bien montré que le stress thermique peut perturber le système immunitaire et donc affecter les mécanismes de défense de la volaille (Park et al., 2013 ; Habibian et al.,2014). Une baisse des poids relatifs des organes lymphoïdes primaires et secondaires, à savoir, le thymus, la bourse de Fabricius et la rate a été observée lors de stress thermique (Habibian et al., 2014). En plus, il a été rapporté que les modifications des constituants de la ration alimentaire influençaient fortement le développement de ces organes suscités (Ao et al., 2012). Nos résultats ont montré qu'aucun effet significatif n'a été rapporté par la supplémentation alimentaire en cumin sur les poids des organes lymphoïdes (thymus, bourse et rate) et leurs poids relatifs (en p.100 de PV). De même, aucun effet spécifique de la supplémentation en cumin sur le poids relatif du thymus n'a été observé chez le poulet à

croissance lente soumis à un stress thermique (Ali, et al., 2010). Néanmoins, Il est à signaler que cet additif alimentaire a significativement augmenté le poids relatif de la bourse de Fabricius de cette lignée de poulets (Ali, et al., 2010). Aussi, dans des conditions de thermoneutralité, Alimohamadi et al., (2014) n'ont pas obtenu une amélioration des réponses immunitaires, exprimées en termes de poids des organes lymphoïdes, lors d'une supplémentation alimentaire de 0,4% de cumin. Cependant, à un niveau d'inclusion plus élevé (0,8%), ces mêmes auteurs ont enregistré une augmentation du poids relatif de bourses de Fabricius et de thymus. Une autre étude a montré que la graine de cumin avait le potentiel de stimuler l'immunité cellulaire et d'augmenter le poids de la rate et du thymus des souris albinos suisses immunodéprimées (Chauhan et al., 2010). Ces auteurs ont rapporté l'action du glycoside flavonoïde à l'activité immunorégulatrice enregistrée par cette épice.

Suite à une exposition des poulets de chair à un stress thermique, plusieurs perturbations des métabolismes glucidique, lipidique, protéique et calcique sont observées (Habibian et al., 2014). En outre, des travaux ont rapporté une diminution des valeurs hématologiques des oiseaux soumis à un choc thermique (Zhou et al., 1999). Nos résultats ont révélé que la supplémentation alimentaire en cumin a influencé fortement la concentration des nutriments plasmatiques des poulets de chair élevés en été sous des températures ambiantes élevées. Des propriétés antihyperglycémique, antihypercholestérolémique et antihypertriglycéridémique observées dans cette présente étude, par la supplémentation du cumin, étaient attendues, car des observations semblables ont été déjà rapportées chez l'homme, le lapin et le rat (Jagtap et Patil 2010 ; Bi et al., 2017). De plus, la contribution de l'utilisation des antioxydants sous forme d'herbes, d'épices ou de substances synthétiques, pour réduire les effets négatifs du stress thermique sur les métabolites sanguins, a été rapportée antérieurement par de nombreux auteurs (Habibian et al., 2014 ; Hosseini-Vashan et al., 2016). Dans des conditions de thermoneutralité, la glycémie n'a pas changé lorsque des poulets ont été nourris respectivement avec un régime supplémenté de 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 et 1% de graines de cumin et avec 0,4 et 0,8% d'huile essentielle de cumin (Golian et al., 2010 ; Alimohamadi et al., 2014). Cependant, d'autres études (Jagtap et Patil, 2010) ont montré que la glycémie des rats diabétiques ou normaux ainsi que celle des lapins normaux pouvait être diminuée par l'inclusion du cumin. Cette réponse hypoglycémique a été attribuée à l'amélioration de la sensibilité à l'insuline en protégeant l'intégrité des cellules bêta du pancréas, à l'amélioration de la teneur en insuline sérique et / ou à la régulation de l'homéostasie du glucose en augmentant l'utilisation périphérique du glucose et la synthèse du glycogène hépatique ou en diminuant la glycogénolyse. De même, les propriétés hypolipidémiques et

hypocholestérolémiques de *Cuminum cyminum* sous forme de graines, huiles essentielles et /ou de composants d'extraction ont également été rapportées chez l'homme, le lapin, le dindon et le rat (Pish Jang , 2011 ; Bhaisare et Thyagarajan, 2014).

Chez les poulets de chair, dans des conditions de neutralité thermique Al Kassi, (2010) a rapporté l'efficacité de la supplémentation alimentaire de 1 et 1,5% de graines de cumin dans la baisse de la cholestérolémie et la triglycéridémie. Dans une autre étude, l'inclusion de 0,8 g d'huile essentielle de cumin dans 1 kg d'aliment de poulets n'a pas changé le niveau des triglycérides plasmatiques, alors que la concentration du cholestérol était significativement réduite (Torki et al., 2015). Contrairement à nos résultats, la supplémentation de la ration en graines de cumin chez des poussins à croissance lente soumis à un stress thermique, n'a montré aucun effet significatif sur la concentration plasmatique du cholestérol (Ali et al., 2010). Dans les conditions d'élevage standard, une différence non significative des taux plasmatiques des triglycérides et du cholestérol a été observée entre les poulets nourris par un aliment supplémenté en grains de cumin (0,4 et 0.8%) et ceux non supplémentés (Alimohamadi et al., 2014).

Plusieurs mécanismes, par lesquels le cumin peut réduire les concentrations plasmatiques du cholestérol et des triglycérides, ont été décrits. Certaines études ont rapporté que le composé actif (flavones) de *Cuminum cyminum* pouvait activer les enzymes antioxydantes (superoxyde dismutase et catalase) (Gagandeep et al., 2003) qui réduisaient l'enzyme régulatrice de la synthèse du cholestérol (3-hydroxy-3-méthylglutaryl-CoA réductase: HMG-CoA réductase) (Mondola et al., 2002). En outre, la présence de stérol dans les graines de *Cuminum cyminum* peut augmenter la production d'acides biliaires et par conséquence, l'activité des lipases (Moghadasian, 2000). La diminution des triglycérides sanguins, induite par le cumin, a été associée à la richesse de cette épice en acides gras insaturés (Shahnaz et al., 2004). Le profil des protéines plasmatiques des oiseaux peut être modulé par le stress thermique (Zhou et al., 1999). Dans la présente étude, la concentration de protéines totales plasmatiques a diminué significativement chez les sujets supplémentés en cumin et exposés à des températures estivales élevées. Contrairement, les travaux rapportés par Ali et al., (2010), n'ont montré aucune variation significative de la protéine totale plasmatique des poulets à croissance lente, supplémentés et soumis à un stress thermique. De même, en conditions de thermoneutralité, la concentration en protéines totale plasmatiques n'était pas affectée par l'inclusion de cumin (Alimohamadi et al., 2014 ; Torki et al., 2015).

Il est bien évident que pendant le stress thermique, les réponses immunitaires nécessitent des besoins spécifiques en nutriments. Cependant, la réduction de la disponibilité des nutriments, due à une baisse de la prise alimentaire, entraine une redistribution des ressources corporelles au détriment des besoins de croissance. En effet, dans cette étude, les résultats de la protéinémie laissent à supposer que les poulets supplémentés en cumin expriment moins de stress, du fait que cet additif a réduit l'ingéré alimentaire sans affecter la croissance. Ceci pourra supposer que ces nutriments étaient destinés pour la croissance plutôt que pour les réponses immunitaires lors d'un stress thermique. Pareillement, Ali et al., (2011) ont montré que, l'addition de 0,2% de graine de cumin à un régime hypo-énergétique a significativement diminué la protéine totale plasmatique ainsi que les valeurs numériques des globulines, sans influencer les performances de croissance du poulet de chair. Ainsi, ces auteurs ont conclut que cette épice réduit les besoins nutritifs du système immunitaire au profit d'une utilisation plus efficace des protéines dans la croissance et que le cumin protège les protéines contre les lésions des radicaux libres.

D'après nos résultats, la supplémentation du régime alimentaire en cumin a significativement augmenté la calcémie. Ces résultats corroborent les travaux menés par Rafiee et al., (2014) sur le poulet de chair et Bhaisare et al., (2014) chez la dinde, élevés dans des conditions environnementales standards. L'augmentation de la calcémie, observée durant notre expérimentation, pourra expliquer une meilleure utilisation digestive de cet élément minéral par le cumin. En effet, Pradeep et al., (1993) ont rapporté que les graines de cumin étaient riches en minéraux.

Pareillement à nos résultats, aucune variation significative des paramètres hématologiques n'a été observée par l'addition du cumin chez des poulets de chair, élevés dans des conditions de chaleur (Golian et al., 2010) ou de thermoneutralité (Alimohamadi et al., 2014). Cependant, un effet néfaste sur l'hématopoïèse, exprimé par une diminution de la concentration en hémoglobine, du nombre de globules rouges et du pourcentage d'hématocrite, a été observé lors d'inclusion de cet additif à des fortes concentrations (1,5%) (Al-Kassi, 2010).
Une élévation de la température ambiante s'accompagne généralement d'une diminution du taux de la triiodothyronine (T3) et la tétraiodothyronine (T4) en réponse à une diminution de l'activité thyroïdienne afin de réduire la production de chaleur interne des poulets (Sohail et al., 2010).

Dans notre étude, aucun effet significatif de la supplémentation en graines de *Cuminum cyminum* sur les concentrations plasmatiques en T3, T4 ainsi que sur le ratio T3: T4 n'a été enregistré. En revue de la littérature, aucune étude n'a été consacrée aux effets des graines de *Cuminum cyminum* sur les variations du profil thyroïdien du poulet de chair élevé en conditions de thermoneutralité ou de stress thermique. Néanmoins, des résultats contradictoires ont été rapportés avec les effets des antioxydants en forme d'épices, ou de plantes médicinales sur les concentrations plasmatiques des hormones thyroïdiennes (Papiez et al., 2008 ; Sharif et al., 2012).

V. **Conclusion**

La supplémentation de 2g de cumin dans un kilogramme d'aliment de poulets de chair élevé au chaud a amélioré l'efficacité alimentaire et diminué les effets négatifs du stress thermique chronique sur la glycémie, la lipidémie et la calcémie. Cependant, cet additif n'a pas d'effet sur l'hématologie, le rendement de carcasse, des viscères ainsi que sur les concentrations d'hormones thyroïdiennes. Les mécanismes d'action de cette épice médicinale restent à explorer.

Conclusion Générale, Recommandations et Perspectives

Notre travail de thèse a permis dans un premier temps d'évaluer l'impact de la technique de l'acclimatation précoce des poussins, de la supplémentation hydrique en vinaigre ainsi que leur association sur l'acquisition de la thermorésistance à long terme et les variations des réponses physiologiques chez les poulets mâles et femelles élevés au chaud. Dans un deuxième temps, nous avons déterminé les effets d'une supplémentation alimentaire en cumin sur la croissance pondérale, l'efficacité alimentaire, le développement de certains organes internes ainsi que les variations biochimiques et hormonales du sang des poulets mâles élevés au chaud.

Le modèle d'exposition chronique à la chaleur, choisi pour les deux expérimentations réalisées, repose sur l'utilisation des poulets de chair de souche commerciale soumis de la deuxième à la sixième semaine d'âge (j1-j49) aux fluctuations naturelles des températures ambiantes de la saison estivale. Ceci représente un modèle approprié de conditions réelles d'élevage pour évaluer les effets des deux types de solutions testées (technique : acclimatation précoce et nutritionnelle additifs alimentaires et hydriques : Vinaigre et cumin).

Dans nos conditions environnementales,

1) le **conditionnement thermique précoce (CTP) des poussins à l'âge de 5 jours** n'a pas permis d'obtenir, à long terme (phases de croissance et de finition), l'effet hypothermique escompté ou d'améliorer les pertes de chaleurs par voie respiratoire. Cependant, le CTP a montré un impact positif sur l'hématologie et la biochimie du sang en :

   - entrainant des changements hémodynamiques, par l'augmentation de l'hématocrite, le nombre des érythrocytes circulants et la concentration en hémoglobine, reflétant ainsi une éventuelle atténuation de la dépression de l'érythropoïèse, causée par le stress thermique.

   - diminuant les concentrations plasmatiques des nutriments énergétiques, tels que le glucose, le cholestérol et les triglycérides, reflétant ainsi, une plus faible intensité du métabolisme énergétique et par conséquent, une plus faible production de chaleur métabolique chez le poulet acclimaté.

2) **la supplémentation de l'eau de boisson en 0,2% de vinaigre entre l'âge de 28 et 49 jours** a montré un fort potentiel pour améliorer la thermotolérance des poulets élevés au chaud en :

   - réduisant l'hyperthermie générée par les fortes températures ambiantes. Toutefois, cette réponse positive est fortement dépendante du facteur temps d'incorporation de cet aditif. L'effet hypothermique n'apparait qu'au bout de la troisième semaine de l'acidification de l'eau de boisson par le vinaigre.

   - modifiant le profil lipidique, par diminution des concentrations plasmatiques du cholestérol total et des triglycérides.

3) **L'association de l'acclimatation et la supplémentation hydrique en vinaigre** ne semble pas avoir un effet synergique de complémentarité entre les différents effets positifs obtenus par l'utilisation de chaque solution seule.

4) **l'addition alimentaire du cumin** est sans effet sur la croissance pondérale, le rendement de carcasse et des viscères ainsi que sur l'hématologie et le profil thyroïdien des poulets élevés au chaud. Cependant l'impact positif de cet additif phytogène sur l'efficacité alimentaire, la glycémie, la lipidémie et la calcémie est clairement démontré dans ce travail.

En Bref…

Notre travail de recherche a permis de :

- *confirmer le fort potentiel des trois solutions appliquées afin d'améliorer la thermorésistance du poulet de chair élevé dans les conditions naturelles de la saison estivale, en mettant en évidence leurs impacts positifs sur les différents paramètres sanguins du poulet.*
- *déterminer l'impact limité de l'association du conditionnement thermique et de la supplémentation hydrique en vinaigre.*
- *constater la possibilité d'améliorer l'adaptation des animaux à la chaleur par la mise au point de techniques simples, sûre et peu couteuses.*

Recommandations et Perspectives

A l'issue de ce travail de thèse nous recommandons :

- une compréhension plus approfondie des mécanismes potentiellement impliqués dans l'acquisition de la thermotolérance, par ces 3 solutions proposées, en explorant le mécanisme biologique de leurs réponses à l'échelle moléculaire et cellulaire, tel que la mesure de l'expression de HSP70 , l'av UCP….

- d'explorer l'impact de ces additifs sur la qualité et la sécurité des viandes produites (présence éventuelle de dépôt d'extrait antioxydant et à quelle quantité…).

- d'explorer d'autres formes d'utilisation du cumin tel que les extraits et les huiles essentielles.

- tant d'un point de vue biologique qu'économique, d'autre recherches seront nécessaires pour déterminer les concentrations optimales pour l'inclusion du vinaigre et du cumin, les meilleures périodes d'utilisation de ces 3 solutions, les éventuels effets synergiques de ces additifs qui permettraient de minimiser les concentrations requises pour atteindre un effet particulier et maximiser leur potentiel, ainsi que les probables interactions de ces additifs avec d'autres composants du régime alimentaire.

- une étude technico-économique, afin d'évaluer le coût réel d'une éventuelle utilisation de ces solutions serait nécessaire (à savoir le coût du gaz pour l'acclimatation, le coût de revient du cumin et du vinaigre par rapport aux différents gains obtenus)

- la pluparts des paramètres étudiés dans ce travail de recherche ont été mesurés à l'abattage afin d'éviter de générer un état de stress supplémentaire. Cependant, une étude de la cinétique de ces paramètres étudiés permettrait de mieux évaluer les réponses physiologiques du poulet en fonction de l'âge.

- actuellement, aucune information n'est disponible sur les effets de l'addition de l'acide acétique sous forme de vinaigre, ou du cumin sur les différents paramètres de production ou la physiologie du poulet de chair dans les conditions d'élevage

standards. Par conséquent, il serait judicieux d'entreprendre d'autres travaux afin d'élucider leurs effets et mieux exploiter leurs avantages.

Les résultats de ce travail de recherche restent préliminaires mais ouvrent de nouvelles voies de recherches intéressantes en production avicole à savoir, l'utilisation de nouvelles techniques saines et l'usage alternatif de nouveaux produits naturels pour lutter contre les pertes économiques engendrées par les fortes températures de la saison estivale.

Des études complémentaires seront nécessaires pour confirmer les bienfaits de ces solutions testées dans nos conditions d'élevages. En effet, l'industrie de la santé animale s'inscrit pleinement dans cette optique pour sauvegarder la santé humaine et animale, protéger l'environnement, assurer le bien-être animal et permettre la production d'une alimentation saine.

Références Bibliographiques

A

Abdel-Fattah SA, El-Sanhoury MH, El-Mednay NM, Abdel-Azeem F (2008) Thyroid activity, some blood constituents, organs morphology and performance of broiler chicks fed supplemental organic acids. International Journal of Poultry Science 7:215–222

Abdel-Mutaal NH (2003) Effect of Heat Stress and Flock Density on Physiological and Immunological Responses of Broiler. Ph.D. Thesis, Cairo, Univ. Egypt

Abdelqader A, Al-Fataftah AR (2014) Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. J Therm Biol (39) 1-5

Abdelqader A, Al-Fataftah AR (2016) Effect of dietary butyric acid on performance, intestinal morphology, microflora composition and intestinal recovery of heat-stressed broilers. Livestock Science 183: 78–83

Abdo MZ, A. (2004) Efficacy of acetic acid in improving the utilization of low protein-low energy broiler diets. Egypt Poult Sci 24:123–141

AboGabal MSM (2015) Effect of feed restriction on broiler performance under heat stress. PhD thesis

Abu-Dieyeh ZHM (2006a) Effect of High Temperature on Growth Performance of Broilers. Int J Poult Sci 5:19–21

Abu-Dieyeh ZHM (2006b) Effect of Chronic Heat Stress and Long-Term Feed Restriction on Broiler Performance. Int J Poult Sci 5:185–190

Aciokgoz Z, Bayraktar H, Altan O (2011) Effects of formic acid administration in the drinking water on performance, intestinal microflora and carcass contamination in male broilers under high ambient temperature. Asian-Aust J Anim Sci 24: 96–102

Adil S, Banday MT, Bhat GA, Qureshi SD, Wani SA (2011) Effect of supplementation of organic acids on growth performance and gut microbial population of broiler chicken. Livestock Research for Rural Development 23 (1)

Afsharmanesh M, Pourreza J (2005) Effect of calcium, citric acid, ascorbic acid, vitamin D3 on the efficacy of microbial phytase in broiler starters fed wheat-based diets on performance, bone mineralization and ileal digestibility. International Journal of Poultry Science 4:418–424

Ahmad T, Sarwar M (2006) Dietary Electrolyte Balance: Implications in Heat Stressed Broilers. World's Poult Sci J 62 (4): 638–653

Ahmed NA, El-Tantawy SM, Khadr AF, El-Badry AS (2000). Effect of Early Heat Exposure and Feeding System on Physiological Responses and Productive Performance of Ducting under Heat Stress Conditions. Egypt. J. Anim. Prod. 41 (Supp): 485-499

Ain-Baziz HA, Geraert PA, Padilha JCF, Guillaumin S (1996) Chronic Heat Exposure Enhances Fat Deposition and Modifies Muscle and Fat Partition in Broiler Carcasses. Poult Sci 75 (4): 505-513

Ajakaiye JJ, Ayo JO, Musa D (2010) Effects of vitamins C and E on erythrocytes and blood chemistry profile of Shika Brown layer hens transported by road. Acta Zool Mex 26: 527–537

Akşit M, Yalçin S, Özkan S, Metin K, Özdemir D (2006) Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of Broilers. Poultry Science 85:1867–1874

AL Juhaimi FY, Ghafoor K (2013) Extraction optimization and in vitro antioxidant properties of phenolic compounds from Cumin Cuminum cyminum L. seed. International Food Research Journal 20:1669–1675

Al-Aqil A, Zulkifli I (2009) Changes in heat shock protein 70 expression and blood characteristics in transported broiler chickens as affected by housing and early age feed restriction. Poult. Sci. 88:1358–1364

Alçiçek A, Bozkurt M, Çabuk M (2004) The effect of a mixture of herbal essential oils, an organic acid or a probiotic on broiler performance. South African Journal of Animal Science 34:217–222

Al-Fataftah AA, Abu-Dieyeh ZMH (2007) Effect of chronic heat stress on broiler performance in Jordan. Int J Poult Sci 6: 64-70.

Ali MN, El Moustafa EKM, Shabaan M, et al (2011) AM, Sayed MA: Effect of using Cuminum cyminum L., Citric Acid and Sodium Sulphate for improving the utilization of low protein low energy broiler diets. Int J Poult Sci 10:514–522

Ali MN, Qota NMA, Hassan RA (2010): Recovery from adverse effects of heat stress on slow growing chicks using natural antioxidant with or without sulfate. Int J Poult Sci 9:109–117

Alimohamadi K, Taherpour K, Ghasemi HA, Fatahnia F (2014) Comparative effects of using black seed (Nigella sativa), cumin seed (Cuminum cyminum), probiotic or prebiotic on growth performance, blood haematology and serum biochemistry of broiler chicks. J Anim Phys Anim Nutr 98:538–546

Alinian S, Razmjoo J, Zeinali H (2016) Flavonoids, anthocynins, phenolics and essential oil produced incumin (Cuminum cyminum L.) accessions under different irrigation regimes. Industrial Crops and Products 81:49–55

Al-Kassi GAM (2010) Effect of feeding Cumin (*Cuminum cyminum*) on the performance and some blood traits of broiler chicks. Pakistan Journal of Nutrition 9: 72-75

Al-Kassi GAM, Mohssen MA (2009) Comparative study between single organic acid effect and synergistic organic acid effect on broiler performance. Pakistan Journal of Nutrition 8: 896–899

Al-Kassi GAM, Mohssen MA, Raghad AA (2011), Modification of productive performance and physiological aspects of broilers on the addition of a mixture of cumin and turmeric to the diet". In: Research Opinions in Animal Veterinary Science 1(1): 31

AL-Kassie GAM (2009) Influence of two plant extracts derived from thyme and cinnamon on broiler performance. Pakistan Vet J 4:169–173

Al-Kassie GAM, Butris GY, Ajeena SJ (2012) The potency of feed supplemented mixture of hot red pepper and black pepper on the performance and some hematological blood traits in broiler diet. Int J Adv Biol Res 2 (1): 53-57

Altan O, Pabuçcuoğlu A, Altan A, Konyalioğlu S, Bayraktar H (2003) Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. Br Poult Sci. 44(4):545-550

Altan O,Atan A, Oğuz Pabucoğlu I, Oğlu SK (2000). Effect of Heat Stress on Growth, Some Blood Variables and Lipid Oxidation in Broilers Exposed to High Temperature at an Early Age. Br. Poult. Sci. 41: 489-493.

Al-Zghoul M-B, El-Bahr SM, Al-Rukibat RK, Dalab AS, Althnaian TA, Al-ramadanet SY (2015) Biochemical and molecular investigation of thermal manipulation protocols during broiler embryogenesis and subsequent thermal challenge. BMC Veterinary Research 1: 292

Anjum MS, Chaudhry AS (2010) Using enzymes and organic acids in broiler diets. The Journal of Poultry Science 47:97–105

Ao Z, Kocher A, Choct M (2012) Effects of dietary additives and early feeding on performance, gut development and immune status of broiler chickens challenged with clostridium perfringens. Asian-Australas J Anim Sci 25:541–551

Arad Z, Arnason SS, Chadwick A, Skadhauge E (1985) Osmotic and hormonal responses to heat and dehydration in the fowl. Journal of Comparative Physiology 155 (B): 227–234

Arad Z, Itsaki-Glucklish S (1991) Ontogeny of brain temperature in quail chicks (Coturnix coturnix japonica). Physiological Zoology 64:1356–1370

Arad Z, Marder J, Eylath U (1983) Serum electrolyte and enzyme response to heat stress and dehydration in the fowl (Gallus domistecus). Coma Biochem Physiol 74:249–253

Arjona AA, Denbow DM, Weaver WD (1988) Effect of heat stress early in life on mortality of broilers exposed to high environmental temperatures just prior to marketing. Poultry Science 67:226–231

Arjona AA, Denbow DM, Weaver WD (1990) Neonatally-induced thermotolerance: Physiological responses. Comp Biochem Physiol 95:393–399

Attia YA, Al-Harthi MA, El-Shafey AS, Rehab YA (2017) Enhancing tolerance of broiler chickens to heat stress by supplementation with vitamin E, vitamin C and/or probiotics. Ann Anim Sci 17 (4)1155-1169

Attia YA, Hassan RA, Tag El-Din AE, Abou- Shehema BM (2011) Effect of ascorbic acid or increasing metabolizable energy level with or without supplementation of some essential amino acids on productive and physiological traits of slow-growing chicks exposed to chronic heat stress. J Anim Phys Anim Nut. 95:744–755

Ayaşan T (2011) Black cumin and usage of poultry nutrition. National Poultry Congress. University of Cukurova, Agricultural of Faculty, Animal Science Division. Adana, Turkey pp 1228-1236

Ayo JO, Sinkalu VO (2007) Effects of Ascorbic acid on diurnal variations in rectal temperature of Shaver Brown pullets during the hot-dry season. Int J Poult Sci 6 (9):642–646

Azad MAK, Kikusato M, Maekawa T, et al (2010) Metabolic Characteristics and Oxidative Damage to Skeletal Muscle in Broiler Chickens Exposed to Chronic Heat Stress. Comp.biochem.physiol 155(3): 401–406

B

Baker DH (2009) Advances in protein–amino acid nutrition of poultry. Amino Acids 37:29–41

Balnave D (2004) Challenges of accurately defining the nutrient requirements of heat-stressed poultry. Poultry Science 83:5–14

Bao ED, Gong YY, Hartung J, Xubin Fu , Xiaojun W, Z, Kexue ZN (2004). Relation between pathologic damages and HSP70, changes in acute heat stressed broilers. Sci Agric Sinica 37:301–305

Basmacioğlu Malayoğlu H, Baysal S, Misirlioğlu Z, Polat M, Yilmaz H, Turan N(2010) Effects of oregano essential oil with or without feed enzymes on growth performance, digestive enzyme, nutrient digestibility, lipid metabolism and immune response of broilers fed on wheat-soybean meal diets. Br Poult Sci 51(1):67-80.

Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH (2010) Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. animal 4:1167–1183

Berne RW, Levy MN (1998) Fisiologia, 4th. ed. Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil

Bhaisare DB, Thyagarajan D (2014) Effect of four herbal seeds on blood parameters in turkey poults. Int J Sci Res 3:235–240

Bhaisare DB, Thyagarajan D, Churchil RR, Punniamurthy N (2014) Effect of dietary supplementation of herbal seeds on carcass traits of turkey poults. Vete World 7: 938-942

Bi X, Lim J, Henry ChJ (2017) Spices in the management of diabetes mellitus. Food Chem 217:281–293

Biggs P, Parsons CM (2008) The Effects of several organic Acids on growth performance, nutrient digestibilities, and cecal microbial populations in young chicks. Poultry Science 87:2581–2589

Bobek S, Niezgoda J, Pietras M, Kacińska M, Ewy Z (1980) The effect of acute cold and warm ambient temperatures on the thyroid hormone concentration in blood plasma, blood supply, and oxygen consumption in Japanese quail. General Comparative Endocrinology 40:201–210

Bogin E, Weisman Y, Friedman Y (1981) The effect of heat stress on the levels of certain blood constituents chickens. Refuah Vet 38: 98–104

Boling-Frankenbach SD, Snow JL, Parsons CM, Baker DH (2001) The effect of citric acid on the calcium and phosphorus requirements of chicks fed corn-soybean meal diets. Poultry Science 80:783–788

Boone MA (1968) Temperature at six different locations in the fowl's body as affected by ambient temperatures. Poultry Science 47:1961–1962

Boone MA, Hughes BL (1971) Wind velocity as it affects body temperature, water consumption and feed consumption during heat stress of roosters. Poultry Science 50:1535–1537

Borges SA, Da Silva AVF, Maiorka A (2007). Acid-base balance in broilers. World's Poultry Science Journal 63:73–81

Borges SA, Fischer da Silva AV, Majorka A, Hooge DM, Cummings KR (2004) Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram) 12. Poultry Science 83:1551–1558

Borges, S.A., 1997. Suplementação de cloreto de potássio e bicarbonato de sódio para frangos de corte durante o verão. Dissertação de mestrado. UNESP, Jaboticabal, Brazil, 84 pages

Botsoglou NA, Christaki E, Fletouris DJ, Florou-Paneri P, Spais A (2002) The effect of dietary oregano essential oil on lipid oxidation in raw and cooked chicken during refrigerated storage. Meat Sci 62:259–265

Botsoglou NA, Grigoropoulou SH, Botsoglou E, Govaris A, Papageorgiou G (2003) The effects of dietary oregano essential oil and α-tocopheryl acetate on lipid oxidation in raw and cooked turkey during refrigerated storage. Meat Sci 65(3):1193-200

Bottje WG, Harrison PC (1985) The effect of tap water, carbonated water, sodium bicarbonate, and calcium chloride on blood acid-base balance in cockerels subjected to heat stress. Poultry Science 64:107–113

Boudouma D, Tefiel H (2012) Performances du poulet de chair acclimaté et élevé en conditions chaudes dans le Nord de l'Algérie. Livestock Research for Rural Development 24 (5)

Bowen SJ, Washburn KW (1984) Preconditioning to heat stress by a non temperature stressor. Poultry Science 63:917–919

Bowen SJ, Washburn KW (1985) Thyroid and adrenal response to heat stress in chickens and quail differing in heat tolerance. Poultry Science 64:149–154

Bowen SJ, Washburn KW, Huston TM (1984) Involvement of the thyroid gland in the response of the young chicken to heat stress. Poultry Science 63:66–69

Brown-Brandl TM, Beck MM, Schulte DD, Parkhurst AM, DeShazer JA (1997) Physiological responses of tom turkeys to temperature and humidity change with age. Journal of Thermal Biology 22:43–52

Bueno RJP, Nascimento MRBMB, Martins JMdS, Marchini CRMG, Gotardo LRM; De Sousa GMR, Mundim AV, Guimarães EC, Rinaldi FP (2017). Effect of age and cyclical heat stress on the serum biochemical profile of broiler chickens Semina. Ciências Agrárias 38 (3): 1383

C

Cable NT, Drust B, Gregson WA (2007) The impact of altered climatic conditions and altitude on circadian physiology. Physiol Behav 90:267–273

Çabuk M, Bozkurt M, Alçiçek A, Akbaþ Y, Küçükyýlmaz K (2006) Effect of a herbal essential oil mixture on growth and internal organ weight of broilers from young and old breeder flocks. South African Journal of Animal Science 36:135–141

Campo JL, Davila SG (2002) Effect of photoperiod on heterophil to lymphocyte ratio and tonic immobility duration of chickens. Poult Sci 81:1637–1639

Capcarova M, Kalafova A, Hrncar C, Kopecky J, Weis J. (2014) Comparative analysis of acetic and citric acid on internal milieu of broiler chickens. Potravinarstvo 8:190-195

Chaiyabutr N (2004) Physiological reactions of poultry to heat stress and methods to reduce its effects on poultry production. Thailand Journal of Veterinary Medicine 34:18–30

Charles D (2002) Responses to the thermal environment, in Charles. In: and Walker DA, A.W. (eds). University Press, pp, Nottingham: Nottingham, pp 1–16

Chauhan PS, Satti NK, Suri KA, Amina M, Bani S (2010) S: Stimulatory effects of Cuminum cyminum and flavonoid glycoside on cyclosporine-A and restraint stress induced immune suppression in Swiss albino mice. Chem-Biol Interact 185:66–72

Chirico WJ, Waters MG, Blobel G (1988) 70 K heat shock related proteins stimulate protein translocation into microsomes. Nature 332:805–810

Çiftçi M (2013) Şimşek ÜG, Azman MA, Çerçi IH, Tonbak F: The Effects of dietary Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) oil supplementation on performance, carcass traits and some blood parameters of Japanese quail under heat stressed condition. Kafkas Univ Vet Fak Derg 19:595–599

Cogburn LA, Freeman RM (1987) Response surface of daily thyroid hormone rhythms in young chickens exposed to constant ambient temperature. General and Comparative Endocrinology 68:113–123

Collin A, Berri C, Tesseraud S, Rodón FE, Skiba-Cassy S, Crochet S, Duclos MJ, Rideau N, Tona K, Buyse J, Bruggeman V, Decuypere E, Picard M, Yahav S. (2007) Effect of thermal manipulation during early and late embryogenesis on thermotolerance and breast muscle characteristics in broiler chickens. Poult Sci 86:795–800

Collin AM, Picard M, Yahav S (2005) The effect of duration of thermal manipulation during broiler chick embryogenesis on body weight and body temperature of post-hatched chicks. Anim. Res. 54 (2): 105-111

Craig WJ (1999) Health promoting properties of common herbs. American Journal of Clinical Nutrition 70:491–499

Cross DE, McDevitt RM, Hillman K, Agamovic, T (2007) The effect of herbs and their associated essential oils on performance, digestibilities and gut microflora. British Poultry Science 48(4): 496–506

D

Daghir NJ (2008) Poultry Production in Hot Climates. CABI, Cambridge 235

Daghir NJ (2009) Nutritional Strategies to reduce heat stress in broilers and broiler breeders. Lohmann Information 44(1): 6-15

Dalkilic B, Simsek UG, Ciftci M, Baykalir Y (2015) Effect of dietary orange peel essential oil on physiological, biochemical and metabolic responses of Japanese quails as affected by early age thermal conditioning and fasting. Rev Med Vet 166:154–162

Darre MJ, Harrison PC (1987) Heart rate, blood pressure, cardiac output, and total peripheral resistance of single Comb White Leghorn hens during an acute exposure to 35 c ambient temperature. Poultry Science 66:541–547

Daskiran M, Teeter RG, Vanhooser SL (2004) Effect of dietary acidification on mortality rates, general performance, carcass characteristics, and serum chemistry of broilers exposed to cycling high ambient temperature stress1. The Journal of Applied Poultry Research 13:605–613

Davidson PM. Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. In: Doyle MP, Beuchat LR, Montville TJ, editors. Food microbiology-fundamentals and frontiers.2nd ed. Washington, DC: American society for microbiology; 2001, 593-627.

Dawoud AM (1998) Effect of Environmental Conditions on Body Compartments of Broilers. Ph.D. Thesis, Fac. of Agric., Cairo Univ

De Basilio V (1999). L'acclimatation précoce et l'alimentation alternée augmentent la résistance des poulets de chair mâles soumis à un stress thermique. Mémoire DEA, Ecole nationale supérieure agronomique, Rennes, France, 23 p.

De Basilio V, (2002). Acclimatation précoce des poulets de chair au climat tropical. Thèse Doct. Sci., Ecole nationale supérieure agronomique, Rennes, France, 147 p.

De Basilio V, Requena F, León A, Vilariño M, Picard M (2003) Early age thermal conditioning immediately reduces body temperature of broiler chicks in a tropical environment. Poult Sci.82(8):1235-41

De Basilio V, Vilariño M, Yahav S, Picard M (2001) Early age thermal conditioning and a dual feeding program for male broilers challenged by heat stress. Poult Sci 80(1):29-36

Deacon S, Arendt J (1995) Melatonin-induced temperature suppression and its acute phase-shifting effects correlate in a dose-dependent manner in humans. Brain Res 688:77–85

Deaton JW, Reece FN, Tarver WJ (1969) Hematocrit, hemoglobin and plasma protein levels of broilers reared under constant temperatures. Poult Sci 48:1993-1996

Dei HK, Bumbie GZ (2011) Effect of wet feeding on growth performance of broiler chickens in a hot climate. Br Poult Sci 52:82–85

Denyer SP, Stewart GSAB (1998) Mechanisms of action of disinfectants. Int Biod et Biodegr 41: 261-268

Deyhim F, RG teeter (1991) Sodium and potassium chloride drinking water supplementation effects on acid –base balance and plasma corticosterone in broilers reared in thermoneutral and heat distress environments. Poultry Science 70:2551–2553

Dibner JJ, Buttin P (2002) Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. The Journal of Applied Poultry Research 11:453–463

Donkoh A (1989) Ambient temperature: a factor affecting performance and physiological response of broiler chickens. Int J Biometeorol 33:259–265

Dorman HJD, Deans, G S (2000) Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. J Appl Microbiol 88(2):308–316

Duncan IJH, Wood-Gush DGM (1971) Frustration and Aggression in The Domestic Fowl. Anim Behav 19:500–504

Dunnington EA, Siegel PB (1984) Thermoregulation in newly hatched chicks. Poultry Science 63:1303–1313

Dzenda T, Ayo JO, Lakpini CAM, Adelaiye AB (2011) Diurnal, seasonal and sex variations in rectal temperature of African giant rats (Cricetomys gambianus, Waterhouse). Journal of Thermal Biology 36(5): 255-263

E

Eastman CJ, Corcoran JM (1975) Ekins RP, Williams ES, Nabarro JDN: The radioimmunoassay of triiodothyronine and its clinical application. J Clin Pathol 28:225–30

EL-Afifi SF, and M. Attia NMEL-M (2001) Effect of citric acid supplementation in broiler diets on performance and intestinal microflora. Egypt Poult Sci 21:491–505

Elagib HAA, Abbas SA, Elamin Kh M (2013) Effect of different natural feed additives compared to antibiotic on performance of broiler chicks under high temperature. Bull Env Pharmacol Life Sci 2:139–144

El-Kerdawy (1996) Acidified feed for growing rabbits. Egyptian J. Rabbit Sci. (6): 143–156

El-Tantawy SMT, Khalif HH, Ahmed NA, et al (1998) Effect of season, dietary Nacl and heat acclimation on performance and carcass quality of broiler chicken. Egypt J Anim Prod 35:141–155

Etches RJ, John TM, Gibbins AMV (2008) Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress', in Daghir. In: N.J. (ed) Poultry Production in Hot Climate. Second edn. CAB international, Wallingford, UK, pp 31–66

Etches RJ, John TM, Verrinder Gibbins AM (1995) Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress. pp 31–66 in Poultry Production in Hot Climates. UK, Wallingford

Eutamene H, Bueno L (2007) Role of probiotics in correcting abnormalities of colonic flora induced by stress. Gut 56:1495-1497

Evans JE, Smith EL, Bennett ATD, Cuthill IC, Buchanan KL (2012) Short-term physiological and behavioural effects of high- versus low-frequency fluorescent light on captive birds. Anim Behav 83: 25–33.

F

Fanatico AC, Pillai PB, Cavitt LC, Owens CM, Emmert JL (2005) Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: Growth performance and carcass yield. Poult Sci 84:1321–1327

Farran MT, Halaby WS, Barbour GW (2005) Effects of feeding ervil (Vicia ervilia) seeds soaked in water or acetic acid on performance and internal organ size of broilers and production and egg quality of laying hens. Poultry Science 84:1723–1728

Ferket PR, Gernat AG (2006) Factors that affect feed intake of meat birds. Int J of Poult Sci 5:905–911

Fernandes J, Santos TC, Kaneko IN (2016) Effect of thermal embryonic manipulation on the uality of male and female broiler meat submitted to thermal stress pre-slaughter. Rev Bras Cienc Avic18:343-350

Fisinin KA, Kavtarashvili ASh (2015) Heat stress in poultry. I. Danger, related physiological changes and symptoms. Sel'Skokhozyaistvennaya Biologiya (Agricultural Biology) 50:162–171

Fisinin VI, Kavtarashvili A.Sh (2015) Heat stress in poultry. ii. Methods and techniques for prevention and alleviation. Agricultural Biology V 50:431–443

Fossati P, Prencipe L (1982): Serum triglycerides determined colorimetrically with an enzyme that produces hydrogen peroxide. Clin Chem 28 (10): 2077-2080

Furuse M, Okumura J (1989) Effect of dietary acetic acid levels on protein and energy utilization in chicks. Poult Sci 68 (6): 795-798

Fushimi T, Suruga K, Oshima Y (2006) Dietary acetic acid reduces serum cholesterol and triacylglycerols in rats feda cholesterol-rich diet. British Journal of Nutrition 95:916–924

G

Gabriel JE, Ferro JA, Stefani RMP, Ferro MI, Gomes SL, Macari M (1996) Effect of acute heat stress on heat shock protein 70 messenger RNA and on heat shock protein expression in the liver of broilers Brit. Poult Sci 37:344–349

Gagandeep DS, Méndiz E, Rao AR, Kale RK (2003) Chemopreventive effects of Cuminum cyminum in chemically induced forestomach and uterine cervix tumors in murine model systems. Nutr Cancer 47:171–180

Ganaie AH, Shanker G, Bumla NA, Ghasura RS, Mir NA, Wani SA, Dudhatra GB (2013) Biochemical and physiological changes during thermal stress in bovines. Journal of Veterinary and Science Technology 4:126

Garriga C (2006) Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum. AJP: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology 290 (R):195–201

Geraert PA (1991) Metabolisme energetique du poulet de chair en climat chaud. INRA Prod Anim 4:257–267

Geraert PA, Padilha JCF, Guillaumin S (1996) Metabolic and endocrine changes induced by chronic heatexposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. British Journal of Nutrition 75:195–204

Gething MJ, Sambrook J (1992) Protein folding in the cell. Nature 355:33–45

Ghazalah AA, Atta AM, Elkloub K (2011) Effect of dietary supplementation of organic acids on performance, nutrients digestibility and health of broiler chicks. Int J Poult Sci 10:176–184

Ghazi HS, Habibiyan M, Moeini MM, Abdolmohammadi AR (2012) Effects of dietary selenium, vitamin e, and their combination on growth, serum metabolites, and antioxidant defense system in skeletal muscle of broilers under heat stress. Biol Trace Elem Res 148:322–330

Golian A, AamiAzghadi M, Sedghi M (2010) The comparison of supplemental cumin seed and cumin seed Meal with prebiotic fermacto on blood metabolites and performance of broilers chickens. Journal of Animal and Veterinary Advances. 9(19), 2546-25

González FHD, Silva SC (2006) Introdução à bioquímica clínica veterinária, 2. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

Gornall AG, Bardawill CJ, David MM (1949) Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. J Biol Chem 177:751–766

Gous RM, Morris TR (2005) Nutritional Interventions in alleviating the effects of high temperatures in broilers production. World's Poultry Science Journal 61:463–527

Govaris A, Florou-Paneri P, Botsoglou E, Giannenas I, Amvrosiadis I, Botsoglou N (2007) The inhibitory potential of feed supplementation with rosemary and/or –tocopheryl acetate on microbial growth and lipid oxidation of turkey breast during refrigerated storage. LWT Food Sciences Technology 40:331–337

Gross WB (1988) Effect of ascorbic acid on the mortality of Leghorn-type chickens due to overheating. Avian disease

Guerreiro EN, Giachetto PF, Givisiez PE, Ferro JA, Ferro MI, Gabriel JE, Furlan RL, Macari M (2004) Brain and Hepatic Hsp70 Protein Levels in Heat-Acclimated Broiler Chickens During Heat Stress. Braz J Poult Sci 6 (4): 201 – 206

Günal M (2012) The effects of early-age thermal manipulation and daily short-term fasting on performance and body temperatures in broiler exposed to heat stress: Heat stress, thermal manipulation, fasting, broiler. J Anim Phys Anim Nut 97(5): 854-860

Günal M, Yayli G, Kaya O, N. Karahan N, Sulak O (2006) The effects of antibiotic growth promoter, probiotic or organic acids supplementation on performance, intestinal microflora and tissue of broilers. Int J Poult Sci 5:2–149

H

Habeeb AA, Aboul-Naga AI, Yousef HM (1993) Influence of exposure to high temperature on daily gain, feed efficiency and blood components of growing male Californian rabbits. Egyptian Journal of Rabbit Science (3): 73–80

Habibian M, Ghazai S, Moeini MM Abdolmohammadi A (2014): Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions. Int J Biometeorol 58 (5):741-752

Hajati H, Hassanabadi A, Golian A, Nassiri-Moghaddam H, Nassiri MR (2015) The effect of grape seed extract and vitamin C feed supplementation on some blood parameters and HSP70 gene expression of broiler chickens suffering from chronic heat stress Italian. Journal of Animal Science 14:3273–3282

Halevy O, Krispin A, Leshem Y, McMurtry JP, Yahav S (2001) Early-age heat exposure affects skeletal muscle satellite cell proliferation and differentiation in chicks. Am J Physio Regul Integr Comp Physiol 281(1): R302-309

Hamano Y, Kurimoto Y (2016) Effects of acetylated wood powder on growth performance, hepatic and muscular free amino acid profiles and inosine 5'-monophosphate concentration of breast meat in broiler chickens. Br. Poult. Sci 57(5): 643-654

Hao Y, Gu XH, Wang XL (2012) Overexpression of Heat Shock Protein 70 and Its Relationship to Intestine under Acute Heat Stress in Broilers: 1. Intestinal Structure and Digestive Function. Poult Sci 91(4):781–789

Hartl FU (1996) Molecular chaperones in cellular protein folding. Nature 381: 571-580

Hashemi SR, Zulkifli I, Davood H, HAIR BEJO M., LOH TC (2014) Intestinal histomorphology changes and serum biochemistry responses of broiler chickens fed herbal plant (Euphorbiahirta) and mix of acidifier. Iran J Appl Animal Sci 4(1): 95-103

Hassan AM, AbdelAzeem HM, Reddy PG (2009) Effect of Some Water Supplements on the Performance and Immune System of Chronically Heat-Stressed Broiler Chicks. Int J Poult Sci 8:432–436

Hassan AM, Reddy PG (2012) Early age thermal conditioning improves broiler chick's response to acute heat stress at marketing age. Amer J Anim Vet Sci 7:1–6

Hassan SF (1999) Effect of high ambient temperature on the productive performance in two broiler strain. M.Sc. Thesis, Fac. of Agric., Ain Shams Univ

Hazelwood RL (1965) Carbohydrate metabolism. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York, USA

Heidari M, Moeini MM, Nanekarani SH (2013) Effect of Vitamin C, Acetylsalicylic, NaHCO3 and KCL supplementation on the performance of broiler chickens under heat stress condition. Journal of Agricultural Technology 9:323–331

Hernández F, Madrid J, García V, Orengo J, Megías MD (2004) Influence of two plant extracts on broiler performance, digestibility and digestive organ size. Poult Sci 83:169–174

Hernández F, García V, Madrid J, Orengo J, Catalá P, Megías MD (2006) Effect of formic acid on performance, digestibility, intestinal histomorphology and plasma metabolite levels of broiler chickens. Br Poult Sci 47(1): 50-56

Hillman PE, Scott NR an. van T, A. (1985) "Physiological responses and adaptation to hot and cold environments", in Yousef. In: M.K. (ed) Stress Physiology in Livestock. CRC Press, pp, Florida, pp 1–71

Hocking PM, Maxwell MH, Mitchel MA (1994) Haematology and blood composition at two ambient temperatures in genetically fat and learn adult broiler breeder females fed ad libitum or restricted throughout life. British Poultry Science 35:799–807

Holik V (2009) Management of laying hens to minimize heat stress. Lohmann Information 44:1-16

Horosova K, Bujnakova B, KMET V (2006) Effect of oregano essential oil on chicken lactobacilli and E. coliFolia Microbiology 51:278–28

Hosseini-Vashan SJ, Golian A, Yaghobfar (2016) A: Growth, immune, antioxidant, and bone responses of heat stress-exposed broilers fed diets supplemented with tomato pomace. Int J Biometeorol 60 (8):1183-1192

Hosseini-Vashan SJ, Golian A, Yaghobfar A, Zarban A, N Afzali, Esmaeilinasab P (2012) Antioxidant status, immune system, blood metabolites and carcass characteristic of broiler chickens fed turmeric rhizome powder under heat stress. Afr J Biotechnol 11(94):16118–16125

Hudha MN, Ali MS, Azad MAA, Hossian MM, Tanjim M, Bormon SC, Rahman MS, Rahman MM, Paul AK (2010) Effect of acetic acid on growth and meat yield in broilers. Int J BioRes 1 (4):31–35

Huston TM (1960) The effects of high environmental temperature upon blood constituents and thyroid activity of domestic fowl. Poult Sci 39: 1260

Huyghebaert G, Richard D, Van Immerseel F (2011) An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. Vet J 187:182–188

I

Imik H, Atasever MA, Urcar S, Ozlu H, Gumus R, Atasever M (2012) Meat quality of heat stress exposed broilers and effect of protein and vitamin E. Br Poult Sci 53:689–698

Islam KMS (2012) Use of citric acid in broiler diets. Worlds Poult Sci J 68:104–118

Isobe Y, Torri T, Konishi E, Fujioi J (2002) Effects of melatonin injection on running-wheel activity and body temperature differ by the time of day. Pharmacol Biochem Behav 73:805–811

Iyasere OS (2014) Effect of heat and physiological stress on the growth performance, physiology and welfare of broiler chickens. thesis.

J

Jablonka E, Raz G (2009) Transgenerational epigenetic inheritance: prevalence, mechanisms, and implications for the study of heredity and evolution. Q Rev Biol 34(2): 131-176

Jagtap AG, Patil PB (2010): Antihyperglycemic activity and inhibition of advanced glycation end product formation by Cuminum cyminum in streptozotocin induced diabetic rats. Food Chem Toxicol 48(8-9):2030-2036

Jaiswal SK, Tyagi JS, Meesam R, Ajay Ch, Veerendra K, Leena D (2017) Overexpression pattern of heat shock protein-70 in jejunal tissue of broiler chicken under acute heat stress. IJABR 7:51–54

Jamroz D, Wertelecki T, Houszka M, Kamel C (2006) Influence of diet type on the inclusion of plant origin active substances on morphological and histochemical characteristics of the stomach and jejunum walls in chicken. J Anim Physiol Anim Nutr 90 (5-6):255–268

Johnston CS, Steplewska I, Long CA (2010) Examination of the antiglycemic properties of vinegar in healthy adults. Annals of Nutrition and Metabolism 56:74–79

Jongbloed AW, Mroz Z , Weij-Jongbloed RVD, Kemme PA (2000) The effects of microbial phytase, organic acids and their interaction in diets for growing pigs. Livest Prod Sci 67(1-2): 113-122

K

Kadim IT, Al-Marzooqi W, Mahgoub O (2008) Effect of acetic acid supplementation on egg quality characteristics of commercial laying hens during hot season. International Journal of Poultry Science 7:1015–1021

Kalamah MAA (2001) Some Physiological Responses to Heat Stress in Bronze Turkey toms. Egyp Poult Sci 21(3): 833-852

Kataria N, Kataria AN, Gahlot AK (2008) Ambient temperature associated variation in serum hormones and interlated analysis of broiler chickens in arid tract. Solv Vet Res 45:127-134

Khalifa HH, Ahmad NA, El-Tantawy SMT, and A.M. Dawoud MAK (2000) Effect of Heat Acclimation on Body Fluids and Plasma Proteins of Broilers Exposed to Acute Heat Stress. In: Proc. 11th Conf. Soc. Anim. Prod, Egypt

Khan RU, Naz S, Nikousefat Z, SELVAGGI M, LAUDADIO V, TUFARELLI V (2012) Effect of ascorbic acid in heat-stressed poultry. World's Poult. Sci J 68:477–490

Khan SH, Iqbal J (2016) Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. Journal of Applied Animal Research 44:359–369

Khan WA, A khan, Anjum AD, Urrehman Z (2002) Effects of induced heat stress on some biochemical values in broiler chicks. International Journal of Agriculture and Biology 4 (1):74–75

Kidder DE, Manners MJ (1978) Digestion in the pig. Kingstone Press, Bath UK.

Kil DY, Kwon WB, Kim BG (2011) Dietary acidifiers in weanling pig diets: a review. Rev Colomb Cienc Pecu 24:231–247

Kim JW, Kim JH, Kil DY (2015) Dietary organic acids for broiler chickens: a review. Rev Colomb Cienc Pecu 28:109–123

Kim YY, Kil DY, Oh HK, Han IK (2005) Acidifier as an alternative material to antibiotics in animal feed. Asian-Australas J Anim Sci 18:1048–1060

Kishi M, Fukaya M, Tsukamoto Y (1999) Enhancing effect of dietary vinegar on the intestinal absorption of calcium in ovariectomized rats. Biosci Biotechnol Biochem 63:905–910

Kisliouk T, Meiri N, (2009) A critical role for dynamic changes in histone H3 methylation at the Bdnf promoter during postnatal thermotolerance acquisition. Eur J Neurosci 30 : 1909-1922

Kisliouk T, Ziv M, Meiri N (2010) Epigenetic control of translation regulation: alterations in histone H3 lysine 9 post-translation modifications are correlated with the expression of the translation initiation factor 2B (Eif2b5) during thermal control establishment. Dev Neurobiol 70: 100-113

Kolb E (1984) Fisiologia veterinaria, 4th ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brazil, Rio de Janeiro

Kopecky J, Hrnčár C, Weis J (2012) Effect of organic acids supplement on performance of broiler chickens. Animal Sciences and Biotechnologies 45 (1):51–54

Korkmaz A, Tan DX, Reiter RJ (2011) Melatonin; an established radioprotective agent against Japan's nuclear disaster. TAF Prev Med Bull 10:2–4

Kouki C, Bergaoui R (2016) Effet de l'acclimatation thermique à jeune âge associée à la restriction alimentaire quantitative chez le poulet de chair de souche lourde (Hubbard Classic). Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology, 28(2) : 1566-1574

Král M, Angelovičová M, Mrázová L, Tkáčová J, Kliment M (2011) Probiotic and acetic acid of broiler chickens performance. Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies 44:149–152

Kregel KC (2002) Heat shock proteins: Modifying factors in physiological stress responses and acquired thermotolerance. J Appl Physiol 92:2177–2186

Krishnakantha TP, Lokesh BR (1993) Scanvenging of superoxide anions by spice principles. Indian Journal of Biochemistry and Biophysics 30:133–134

Kubena LF, May JD, Reece FN, Daton JW (1971) Hematocrit and hemoglobin of broilers are influenced by environmental temperature and dietary iron. Poult Sci (51): 759 -763.

Kumar A, Singh G, Sunil Kumar BV, Meur SK (2011) Modulation of antioxidant status and lipid peroxidation in erythrocyte by dietary supplementation during heat stress in buffaloes. Livestock Science 138: 299–303

L

Lacey B, Hamrita TK, Lacy MP, Van Wicklen GV, Czarick M (2000) Monitoring deep body temperature responses of broilers using biotelemetry. Journal of Applied Poultry Research 9:6–12

Laganá C, Ribeiro AML, González FHD, Lacerda LA, Kratz LR, Barbosa PR (2007) Níveis dietéticos de proteína e gordura e parâmetros bioquímicos, hematológicos e empenamento em frangos de corte estressados pelo calor. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa 36:1783–1790

Lambert RJ, Skandamis PN, Coote PJ, Nychas GJ (2001) A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacro. J Appl Microbiol 91:453–462

Lara L, Rostagno M (2013) Impact of Heat Stress on Poultry Production. Animals 3:356–369

Lau DW, King AJ (2003) Pre-and postmortem use of grape seed extract in dark poultry meat to inhibit development of thiobarbituric acid reactive substances. J Agr Food Chem 51:1602–1607

Leung AY (1980) Encyclopedia of Common Natural Ingredients used in Foods, Drugs and Cosmetics. John Wiley, Hoboken NJ

Levy AW, Kessler JW, Fuller L, Williams S, Mathis GF, Lumpkins B, Valdez F (2015) Effect of feeding an encapsulated source of butyric acid (ButiPEARL) on the performance of male Cobb broilers reared to42d of age.Poult.Sci.94 (8): 1864-1870

Liew P, Zulkifli I, Hair-Bejo M, Omar A, Israf D (2003) Effects of early age feed restriction and heat conditioning on heat shock protein 70 expression, resistance to infectious bursal disease, and growth in male broiler chickens subjected to heat stress. Poult Sci 82:1879–85

Lin H, Buyse J, Du R, Gu XH, Zhang ZY (2004a) Response of rectal temperature of broiler chickens to thermal environment factors. Archiv fur Geflugelkunde 68:126–131

Lin H, Decuypere E, Buyse J (2006a) Acute heat stress induces oxidative stress in broiler chickens. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol 144(1):11-7

Lin H, Jaio HC, Buyse J, Decuypere E (2006b) Strategies for preventing heat stress in poultry. World's Poult Sci J 62:71–85

Lin H, Malheiros RD, Moraes VMB (2004b) Acclimation of broiler chickens to chronic high environmental temperature. Arch Geflügelkd 68:39–46

Lin H, Zhang HF, Du R, Gu XH, Zhang ZY, Buyse J, Decuypere E (2005) Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. II. Four weeks of age. Poultry Science 84 (8):1173–1178

Lindquist S, Craig, EA (1988) The heat-shock proteins. Annual Review of Genetics 22:631–677

Linne JJ, Ringsrud KM (1999) Chemistry in clinical laboratory science. Mosby Inc.

Lopez-Bote C, Gray J, Gomaa E, Flegal C (1998) Effect of dietary administration of oil extracts from rosemary and sage on lipid oxidation in broiler meat. British Poultry Science 39:235-240

Lord-Fontaine S, Averill-Bates DA (2002) Heat shock inactivates cellular antioxidant defense against hydrogen peroxide: protection by glucose. Free Radical Biology & Medicine 32:752-765

Lu Q, Wen J, Zhang H (2007) Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. Poult Sci 86:1059–1064

M

Mahmoodi M, Hosseini-zijoud SM, Hassanshahi G (2013) The effect of white vinegar on some blood biochemical factors in type 2 diabetic patients. Journal of Diabetes and Endocrinology 4:1–5

Mahmoud KZ, Edens FW, Eisen EJ, Havenstein GB (2004) Ascorbic acid decreases heat shock protein 70 and psalma corticosterone response in broilers (Gallus gallus domestic) subjected to cyclic heat stress. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol 137:35–42

Maini S, Rastogi SK, Korde JP, Madan AK, Shukla SK (2007) Evaluation of oxidative stress and its amelioration through certain antioxidants in broilers during summer. J Poult Sci 44:339–347

Maldonado MD, Manfredi M, Ribas-Serna J, Garcia-Moreno H, Calvo JR (2012) Melatonin administrated immediately before an intense exercise reverses oxidative stress, improves immunological defenses and lipid metabolism in football players. Physiol Behav 105(5):1099-1103.

Malheiros RD, Moraes VMB, Bruno LDG, Malheiros EB, Furlan RL, Macari M (2000) Environment temperature and cloacal and surface temperatures of broiler chicks in first week post-hatch. Journal of Applied Poultry Research 9:111–117

Mani-López E, García HS, López-Malo A (2012) Organic acids as antimicrobials to control Salmonella in meat and poultry products. Food Res Int 45:713–721

Marai IFM, El Darawany AA, Fadiel A, Abdel Hafez MAM (2007) Physiological traits as affected by heat stress in sheep: a review. Small Ruminant Research 71:1–12

Marchini CFP, Silva PL, Nascimento MRBM, Beletti ME, Silva NM, Guimaraes EC (2011) Body weight, intestinal morphometry and cell proliferation of broiler chickens submitted to cyclic heat stress. Inter J Poult Sci 10:455–460

Mashaly MM, Hendricks GL, Kalama MA, Gehad AE, Abbas AO, Patterson PH (2004) Effect of Heat Stress on Production Parameters and Immune Responses of Commercial Laying Hens. Poult Sci 83:889–894

May JD, Deaton JW, Branton SL (1987) Body Temperature of Acclimated Broiler During Exposure to High Temperature. Poult Sci 66:378–380

May JD, Deaton JW, Reece FN, Branton SL (1986) Effect of acclimation and heat stress on thyroid hormone concentration. Poultry Science 65:1211–1213

Mayer EA (1994) The physiology of gastric storage andemptying. In: physiology of the gastrointestinal Tract, 3rd ed. Lippincott Raven Press, New York

McNabb FM (1995) Thyroid hormones, their activation, degradation and effects on metabolism. J Nutr 125(6):1773S-1776S

Meehl GA (2004) More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science 305: 994–997

Mehmet C, Talat G, Bestami D, Nihat O (2005) The effect of Anise oil (*Pimkpinella anisum* L.) on broiler performance. Int J Poult Sci 4:851–855

Meiattini F, Prencipe L, Bardelli F, Giannini G, Tarli P (1978) The 4-Hydroxybenzoate/4-Aminophenazone Chromogenic system used in the enzymic determination of serum cholesterol. Clin Chem 24 (12):2161-2165

Meltzer A (1983) Thermoneutral zone and resting metabolic rate of broilers. Brit Poult Sci 24:471-76

Merat P (1990) Genes que majeurs chez la poule (Gallus gallus): autres genes que ceux affectant la taille. INRA Prod Anim 3:355–368

Milan KSM, Dholakia H, Tiku PK, Vishveshwaraiah P (2008) Enhancement of digestive enzymatic activity by cumin (Cuminum cyminum L.) and role of spent cumin as a bionutrient. Food Chemistry V 110:678–683

Miller L an. Q, M.A. (1992) Molecular changes associated with heat-shock treatment in avian mononuclear and lymphoid lineage cells. Poult Sci 71:473–481

Mitchell MA, Carlisle AJ (1992) The Effects of Chronic Exposure to Elevated Environmental Temperature on Intestinal Morphology and Nutrient Absorption in The Domestic Fowl (Gallus. Domesticus). Comp Biochem Physiol A Comp Physiol 101(1):137-142

Modrey P, Nichelmann M (1992) Development of Autonomic and Behavioral Thermoregulation in Turkeys (Meleagris Gallopavo). J Therm Biol 17:287–292

Moeini MM, Bahrami A, Ghazi S, Targhibi MR (2011) The effect of different levels of organic and inorganic chromium supplementation on production performance, carcass traits and some blood parameters of broiler chicken under heat stress condition. Biol Trace Elem Res 144:724

Moghadam AN, Pourreza J, Samie AH (2006) Effect of different levels of citric acid on calcium and phosphorus efficiencies in broiler chicks. Pakistan Journal of Biological Sciences 9:13

Moghadasian MH (2000) Pharmacological properties of plant sterols in vivo and in vitro observation. Life Sci 67:605-615

Moller AP (2010) Body temperature and fever in a free-living bird. Comp Biochem Physiol B 156:68–74

Mondola P, Serù R, Santillo M, Damiano S, Bifulco M, Laezza C, Formisano P, Rotilio G, Ciriolo MR (2002) Effect of Cu, Zn superoxide dismutase on cholesterol metabolism in human hepatocarcinoma (HepG2) cells. Biochem Biophys Res Commun 295:603–609

Monika AP, Kaja M, Gebarowska A (2008) Age-dependent different action of curcumin in thyroid of rat. Folia Histochem Cytobiol 46:205–211

Moye RJ Jr, Washburn KW, Huston TM (1969) Effects of environmental temperature on erythrocyte numbers and size. Poult Sci 48:1683–1686

Mroz Z (2005) Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs. Adv Pork Prod 16 :169

Mujahid A, Akiba Y, Toyomizu M (2007) Acute heat stress induces oxidative stress and decreases adaptation in young white leghorn cockerels by downregulation of avian uncoupling protein. Poult Sci 86:364–371

Mujahid A, Sato K, Akiba Y, Toyomizu and M (2006) Acute heat stress stimulates mitochondrial superoxide production in broiler skeletal muscle, possibly via downregulation of uncoupling protein content. Poult Sci 85:1259-1265

Mujahid A, Yoshiki Y, Akiba Y, Toyomizu M (2005) Superoxide radical production in chicken skeletal muscle induced by acute heat stress. Poult Sci 84:307–314

Murakami N, Kawano T, Nakahara K, Nasu T, Shiota K (2001) Effects of melatonin on circadian rhythm, locomotor activity and body temperature in the intact house sparrow, Japanese quail and owl. Brain Res 889:220–224

N

Nakahara K, Kawano T, Shiota K, Mukarami N (2003) Effects of microinjection of metal into various brain region of Japanese quail on locomotor activity and body temperature. Neurosci Lett 345:117–120

Nakatani N (2000) Phenolic antioxidants from herbs and spices. Biofactors 13(1-4):141-146

Nascimento GR, Nääs IA, Pereira DF, Baracho MSI, Garcia R (2011) Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures. Revis Bras Ciênc Avíc 13:259–263

Naseem S, Younus M, Anwar B, Ghafoor A , Aslam A, Akhter S (2005) Effect of Ascorbic Acid and Acetylsalicylic Acid Supplementation on Performance of Broiler Chicks Exposed to Heat Stress. Int J Poult Sci 4:900–904

Niu ZY, Liu FZ, and W.C. Li QLY (2009) Effects of Different Levels of Vitamin E on Growth Performance and Immune Responses of Broilers under Heat Stress. Poult. Sci. 88:2101-2107

Nourmohammadi R, and Farhangfar HSM, H. (2010) Influence of citric acid and microbial phytase on growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. American Journal of Animal and Veterinary Sciences 5:282–288

Nourmohammadi R, Mohammad H (2010) Effect of Dietary Acidification on Some Blood Parameters and Weekly Performance of Broiler Chickens. J Anim Vet Adv 9: 3092–3097

O

Ognik K, Sembratowicz I (2012) Stress as a factor modifying the metabolism in poultry. Ann UMCS 30: 34-43

Olanrewaju HA, Purswell JL, Collier SD, Branton, SL (2010) Effect of ambient temperature and light intensity on growth performance and carcass characteristics of heavy broiler chickens at 56 days of age. Int J Poult Sci 9:720–725

Olanrewaju HA, Wongpichet S, Thaxton JP, Dozier WA, Branton SL (2006) Stress and acid-base balance in chickens. Poult Sci.85(7):1266-1274

Oliveira GA, Oliveira RFM, Donzele JL,.Cecon PR, Vaz RGMV, Orlando UAD (2006a) Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenhoe as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42 dias. Revista Brasileira de Zootecnia 35(4):1398–1405

Oliveira RFM, Donzele JL, Abreu MLT, Ferreira RA, Vaz RGMV, Cella PS (2006b) Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. Revista Brasileira de Zootecnia 35:797–803

Oluyemi JA, Roberts FA (2000) Poultry production in warm wet climates, 2nd edn. Spectrum Books Limited, Ibadan

Osman AAO (1996) Effect of heat stress and salts on blood picture of chicken during rearing Period. M.Sc. Thesis, Fac. Agric., Cairo Univ. Egypt

Östman E, Granfeldt Y, Persson L, Björck I (2005) Vinegar supplementation lowers glucose and insulin responses and increases satiety after a bread meal in healthy subjects. European Journal of Clinical Nutrition 59:983–988

Ozbey O, Yildiz N, Aysondu MH, Özmen, O. (2004) The effect of temperature on blood serum parameters and the egg productivity characteristics of Japanese quails (conturnix coturnix japonica). Int J poult Sci 3:485–489

P

Panda AK, Raju MVLN, Rama Rao SV, Gajula SS, Reddy MR (2009a) Effect of graded levels of formic acid on gut microflora count, serum biochemical parameters, performance, and carcass yield of broiler chickens. Indian J Anim Sci 79:1165–1168

Panda AK, Rao SVR, Raju MVLN, Sunder GS (2009b) Effect of butyric acid on performance, gastrointestinal tract health and carcass characteristics in broiler chickens. Asian-Australas J Anim Sci 22:1026–1031

Pandi-Perumal SR, Trakht I, Srinivasan V, Spence DW, Maestroni GJ, Zisapel N, Cardinali DP (2008) Physiological effects of melatonin receptors and signal transduction pathways. Prog Neurobiol 85(3):335-53

Park SO, Hwangbo J, Ryu CM, Park BS, Chae HS, Choi HC, Kang HK, Seo OS, Choi YH (2013) Effects of extreme heat stress on growth performance, lymphoid organ, IgG and cecum microflora of broiler chickens. Int J Agric Biol 15:1204–1208

Patterson JA, Burkholder KM (2003) Application of prebiotics and probiotics in poultry production. Poult Sci 82:627–631

Pearce S (2011) The effects of heat stress and nutritional status on metabolism and intestinal integrity in growing pigs. Degree. State, Diss., Iowa

Pereira DF, Nääs, IA (2008) Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis. In: Computers and Electronics in Agriculture. pp 2–7

Pereira DF, Naas A, Salgado DA, Gaspar CR, Bighi CA, Penha NIJ(2007) Correlations among behavior, performance and environment in broiler breeders using multivariate analysis. Revista Brasileira de Ciencia Avicola 9:207–213

Pérez MAP, De Basilio V, Colina Y, Yahav S, Picard, M, Bastianelli D (2006) Evaluation du niveau de stress thermique par mesure de la température corporelle et du niveau d'hyperventilation chez le poulet de chair dans des conditions de production au Venezuela. Revue Élev Méd vét Pays trop 59(1-4):81-90

Pevet P, Challet E (2011) Melatonin: both master clock output and internal time-giver in the circadian clocks network. J Physiol Paris 105(4-6):170-82

Phillips JG, Butler PJ, Sharp PJ (1985) Physiological strategies in avian biology. Blackie, Glasgow

Phy broiler chickens CB

Picard M, Sauveur B, Fenardji F, Angulo I, Mongin P (1993) Ajustements technico-economiques possibles de l'alimentation des volailles dans les pays chauds. INRA Prod Anim 6(2): 87-103

Pish Jang J (2011b) Comparison of effect of Cuminum cyminum and Probiotic on performance and serum composition of broiler chickens. Ann Biol Res 2:630–634

Porto ML, Givisiez PEN, Saraiva EP, Costa FGP, Moreira Filho ALB, Andrade MFS, Brandão PA, Guerra RR (2015) Glutamic acid improves body weight gain and intestinal morphology of broiler chickens submitted to heat stress. Rev Bras Cienc Avic 17:355-362

Post J, Rebel J, ter Huurne AA (2003) Automated blood cell count: a sensitive and reliable method to study corticosterone-related stress in broilers. Poult Sci 82:591–595

Post J, Rebel JM, ter Huurne AA (2003) Physiological effects of elevated plasma corticosterone concentrations in broiler chickens. An alternative means by which to assess the physiological effects of meat chickens. Poult Sci 82:1313–1318

Pradeep UK, Geervani P, Eggum BO (1993): Common Indian spices: nutrient composition, consumption and contribution to dietary value. Plant Foods Hum. Nutr 44:137–148

Puvača N, Stanaćev V , Glamočić D, LEVIĆ J, PERIĆ L, STANAĆEV V, MILIĆ D (2013) Beneficial effects of phytoadditives in broiler nutrition. World's Poult Sci J 69 : 27-34

Puvadolpirod S, Thaxton JP (2000) Model of physiological stress in chickens 3. Temporal patterns of response. Poult Sci 79:377–382

Q

Qaisrani SN, vanKrimpen MM, Kwakkel RP, Kwakkel MWA, Verstegen, Hendriks WH (2015) Diet structure, butyric acid, and fermentable carbohydrates influence growth performance,gut morphology,and cecal fermentation characteristics in broilers. Poult Sci 94, 2152–2164

Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V (2010) Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. Poult Sci 89:1905–1914

R

Rafiee A, Kheiri F, Rahimian Y, Faghani M, Valiollahi MR, Miri Y (2014) The effect of ginger root (Zingiber officinale) and cumin (Cuminum cyminum) powder on performance, some haematological traits and intestinal morphology of broiler chicks. Res Opin Anim Vet 4:96–100

Rahimi G (2005) Effect of heat shock at early growth phase on glucose and calcium regulating axis in broiler chickens. Int J Poult Sci 4:790–794

Rastogi SC (2007) Essentials of Animal Physiology. Age International (P) Limited, Publishers, New

Ren H, Endo H, Watanabe E, Hayashi T (1997) Chemical and sensory characteristics of Chinese, Korean and Japanese vinegars. J Tokyo Univ Fish

Renaudeau D, Collin A, Yahav S, et al (2012) Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. Animal 6:707–728

Reyns GE, Janssens KA, Buyse J (2002) Changes in thyroid hormone levels in chicken liver during fasting and refeeding. Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol 132:239–245

Ricke SC (2003) Perspective on the use of organic acids and short chain acids as antimicrobials. Poult Sci 82:632–639

Roman-Ramos R, Flores-Saenz JL (1995) Alarcon-Aguilar FJ. Anti-hyperglycemic effect of some edible plants. Journal of Ethnopharmacology 48:25–32

Ruberto G, Baratta MT, Sari M, Kaâbeche M (2002) Chemical composition and antioxydant activity of essential oils from Algerian Origanum Glandulosum Desf. Flavour and Fragrance Journal 17:251–254

S

Sahin K, Kucuk O (2001) Effect of vitamin C and vitamin E on performance, digestion of nutrient and carcass characteristics of Japanese quail reared under chronic heat stress. J Anim Physio Anim Nutr 85:335–341

Sahin K, Kucuk O, Sahin N, M. Sari NS (2002) Effects of Vitamin C and Vitamin E on Lipid Per Oxidation Status, Serum Hor-Mone, Metabolite and Mineral Concentrations of Japanese Quail Reared under Heat Stress (34. Degrees C) Int J Vit Nutr Res 72(2):91-100

Sahin K, Sahin N, Kucuk O (2003) Effect of Chromium, and Ascorbic Acid Supplementation on Growth, Carcass Traits, Serum Metabolites and Antioxidant Status of Broiler Chickens Reared at A High Ambient Temperature (32°C). Nutr Res 23(2): 225-238

Sahin K, Orhan C, Tuzcu Z, Tuzcu M, Sahin N (2012) Curcumin ameloriates heat stress via inhibition of oxidative stress and modulation of Nrf2/HO-1 pathway in quail. Food Chem Toxicol 50(11): 4035-4041

Sahin NV, Sahin K an. KO (2001) Effects of vitamin E and Vitamin A supplementation on performance, thyroid status and serum concentrations of some metabolites and minerals in broilers reared under heat stress (32°c). Vet. Med- Czech 46 (11–12): 286–292

Sahnoune F, Belhamel M, Zelmat M, Kerbachi R (2013) Climate change in Algeria: Vulnerability and Strategy of Mitigation and Adaptation. Energy Procedia 36:1286–1294

Salgado-Tránsito L, Del Río-García JC, Arjona-Román JL, et al (2011) Effect of citric acid supplemented diets on aflatoxin degradation, growth performance, and serum parameters in broiler chickens. Arch Med Vet 43:215–222

Samanta S, Haldar S, Ghosh TK (2008) Production and carcase traits in broiler chickens given diets supplemented with inorganic trivalent chromium and an organic acid blend. Br Poult Sci 49(2):155-63

Sandercock DA, Hunter RR, Nute GR, Mitchell MA, Hocking PM (2001) Acute heat stress-induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for meat quality. Poult Sci 80:418–425

Sayed MAM, Scott TA (2007) Maintaining electrolyte and water balance to alleviate heat stress in broiler chickens. Proc Aust Poult Sci Symp 19: 23-26

Schwean-Lardner K, Fancher BI, Classen H.L. (2012) Impact of daylength on behavioural output in commercial broilers. Applied Animal Behaviour Science 137:43–52

Setorki M, Nazari B, Asgary S (2010) Acute effects of apple cider vinegar intake on some biochemical risk factors of atherosclerosis in rabbits fed with a high cholesterol diet. Qom Univ Med Sci J 3(4): 11-18

Shahnaz H, Hifza A, Bushra K, Khan JI (2004a) Lipid studies of Cuminum cyminum fixed oil. Pakistan Journal of Botany 36(2):395–401

Sharif SH, Elmahdi BM, Mohammed AMA, Mohammed AH (2012): The effects of Nigella sativa L. ethanolic extract on thyroid function in normal and alloxan-induced diabetic rats. Thyroid Res Pract 9 (2):48–52

Sharifi SD Khorsandi SH. Khadem AA, Salehi A, Moslehi (2013) The effect of four medicinal plants on the performance, blood biochemical traits and ileal microflora of broiler chicks Vet arhiv 83:69–80

Shirzadegan K, Fallahpour P, Nickkhahand I, Taher HR (2015) Black Cumin (Nigella sativa) supplementation in the diet of broilers influences liver weight and its enzymes. Iran J Appl Anim Sci 5:173–178

Shishehbor F, Mansouri A, Sarkaki A, Jalali MT, Latifi M (2007) The effect of white vinegar on fasting blood glucose, glycosylated hemoglobin and lipid profile in normal and diabetic rats. IJEM 9 (1): 69–75

Siegel HS (1995) Stress, strains and resistance. Br Poult Sci 36(1):3-22

Sinkalu VO, Ayo JO, Adelaiye AB, Hambolu JO (2015) Ameliorative effects of melatonin administration and photoperiods on diurnal fluctuations in cloacal temperature of Marshall broiler chickens during the hot dry season. Int J Biometeorol 59:79–87

Sinkalu VO, Ayo JO, Ibrahim JE, Abimbola AA (2011) Diurnal fluctuations in rectal temperature of broiler chickens administered with melatonin during the early rainy season. Ahmadu. University, Zaria, Bello pp 454–462

Sklan D (2001) Development of the digestive tract of poultry. World's Poult Sci J 57(4): 415–428

Smulikowska S, Czerwiński J, Mieczkowska A (2010) Effect of an organic acid blend and phytase added to a rapeseed cakecontaining diet on performance, intestinal morphology, caecal microflora activity, and thyroid status of broiler chickens. J Anim Physiol Anim Nutr (Berl) 94(1):15-23

Sohail M, Hume M, Byrd J, Nisbet D, Ijaz A, Sohail A, Shabbir M, Rehman H (2012) Effect of supplementation of prebiotic mannan-oligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. Poult Sci 91:2235–40

Sohail MU, Ijaz A, Yousaf MS, Ashraf K, Zaneb H, Aleem M, Rehman H (2010) Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan -oligosaccharide and Lactobacillus-based probiotic: Dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. Poult Sci 89(9):1934-8

Sokołowicz Z, Herbut E (1999) Effect of chronic high temperature stress on thyroid activity and metabolic rate of broiler pullets cockerels. Ann Anim Sci 26:377–383

Soleimani AF, Zulkifli I, Omar AR an. R, A.R. (2011) Physiological responses of 3 chicken breeds to acute heat stress. Poultry Science 90:1435–1440

Sottnik J (2002) Climatical factors and their effect on production in animal housing. In: ASAE Annual International Meeting/ CIGR XVth World Congress. ASAE editors, Chicago, Illinois, USA

Spernakova D, Mate D, Rozanska H, Kovac G (2007) Effect of dietary rosemary extract and α-tocopherol on the performance of chickens, meat quality, and lipid oxidation in meat storage under chilling conditions. In: Bulletin of Veterinary Institute in Pulawy 51: 585–589

Spurlock ME, Savage JE (1993) Effects of dietary protein and selected antioxidants on fatty haemorrhagic syndrome induced in Japanese quails. Poult Sci 72:2095–2105

Srinivasan K (2005) Plant foods in the management of diabetes mellitus: Spices as beneficial antidiabetic food adjuncts. International Journal of Food Sciences and 56:399–414

Stambouli AB (2011) Promotion of renewable energies in Algeria: strategies and perspectives renewable and sustainable. Energy Reviews 15(2):1169-1181

Stanaćev V, Glamočić D, Milošević N, et al (2011) Effect of garlic (Allium sativum L.) in fattening chicks nutrition. African Journal of Agricultural Research 6:943–948

Star L, Decuypere E, Kemp B (2008) Effect of Single or Combined Climatic and Hygienic Stress in Four Layer Lines: 2. Endocrine and Oxidative Stress Responses. Poult Sci 87:1031–1038

Stern J Lewis WHP (1957) The colorimetric estimation of calcium in serum with o-cresolphthalein complexone. Clinica Chimica Acta 2: 576-580

St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G (2003) Economic losses from heat stress by US livestock industries. Journal of Dairy Science 86: E52–E77

Sturkie, P.D. (1986). Avian Physiology. Fourth (Ed). Spring Verlag, U.S.A.

Sun PM, Liu YT, Zhao YG, Bao ED, Wang ZL (2007) Relationship between heart damages and HSP mRNA in persistent heat-stressed broilers. Agric Sci China 6:227–233

Swenson MJ, Reece WO (1996) Dukes, Fisiologia dos animais dome´sticos, 11th ed. Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil

Świątkiewicz S, Arczewska-Wlosek A (2012) Bone quality characteristics and performance in broiler chickens fed diets supplemented with organic acids. Czech J Anim Sci 57:193–205

Syafwan (2012) Effects of dietary changes on heat stress in broiler and Kampung chickens, Thesis

Syafwan S, Kwakkel RP, Verstegen MWA (2011) Heat stress and feeding strategies in meat-type chickens. World's Poultry Science Journal 67:653–673

T

Tan DX, Manchester LC, Terron MP, Flores LJ, Reiter RJ (2007) One molecule, many derivatives: a never-ending interaction ofmelatonin with reactive oxygen and nitrogen species? J Pineal Res 42:28–42

Tanizawa H, Shiraishi J, Kawakami S-I (2014) Effect of short-term thermal conditioning on physiological and behavioral responses to subsequent acute heat exposure in chicks. The Journal of Poultry Science 51:80–86

Tao X, Xin H (2003) Acute synergistic effects of air temperature, humidity and velocity on homeostasis of market size broilers. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 46:491–497

Teeter RG, Smith MO, Owens FN, et al (1985) Chronic heat stress and respiratory alkalosis: occurrence and treatment in broiler chicks. Poult Sci 64:1060–1064

Teeter RG, Smith MO, Wiernusz CJ (1992) Research note: broiler acclimation to heat distress and feed intake effects on body temperature in birds exposed to thermoneutral and high ambient temperatures. Poult Sci 71:1101–1104

Teixeira TCS, Oliveira RC, Beletti ME et al (2004) Interferencia de minerais quelatados no comprimento intestinal e peso aoabateemfrangos de corte (Gallus gallus domesticus. In: Linnaeus 1758). In Anais 7 Encontro de Ciências. Avicolas, Universidade Federal de Uberlandia, Minas Gerais, Brasil

Temim S, Bedrani L, Ain Baziz H, Ghaoui H, Kaddour R, Boudina H, Adjou K, Collin A, Tesseraud S (2009) Effet de l'acclimatation précoce sur les performances de croissance et la morphométrie intestinale des poulets de chair élèves en conditions estivales méditerranéennes. European journal for scientific research 38(1): 110-118

Temim S, Chagneau A, Peresson R, Tesseraud S (2000) Chronic heat exposure alters protein turnover of three different skeletal muscles in finishing broiler chickens fed 20 or 25% protein diets. J Nutr.130(4):813-9

Thippeswamy NB, Naidu KA (2005) Antioxidant potency of cumin varieties cumin, black cumin and bitter cumin-on antioxidant systems. Eur Food Res. Technol 220: 472-476

Tolba AAH (2000) Physiological and Productive Characteristics as Affected by Environmental Treatments in Broiler Chicks. Ph.D. Thesis, Fac. Agric., Cairo Univ., Egypt

Toledo GSPD, Costa PTC, Silva LPD, Pinto D, Ferreira P, Poletto CJ (2007) Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo antibiótico e/ou fitoterápico como promotores, adicionados isoladamente ou associados Ciênc Rural 37:1760-1764

Tollba AAH (2003) Using some natural additives to improve physiological and productive performance of broiler chicks under high temperature conditions. 1- thyme (Thymus Vulgaris L. Egypt Poult Sci 313-326

Tollba AAH (2010) Reduction of broilers intestinal pathogenic micro-flora under normal or stressed condition. In: Egypt Poult Sci 249–270

Tollba AAH, and Hassan MSH (2003) Using some natural additives to improve physiological and productive performance of broiler chicks under high temperature conditions. 2- black cumin (Nigella Sativa L.) or garlic (Allium Sativum). Egypt Poult Sci 23:327–340

Toplu HDO, Tunca R, Aypak SU (2014) Effects of heat conditioning and dietary Ascorbic acid supplementation on heat shock protein 70 expression, blood parameters and fear-related behavior in broilers subjected to heat stress. Acta Scientiae Veterinariae 42: 1179

Torki M, Soltani J (2015) Mohammadi H: Effects of adding ethanol extract of propolis and cumin essential oil to diet on the performance, blood parameters, immune response and carcass traits of broiler chicks. IJAS 5:911–918

Toyomizu M, Tokuda M, Mujahid A, Akiba Y (2005) Progressive alteration to core temperature, respiration and blood acid-base balance in broiler chickens exposed to acute heat stress. The Journal of Poultry Science 42:110–118

Trinder P (1969) Determination of blood glucose using an oxidase-peroxidase system with a non-carcinogenic chromogen. J Clin Pathol 22 (2): 158–161.

U

Uni Z, Gal-Garber O, Geyra A, Yahav S (2001) Changes in Growth and Function of Chick Small Intestine Epithelium Due to Early Thermal Conditioning. Poult Sci 80:738–445

Ur Rehman Z, Ul Haq A, Akram N, Abd El-Hack ME , Saeed M , Ur Rehman S, Meng C, Alagawany M , Sayab M , Dhama K, Ding C (2016) Growth Performance, Intestinal Histomorphology, Blood Hematology and Serum Metabolites of Broilers Chickens Fed Diet Supplemented with Graded Levels of Acetic Acid. International Journal of Pharmacology 12:874–883

V

Vahdatpour T, Nikpiran H, Babazadeh D, Vahdatpour S, Jafargholipou MA (2011) Effects of Protexin, Fermacto and Combination of Them on Blood Enzymes and Performance of Japanese Quails (Coturnix Japonica). Annals of Biolo Res 2:283–291

Van Kampen M (1984) Physiological responses of poultry to ambient temperature. Archiv für Experimentelle Veterinärmedizin 38: 384-391

Vanecek J (1998) Cellular mechanisms of melatonin action. Physiol Rev 78:687–721

Vecerek V, Strakova E, Suchy P, Voslarova E (2002) Influence of high environmental temperature on production and haematological and biochemical indexes in broiler chickens. Czek J Anim Sci 47:176–182

Veldkamp T, Kwakkel RP, Ferket PR, Verstegen MWA (2002) Impact of ambient temperature and age on dietary lysine and energy in turkey production. World's Poultry Science Journal 58 (4):475–491

Vieira SL, Oyarzabal OA, Freitas DM, Berres J, Peña JEM, Torres CA, Coneglian JLB (2008) Performance of broilers fed diets supplemented with sanguinarine-like alkaloids and organic acids. J Appl Poultry Res 17:128–133

W

Wang S, Bottje WG, Kinzler S, Neldon HL, Koike TI (1989) Effect of heat stress on plasma levels of arginine vasotocin and mesotocin in domestic fowl (Gallus domesticus). Comp Biochem Physiol 93:721–724

Wangs S, Edens FW (1993) Stress-induced heat-shock protein synthesis in peripheral leukocytes of turkeys, Melegris gallopavo, Oxford : E, evier Science. Ltd; Comp Biochem and physiol B: Comp Biochem 106: 621–628

Wei A, Shibamoto T (2007) Antioxidant Activities and Volatile Constituents of Various Essential Oils. J Agric Food Chem 55:1737–1742

Whittow GC (2000) Sturkie's AVIAN PHYSIOLOGY. Fifth Edition, Academic Press, London, New York

Willatgamuwa SA, Platell K, Saraswathi G, Srinivasan K (1998) Antidiabetic influence of dietary cumin seeds Cuminum cyminum in streptozotocin induced diabetic rats. Nutrition Research 18(1):131-142

Willemsen H, Swennen Q, Everaert N, Geraert PA, Mercier Y, Stinckens A, Decuypere E, Buyse J (2011) Effects of dietary supplementation of methionine and its hydroxy analog dl-2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid on growth performance, plasma hormone levels, and the redox status of broiler chickens exposed to high temperaturesdl-methionine analog and oxidative status. Poultry Science 90:2311–2320.

Williamson RA, Misson BH, Davison TF (1985) The effect of exposure to 40 degrees on the heat production and the serum concentrations of triiodothyronine, thyroxine, and corticosterone in immature domestic fowl.Gen Comp Endocrinol 60:178–186

Wilson HR, Wilcox CJ, Voitie RA, and R.W. Dorminey CDB (1975) Characteristics of White Leghorn Chickens Selected For Heat Tolerance. Poult Sci 54:126–130

Winder WW, Hardie DG (1999) AMP-activated protein kinase, a metabolic master switch: possible roles in type 2 diabetes. Am J Physiol 277:E1-E10

X

Xin H, DeShazer JA, Beck MM (1992) Responses of pre-fasted growing turkeys to acute heat exposure. Society of Agric Engin; Transactions of the ASAE 35:315–318

Y

Yahav S (1999) Effect of early-age thermal conditioning and food restriction on performance and thermotolerance of male broiler chickens. British Poultry Science 40:120–126

Yahav S (2000) Relative Humidity at Moderate Ambient Temperatures: Its Effect on Male Broiler Chickens and Turkeys. Br Poult Sci 41:94–100

Yahav S McMurtry JP (2001) Thermotolerance acquisition in broiler chickens by temperature conditioning early in life--the effect of timing and ambient temperature. Poult Sci 80(1): 1662-1666

Yahav S, Collin A, Shinder D, Picard, M. (2004) Thermal manipulations during broiler chick embryogenesis: Effects of timing and temperature. Poultry Science 83:1959–1963

Yahav S, Druyan S, Rusal M, Shinder D (2011) Diurnally cycling temperature and ventilation affect young turkeys' performance and sensible heat loss. J Therm Biol 36:334–339

Yahav S, Goldfeld S, Plavnik I, Hurwitz, S (1995) Physiological responses of chickens and turkeys to relative humidity during exposure to high ambient temperature. Journal of Thermal Biology 20:245–253

Yahav S, Hurwitz S. (1996) Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. Poult Sci 75:402–406

Yahav S, Plavnik I (1999) Effect of Early-Age Thermal Conditioning and Food Restriction of Performance and Thermotolerance of Male Broiler Chickens. Br Poult Sci 40:126

Yahav S, Shamay A, Horev G, et al (1997a) Effect of Acquisition of Improved Thermotolerance on The Induction of Heat Shock Proteins in Broiler Chickens. Poult Sci 76(10) 1428–1434

Yahav S, Shinder D, Tanny J an. C, S. (2005) Sensible heat loss: The broiler's paradox. World's Poultry Science Journal 61:419–434

Yahav S, Straschnow A, and S. Hurwitz IP (1997b) Blood System Response of Chickens to Changes in Environmental Temperature. Poult Sci 76:627–633

Yalcin S, Akit MS, Ozkan K, and D. Ozdemin KM (2005) Effects of Temperature During Rearing and Crating on Stress Parameters and Meat Quality of Broilers. Poult Sci 85:1867–1874

Yalcin S, Bruggeman V, Buyse J (2009) Acclimation to heat during incubation: 4. Blood hormones and metabolites in broilers exposed to daily high temperatures. Poult Sci 88: 2006–2013

Yalcin S, Ozkan S, Oktay G, Cabuk M, Erbayraktar Z, Bilgili SF (2004) Age-related effects of catching, crating and transportation at different seasons on core body temperature and physiological blood parameters in broilers. J Appl Poult Res 13:549–560

Yalcin S, Özkan S, Turkmut L, Siegel PB (2001) Responses to heat stress in commercial and local broiler stocks. 1. Performance traits. British Poultry Science 42:149–152

Yang Y, Iji PA, Choct M (2009) Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. World's Poult Sci J 65:97–114

Yeh CC (1992) Effect of acute heat stress on the blood characteristics of Taiwan country chickens and broilers. J Chin Soc Anim Sci 21:57–66

Young JF, Stagsted J, Jensen SK, Karlsson AH, Henckel P (2003) Ascorbic acid alpha-tocopherol and oregano supplements reduce stress induced deterioration of chicken meath quality. Poult Sci 82:1343-1351

Young KM, Foegeding PM (1993) Acetic, lactic and citric acids and pH inhibition of Listeria monocytogenes scott A. and the effect on intracellular pH. J Applied Bacteriol 74:515–520

Younis DT (2007) Effect of adding vitamin C to drinking water to reduce the negative effect of heat stress in some productive performance of broiler chickens. Rafidain Agric J 4:47–53

Youssef AW, El-Daly EF, El-Azeem NAA, El-Monairy MM 2013. Effect of sodium formate on laying hen performance, gastrointestinal tract pH and some blood components under heat stress conditions. Asian Journal of Poultry Science 7:17–26

Youssef SF, Yassein DMM, El-Bahy NM, Faddle AA (2014) A comparative studies among golden montazah, el- salam and fayoumi chickens. 1-response to acute heat stress as early heat conditioning procedure. Egypt Poult Sci 34:1075–1097

Yuan L, Lin H, Jiang KJ, Jiao HC, Song ZG (2008) Corticosterone administration and high-energy feed results in enhanced fat accumulation and insulin resistance in broiler chickens. British Poultry Science 49:487–495

Z

Zawilska JB, Iuvone PM (1989) Catecholamine receptors regulating serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of chicken retina and pineal gland. In: D2-dopamine receptors in retina and alpha-2 adrenergic receptors in pineal gland. J Pharmacol Exp Ther. 250(1) 86–92

Zawilska JB, LorencA B, Vivien-Roels PP, Skene DJ (2007) Photoperiod-dependent changes inmelatonin synthesis in the turkey pineal gland and retina. Poult Sci 86:1397–1405

Zawilska JB, Wawrocka (1993) Chick retina and pineal gland differentially respond to constant light and darkness: in vivo studies on serotonin-acetyl transferase (NAT) activity and melatonin content. Neuroscience Letters 153:21–24

Zeman M, Herichova I (2011) Circadian melatonin production develops faster in birds than in mammals. Gen Comp Endocrinol 172(1):23-30

Zhang ZY, Jia GQ, Zuo JJ, Zhang Y, Lei J, Ren L, Feng DY (2012) Effects of Constant and Cyclic Heat Stress on Muscle Metabolism and Meat Quality of Broiler Breast Fillet and Thigh Meat. Poult Sci 91:2931–2937

Zhou W, Yamamoto S (1997) Effects of environmental temperature and heat production due to food intake on abdominal temperature, shank skin temperature and respiration rate of broilers. Br Poult Sci 38:107–114

Zhou WT, Fujita M, Ito T an. Y, S. (1997) Effects of early heat exposure on thermoregulatory responses and blood viscosity of broilers prior to marketing. British Poultry Science 38:301–306

Zhou WT, Fujita M, Yamamoto S (1999) Effects of ambient temperatures on blood viscosity and plasma protein concentration of broiler chickens (Gallus domesticus). Journal of Thermal Biology 24:105–112

Zhou WT, Fujita M, Yamamoto S, Iwasaki K, Ikawa OR, Horikawa H (1998) Effects of Glucose in Drinking Water on The Changes of Whole Blood Viscosity and Plasma Osmolality of Broiler Chickens During High Temperature Exposure. Poult Sci 77:644–647

Zulkifli I, and M.T. Che-Norma RTD (1999) Acute Heat Stress Effects on Physiology and Fear Related Behavior in Red Jungle Fowl and Domestic Fowl. Canadian J Anim Sci 79:165–170

Zulkifli I, Juriah K, Htin NN, Norazlina I (2006) Response of heat-distressed broiler chickens to virginiamycin and probiotic-enhanced water acidifier (Acid-Pak 4-WayTM) supplementation, and early age feed restriction. Arch Geflügelk 70:119–126

Zulkifli I, Liew PK, Israf DA, and M. Hair-Bejo ARO (2003) Effects of early age feed restriction and heat conditioning on heterophil/lymphocyte ratios, heat shock protein 70 expression and body temperature of heat-stressed broiler chickens. J Therm Biol 28:217–222