

JOSEPH NAHAS

**EFFETS DE L'INCORPORATION DES CÉRÉALES ENTIÈRES DANS LA
RATION ALIMENTAIRE SUR LES PERFORMANCES DES POULETS DE
CHAIR**

Mémoire
présenté
à la Faculté des études supérieures
de l'Université Laval
Pour l'obtention
du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

Département des sciences animales
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL

MARS 1999

© Joseph Nahas, 1999



National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-38164-1

RÉSUMÉ

Deux expériences ont été menées dans le but de déterminer les effets de l'incorporation de l'orge entière, avec ou sans enzyme (E), et du blé entier après 7 jours d'âge sur les performances et les caractéristiques de la carcasse et du système digestif des poulets de chair. Dans la première expérience, les poulets étaient alimentés avec une ration maïs-soya contenant 0, 10, 10 + E, 15 et 15% + E d'orge durant la période de croissance. Durant la finition, les rations contenaient 0, 15, 20 + E, 15 et 20% + E d'orge. Dans la deuxième expérience, les rations de croissance contenaient 0, 10, 10, 20, 20% de blé, et 0, 20, 35, 20, 35% de blé dans les rations de finition. Aucun enzyme ne fut utilisé dans les rations contenant du blé. Dans chaque expérience, 1500 poussins mâle Ross × Ross furent distribués dans 30 parquets. Six répétitions furent allouées à chaque traitement. Le poids moyen (PM), le gain moyen quotidien (GMQ), la consommation alimentaire (CA) et l'efficacité alimentaire (EA) furent mesurés à 7, 21, et à 38 jours d'âge. Dans l'expérience 1, le GMQ du témoin fut inférieur ($P < .05$) à celui des autres traitements. Cependant, l'EA et le CA furent respectivement inférieure et supérieure ($P < .05$) au témoin avec l'ajout d'enzymes. Le PM final ainsi que le poids de l'intestin, du gésier et du pancréas furent supérieurs ($P < .05$) avec l'inclusion d'orge. Dans l'expérience 2, le GMQ et le PM ont diminué ($P < .05$) avec un niveau de blé de 35% mais furent quand même supérieurs au témoin. La longueur du ceaca, le poids/cm du jéjunum ainsi que le poids du duodénum, du gras abdominal et de la carcasse ont augmenté significativement avec les niveaux d'incorporation de blé dans les rations.

Michel Lefrançois, directeur du mémoire

Joseph Nahas, rédacteur

AVANT-PROPOS

L'auteur désire remercier le Département des sciences animales de la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Université Laval pour l'aide et les facilités mises à sa disposition lors de la réalisation de ce travail.

L'auteur désire exprimer sa gratitude et sa reconnaissance au Dr Michel Lefrançois, directeur de ce mémoire, pour l'encadrement, l'encouragement et les conseils apportés tout au long de ce travail de recherche.

L'aide du personnel du Département des sciences animales mérite d'être soulignée. Des remerciements sincères s'adressent à M. Pierre Castonguay, M. Jean-Pierre Huot, M. Lucien Marois et M. Richard Prince pour leurs conseils, leur disponibilité et leur aide technique lors de la phase expérimentale. L'auteur tient aussi à remercier M. Jean Bricault et M. André Roy pour leur aide technique au cours de la phase expérimentale et des analyses de laboratoire.

Ces travaux ont été réalisés grâce au support financier de la Fédération des Producteurs de Volailles du Québec et du Conseil pour le Développement de l'Agriculture du Québec (C.D.A.Q.). L'auteur tient à remercier ces organismes pour leur soutien financier.

Finalement, l'auteur exprime toute sa gratitude à ses parents et ses ami(e)s pour leur support, leur patience et leur encouragement tout au long de ces deux années.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------|
| RÉSUMÉ..... | ii |
| AVANT-PROPOS | iii |
| TABLE DES MATIÈRES | iv |
| LISTE DES TABLEAUX..... | viii |
| LISTE DES FIGURES..... | x |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| CHAPITRE 1: REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS | 4 |
| 1.1. Les céréales au Canada et au Québec | 4 |
| 1.2. L'orge entière | 7 |
| 1.2.1. Composition chimique | 7 |
| 1.2.2. Les polysaccharides des cellules membranaires | 8 |
| 1.2.3. Les facteurs influençant le contenu en β -glucanes de l'orge | 10 |
| 1.2.4. Valeur nutritive de l'orge | 11 |
| 1.2.5. Effets de l'orge sur les performances des poulets de chair | 12 |
| 1.2.6. Effets anatomiques et physiologiques de l'orge entière..... | 15 |
| 1.3. Effets de l'incorporation d'enzymes digestives exogènes..... | 17 |
| 1.3.1. Définition et mode d'action..... | 17 |
| 1.3.2. Effets des enzymes exogènes sur les performances des poulets | 19 |

| | |
|--|----|
| 1.4. Le blé entier | 23 |
| 1.4.1. Composition chimique | 23 |
| 1.4.2. Effets du génotype et de l'environnement..... | 24 |
| 1.4.3. Valeur nutritive du blé entier | 25 |
| 1.4.4. Effets du blé entier sur les performances des poulets de chair..... | 27 |
| 1.5. Effets de la texture et de la forme des aliments..... | 33 |
| 1.6. Conclusion..... | 35 |
| 1.7. Liste des ouvrages cités..... | 37 |

**CHAPITRE 2: EFFECTS OF FEEDING LOCALLY-GROWN WHOLE BARLEY AND
WHOLE WHEAT AND THE ADDITION OF ENZYMES TO DIETS ON
BROILER PERFORMANCE AND CARCASS TRAITS.....50**

| | |
|-------------------------------------|----|
| 2.1. Abstract..... | 50 |
| 2.2. Introduction | 51 |
| 2.3. Materials and methods..... | 52 |
| 2.3.1. Animals and management | 52 |
| 2.3.2. Grains | 53 |
| 2.3.3. Measurements..... | 58 |
| 2.3.4. Statistical Analysis | 58 |
| 2.4. Results | 59 |
| 2.4.1. Experiment 1 | 59 |
| 2.4.2. Experiment 2 | 65 |
| 2.5. Discussion | 72 |
| 2.6. Acknowledgements | 74 |
| 2.7. References | 76 |

| | |
|---|----|
| APPENDIX A: Effect of control diets (0-7d) on performance of broilers (Experiment 1)..... | 81 |
| APPENDIX B: Effect of grower diets (7-21d) on performance of broilers (Experiment 1)..... | 82 |
| APPENDIX C: Effects of treatments on intestinal length of broilers (Experiment 1)..... | 83 |
| APPENDIX D: Effects of treatments on intestinal weights, and on intestinal weights to live weight of broilers (Experiment 1). | 84 |
| APPENDIX E: Effects of treatments on intestinal weights by cm of broilers (Experiment 1)..... | 85 |
| APPENDIX F: Effects of treatments on weights of a 10 cm proximal or distal sections of the intestine (Experiment 1)..... | 86 |
| APPENDIX G: Effect of treatments on weight of intestinal sections to total intestine weight (Experiment 1). | 87 |
| APPENDIX H: Effect of the control diet (0-7d) on performance of broilers (Experiment 2)..... | 88 |
| APPENDIX I: Effect of grower diet (7-21d) on performance of broilers (Experiment 2)..... | 89 |
| APPENDIX J: Effects of treatments on intestinal length of broilers (Experiment 2)..... | 90 |
| APPENDIX K: Effects of treatments on intestinal weights, and on intestinal weights to live weight of broilers (Experiment 2)..... | 91 |
| APPENDIX L: Effects of treatments on intestinal weights by cm (Experiment 2)..... | 92 |
| APPENDIX M: Effect of treatments on weight of intestinal sections to total intestine weight (Experiment 2)..... | 93 |

APPENDIX N: Effects of treatments on weights of a 10 cm proximal or distal sections of the intestine (Experiment 2)..... 94

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Table 2.1. Diets composition (Experiment 1) | 54 |
| Table 2.2. Calculated nutrient composition of diets for broilers (Experiment 1) | 55 |
| Table 2.3. Diets composition (Experiment 2). | 56 |
| Table 2.4. Calculated nutrient composition of diets for broilers (Experiment 2)..... | 57 |
| Table 2.5. Effects of dietary treatments on performance of broilers from 0-21d of age (Experiment 1)..... | 60 |
| Table 2.6. Effects of dietary treatments on broilers performance in the finishing phase (21-38d) (Experiment 1)..... | 61 |
| Table 2.7. Effects of dietary treatments on performance of broilers from 0-38d of age (Experiment 1)..... | 62 |
| Table 2.8. Effects of dietary treatments on weights and yields of carcass parts from broilers (Experiment 1)..... | 63 |
| Table 2.9. Effects of dietary treatments on organ and abdominal fat weights and yields from broilers (Experiment 1). | 64 |
| Table 2.10. Effects of dietary treatments on performance of broilers from 0-21d of age (Experiment 2)..... | 66 |
| Table 2.11. Effects of treatments on performance of broilers in the finishing phase 21-38d (Experiment 2). | 67 |
| Table 2.12. Effects of treatments on performance of broilers from 0-38d of age (Experiment 2)..... | 68 |

| | |
|--|----|
| Table 2.13. Effects of treatments on carcass parts weights and yields from broilers (Experiment 2)..... | 70 |
| Table 2.14. Effects of treatments on organ and abdominal fat weights from broilers (Experiment 2)..... | 71 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| FIGURE 1: Schéma décrivant les événements responsables de la variabilité nutritive des grains de céréales lorsque servis au poulets de chair | 32 |
|---|----|

INTRODUCTION

La production avicole du Québec est connue comme étant la production animale la plus techniquement développée de la province. L'industrie du poulet au Québec a connu une croissance significative en volume au cours des dernières années. Cette croissance englobe le volume abattu, le volume transformé et le volume commercialisé (Bergevin, 1998). Au cours des 20 dernières années, la production totale a connu une croissance de 80%. En 1992, les recettes monétaires agricoles des producteurs de poulets atteignaient 272 millions de dollars au Québec, 300 millions en Ontario et 905 millions au Canada (Bergevin, 1998). Ces recettes monétaires ont crû de 73% au Québec, passant de 198 millions de dollars en 1980 à 342 millions en 1994 (Statistiques Canada, cité par Bergevin, 1998). Certains problèmes sévissent dans la production du poulet au Québec tels le prix moyen annuel payé aux producteurs pour le poulet à griller plus bas que celui des autres provinces, hormis la province du Manitoba depuis quelques années (Bergevin, 1998). De plus, la contribution relative du Québec à la production totale canadienne de poulet a chuté ces dernières années. Elle était de 36,9% en 1978, de 30,9% en 1989 et de 29,6% en 1993. Cette diminution de la part du Québec s'est faite au profit de la Colombie-Britannique, de l'Alberta, du Manitoba et de Terre-Neuve. Cependant, le Québec reste le deuxième producteur de poulets au Canada après l'Ontario, et ces deux provinces ensemble réalisent presque 50% de la production totale. En effet, la taille des poulaillers québécois est en moyenne de 10% supérieure à celle des poulaillers du reste du pays (Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998a).

D'après les statistiques des Producteurs de Poulets du Canada, la production du Québec était de 217,3 millions de kg de poulet éviscéré en 1997 comparativement à 250 millions de kg en Ontario et 747 millions de kg au Canada (Producteurs de Poulets du Canada, 1998). Le Québec a aussi connu une augmentation de 4,5% dans sa production en 1997 par rapport à l'année 1996. Le nombre de producteurs était estimé en 1996 à 719 au Québec, 1084 en Ontario et 2 757 au Canada comparativement à 700 au Québec, 970 en Ontario et 2 524 au Canada en 1992 (Bergevin, 1998; Producteurs de Poulets du Canada, 1998). Selon le Bureau de la Statistique du Québec (1998), le Québec a produit 151,5 millions de volailles en 1997 dont 94,3 % étaient destinés au marché du poulet à griller. Les recettes s'élèvent à 433,8 millions de dollars canadiens, ce qui constitue une augmentation de 3,4 % par rapport à l'année précédente.

L'industrie avicole du Québec possède cependant certains avantages par rapport à celle de l'Ontario comme le coût inférieur des poussins. Néanmoins, le coût très élevé de la moulée affaiblit la position concurrentielle du Québec. En effet, le coût de la moulée par tonne est en moyenne 30\$ plus élevé au Québec qu'en Ontario. Ceci a des répercussions négatives sur le prix de revient du poulet puisque le coût de l'alimentation représentait en mars 1998 environ 50% du coût de la production d'un kg de poulet vivant (65,55 cents/kg de chair) (Producteurs de Poulets du Canada, 1998). Ce coût est dû en partie aux prix assez élevés des ingrédients de la moulée en raison des coûts de transport.

En raison de la diminution des prix mondiaux de l'orge et du blé fourrager en 1997-1998, les coûts reliés à la moulée devraient diminuer en conséquence (Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998b). Cependant, le retrait des subventions au transport des céréales fourragères au niveau canadien contribue à l'augmentation du coût des céréales et, par conséquent, de la moulée au Québec. Cette situation encourage la production locale d'orge et de blé ainsi que leur utilisation dans les fermes d'élevage au Québec. Ces deux cultures pourraient permettre aux producteurs de volailles de réduire leur dépendance envers les grains importés de l'Ouest et de diminuer le coût lié à l'alimentation des volailles. L'incorporation à la ferme de ces céréales entières dans la ration alimentaire des poulets de

chair permettrait aux producteurs de volailles de diminuer la manutention reliée à leur transformation. Cependant, plusieurs facteurs peuvent influencer la valeur nutritive de ces grains entiers dont la présence de certains facteurs anti-nutritifs. L'addition d'enzymes digestives à l'aliment des poulets devrait permettre de contrer cet inconvénient.

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé quelques expériences qui nous permettront de déterminer si l'incorporation d'orge et de blé entiers locaux dans les aliments pour poulets de chair représente un avantage zootechnique pour le Québec.

CHAPITRE 1

REVUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS

Les producteurs Québécois ont vu le prix de la moulée destinée à l'alimentation avicole augmenter depuis 1996 à cause de l'augmentation du prix du maïs sur le marché international. D'un autre côté, la levée des subventions destinées au transport des grains entiers de l'ouest à l'est du Canada a contribué à l'augmentation du prix de la moulée. Ainsi, les producteurs cherchent à valoriser les céréales entières locales en les incorporant dans la ration alimentaire des poulets de chair. Cette revue de la littérature permettra de tracer un portrait des effets de l'incorporation de l'orge et du blé entiers dans les rations alimentaires sur les performances des poulets de chair. De plus, l'utilisation des enzymes exogènes en nutrition animale ainsi que les effets de la texture des grains seront aussi examinés. Notons que les travaux de recherches utilisant l'orge et le blé québécois dans l'alimentation des poulets de chair se font rares et nos informations proviennent d'expériences effectuées avec les grains de l'Ouest Canadien et des États-Unis.

1.1. Les céréales au Canada et au Québec

La production mondiale en 1997-1998 s'élève à près de 611 millions de tonnes de blé, et 154 millions de tonnes d'orge. Beaucoup de commerce international s'effectue entre les pays mais seulement 18,5% du total de la production mondiale de 1976 à 1986 soit 81,5 millions de tonnes ont été exportés. Les États-Unis se sont classés au premier rang du commerce international des grains. Au deuxième rang vient le Canada, suivi par l'Union Européenne, l'Australie et l'Argentine. Dans le monde, environ 70% des surfaces

ensemencées sont consacrées à la culture des céréales (Boudreau et Ménard, 1992). Au Canada, les céréales sont cultivées sur 70% des sols arables avec 80% de la superficie de la province de la Saskatchewan ensemencés en céréales (St-Pierre et Gendron, 1982). Cependant, cette province, ainsi que le Manitoba, ont un rendement unitaire très bas. L'Ontario ensemence la moitié de ses terres arables en céréales, le Québec moins du quart (St-Pierre et Gendron, 1982).

Au Canada, le blé est surtout cultivé dans les Prairies lesquelles comprennent les provinces du Manitoba, de la Saskatchewan et de l'Alberta. C'est la plus importante région productrice de blé au Canada, cependant le rendement y a toujours été faible (< 2,5 t/ha). Ceci est dû aux facteurs climatiques, des hivers assez froids empêchant la croissance des variétés de blé d'hiver à leur plus haut taux de rendement. Le rendement est également limité par la faible quantité de pluie tombant au cours de la saison de végétation. Par contre, ceci contribue à augmenter la teneur en protéines de la récolte annuelle du blé canadien. En 1997-1998, la production canadienne de blé autre que le blé dur était de 20 millions de tonnes, soit 21% de moins que l'année précédente, sur une superficie de culture de 7,7 millions d'hectares constituant la plus petite superficie consacrée au blé depuis 1972 (Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998c). De plus, la production canadienne de blé dur en 1997-1998, était de 4,4 millions de tonnes, une baisse de 6% par rapport à l'année précédente (Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998c). D'autre part, la production d'orge au Canada a diminué en 1997-1998. Elle est passée de 15,6 millions de tonnes en 1996-1997 à 13,7 millions de tonnes en 1997-1998 occupant une superficie de 4 720 000 ha (Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998c). Dans l'est canadien, l'Ontario est la première province productrice de blé alimentaire. Le Québec et les provinces Maritimes arrivent au second rang.

La production de blé au Québec fut, en 1986, de 15 000 tonnes métriques. Cette production est équivalente à celle des provinces Maritimes mais inférieure à celle de l'Ontario (Boudreau et Ménard, 1992). D'après le Conseil des Productions Végétales du Québec (1996), les superficies consacrées à la culture de blé en 1993 étaient de 37 752

hectares répartis sur 1 782 exploitations tandis que celles de l'orge étaient de 163 815 hectares réparties sur 9 262 exploitations agricoles. La superficie réservée à la culture des céréales au Québec en 1993 était de 344 142 ha réparties sur 21 837 exploitations. Pour 1997-98, le Bureau de la Statistique du Québec a noté une superficie totale de blé de 23 800 ha au Québec comparativement à 11 491 400 ha au Canada. Cette diminution de la superficie de culture par rapport à celle des années 94-95 (41 800 ha) a entraîné la diminution de la production au Québec qui est passée de 1 051 000 tonnes en 1994-95 à seulement 716 000 tonnes en 1997 (Bureau de la Statistique du Québec, 1998). Le rendement en blé en 1997 était de 3,10 t/ha contre 2,54 t/ha en 1994-95.

En ce qui concerne l'orge, les superficies cultivées au Québec, toujours d'après le Bureau de la Statistique du Québec (1998), étaient de 126 000 ha comparativement à 5 019 500 ha au Canada. Elles furent de 147 000 ha au Québec en 1994-95 avec une production de 3 400 000 tonnes pour augmenter jusqu'à 4 150 000 tonnes en 1997-98. Ceci est dû à l'augmentation du rendement de l'orge qui a atteint 3,32 tonnes/ha en 1997.

On considère que le Québec pourrait ensemercer pas moins de 4,4 millions d'hectares, mais, moins de 1,8 millions d'hectares étaient en culture dans les années 80 (St-Pierre et Gendron, 1982). La production locale de grain ne comble donc pas la demande du Québec. En 1996, l'industrie meunière du Québec utilisait 227 010 tonnes métriques d'orge pour l'alimentation animale dont 113 799 tonnes achetées au Québec, 2600 tonnes de l'Ontario, 109 161 des Prairies et 1450 des États-Unis (Office des provendes, 1996). D'autre part, les meuneries se sont approvisionnées de 30 182 tonnes de blé du Québec, 871 tonnes de l'Ontario, 161 831 tonnes des Prairies et 16 tonnes des États-Unis pour un total d'utilisation de 192 900 tonnes en 1996. Au total, les approvisionnement des meuneries du Québec en 1996 provenant à 63.31% du Québec, à 5.39% de l'Ontario, à 15.82% des Prairies et à 15.47% des États-Unis (Office des provendes, 1996). En fait, la production locale devrait augmenter afin de satisfaire les exigences du marché et des industries intérieures en expansion (Conseil des Productions Végétales du Québec, 1996).

1.2. L'orge entière

1.2.1. Composition chimique

Les glucides constituent environ 80% du poids du grain d'orge, sur une base de matière sèche. D'après Harris (1962), cité par MacGregor et Fincher (1993), les glucides sont formés, toujours sur une base sèche, d'amidon (63-65%), de sucrose (1-2%), de polysaccharides solubles dans l'eau (1-1,5%), de polysaccharides solubles en solution alcaline (8-10%), de cellulose (4-5%) et d'autres sucres (1%). Le grain d'orge contient aussi 2 à 3% de lipides, 10 à 12% de protéines dont les albumines et les globulines (3,5%), les hordéïnes (3-4%) et les glutémines (3-4%). Des traces d'acides nucléiques (0,2-0,3%) et de minéraux (2%) existent aussi. D'autres composantes forment 5 à 6% du poids total du grain. Les glucides sont une source majeure d'énergie disponible immédiatement via les voies oxydatives ou sous la forme de molécules complexes stockées pour une utilisation future. Un autre rôle majeur des glucides est le maintien de la structure des tissus. Ainsi, les polysaccharides sont des constituants majeurs des membranes qui entourent le protoplaste. Ils donnent la forme et la cohésion intercellulaires nécessaire à la croissance et au développement des cellules (MacGregor et Fincher, 1993). Les membranes cellulaires de l'orge sont généralement constituées de microfibrilles cellulosiques qui renforcent la matrice constituée principalement d'arabinoxylanes et de (1-3), (1-4)- β -glucanes (Bedford, 1995).

En raison de l'importance de l'amidon et des fractions (1-3), (1-4)- β -glucanes dans le grain d'orge, nous allons nous attarder davantage sur leur structure et leurs composantes. En nutrition animale, l'amidon constitue une source d'énergie très importante pour les monogastriques comme les porcs et les poulets (MacGregor et Fincher, 1993). D'après ces chercheurs, les polysaccharides des membranes cellulaires peuvent aussi être dégradés dans la partie inférieure du tube digestif des monogastriques. L'amidon est le constituant le plus important dans l'orge. Comparé au blé, l'orge entière contient considérablement plus de fibres et moins d'amidon, tandis que l'orge nu et le blé contiennent les mêmes proportions

de ces composés (Jeroch et Dänicke, 1995). Ces chercheurs ont trouvé que l'amidon normal est composé de 23-27% d'amylose et de 73-77% d'amylopectine. MacGregor et Fincher (1993) ont trouvé de leur côté que l'amylose est le composé mineur de la plupart des amidons des céréales et est constitué de longues chaînes de résidus de D-glucose lié par des liaisons α -(1-4). L'amylose a un faible niveau de ramification comparativement à l'amylopectine. En effet, les chercheurs ont remarqué que la taille moléculaire ainsi que le degré de ramification de l'amidon augmentent avec l'avancement de la maturité du grain (Banks *et al.*, 1969 cité par MacGregor et Fincher, 1993). Takeda *et al.* (1987) ont trouvé que l'amylose de l'orge est à peu près similaire à celui du blé.

D'autre part, l'amylopectine, considérée comme la fraction majeure de l'amidon, est aussi composée de chaînes de résidus de D-glucose liées par les liaisons α -(1-4) portant les ramifications liées avec des liens α -(1-6) (MacGregor et Fincher, 1993). L'amylopectine possède un poids moléculaire de 10^6 - 10^8 , l'un des plus élevés parmi les polymères naturels. La chaîne principale de la molécule d'amylopectine contient une plus grande quantité de résidus de glucose comparativement aux autres composés qui en comptent en moyenne 20 à 25. Cependant, des chercheurs ont trouvé que l'amylopectine des céréales incluant l'orge possède une longueur moyenne inférieure à celle des amidons d'autres sources (Hizukuri 1985, cité par MacGregor et Fincher, 1993). Celui de l'orge a une longueur de 22-25 résidus de glucose (MacGregor et Fincher, 1993).

1.2.2 Les polysaccharides des cellules membranaires

Les (1-3), (1-4)- β -glucanes et l'arabinoxylane sont les constituants majeurs de la membrane cellulaire du grain d'orge, le premier étant considéré comme la substance anti-nutritive la plus importante d'une céréale (Hesselman et Åman, 1985; Jeroch et Dänicke, 1995; MacGregor et Fincher, 1993). Les (1-3), (1-4)- β -glucanes de l'orge sont formés de chaînes linéaires de résidus de β -glucosyl polymérisés par des liaisons (1-3) et (1-4). L'organisation moléculaire des (1-3), (1-4)- β -glucanes dans les membranes cellulaires reste

indéfinie mais plusieurs chercheurs suggèrent que la distribution du polysaccharide dans la membrane cellulaire n'est pas toujours uniforme avec une plus forte concentration de β -D-glucanes à la face interne de la membrane (Stone, 1985). Le contenu en β -D-glucane dans le grain d'orge représente entre 4 et 7% du poids du grain avec une plus grande proportion dans l'endosperme (MacGregor et Fincher, 1993).

L'arabinoxylane est le deuxième plus important polysaccharide non-cellulolytique des membranes cellulaires de l'orge. Il est concentré dans les membranes cellulaires de l'aleurone, dans l'endosperme amylicé et dans l'enveloppe du grain (MacGregor et Fincher, 1993). L'arabinoxylane des membranes de l'orge, comme les β -D-glucanes, est constitué de familles de polysaccharides dont les membres diffèrent quant à leur taille moléculaire, à la composition des monosaccharides, à leur structure et à leur solubilité (Viëtor *et al.* 1992, cité par MacGregor et Fincher, 1993). En général, le poids moléculaire des arabinoxylanes est inférieur à celui des β -D-glucanes (Ballance *et al.*, 1986). Ces chercheurs ont trouvé que le contenu en arabinoxylanes varie entre 4 et 7% du poids du grain. Il serait concentré dans la partie externe de la couche protectrice du grain. D'autres chercheurs ont remarqué que 22% des arabinoxylanes totaux se trouvent dans l'endosperme du grain (Henry 1987a cité par MacGregor et Fincher, 1993).

La cellulose, par ailleurs, est un (1-4)- β -glucane contenant plusieurs milliers de résidus de β -pyranosyl liés par des liens β -(1-4) pour former de très longues chaînes linéaires. Ainsi, la cellulose se trouve dans le grain sous plusieurs formes dont les glucomannanes et les (1-3)- β -glucanes (MacGregor et Fincher, 1993). Ces chercheurs ont noté aussi que d'autres glucides comme le glucose, le fructose, le galactose, le mannose et le raffinose représentent d'autres composantes de la graine d'orge et s'y trouvent en concentrations diverses.

1.2.3. Les facteurs influençant le contenu en β -glucanes de l'orge

Jeroch et Dänicke (1995) ont noté la présence de beaucoup de variation dans le contenu en β -glucanes de l'orge. Ils ont attribué ceci à plusieurs facteurs dont la génétique, le climat, le stade de maturité, l'utilisation de fertilisant azoté et la durée d'entreposage. MacLean *et al.* (1994) avaient remarqué que l'orge à deux rangs avait un contenu en β -glucanes supérieur à l'orge à six rangs et ceci fut expliqué par les facteurs génétiques. D'autre part, le principal facteur environnemental influençant les niveaux de (1-3), (1-4) β -glucanes est la disponibilité de l'eau durant la maturation du grain (MacGregor et Fincher, 1993). Jeroch et Dänicke (1995) et Newman et Newman (1988) avaient remarqué qu'un climat chaud et sec survenant durant la phase de formation des grains favorise la formation de β -glucanes. Aastrup (1979) a trouvé que la pluie a un effet positif sur la qualité de l'orge. Ce dernier possède une viscosité extraite ainsi qu'un contenu en β -glucanes plus faible que celui cultivé dans les climats secs, ce qui pourrait représenter un avantage pour l'orge québécois. Aastrup (1979) a ainsi attribué plusieurs raisons à cette diminution. Il avait conclu que la pluie pourrait avoir pour effet de dégrader les β -glucanes, sauf qu'aucune différence structurale ne fut observée entre le témoin et l'échantillon qui a reçu de la pluie. La pluie aurait pu diminuer la synthèse des β -glucanes ou contribuer à modifier sa structure afin qu'il devienne plus accessible aux enzymes endogènes. En effet, la diminution de la viscosité est due au faible pourcentage des β -glucanes solubles et non à la dégradation de ceux-ci. Hesselman et Thomke (1982) avaient trouvé que la pluie diminue la viscosité du grain et augmente sa valeur alimentaire. Ces chercheurs avaient remarqué qu'un climat chaud et sec entraîne un développement rapide des grains et une récolte précoce et, par conséquent, une augmentation significative de la viscosité du grain.

De plus, Aastrup (1979) a trouvé que la viscosité extraite de l'orge est plus élevée lorsque celui-ci est récolté au stade de maturité jaune. Aastrup (1979) et, Hesselman et Åman (1985) avaient aussi remarqué que la viscosité est proportionnelle à la quantité de β -glucanes solubles du grain. Au stade vert, une grande proportion de β -glucanes est en état

de synthèse tandis que du stade jaune au stade mature, la viscosité diminue significativement avec la diminution de la quantité de β -glucanes solubles (Aastrup, 1979; Hesselman *et al.* 1981; Thomke, 1972). Hesselman et Thomke (1982) ont trouvé que le niveau de β -glucanes dans le grain augmente avec une fertilisation en azote supérieure à 80 kg/ha. Par ailleurs, l'entreposage des grains a un effet sur le contenu en β -glucanes du grain. Hesselman *et al.* (1981) ont trouvé que la viscosité extraite de l'orge, induite par les β -glucanes solubles, a diminué avec l'entreposage anaérobique des grains. L'analyse des glucides contenus dans les extraits d'éthanol des échantillons de cette expérience ont révélé la présence d'une grande quantité de sucre réduit dans l'orge récolté au stade jaune tandis que le sucrose et le raffinose existaient en plus fortes concentrations dans l'orge au stade combiné (Hesselman *et al.*, 1981). Ces chercheurs avaient remarqué que, durant l'entreposage, le sucrose et le raffinose ont disparu tandis que le fructose, le galactose et le glucose ont augmenté.

De plus, l'entreposage anaérobique de l'orge pendant trois mois avec un contenu en eau assez élevé (40%) a diminué la solubilité de la fibre et celle du β -glucanes contenu dans le grain (Svihus *et al.*, 1997a). La viscosité extraite fut ainsi réduite au même niveau que celui du blé. La diminution de la quantité totale de β -glucanes du grain est en fait due à la réduction de la quantité de β -glucanes solubles. En effet, ces chercheurs avaient remarqué que l'entreposage à un taux élevé d'humidité a affecté la relation entre le β -glucanes solubles et insolubles. Ce dernier tend à augmenter lors d'un entreposage sous forte humidité (Svihus *et al.*, 1997a). En effet, le mode d'entreposage ne permet pas un entreposage à long terme des grains sans ajout d'agents de conservation.

1.2.4. Valeur nutritive de l'orge

L'orge possède une valeur nutritive pour les poulets différente de celles du maïs et du blé. Dagher (1995) rapporte que l'orge est considérée comme un grain à faible teneur en énergie (12,5 MJ EM/kg de matière sèche) avec un taux de protéines brutes variant entre 6

et 16% de la matière sèche, un taux de lipides inférieur à 2.5% et une concentration de fibres brutes de 5 à 6%, avec un niveau plus élevé si l'orge est cultivée dans une zone aride. Jeroch et Dänicke (1995) ont noté de leur côté que l'orge à six rangs et à deux rangs contenaient de 13,00 et 13,55 MJ EM/kg de matière sèche respectivement. Ils ont remarqué aussi que le contenu énergétique de l'orge est inférieur de 12,9% à celui du blé (14,75 MJ EM/kg de matière sèche). En comparant l'orge à six rangs avec l'orge à deux rangs, les chercheurs ont trouvé que ce dernier avait toujours un contenu en énergie supérieur de 1 à 5% à celui de l'orge à six rangs (Jeroch et Dänicke, 1995). Ceci est probablement dû, d'après ces chercheurs, au contenu en fibres plus élevé dans le premier type d'orge.

Hesselman et Åman (1985) ont noté que la faible valeur nutritive de l'orge est due à son contenu assez élevé en β -glucanes solubles, tandis qu'Anderson *et al.* (1961) avaient relié ceci à la forte concentration de fibres indigestibles présentes dans l'enveloppe du grain d'orge. Ces chercheurs avaient aussi noté que l'orge nu possède une valeur nutritive inférieure à celle du maïs et du blé mais légèrement supérieure à celle de l'orge entière. D'autre part, la qualité de la protéine de l'orge est caractérisée par un déséquilibre des acides aminés essentiels (Jeroch et Dänicke, 1995). Ces chercheurs mentionnent que le contenu en lysine est particulièrement bas. Les acides aminés essentiels sont présents en concentration relativement faible dans les protéines du grain. En comparant avec le blé et le maïs, ces chercheurs ont trouvé que l'orge malgré tout présente un profil en acides aminés plus favorable que celui des deux autres types de grain. Fuller *et al.* (1979), cité par Jeroch et Dänicke (1995) ont trouvé que les acides aminés de l'orge les plus limitants pour la croissance des poulets sont la thréonine, la méthionine et l'histidine. Ils ont aussi remarqué que, jusqu'à ce jour, aucune amélioration génétique ne fut accomplie pour corriger ces carences en acides aminés limitants.

1.2.5. Effets de l'orge sur les performances des poulets de chair

L'incorporation d'orge dans la ration alimentaire des poulets produit plusieurs effets. Classen *et al.* (1985) ont montré que l'augmentation des niveaux d'incorporation d'orge

nue dans la ration (0, 10, 20, 40 et 60%) entraînait une diminution linéaire significative du poids corporel sans aucun changement dans la conversion alimentaire. Ces chercheurs ont aussi trouvé que l'absorption du gras et de l'amidon diminue quand l'orge nue est ajouté à l'aliment (Classen *et al.*, 1985). En effet, une utilisation incomplète de l'amidon a des effets négatifs sur la croissance et la conversion alimentaire à cause de la présence de β -glucanes solubles dans les grains d'orge (Hesselman et Åman, 1985). Par contre, Anderson *et al.* (1961) ont remarqué que le remplacement de l'orge nue par de l'orge entière régulière produisait peu de différence dans les performances des poulets de chair. Fry *et al.* (1958a), cité par Anderson *et al.* (1961) ont noté que la présence de fibre dans l'enveloppe de l'orge a un effet mineur sur la diminution de la valeur alimentaire du grain, et, par conséquent, que les rations contenant de l'orge nue n'entraînent pas des performances supérieures à ceux de l'orge régulière. La croissance des poulets alimentés de rations de maïs fut supérieure de 17% à celle obtenue avec l'orge nue, alors que l'efficacité alimentaire était de 12% supérieure avec la ration de maïs (Anderson *et al.*, 1961).

Peterson (1969) avait trouvé que la valeur alimentaire du grain ne dépendait pas seulement de son contenu en énergie et en acides aminés mais aussi de sa palatabilité. Il avait remarqué qu'avec une ration contenant 50% d'orge entière, le gain des oiseaux était inférieur de 6%, tout comme la consommation alimentaire, comparativement aux rations à base de blé et de maïs. La consommation alimentaire était aussi inversement proportionnelle à la concentration énergétique de la diète. Plus l'énergie disponible est élevée, plus la consommation alimentaire est basse. En fait, les oiseaux préféraient certains types de grains à cause de leur composition chimique, ce qui influence l'ingestion d'énergie (Peterson, 1969). Donc, l'ajout de 25% et 50% d'orge dans la ration alimentaire des poulets augmente la proportion de β -glucanes dans la ration et diminue ainsi l'énergie métabolisable disponible à l'animal (Goodman *et al.*, 1987).

L'incorporation jusqu'à 70% d'orge entière dans la ration alimentaire des poulets de chair diminuait leurs performances et influençait négativement l'énergie métabolisable apparente, la digestibilité apparente de la protéine et celle des lipides en augmentant la

viscosité du digesta (Annison, 1993; Friesen *et al.*, 1992). Mais, une incorporation de 45% d'orge dans la ration comparé à 45% de blé a augmenté l'ingestion alimentaire et a donné une efficacité alimentaire plus faible dans le premier cas (Francesch *et al.*, 1994). Par contre, Fuente *et al.* (1995) ont noté que l'incorporation d'orge jusqu'à 60% de la ration entraîne une diminution de l'ingestion alimentaire et des performances zootechniques des poulets. Ceci est dû à la présence de β -glucanes dans l'orge. De plus, Brake *et al.* (1997) ont trouvé que l'augmentation de l'incorporation d'orge moulue de 0 à 30% sans addition d'enzymes au cours des périodes de croissance et de finition n'avait aucun effet significatif sur la conversion alimentaire et sur le gain de poids, comparativement à une ration de type maïs-soya. Aucune influence significative des niveaux d'orge incluse sur le rendement des mâles abattus à 42 jours d'âge ne fut constatée, tandis que les femelles alimentées à 20% d'orge avaient un rendement de la carcasse inférieur à celui des autres traitements. Ceci s'expliquerait par le faible poids des femelles de ce groupe (Brake *et al.*, 1997).

En comparant une ration constituée à 70% d'orge entière avec une ration contenant 70% d'orge roulée, Svihus *et al.* (1997b) n'ont trouvé aucune différence significative entre les traitements pour le gain de poids et la consommation alimentaire. Par ailleurs, la conversion alimentaire fut réduite quand l'orge fut roulé (Svihus *et al.*, 1997b). L'ajout de gravier n'a pas affecté les performances dans ces traitements. Dans une autre expérience, Svihus *et al.* (1997b) avaient remarqué qu'avec une ration constituée à 55% d'orge entière le gain de poids fut significativement supérieur par rapport à celui obtenu avec une diète à 55% d'orge moulu. Les chercheurs avaient attribué cette différence à l'augmentation significative de la consommation alimentaire avec l'orge entière. De plus, le poids du gésier rapporté en pourcentage du poids vif a significativement augmenté avec l'incorporation d'orge entière, une sorte d'adaptation afin de mieux broyer le grain (Svihus *et al.*, 1997c). Ces chercheurs avaient noté aussi que la conversion alimentaire ne fut pas significativement affectée par la forme de l'orge. Ils avaient conclu que l'orge entière de variété Tyra et Sissy pourrait remplacer respectivement l'orge roulée ou moulue sans causer des effets négatifs sur les performances des poulets de chair.

L'alimentation à base de grains entiers comporte beaucoup d'avantages (Bennett et Scott, 1996). Ces chercheurs ont noté une diminution des coûts liés au transport des grains, une augmentation de l'utilisation du moulin à la ferme entraînant une diminution des coûts d'équipements et un meilleur ajustement aux besoins quotidiens en nutriments en modifiant la quantité de grain à ajouter quotidiennement. D'autres avantages des grains entiers, selon Bennett et Scott (1996), lesquelles restent à prouver, sont entre autres l'amélioration de la santé des animaux suite à la stimulation du gésier, une litière plus sèche et la diminution des coûts des ingrédients de la moulée.

1.2.6. Effets anatomiques et physiologiques de l'orge entière

Il est connu que l'orge entraîne une dépression de la digestibilité iléale de l'amidon et de la protéine à cause de la présence d'une concentration élevée de β -glucanes (Choct et Annison, 1990). Les β -glucanes solubles augmentent la viscosité du digesta chez les oiseaux (Almirall *et al.*, 1995; Choct et Annison, 1990; Hesselman et Åman, 1985; Sundberg *et al.*, 1996). Selon Bengtsson *et al.* (1990) cité par Sundberg *et al.* (1996), l'augmentation de la viscosité intestinale dépend de la solubilité, de la taille moléculaire et de la conformation des β -glucanes ainsi que de leur vitesse de dégradation dans l'estomac et le petit intestin. L'augmentation de la viscosité consécutive à l'augmentation du contenu en fibres de la ration entraîne une diminution du poids corporel, une diminution de l'ingestion cumulative d'aliment et une détérioration de la conversion alimentaire chez les poulets alimentés avec l'orge traité à la chaleur comparativement à celui non traité ou à l'orge additionné d'enzymes. Ce traitement à la chaleur diminue l'activité enzymatique endogène qui a, à son tour, réduit la dégradation des fibres, augmente la viscosité intestinale et diminue par conséquent la productivité (Sundberg *et al.*, 1996). Le mécanisme par lequel la viscosité affectent la digestion des nutriments et leur absorption n'est pas complètement élucidé (Choct et Annison, 1992a). Plusieurs hypothèses indiquent que l'augmentation de la viscosité entraîne la diminution de la vitesse de diffusion des substrats et des enzymes digestives en empêchant leur interaction avec la surface de la muqueuse

intestinale. Ainsi, les β -glucanes peuvent former directement des complexes avec les enzymes digestives diminuant ainsi leur efficacité (Choct et Annison, 1992b).

La solubilisation de polysaccharides non amylacés de l'orge dans le jabot augmente la viscosité du digesta (Annison, 1993). Ce digestat visqueux atteignant le petit intestin inhibe la digestion de l'amidon, des lipides et des protéines par le petit intestin, et augmente ainsi la sécrétion endogène dans l'intestin. Ceci augmente l'ingestion alimentaire, diminue l'efficacité alimentaire et réduit l'assimilation des nutriments (Annison, 1993). En effet, l'augmentation de la présence de matière organique dans le système digestif inférieur entraîne l'accroissement de l'activité microbienne et le développement d'organismes toxiques. De plus, les excréments des oiseaux contiennent une énergie élevée et par conséquent, l'énergie métabolisable apparente des aliments est réduite d'autant (Annison, 1993). Ceci a des effets négatifs sur la croissance des poulets de chair. En effet, les β -glucanes contenus dans l'orge augmentent la viscosité du contenu intestinal, et, par conséquent, causent l'apparition des fientes collantes (Burnett, 1966 cité par Sundberg *et al.*, 1996; Nwokolo et Sim, 1989). Elles peuvent aussi ralentir le taux de passage au niveau de l'intestin augmentant ainsi la population microbienne intestinale (Wyatt et Queenborough, 1996).

Par ailleurs, Bennett et Scott (1996) ont noté que le rendement de la carcasse fut identique chez les oiseaux alimentés avec ou sans un niveau élevé de grain entier. Ces chercheurs avaient remarqué que ce rendement varie normalement de $\pm 0,3\%$ selon le cas. Le rendement en viande de la poitrine, le pourcentage de gras abdominal, le poids du jabot, du proventricule et du petit intestin ne sont pas affectés par l'orge entière tandis que le poids du gésier augmente de 30 à 50% avec le digestat et de 20 à 35% sans son digestat (Bennett et Scott, 1996). Almirall *et al.* (1995) avaient remarqué que l'ajout d'orge a entraîné une augmentation du poids du pancréas par rapport au poids corporel. Par contre, aucune différence significative ne fut observée chez les oiseaux adultes. De plus, les chercheurs ont trouvé que la teneur en matière sèche du contenu du petit intestin fut inférieure pour les oiseaux alimentés avec l'orge entière à forte viscosité (Almirall *et al.*,

1995; Annison, 1993; Svihus *et al.*, 1997b; 1997c). Ceci entraîne une activité de l'amylase dans l'intestin significativement inférieure à celle des oiseaux alimentés avec du maïs (Almirall *et al.*, 1995). De plus, Svihus *et al.* (1997b) avaient remarqué une tendance non significative à l'augmentation du poids relatif du jabot avec l'inclusion d'orge entière dans l'aliment. Cependant, le poids relatif du proventricule fut significativement inférieur avec l'orge entière comparativement à l'orge moulu.

Par ailleurs, l'orge moulu incorporé à 60% dans la ration des poulets entraîne des changements morphologiques dans l'épithélium du jéjunum en comparaison avec celui du groupe témoin alimenté avec une ration à base de maïs-soya (Viveros *et al.*, 1994). Ces chercheurs avaient noté un raccourcissement, un épaississement et une atrophie des villosités normales chez les oiseaux alimentés avec de l'orge moulue. L'addition d'enzyme a donné des villosités normales chez les oiseaux alimentés avec un aliment à base d'orge (Viveros *et al.*, 1994). En effet, le système gastro-intestinal subit beaucoup de changements avant d'être capable de digérer plusieurs des ingrédients de la ration du poulet (Dibner *et al.*, 1996). La fonction du système gastro-intestinal est strictement reliée à sa structure microscopique. Ce système s'adapte à chaque type d'alimentation fournie à l'oiseau. Le retard dans le développement de ce système pourrait limiter la croissance de l'oiseau durant la première semaine de vie (Dibner *et al.*, 1996).

1.3. Effets de l'incorporation d'enzymes digestives exogènes

1.3.1. Définition et mode d'action

Les enzymes sont des substances organiques solubles qui catalysent une réaction biochimique (Le Petit Larousse, 1996). Ils accélèrent les réactions chimiques d'un facteur de l'ordre du million et sont très spécifiques à un substrat donné (Bedford et Morgan, 1996). Les enzymes ajoutées ont la capacité d'hydrolyser les pentosanes et les β -glucanes en de petits polymères altérant ainsi la capacité de ces polysaccharides de former une solution très visqueuse qui inhibe la diffusion et le transport des nutriments (Annison et

Choct, 1991; Bedford et Morgan, 1996; Cheeson, 1993; Wyatt et Queenborough, 1996). L'action synergique de l'endo-1,4-xylanase, du 1,4-xylosidase et de plusieurs autres enzymes hydrolysent les arabinoxylanes trouvées dans les membranes cellulaires de l'endosperme des grains (Wyatt et Queenborough, 1996). Entre autres qualités, les xylanases, les glucanases et les protéases doivent être très stables et actives au pH et à la température du tractus gastro-intestinal. Elles doivent aussi agir assez rapidement dans la zone gastrique et efficacement dans le duodénum et dans le jéjunum où 85% de l'absorption des nutriments a lieu dans sa partie terminale (Wyatt et Queenborough, 1996).

D'après Ferket (1997), les enzymes exogènes ont quatre fonctions possibles dans l'alimentation des animaux de la ferme. Ils peuvent améliorer la disponibilité des polysaccharides et des protéines de réserves inaccessibles aux enzymes endogènes, ce qui rend l'amidon, les protéines ou les graisses plus disponibles. Ils peuvent aussi rompre certains ponts spécifiques présents dans les aliments et non dégradés par les enzymes endogènes comme les β -glucanes qui peuvent devenir disponibles sous forme de glucose. De plus, les enzymes peuvent permettre aux jeunes animaux de surmonter certains problèmes de digestion dus à une insuffisance de la production enzymatique lors des périodes de stress. Les enzymes peuvent aussi détruire différents facteurs anti-nutritifs présents dans de nombreux aliments et qui limitent la digestion et l'absorption des nutriments, altèrent le taux de passage, et augmentent l'activité microbienne et la viscosité dans l'intestin grêle.

D'autre part, la nécessité d'une préparation d'un mélange d'enzymes se révèle importante et plus efficace que les enzymes simples (Cheeson, 1993). En effet, chaque mélange d'enzymes a une activité unique liée aux effets synergiques des constituants du mélange, comme les protéases, les cellulases, les pectinases et les β -glucanases. Ainsi, un mélange d'enzymes adaptées doit permettre de transformer des substrats polysaccharidiques en des composantes utilisables par l'organisme animal (Cheeson, 1993; Ferket, 1997). Les hydrolases des glycanes vont transformer les polysaccharides en

oligosaccharides. Ces derniers seront à leur tour hydrolysés par les glycosidases en monosaccharides facilement utilisables par les animaux (Cheeson, 1993).

1.3.2. Effets des enzymes exogènes sur les performances des poulets

Les effets prouvés de l'addition d'enzymes digestives capables d'hydrolyser les liens β -glucanes de l'orge furent étudiés par plusieurs chercheurs (Bedford et Morgan, 1996; Cheeson, 1993). Étant donnée la présence de polysaccharides non amylacés dans les grains d'orge, la préparation d'enzymes utilisée devrait contenir des β -glucanases (Wyatt et Queenborough, 1996). En effet, l'addition de ses enzymes a amélioré de 20 à 50% le taux de croissance des poulets de chair (Elwinger et Säterby, 1987; 1988). Cette amélioration est due à l'augmentation de l'ingestion alimentaire chez les poulets de chair (Fuente *et al.*, 1995; Hesselman *et al.*, 1981; Hesselman *et al.*, 1982; MacLean *et al.*, 1994; Pettersson *et al.*, 1990a; Rose et Njeru, 1989). De plus, le gain de poids et le poids final sont supérieurs pour les poulets de chair alimentés avec de l'orge entière additionné d'un supplément enzymatique que pour ceux recevant de l'orge entière sans supplément enzymatique (Brufau *et al.*, 1991; Cantor *et al.*, 1989; Elwinger et Säterby, 1987; Friesen *et al.*, 1992; Newman et Newman, 1988; Svihus et Newman, 1996). Même après un stockage anaérobique de l'orge humide, l'ajout de β -glucanase dans la ration a augmenté significativement la consommation alimentaire, le gain de poids et a amélioré la conversion alimentaire (Hesselman *et al.*, 1981).

Pourtant, l'utilisation d'enzymes de source bactérienne ou fongique n'a pas modifié les performances (Willingham *et al.*, 1959). En effet, dans les deux cas, il y a eu augmentation significative de la croissance et une meilleure utilisation alimentaire en comparaison avec une ration d'orge non additionnée d'enzymes (Willingham *et al.*, 1959). L'addition d'enzymes à une ration contenant de l'orge entière joue un rôle important dans l'amélioration de la conversion alimentaire (Arscott *et al.*, 1960). En effet, l'ajout d'enzymes dans une ration contenant jusqu'à 60% d'orge entière a amélioré significativement la conversion alimentaire (Svihus et Newman, 1996). Cette recherche

avait indiqué que les enzymes sont aussi efficaces pour les aliments contenant de l'orge entière que pour ceux contenant de l'orge moulu. Plusieurs recherches avaient ainsi noté l'amélioration de la conversion alimentaire avec une ration contenant des niveaux élevés d'orge entière additionné d'enzymes (Esteve-Garcia *et al.*, 1997; Francesch *et al.*, 1994; MacLean *et al.*, 1994; Pettersson *et al.*, 1990b; Svihus *et al.*, 1997c).

De plus, le mélange d'un antibiotique et d'enzymes dans une ration contenant de l'orge avait un effet positif sur la conversion alimentaire, mais leurs effets n'étaient pas additifs (Esteve-Garcia *et al.*, 1997). L'addition d'une enzyme contenant du β -glucanase et de l'arabinoxylane améliore les performances et donne les mêmes résultats qu'un additif ne contenant que de la β -glucanase (Pettersson *et al.*, 1990b). L'utilisation de la première enzyme permet d'améliorer l'utilisation de céréales ayant des membranes cellulaires de l'endosperme riches en arabinoxylanes et en β -glucanes (Pettersson *et al.*, 1990b). Le niveau d'inclusion d'enzymes dans la ration a également un effet. Cependant, la réponse des oiseaux à différents niveaux d'inclusion (de 0,5 kg/t à 2 kg/t) dépend du cultivar d'orge utilisé, de sa qualité, de son niveau d'inclusion dans l'aliment, du moment de la récolte et du taux protéique de la ration (Brufau *et al.*, 1991; Cantor *et al.*, 1989; Hesselman *et al.*, 1982).

Fuente *et al.* (1995) avaient noté que la réponse à l'enzyme dépend du niveau d'inclusion d'orge dans la ration, ceci étant évident pour les niveaux d'inclusion de 40 à 50%, mis à part l'âge des oiseaux. La réponse à l'enzyme fut aussi significativement plus marquée avec le type d'orge à deux rangs qu'avec celui à six rangs (MacLean *et al.*, 1994). Ces chercheurs n'avaient trouvé aucune amélioration significative à six semaines d'âge du gain moyen quotidien, de la consommation alimentaire et de l'indice de conversion des poulets de chair alimentés avec de l'orge à six rangs additionné d'enzymes. D'autre part, nous remarquons que l'ajout d'enzymes à une ration d'orge ayant un faible contenu protéique a amélioré significativement la vitesse de croissance, l'ingestion alimentaire et la conversion alimentaire à un niveau équivalent ou supérieur à celui des rations d'orge ayant un contenu protéique élevé (Pettersson *et al.*, 1990a). Ces chercheurs avaient ainsi conclu

qu'un ajout de la préparation d'enzymes appropriées permettrait de diminuer le taux de protéines de la ration sans affecter négativement le taux de croissance.

La disponibilité de l'énergie de l'orge non additionné d'enzymes dépend du cultivar d'orge, de sa viscosité, et de son contenu en β -glucanes. (Rotter *et al.*, 1990). L'énergie métabolisable apparente de l'orge entière disponible pour les poulets de chair fut augmenté avec l'ajout d'enzymes et avec l'augmentation du niveau d'incorporation de l'orge entière dans la ration (Friesen *et al.*, 1992; Rotter *et al.*, 1990). Une augmentation de l'utilisation de l'énergie après l'ajout de l'enzyme a causé une augmentation significative de l'énergie métabolisable apparente chez les poulets de chair (Vukic Vranjes et Wenk, 1995). Cependant, certains chercheurs n'avaient noté aucune différence significative dans l'énergie métabolisable vraie pour les rations alimentaires additionnées et non additionnées d'enzymes chez les poulets adultes (Rotter *et al.*, 1990). Ces poulets auraient développé leur tube digestive suffisamment afin de contrer les effets négatifs des β -glucanes (Rotter *et al.*, 1990).

L'addition d'enzymes à une ration contenant de l'orge entière permettra de diminuer la viscosité intestinale causé par la solubilisation des β -glucanes, de mieux répartir la population microbienne au niveau de l'intestin et d'augmenter le taux de passage des aliments (Almirall *et al.*, 1995; Bedford et Morgan, 1996; Francesch *et al.*, 1994; Hesselman *et al.*, 1981; Hesselman *et al.*, 1982; Wyatt et Queenborough, 1996). Par conséquent, la diminution de la viscosité intestinale permet la diminution de la couche d'eau, augmente la vitesse de diffusion des nutriments au niveau des villosités, et par conséquent, augmente la digestibilité des nutriments (Wang *et al.*, 1992; White *et al.*, 1983). L'épaisseur de la couche est reliée à la viscosité du contenu intestinal. En effet, plus l'épaisseur de cette couche d'eau augmente, plus la vitesse de diffusion des nutriments diminue (White *et al.*, 1983).

L'enzyme, en réduisant la viscosité intestinale, augmente la digestibilité des matières organiques, des protéines et du gras dans tout le système digestif en général et au niveau de

l'iléon plus spécifiquement (Almirall *et al.*, 1995; Pettersson *et al.*, 1991; Svihus *et al.*, 1997a; Wyatt et Queenborough, 1996; Vukic Vranjes et Wenk, 1995). Il existe une corrélation négative entre la viscosité du petit intestin et la digestibilité des lipides et des protéines (Wang *et al.*, 1992). L'absorption apparente de l'amidon et la digestibilité de la valine, de l'acide aspartique, de la thréonine, de la sérine, de l'acide glutamique, de l'alanine, de l'isoleucine, de la phénylalanine, de la lysine, de l'histidine, de la méthionine, de la cystine et de l'arginine furent améliorés avec l'addition d'enzymes (Almirall *et al.*, 1995; Edney *et al.*, 1989).

De plus, l'ajout d'enzyme influence le développement des organes et du tractus digestif chez les poulets de chair alimentés avec de l'orge entière (Brenes *et al.*, 1993). Le poids du gésier ainsi que celui du petit intestin par rapport au poids vif ont diminué avec une ration d'orge additionnée d'enzymes comparativement à une ration d'orge non additionnée d'enzymes (Svihus *et al.*, 1997c). Les enzymes avaient aussi tendance à diminuer le poids relatif du caecum, du colon, et du pancréas par rapport au poids vivant. Cependant les effets furent seulement significatifs pour le poids du pancréas (Svihus *et al.*, 1997c). La longueur des portions de l'intestin (duodénum, jéjunum, iléon et ceaca) ainsi que celle du pancréas et du foie furent aussi diminuées significativement en présence d'enzymes dans la ration (Brenes *et al.*, 1993; Viveros *et al.*, 1994). Ceci est probablement dû à une adaptation causée par la grande disponibilité et la grande digestibilité des nutriments (Brenes *et al.*, 1993).

Après consultation auprès de quelques meuneries, nous constatons que les enzymes de marque Roxazyme et Avizyme sont les plus utilisés présentement au Québec. Par ailleurs, un nouvel enzyme, Poultrygrow, est en train de faire une percée minime sur le marché québécois.

1.4. Le blé entier

1.4.1. Composition chimique

Les glucides sont les constituants les plus importants du grain de blé, représentant environ 80% de la matière sèche totale. Ces glucides sont répartis en amidon (63-75%), en celluloses (1,7-3%), en hémicelluloses, en pentosanes (5,7-7,9%) et en glucides solubles constitués principalement d'oses, d'oligosides et de dioligoside. Le ratio de l'amylose sur l'amylopectine est de 0,25 :1 (Cerning-Beroard *et al.*, 1977).

De plus, les cellules membranaires de l'endosperme du blé contiennent 150 g/kg MS de protéines et plus de 750 g/kg MS de polysaccharides dont le principal composé est le pentosane (environ 850 g/kg MS) (Wiseman et Inborr, 1990). Les pentosanes solubles sont formés d'une chaîne linéaire de xylanes, constituant le squelette, à laquelle des chaînes latérales d'un résidu arabinose sont attachées, formant ainsi un arabinoxylane (Cerning-Beroard *et al.*, 1977). Ces chercheurs avaient noté que les pentosanes solubles contiennent en plus des unités pentoses, de petites quantités de protéines et quelquefois du galactose et du glucose. Notons que la composition chimique et les proportions des constituants mesurés dépendent en premier lieu des procédés d'extraction utilisés par les chercheurs.

La fraction d'hémicellulose du blé est essentiellement composée d'arabinose et de xylose (Cerning-Beroard *et al.*, 1977). La quantité de glucose, de galactose, d'acides polyuronique et de protéines constituant les hémicelluloses diffèrent suivant leur origine histologique. L'examen de la fraction d'hémicellulose de l'endosperme après hydrolyse acide et une chromatographie révèlent, selon Cerning-Beroard *et al.* (1977), que les hémicelluloses du blé contiendraient une proportion assez élevée de L-arabinose (39%) et du D-xylose (59%). Ce dernier présente une structure plus fortement ramifiée.

Par ailleurs, la cellulose a aussi un rôle important à jouer dans la composition chimique du blé. La cellulose est un β -D-glucane composé de résidus d'anhydroglucopyranose reliés en liaison β -1,4 (Cerning-Beroard *et al.*, 1977). La cellulose est le principal polyholoside de structure de toutes les plantes et sa constitution semble indépendante de l'origine de la plante. A part les différences de poids moléculaire, la cellulose est une substance chimique uniforme selon ces chercheurs.

En comparant les membranes cellulaires de l'endosperme, il est évident que le blé diffère de l'orge (Wiseman et Inbarr, 1990). Le blé est caractérisé par un contenu élevé en arabinoxylanes tandis que l'orge est dominé par la présence de β -glucanes (Cerning-Beroard *et al.*, 1977). De plus, Wiseman et Inbarr (1990) ont noté que le blé n'est pas une source complète de microéléments, à l'exception de quelques minéraux et vitamines. En effet, le déficit en phosphore et en potassium limite la capacité du blé à fournir une source complète de nutriments (Stewart et Karamanos, 1986).

1.4.2. Effets du génotype et de l'environnement

Des recherches effectuées par McNab (1992) ont montré que ni le niveau d'irrigation, ni le site de la culture n'ont d'effet significatif sur le contenu nutritif du blé ou sur sa valeur nutritive pour les oiseaux. Pourtant, l'application de fertilisants azotés augmente le contenu total d'azote, le contenu en protéines ainsi que le contenu total en acides aminés (McNab, 1992). Ainsi, les concentrations en acides aminés essentiels du blé tels la cystéine, la méthionine, la lysine et la thréonine furent significativement supérieures avec des niveaux de fertilisant atteignant 350 kg d'azote/ha (McNab, 1992). De plus, le contenu en protéines brutes augmente de 1,5% avec une fertilisation en azote (Jeroch, 1987). L'augmentation de la teneur en protéines brutes due à une fertilisation azotée en fin de saison est reliée à la diminution de la qualité de la protéine. Gruhn *et al.*, (1977), cité par Jeroch (1987), a relié ceci à l'augmentation de la proportion de protéines pauvres en lysine (prolamines, gluténines). Les recherches de Jeroch (1987) avaient aussi montré que la digestibilité apparente de la protéine brute du blé est de 81 à 85%. D'autre part, les chercheurs ont

remarqué que l'application de fongicide a diminué le contenu total en acides aminés, la thréonine étant l'acide aminé le plus affecté par ce traitement (McNab, 1992).

Par ailleurs, les différentes variétés de blé ont un effet sur sa valeur nutritive. Les variétés Alexandria, Apollo, Avalon, Galahad, Mandate, Mercia, Mission, Sperber et Tonic possèdent les profils d'acides aminés les plus désirables pour l'alimentation animale (McNab, 1992). La variété Sperber tend à avoir une énergie assez élevée et est très bien métabolisée par les oiseaux adultes, tandis que les variétés Brock, Hornet, Rendezvous et Riband ont un profil d'acides aminés assez pauvre. Cependant, le coefficient de digestibilité des acides aminés en général ne fut pas affecté par la variété de blé, ni le site de croissance tandis que ce coefficient fut assez faible pour les acides aminés essentiels, celui de la lysine étant le plus faible (McNab, 1992). Ceci est probablement lié à la fertilisation azotée et à l'application de fongicide.

D'autre part, Wiseman et Inbarr, (1990) ont noté un effet néfaste du climat sur la valeur nutritive du blé. Pour eux, le signe évident de cet effet est le développement de moisissures sur ces grains. Cependant, une étude effectuée par Sibbald et Price (1976) a conclu que la présence de ces moisissures n'avait aucun effet significatif en ce qui concerne la valeur de l'énergie métabolisable apparente du blé. D'autre part, les conditions de sécheresse et de chaleur excessives entraînent une augmentation des niveaux de l'amidon (540-647 g/kg) et de l'énergie apparente métabolisable (11-15,9 MJ/kg). Ces valeurs sont supérieures à 504-596 g/kg de matière sèche pour l'amidon et à 10,4-14,8 MJ/kg de matière sèche pour l'énergie métabolisable apparente (Wiseman et Inbarr, 1990).

1.4.3. Valeur nutritive du blé entier

Le blé est un ingrédient majeur de la moulée des poulets de chair depuis le commencement des élevages intensifs. Cependant sa faible valeur alimentaire pose toujours un problème (Annison, 1993). Des recherches ont étudié plusieurs variétés de blé et ont rapporté un contenu en énergie métabolisable apparente variant entre 12,3 et 16,6 MJ/kg.

(Sibbald et Slinger, 1962, cité par Annison, 1993). Le blé a une énergie métabolisable comparable au maïs, peut-être même inférieure de 5 à 7%, tandis que le contenu protéique du blé est supérieur à celui du maïs. Ce contenu varie de 11 à 19%, selon le type de blé et la variété (Sullivan et Gleaves, 1996). Pour ces chercheurs, le blé contenait 1450 ME kcal/lb avec 12,5% de protéines brutes comparativement à 1550 ME kcal/lb avec 8,2% de protéines brutes pour le maïs. De plus, l'énergie métabolisable apparente et la digestibilité apparente de la protéine furent significativement et négativement corrélées avec le contenu en polysaccharides non amylacés insolubles (Steenfeldt *et al.*, 1995) et avec le contenu en amidon, indiquant une digestion incomplète de l'amidon par les oiseaux (Annison, 1993). Mollah *et al.*, (1983) et Rogel *et al.*, (1987) avaient noté aussi que la faible énergie métabolisable apparente de certaines variétés de blé entier est due à l'inaccessibilité de l'amidon à l'attaque enzymatique. Même l'agglomération à la chaleur et la mouture n'ont pas augmenté la digestion de l'amidon du blé à faible énergie métabolisable apparente. Ceci indique que d'autres facteurs limitant l'accessibilité de l'amidon à l'attaque enzymatique sont responsables de la diminution de la digestibilité de l'amidon, ce qui caractérise les blés faibles énergies métabolisables apparentes (Mollah *et al.*, 1983).

D'autre part, le contenu en protéines et en amidon n'avait aucun effet sur l'énergie métabolisable apparente (Annison, 1993). Choct et Annison (1990) avaient bien démontré qu'une relation inversement proportionnelle existe entre l'énergie métabolisable apparente des céréales et le niveau total des polysaccharides non amylacés. Les céréales avec un niveau total élevé de polysaccharides non amylacés ont aussi des niveaux relativement élevés de polysaccharides non amylacés solubles dans l'eau. Une relation inverse existe entre ce type de polysaccharides et l'énergie métabolisable apparente (Choct et Annison, 1990).

La structure des polysaccharides du blé fut aussi l'objet de plusieurs études. Annison (1993) avait noté que les polysaccharides avec des structures ramifiées ont tendance à avoir une grande activité anti-nutritive. Il semble que la ramification introduit des irrégularités dans la structure des polysaccharides, ce qui empêche les chaînes d'interagir étroitement

entre elles et permet aux molécules d'eau de pénétrer facilement. Aussi, plus le degré de ramification est élevé, plus la solubilité est importante (Annison, 1993). L'effet anti-nutritif des pentosanes du blé dépend du degré de polymérisation des polysaccharides et de leurs propriétés de viscosité (Choct et Annison, 1992b). La présence d'arabinoxylanes dans le blé diminuait en effet la digestion de la protéine (Choct et Annison, 1992a). L'utilisation d'homoarginine comme marqueur de la digestibilité vraie des acides aminés avait permis aux chercheurs de conclure que l'arabinoxylane inhibe la dégradation de la protéine dans le tractus gastro-intestinal. Ces effets furent démontrés avec l'utilisation d'un faible niveau alimentaire d'arabinoxylane (Choct et Annison, 1992a).

La protéine du blé peut fournir plus de la moitié de la lysine totale requise par le poulet et cette protéine est une meilleure source d'acides aminés que celle du maïs (Jeppesen et Gram, 1948). En effet, le blé présente certains avantages comparativement au maïs, comme par exemple ses propriétés liantes (Crouch *et al.*, 1997). Le blé a un contenu en protéines brutes et en lysine supérieur au maïs. Cependant, le blé possède moins d'énergie métabolisable par unité de poids que le maïs et contient des polysaccharides non amylacés qui peuvent affecter les performances des poulets de chair (Crouch *et al.*, 1997). Ces polysaccharides entraînent la diminution de la digestion des lipides et de l'absorption du gras soluble et des vitamines (Annison, 1993).

1.4.4. Effets du blé entier sur les performances des poulets de chair

L'addition de blé entier à la ration alimentaire des poulets de chair a des effets différents sur les performances des poulets de chair et ceci selon les recherches et les paramètres étudiés (Bennet et Scott, 1996). Certaines recherches ont indiqué que les polysaccharides non-amylacés solubles du blé entier sont les seules fractions non-amylacées à être digérées par les poulets mâles (Carré *et al.*, 1990). Cependant, d'autres recherches ont montré que l'addition de polysaccharides non-amylacés solubles dans l'eau n'a eu aucun effet significatif sur la digestibilité, sur l'énergie métabolisable apparente (Steenfeldt *et al.*, 1995), sur la conversion alimentaire et sur la consommation alimentaire des poulets (Choct

et Annison, 1990). La présence de polysaccharides solubles dans l'eau peut entraîner une hypertrophie des organes digestifs comme le pancréas (Crouch *et al.*, 1997). Ceci est dû à l'augmentation de la production d'enzymes intestinales afin de compenser la diminution de la digestion et de l'absorption des nutriments. Les polysaccharides insolubles dans l'eau sont des inhibiteurs de la digestion des nutriments et causent une diminution du gain de poids et de l'efficacité alimentaire (Choct et Annison, 1990). Les poulets de chair mâles furent capables de digérer 10,7% des polysaccharides non amylacés totaux dans le péricarpe et jusqu'à une moyenne de 42,8% dans l'endosperme. La faible digestibilité dans le péricarpe est causée par l'épaisseur des membranes cellulaires des couches formées de celluloses insolubles et d'arabinoxylanes (Steenfeldt *et al.*, 1995).

Choct et Annison (1992a) ont noté que les oiseaux tolèrent sans problème jusqu'à 35 g de pentosanes/kg de la ration à base de blé. Il existe une corrélation négative entre le niveau total de pentosanes de la ration et le coefficient de digestibilité du gras, le contenu en énergie métabolisable apparente et l'efficacité alimentaire, montrant ainsi que les effets des pentosanes dépendent du taux d'inclusion dans l'aliment (Allen *et al.*, 1997; Choct et Annison, 1992a). En effet, une dose de 60 g de pentosanes/kg de la ration a détérioré la conversion alimentaire, diminué l'ingestion alimentaire et la digestion de l'amidon, celle de la protéine et des lipides dans l'iléon (Choct et Annison, 1992a). Nous assistons aussi à une augmentation de la viscosité intestinale suite à l'augmentation de la quantité de pentosanes dans la ration. Cette augmentation de la viscosité entraîne une diminution du coefficient de digestibilité des acides gras insaturés et de celui des protéines, ce qui diminue la croissance des poulets (Allen *et al.*, 1997; Choct et Annison, 1992a; Crouch *et al.*, 1997; Sharma *et al.*, 1979). Normalement, la viscosité intestinale diminue avec l'augmentation de l'âge des oiseaux (Bedford et Morgan, 1996). Les activités anti-nutritives des polysaccharides non amylacés du blé peuvent dépendre aussi du type et du nombre de microorganismes se trouvant dans la flore microbienne (Choct et Annison, 1992a).

Le type de gras ajouté au blé entier a aussi un effet sur la conversion alimentaire (Choct et Annison, 1992b). L'ajout de 30 g d'arabinoxylanes/kg de ration avec de l'huile de soya

comme type de gras entraîne une augmentation significative de la conversion alimentaire de 23,3% comparativement au témoin sans arabinoxylanes tandis que l'ajout de 25 g d'arabinoxylanes/kg à une ration contenant un gras animal a augmenté significativement la conversion alimentaire de 30,4% (Choct et Annison, 1992a; 1992b). Le gras de type animal étant plus difficile à digérer que le gras de provenance végétale puisqu'il interfère avec la digestion du blé. Ceci traduit clairement l'influence du type de gras sur les effets anti-nutritifs du pentosane du blé chez les oiseaux (Choct et Annison, 1992b).

Par ailleurs, l'incorporation de blé entier jusqu'à 30% dans la ration alimentaire des poulets de chair a permis d'augmenter la consommation alimentaire de 20% mais a donné des gains de poids et une conversion alimentaire très satisfaisantes comparativement au blé moulu (Bennett *et al.*, 1995) ou incorporé dans des cubes (Kiiskinen, 1996). Ceci implique que le blé entier a eu un effet bénéfique sur la digestion suite, apparemment, à l'hypertrophie du gésier des oiseaux, permettant ainsi un meilleur broyage des grains entiers (Kiiskinen, 1996). Le taux de croissance et la conversion alimentaire ne furent pas affectés par les niveaux de blé entier dans la ration (Bennett *et al.*, 1995). Kiiskinen (1996) a aussi remarqué qu'en mélangeant 50% de blé entier avec 50% d'orge entière ajouté à un concentré aggloméré, les poulets plus vieux toléraient beaucoup plus l'orge que les oiseaux plus jeunes sans que la présence du blé n'influence significativement les performances. Ceci est dû à la présence de β -glucanases endogènes chez les oiseaux adultes leur permettant ainsi de digérer en partie les β -glucanes. De plus, la quantité de gras abdominal ne fut pas affectée par les traitements sauf pour les femelles recevant du blé entier durant la phase initiale. Celles-ci ont présenté une diminution significative de leur gras abdominal (Kiiskinen, 1996).

L'addition de 35% de blé entier en période de finition a augmenté de 1% la conversion alimentaire et le poids de 0,4% comparativement au blé servi en cubes ou concassés (Bennett et Scott, 1996). L'augmentation de la quantité de blé entier dans la ration jusqu'à 50% a augmenté la conversion alimentaire de 3,3%. Cependant, d'autres recherches concluent que la dureté de l'endosperme du blé n'est pas un facteur influençant l'efficacité

de la digestion ou les performances des poulets de chair (Rogel *et al.*, 1987; Salah Uddin *et al.*, 1995). De plus, aucune différence significative ne fut observée pour l'énergie métabolisable apparente et la croissance entre les rations contenant du blé entier et celles contenant du blé moulu (Salah Uddin *et al.*, 1995).

De plus, certaines différences existaient entre les sexes des poulets de chair. L'ajout jusqu'à 20% de blé entier à la ration de poulets de chair des deux sexes a donné un poids vif des mâles significativement supérieur comparativement à celui des femelles. En effet, les mâles ont eu tendance à se développer plus rapidement que les femelles. Cependant, aucune différence significative ne fut notée dans le poids de la poitrine, de la cuisse, du pilon, et des ailes (Walton *et al.*, 1996). D'autre part, les villosités iléales des oiseaux alimentés avec du blé entier à faible énergie métabolisable apparente ont été plus hautes et plus larges que celles des oiseaux alimentés avec du blé à énergie métabolisable élevée (Drakley *et al.*, 1997). Cette adaptation de l'intestin permet une meilleure absorption des nutriments afin de compenser la faiblesse énergétique du blé. Les poids d'intestin les plus élevés furent obtenus avec les rations contenant du blé, peu importe leur texture, comparativement à une ration à base de maïs (Drakley *et al.*, 1997). Ceci est probablement dû aux effets de la viscosité intestinale plus élevée avec le blé (Annison, 1993). De plus, les rations contenant du blé ont entraîné une augmentation du poids du proventricule, du petit intestin et du caecum ainsi qu'une diminution du tissu adipeux abdominal (Nir et Hillel, 1994). Les poulets alimentés avec le blé avaient une conversion alimentaire inférieure à celle des poulets alimentés avec du maïs (Nir et Hillel, 1994).

Une ration à haute teneur en protéines et contenant des grains entiers comme le blé pourrait juguler le développement de la coccidiose, alors qu'une ration faible en fibres pourrait aggraver la coccidiose (Bennett et Scott, 1996). La dilution des rations avec du blé entier pourrait diminuer les niveaux de médicaments alloués initialement à la ration et entraîner ainsi des problèmes de coccidiose (Bennett et Scott, 1996).

La présence de composés anti-nutritif dans le blé entraîne un ralentissement de la croissance, une augmentation de la conversion alimentaire, une diminution des problèmes de pattes, une augmentation de la mortalité et de la morbidité, des souillures de plumes et des conditions de litières très mauvaises (Jeroch, 1987). Le blé augmente l'humidité de la litière à cause de la capacité de rétention d'eau de l'arabinoxylane (Bedford et Morgan, 1996). Notons que la variabilité des résultats obtenus dans les recherches est due à la variabilité de la solubilité des polysaccharides non amylacés du blé (Figure 1). Cependant, la dilution des rations des poulets de chair avec du blé entier pourrait être bénéfique aux producteurs en réduisant les coûts reliés à l'alimentation sans, dans certains cas, affecter les performances des oiseaux.

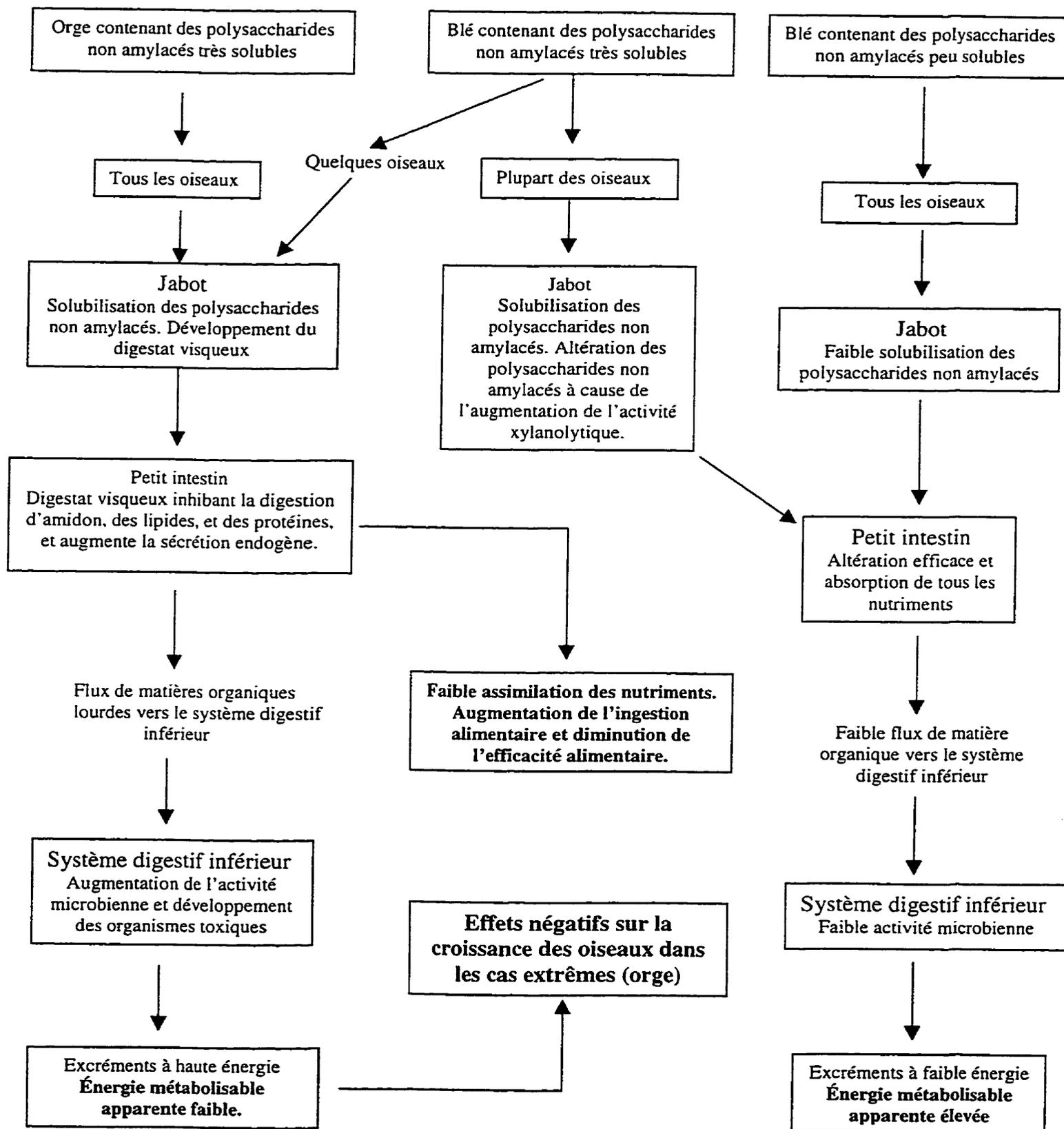


Figure 1. Schéma décrivant les événements responsables de la variabilité nutritive des grains de céréales lorsque servis aux poulets de chair (adapté de Annison, 1993).

1.5. Effets de la texture et de la forme des aliments

La texture et la forme des aliments présentés aux poulets de chair pourraient influencer positivement ou négativement leur performance (Daghir, 1995). Le contrôle des bactéries et le développement des moisissures dans la moulée sont, d'après Pettersson *et al.*, (1991), les avantages principaux d'une agglomération à la vapeur. De plus, les avantages de ce procédé ne sont pas limités à ces deux raisons mais s'étendent aussi aux performances des poulets de chair (Arscott et Rose, 1960). En effet, la ration agglomérée augmente le gain de poids de 30% en moyenne pour les poulets de chair dont la ration n'est pas additionnée d'enzymes et de 20% en moyenne pour ceux dont la ration contient des enzymes ajoutés (Pettersson *et al.*, 1991). L'agglomération a augmenté significativement le poids vif de 7,8%, l'ingestion alimentaire de 5,1% et la conversion alimentaire de 3,2% chez les poulets de chair alimentés avec une ration contenant 50% d'orge (Al Bustany, 1996; Hamilton et Proudfoot, 1995). Les poulets de chair alimentés avec une moulée moulue sont 10% plus légère à l'abattage que ceux alimentés avec une moulée agglomérée. (Bennett et Scott, 1996). Outre l'augmentation du gain de poids avec l'agglomération (Allred *et al.*, 1957a; Choi *et al.*, 1986; Nir et Hillel, 1995), nous remarquons une amélioration de la croissance, de la conversion alimentaire et du poids final des poulets de chair en comparaison avec une ration moulue (Pettersson *et al.*, 1991; Munt *et al.*, 1995; Nir et Hillel, 1995). Par ailleurs, nous remarquons une augmentation de la digestibilité du gras brut au niveau de l'iléon (Pettersson *et al.*, 1991) et une augmentation de la digestibilité des glucides avec l'agglomération (Hamilton et Proudfoot, 1995).

L'agglomération du blé pourrait aussi déranger la structure du grain et détruire les inhibiteurs de croissance sensibles à la chaleur ou les rendre plus accessibles à la dégradation (Allred *et al.*, 1957a; 1957b; Pettersson *et al.*, 1991; Rogel *et al.*, 1987). Ceci expliquerait l'amélioration de la digestion de l'amidon des rations agglomérées par les poulets de chair. Les oiseaux plus vieux sont apparemment plus résistants aux inhibiteurs d'amylase des grains entiers probablement grâce à une microflore intestinale plus développée que celle des jeunes oiseaux (Rogel *et al.*, 1987). Les grains entiers sont

généralement introduits à la période de croissance (à 7 jours d'âge) afin d'éviter les effets néfastes des fractions anti-nutritives des grains. En effet, la croissance et l'efficacité alimentaire sont diminués avec le blé moulu ou entier en début d'élevage. Néanmoins, les oiseaux compensent à des âges plus avancés (Bennett et Classen, 1997)

D'autre part, plusieurs chercheurs se sont penchés sur l'étude de la texture de la ration et de ses effets sur les performances des poulets de chair (Sullivan et Gleaves, 1996). À 21 jours d'âge, les oiseaux alimentés avec une ration contenant 53,8% de blé moulu moyennement (1,13 à 1,23 mm) et grossièrement (2,01 à 2,10 mm) présente une ingestion alimentaire, un poids et une efficacité alimentaire supérieurs à ceux des oiseaux alimentés avec une ration finement moulue (Nir et Hillel, 1994). En effet, Sullivan et Gleaves (1996) ont suggéré qu'une grande quantité de blé moulu dans la ration puisse entraîner des problèmes de collage au bec et une diminution de l'ingestion alimentaire. Ces chercheurs ont conseillé de limiter l'incorporation de blé moulu dans la ration et ont trouvé que l'agglomération pourrait éviter les problèmes de collage du bec. Ainsi, le grain moulu grossièrement, roulé ou alimenté sous forme entière pourrait remplacer de 50% à 100% du maïs de la ration des poulets de chair (Sullivan et Gleaves, 1996). L'agglomération et le broyage se sont avérés n'avoir aucun effet significatif sur la disponibilité de l'énergie métabolisable du blé. L'énergie métabolisable du blé entier est significativement supérieure à celle du blé aggloméré ou moulu finement, moyennement et grossièrement (McInstosh *et al.*, 1961). La texture d'un aliment en poudre contenant plus que 20% d'orge peut diminuer la palatabilité et par conséquent l'ingestion alimentaire (Daghir, 1995). L'agglomération permettra ainsi d'augmenter la palatabilité de la ration et l'utilisation à des niveaux élevés de ces grains (Daghir, 1995).

L'agglomération entraîne, par ailleurs, l'apparition de certains problèmes dans les élevages (Bennett et Scott, 1996). La présence de fientes collantes fut augmentée avec l'agglomération car ce dernier augmente les dommages cellulaires et les perforations, facilitant ainsi la dissolution de l'arabinoxylane dans le cas du blé (Bedford et Morgan, 1996). Ceci favorise le développement de la viscosité intestinale. De plus, le taux de

mortalité dû à l'ascite est plus élevé avec les rations agglomérées qu'avec les rations moulues finement (Bennett et Scott, 1996; Nir et Hillel, 1995).

1.6. Conclusion

L'utilisation de l'orge et du blé entiers dans la ration alimentaire des poulets de chair s'avère bénéfique pour les éleveurs à cause de la diminution des coûts reliés au transport (Bennett *et al.*, 1995). Cependant, l'orge entière contient des β -glucanes qui affectent négativement les performances des oiseaux (Hesselman et Åman, 1985). Néanmoins, le contenu en β -glucanes dépend de plusieurs facteurs dont le génotype, l'environnement, la fertilisation, l'utilisation de pesticides, le stade de maturité à la récolte, et la durée du stockage (Jeroch et Dänicke, 1995). Ces effets se traduisent par une détérioration de l'efficacité alimentaire due à l'augmentation de la viscosité intestinale (Choct et Annison, 1992a). Cette viscosité empêche la digestion des nutriments au niveau intestinal, ce qui se reflète négativement sur le poids vivant final des poulets de chair (Classen *et al.*, 1985). Notons que le poids des organes tels le gésier est augmenté en présence d'orge entière afin de mieux broyer les grains (Bennett et Scott, 1996).

Afin de surmonter les problèmes dus à l'incorporation de l'orge entière, l'addition d'un mélange approprié d'enzymes exogènes fut suggérée par plusieurs chercheurs (Bedford et Morgan, 1996). Ces enzymes entraînent l'amélioration du taux de croissance, de l'ingestion alimentaire, du poids vivant et de l'efficacité alimentaire des poulets de chair. (Friesen *et al.*, 1992; MacLean *et al.*, 1994). En effet, le mélange d'enzymes agit en diminuant la viscosité du contenu intestinal, ce qui augmente la digestibilité de l'amidon, des acides aminés et du gras brut (White *et al.*, 1983).

D'autre part, l'utilisation de blé entier a des effets négatifs sur l'efficacité alimentaire, le poids vif et sur la digestion des nutriments, mais à un degré moindre que l'orge entière (Jeroch, 1987). Cependant, les effets négatifs du blé entier causés par les propriétés anti-nutritives de ses polysaccharides non amylacés peuvent dépendre des microorganismes

présents dans la flore microbienne des oiseaux, puisque les oiseaux plus âgés ou adultes utilisent mieux le blé entier que les jeunes oiseaux (Choct et Annison, 1992b). Par conséquent, l'utilisation d'enzymes dans une ration contenant de blé entier n'améliore pas nécessairement les performances des oiseaux (Cheeson, 1993).

Il reste à démontrer si les résultats obtenus ailleurs s'appliquent aux cultivars de blé et d'orge produits au Québec et si l'utilisation de ces grains additionnés ou non d'enzymes présente un intérêt zootechnique pour les producteurs de poulets de chair du Québec.

1.7. Liste des ouvrages cités

- Aastrup, S. 1979. The effect of rain on β -glucan content in barley grains. *Carlsberg Res. Commun.*, 44: 381-393.
- Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998a. Division de l'analyse du marché. (Page consultée le 25 septembre 1998). *Le Bulletin bimensuelle*, Vol.11 N° 4, [En ligne]. Adresse URL: <http://www.agr.ca/policy/winn/biweekly/index.htm>
- Agriculture et Agro-alimentaire Canada, 1998b. Division de l'analyse du marché. (Page consultée le 25 septembre 1998). *Le Bulletin bimensuelle*, Vol.11 N° 15, [En ligne]. Adresse URL: <http://www.agr.ca/policy/winn/biweekly/index.htm>
- Agriculture et Agro-alimentaire Canada. 1998c. Division de l'analyse du marché. (Page consultée le 25 septembre 1998). *Le Bulletin bimensuelle*, Vol.11 N° 16, [En ligne]. Adresse URL: <http://www.agr.ca/policy/winn/biweekly/index.htm>
- Al Bustany, Z. 1996. The effect of pelleting on enzyme supplemented barley-based broiler diet. *Anim. Feed Sci. Tech.* 58: 283-288.
- Allen, C.M., McCracken, K.J. et Bedford, M.R. 1997. Effect of fat type, rate of wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. *Br. Poultry Sci.* 38: S25-S26.
- Allred, J.B., Jensen, L.S., et McGinnis, J. 1957a. Factors affecting the response of chicks and poults to feed pelleting. *Poultry Sci.* 36: 517-523.
- Allred, J.B., Fry, R.E., Jensen, L.S. et McGinnis, J. 1957b. Studies with chicks on improvement in nutritive value of feed ingredients by pelleting. *Poultry Sci.* 36: 1284-1289.

- Almirall, M., Francesch, M., Pérez-Vendrell, A.M., Brufau, J. et Esteve-Garcia, E. 1995. The differences in intestinal viscosity produced by barley and β -glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks. *J. Nutr.* 125: 947-955.
- Anderson, J.O., Dobson, D.C. et Wagstaff, R.K. 1961. Studies on the value of hullless barley in chick diets and means of increasing this value. *Poultry Sci.* 40: 1571-1584.
- Annison, G. 1993. The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler nutrition. *Aust. J. Agric. Res.* 44: 405-422.
- Annison, G. et Choct, M. 1991. Anti-nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. *World's Poultry Sci. J.*, Vol. 47 : 232-242.
- Arcott, G.H. et Rose, R.J. 1960. Use of barley in high-efficiency broiler rations. 4. Influence of amylolytic enzymes on efficiency of utilisation, water consumption and litter condition. *Poultry Sci.* 39:93-95.
- Arcott, G.H., Rose, R.J. et Harper, J.A. 1960. An apparent inhibitor in barley influencing efficiency of utilisation by chicks. *Poultry Sci.* 39: 268-270.
- Ballance, G.M., Hall, R.S. et Manners, D.J. 1986. Studies of some arabinoxylanes from barley endosperm walls. *Carbohydr. Res.* 150 : 290-294.
- Bedford, M.R. 1995. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes. *Anim. Feed Sci. Tech.* 53 : 145-155.

- Bedford, M.R. et Morgan, A.J. 1996. The use of enzymes in poultry diets. *World's Poultry Sci. J.* 52: 61-68.
- Bennett, C.D. et Classen, H.L. 1997. Feeding whole wheat to broiler chickens in combination with mash or pelleted supplements. *Poultry Sci.* 76 (suppl. 1):43.
- Bennett, C.D., Classen, H.L. et Riddell, C. 1995. Live performance and health of broiler chickens fed diets diluted with whole or crumbled wheat. *Can. J. Anim. Sci.* 75 (4): 611-614.
- Bennett, C.D. et Scott, T. 1996. (Page consultée le 25 février 1997). Adding whole grain to poultry rations. Alberta Agriculture, Food and Rural Development Home Page. [En ligne]. Adresse URL: <http://www.agric.gov.ab.ca/research/researchupdate/poultry.html>
- Bergevin, M. (Page consultée le 15 juillet 1998). Table filière avicole *dans*: Bienvenue au Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.agr.gouv.qc.ca/>
- Boudreau, A. et Ménard, G. 1992. Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Éd. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, 439 p.
- Brake, J.D., Brann, D.E. et Griffey, C.A. 1997. Barley without enzyme supplementation in broiler grower and finisher diets. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 422-431.
- Brenes, A., Smith, M., Guenter, W. et Marquardt, R.R. 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broiler chickens fed wheat-and barley-based diets. *Poultry Sci.* 72: 1731-1739.

- Brufau, J., Novareda, C., Pérez-Vendrell, A., Francesch, M. et Esteve-Garcia, E. 1991. Effect of *Trichoderma Viride* enzymes in pelleted broiler diets based on barley. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 34: 193-202.
- Bureau de la Statistique du Québec, Statistiques Agro-alimentaire 2^{ème} semestre 1997, Bibliothèque Nationale du Québec, juillet 1998, 236 pp.
- Carré, B., Derouet, L. et Leclerq, B. 1990. The digestibility of cell-wall polysaccharides from wheat (bran or whole grain), soybean meal, and white lupin meal in cockerels, muscovy ducks, and rats. *Poultry Sci.* 69: 623-633.
- Cantor, A.H., Pescatore, A.J., Johnson, T.H. et Pfaff, W.K. 1989. Influence of Beta-glucanase Allzyme on performance of broiler chicks fed barley-based diets. *Dans: Biotechnology in the Feed Industry, Proc. Alltech's Annual Symposium*. T.P. Lyons, éd. Alltech Technical Publications, Nicholasville. KY.
- Cerning-Beroard, J., Mercier, C. et Guilbot, A. 1977. Composition glucidique du blé. *Ann. Technol. Agric.* 26 (1): 79-115.
- Cheeson, A. 1993. Feed enzymes. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 45: 65-79.
- Choct, M. et G., Annison 1990. Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. *Br. Poultry Sci.* 31: 811-821.
- Choct, M. et Annison, J. 1992a. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *Br. J. Nutr.*, 67: 123-132.
- Choct, M. et Annison, G. 1992b. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poultry Sci.* 33: 821-834.

- Choi, J.H., So, B.S., Ryu, K.S. et Kang, S.L. 1986. Effects of pelleted or crumbled diets on the performance and the development of the digestive organs of broilers. *Poultry Sci.* 65: 594-597.
- Conseil des Productions Végétales du Québec Inc. 1996. Identification des besoins et priorités de recherche, de développement et de transfert technologique 1996-1999, éd. Bibliothèque Nationale du Canada, 168 p.
- Classen, H.L., Campbell, G.L., Rossnagel, B.G., Bhatti, R. et Reichert, R.D. 1985. Studies on the use of hullless barley in chick diets: deleterious effects and methods of alleviation. *Can. J. Anim. Sci.* 65: 725-733.
- Crouch, A.N., Grimes, J.L., Ferket, P.R. et Thomas, L.N. 1997. Enzyme supplementation to enhance wheat utilisation in starter diets for broilers and turkey. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 147-154.
- Daghir, N.J. 1995. Cereals and their by-products, p. 126-155, *Dans: Poultry Production in Hot Climates*, éd. Wallingford, England, CAB International, 303 pp.
- Dibner, J.J., Kitchell, M.L., Atwell, C.A. et Ivey, F.J. 1996. The effect of dietary ingredients and age on the microscopic structure of the gastrointestinal tract in poultry. *J. Appl. Poultry Res.* 5: 70-77.
- Drakley, C., Wiseman, J. et Bedford, M.R. 1997. Changes in apparent metabolisable energy, digesta viscosity, and small intestinal morphology in broilers fed diets based on wheat. *Br. Poultry Sci.* 38: S27-S28.
- Edney, M.J., Campbell, G.L. et Classen, H.L. 1989. The effect of β -glucanase supplementation on nutrient digestibility and growth in broilers given diets containing barley, oat groats or wheat. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 25: 193-200.

- Elwinger, K., et Säterby, B. 1987. The use of β -glucanase in practical broiler diets containing barley or oats. Effect of enzyme level, type and quality of grain. Swedish J. Agric. Res. 17: 133-140.
- Elwinger, K. et Säterby, B. 1988. Comparison of Beta-glucanase (BG) and Virginiamycin (VM) in broiler diets containing barley and oats. Proceedings of the 7th European Poultry Conference, Paris, France, p. 249-253.
- Esteve-Garcia, E., Brufau, J., Pérez-Vendrell, A., Miquel, A. et Duven, K. 1997. Bioefficiency of enzyme preparations containing β -glucanase and xylanase activities in broiler diets based on barley or wheat, in combination with Flavomycin. Poultry Sci. 76: 1728-1737.
- Ferket, P. 1997. Le point sur les enzymes chez les volailles. Feeding Times, Vol. 2, No 1, p. 19.
- Fransesch, M., Perez-Vendrell, A.M., Esteve-Garcia, E. et Brufau, J. 1994. Effects of cultivar, and enzyme addition on nutritive value of barley in poultry diets. Br. Poultry Sci., 35: 259-272.
- Friesen, O.D., Guenter, W., Marquardt, R.R. et Rotter, R.A. 1992. The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats, and rye for the young broiler chick. Poultry Sci. 71: 1710-1721.
- Fuente, J.M., Pérez de Ayala, P. et Villamaide, M.J. 1995. Effect of dietary enzyme on the metabolizable energy of diets with increasing levels of barley fed to broilers at different ages. Anim. Feed Sci. Tech., 56: 45-53.

- Goodman, T., Wyatt, C. et Wood, C. 1987. Effects of feeding high β -glucan barley on metabolizable energy values in young and adult chickens. *J. Anim. Sci.* 71 (suppl. 1): 181.
- Hamilton, R.M.G. et Proudfoot, F.G. 1995. Ingredient particle size and feed texture: effects on the performance of broiler chickens. *Anim. feed Sci. Tech.*, 51: 203-210.
- Hesselman, K. et Åman, P. 1985. A note on microscopy studies on water-and β -glucanase-treated barley. *Swedish J. Agric. Res.* 15:139-143.
- Hesselman, K., Elwinger, K., Nilsson, M. et Thomke, S. 1981. The effect of β -glucanase supplementation, stage of ripeness, and storage treatment of barley in diets fed to broiler chickens. *Poultry Sci.* 60: 2664-2671.
- Hesselman, K., Elwinger, K. et Thomke, S. 1982. Influence of increasing levels of β -glucanase on the productive value of barley diets for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 7: 351-358.
- Hesselman, K. et Thomke, S. 1982. Influence of some factors on development of viscosity in the water extract of barley. *Swedish J. Agric. Res.* 12: 17-22.
- Jeroch, H. 1987. Nutritional value of wheat, rye and triticale in broiler chickens and laying hens. Proceedings of the 6th European Symposium on Poultry Nutrition, Königslutter, Germany, 1987, World's Poultry Science Association, p. A4-A14.
- Jeroch, H. et Dänicke, S. 1995. Barley in Poultry Feeding : A Review. *World's Poultry Sci. J.*, 51 : 271-291.
- Jeppesen, J.H. et Gram, C.R. 1948. Whole wheat protein as an amino acid source for chicks. *Poultry Sci.* 27: 588-590.

- Kiiskinen, T. 1996. Feeding whole grain with pelleted diets to growing broiler chickens. *Agric. and Food Sci. in Finland* 5: 167-175.
- Le Petit Larousse, 1996. Édition Larousse, Paris, 1996, 1786 p.
- MacGregor, A.W. et Fincher, G.B. 1993. Carbohydrates of the barley grain, *Dans: Barley Chemistry and Technology*, éd. MacGregor, A.W. et R.S., Bhatti, p. 73-130.
- MacLean, J., Webster, A.B. et Anderson, D.M. 1994. Effect of 2-row or 6-row barley and a commercial enzyme preparation on growing-finishing broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 511-517.
- McNab, J. 1992. Factors affecting the nutritive value of wheat for poultry. HGCA project report No 43, London, UK, Home-Grown Cereals Authority, 57p.
- McIntosh, J.I., Slinger, S.J., Sibbald, I.R. et Ashton, G.C. 1961. Factors affecting the metabolisable energy content of poultry feed. 7. The effects of grinding, pelleting and grit feeding on the availability of the energy of wheat, corn, oats and barley. 8. Study on the effects of dietary balance. *Poultry Sci.* 41: 445-456.
- Mollah, Y., Bryden, W.L., Wallis, I.R., Balnave, D. et Annison, E.F. 1983. Studies on low metabolisable energy wheats for poultry using conventional and rapid assay procedures and the effects of processing. *Br. Poultry Sci.* 24: 81-90.
- Munt, R.H.C., Dingle, J.G. et Sumpa, M.G. 1995. Growth, carcass composition and profitability of meat chickens given pellets, mash or free-choice diet. *Br. Poultry Sci.* 36: 277-284.

- Newman, K.R. et Newman, C.W. 1988. Nutritive value of new hull-less barley cultivar in broiler chick diets. *Poultry Sci.* 67: 1573-1579.
- Nir, I. et Hillel, R. 1994. Effect of grain particle size on performance. 2. Grain texture interactions. *Poultry Sci.* 73: 781-791.
- Nir, I. et Hillel, R. 1995. Effect of particle size on performance. 3. Grinding pelleting interactions. *Poultry Sci.* 74: 771-783.
- Nwokolo, E. et Sim, J. 1989. Barley and full-fat canola seed in broiler diets. *Poultry Sci.* 68: 1374-1380.
- Office des provendes, 1996. Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Direction générale des politiques, Section des études et de l'analyse des marchés, 2001, rue Université, Pièce 746-B, Montréal, Qc, H3A 3N2.
- Peterson, V.E. 1969. A comparison of the feeding value for broilers of corn, grain sorghum, barley, wheat, and oats, and the influence of the various grains on the composition and taste of broiler meat. *Poultry Sci.* 48: 2006-2013.
- Pettersson, D., Graham, H. et Åman, P. 1990a. Enzyme supplementation of low or high crude protein concentration diets for broiler chickens. *Anim. Prod.* 51: 399-404.
- Pettersson, D., Graham, H. et Åman, P. 1990b. Enzyme supplementation of broiler chicken diets based on cereals with endosperm cell walls rich in arabinoxylanes or mixed-linked β -glucans. *Anim. Prod.* 51: 201-207.
- Pettersson, D., Graham, H. et Åman, P. 1991. The nutritive value for broiler chickens of pelleting and enzyme supplementation of a diet containing barley, wheat and rye. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 33: 1-14.

- Producteurs de Poulets du Canada, Page d'Accueil, (Page consultée le 15 août 1998).
Chicken Production in Canada, [en ligne]. Adresse URL: <http://www.cdn-chicken.com/index.htm>
- Rose, S.P. et Njeru, F.N. 1989. Effect of enzyme supplementation of cereals on the diet selection of choice-fed broilers. *Br. Poultry Sci.* 30: 975-976.
- Rotter, R.A., Friesen, O.D., Guenter, W. et Marquardt, R.R. 1990. Influence of enzyme supplementation on the bioavailable energy of barley. *Poultry Sci.* 69: 1174-1181.
- Rogel, A.M., Annison, E.F., Bryden, W.L. et Balnave, D. 1987. The digestion of wheat starch in broiler chickens. *Aust. J. Agric. Res.*, 38: 639-649.
- Salah Uddin, M., Rose, S.P., Hiscock, T.A. et Bonnet, S. 1995. A comparison of the energy availability for chickens of ground and whole grain samples of two wheat varieties. *Br. Poultry Sci.* 37: 347-357.
- Sharma, B.D., Sadagopan, V.R. et Reddy, V.R. 1979. Utilisation of different cereals in broiler diets. *Br. Poultry Sci.* 20: 371-378.
- Sibbald, I.R. et Price, K. 1976. Relationships between metabolizable energy values for poultry and some physical and chemical data describing Canadian wheats, oats and barleys. *Can. J. Anim. Sci.* 56 : 255-268.
- St-Pierre, C-A. et Gendron, G. 1982. Les céréales et le maïs. Éd. Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, 219 pp.

- Steenfeldt, S., Bach Knudsen, K.E., Børsting, C.F. et Eggum, B.O. 1995. The nutritive value of decorticated mill fractions of wheat. 2. Evaluation with raw and enzyme treated fractions using adult cockerels. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 54: 249-265.
- Stewart, J.W.B. et Karamanos, R.E. 1986. Phosphorus, potassium and minor elements in wheat production. Pages 192-226 *Dans: Wheat Production in Canada (A Review)*, Proceedings of the Canadian wheat production symposium, March 3-5, 1986, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Stone, B.A. 1985. Aleurone cell walls-Structure and nutritional significance. *Dans: New Approaches to Research on Cereal Carbohydrates*, Hill, R.D. and L. Munck, éd. Elsevier Science Publ., Amsterdam, 349-362 pp.
- Sundburg, B., Pettersson, D. et Åman, P. 1996. Nutritional properties of fibre-rich barley products fed to broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 67: 469-476.
- Sullivan, T.W. et Gleaves, E.W. 1996. (Page consultée le 3 avril 1998). Wheat in Poultry Rations *dans: Nebraska Extension Publications, Poultry*. [En ligne], Adresse URL: <http://ianrwww.unl.edu/ianr/pubs/catalog/poultry.htm>
- Svihus, B. et Newman, C.W. 1996. Enzyme application to unprocessed whole barley diets increases the nutritional value for broiler chickens due to higher digestibility of nutrients. *FASB Journal* 10 (3): A513.
- Svihus, B., Herstad, O. et Newman, C.W. 1997a. Effect of high-moisture storage of barley, oats, and wheat on chemical content and nutritional value for broiler chickens. *Acta Agric. Scand. Sect. A, Anim. Sci.*, 47: 39-47.

- Svihus, B., Herstad, O., Newman, C.W. et Newman, R.K. 1997b. Comparison of performance and intestinal characteristics of broiler chickens fed on diets containing whole, rolled or ground barley. *Br. Poultry Sci.* 38 (4): 524-529.
- Svihus, B., Newman, R.K. et Newman, C.W. 1997c. Effect of soaking, germination, and enzyme treatment of whole barley on nutritional value and digestive tract parameters of broiler chickens. *Br. Poultry Sci.* 38 (4): 390-396.
- Takeda, Y., Hizukuri, S., Takeda, C. et Suzuki, A. 1987. Structures of branched molecules of amyloses of various origins and molar fractions of branched and unbranched molecules. *Carbohydr. Res.* 165 :139-145.
- Thomke, S. 1972. On the influence of different stages of ripeness on the productive value of barley fed to chickens, laying hens, rats and mice. *Acta Agric. Scand.* 22: 107-120.
- Viveros, A., Brenes, A., Pizarro, M. et Castano, M. 1994. Effect of enzyme supplementation of a diet based on barley, and autoclave treatment, on apparent digestibility, growth performance and gut morphology of broilers. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 48: 237-251.
- Vukic Vranjes, M. et Wenk, C. 1995. Influence of dietary enzyme complex on the performance of broilers fed on diets with or without antibiotic supplementation. *Br. Poultry Sci.* 36: 265-275.
- Walton, A.M., Perry, G.C. et Richardson, R.I. 1996. Whole wheat grain addition to broiler rations: effects on carcass yield, composition and sensory attributes of broiler meat. *Br. Poultry Sci.* 37: S39-S40.

- Wang, L., Newman, R.K., Newman, C.W. et Hofer, P.J. 1992. Barley β -glucan alter intestinal viscosity and reduce plasma cholesterol concentrations in chicks. *J. Nutr.* 122: 2292-2297.
- White, W.B., Bird, H.R., Sunde, M.L. et Marlett, J.A. 1983. Viscosity of β -glucan as a factor in the enzymatic improvement of barley for chicks. *Poultry Sci.* 62: 853-862.
- Willingham, H.E., Jensen, L.S. et McGinnis, J. 1959. Studies on the role of enzyme supplements and water treatment for improving the nutritional value of barley. *Poultry Sci.* 38: 539-544.
- Wiseman, J. et Inbarr, J. 1990. The nutritive value of wheat and its effect on broiler performance, *Dans: Recent Advances in Animal Nutrition*, W. Haresign et D.J.A., Cole, Butterworth, London, 1990, p 79-102.
- Wyatt, C. et Queenborough, R. 1996. (Page consultée le 3 mai 1998). How can feed enzymes improve the final product? *dans: Alberta Agriculture, Food and Rural Development Home Page*. [En ligne], Adresse URL:
<http://www.agric.gov.ab.ca/research/researchupdate/poultry.html>

CHAPITRE 2

EFFECTS OF FEEDING LOCALLY-GROWN WHOLE BARLEY AND WHOLE WHEAT AND THE ADDITION OF ENZYMES TO DIETS ON BROILER PERFORMANCE AND CARCASS TRAITS

2.1. Abstract

Two experiments were conducted to investigate the impact of increasing dietary levels of whole barley (WB) with or without exogenous enzymes (E), and of whole wheat (WW) fed from 7d of age on performance of broilers and carcass characteristics. Experiment 1 was conducted with corn-soybean meal based grower diets containing as fed either 0, 10, 10 + E, 15, and 15% + E WB as fed. The finisher diets contained as fed either 0, 15, 20 + E, 15 and 20% + E WB. In Experiment 2, grower diets contained as fed either 0, 10, 10, 20, 20% WW and 0, 20, 35, 20, 35% WW in the finisher diets. No enzymes were used for WW diets. In each experiment, 1 500 one day-old Ross × Ross male broilers were randomly distributed in 30 floor pens. Six replicates were allotted to each treatment. Mean body weight (MBW), average daily gain (ADG), feed intake (FI), and feed efficiency ratio (FER) were measured at 7, 21 and at 38 d of age. In Experiment 1, ADG was lower ($P<.05$) in Control (C). However, FER and FI were lower and higher ($P<.05$) respectively with E addition. Final body weight, intestine, gizzard and pancreas weights were higher ($P<.05$) with WB inclusion. In Experiment 2, ADG and MBW decreased ($P<.05$) with up to 35% WW but were superior when compared to C. Ceaca length, jejunum weight/cm, duodenum, abdominal fat and carcass weights increased ($P<.05$) with the WW levels in the diets.

2.2. Introduction

Due to the diminution of subsidies for transportation of wheat and barley from Western to Eastern Canada, the use of locally-grown whole barley and wheat in broilers' diets becomes a more appealing alternative. However, the use of whole barley at high levels can cause severe problems due to the water-soluble highly viscous non-starch polysaccharides (Brenes *et al.*, 1993). Barley's main endosperm and aleurone cell wall component, β -glucans, which consists of units of glucose joined by β -1,3 and β -1,4 bonds, makes up approximately 75% of this cell wall.

Endosperm is the major part of the grain. It contains the starch providing most of the energy (Cantor *et al.*, 1989). The low barley ME value (2750 kcal/kg) in comparison to wheat ME value (3250 kcal/kg) is partially attributed to its high content of β -glucans (Scott *et al.*, 1982). Beta-glucans influence the barley nutritional value for poultry. Beta-glucans concentration vary with cultivar, growing conditions, geographic origin, stage of ripeness at harvest and storage conditions (Aastrup, 1979; MacLean *et al.*, 1994; Newman and Newman, 1988). The β -glucans solubilisation result in viscous conditions of the digesta that interfere with nutrient assimilation within chick intestine (Edney *et al.*, 1989). Insoluble β -glucans may also impair starch digestibility by impeding the accessibility of starch granules to amylolytic activity within the intestine (Hesselman and Åman, 1986).

Enzyme addition to a barley-based diet improved performance in broiler chicks (Hesselman and Åman, 1986; Pettersson *et al.*, 1990b), but improvements were less pronounced in adult broilers. This shows the influence of age on the response of barley-fed birds to enzyme supplementation. During the first weeks of life, the chicken digestive system undergoes changes and becomes more capable of efficiently digesting many of the ingredients included in the diet (Dibner *et al.*, 1996). That is why enzymes are more efficient during the first 21 days of life (Newman and Newman, 1988).

Inclusion at high level of whole wheat in broilers' diets also has negative effects on their performance. The anti-nutritive activity of pentosans in wheat is also related to the increase in digesta viscosity (Choct and Annison, 1990; 1992b). This increased viscosity could reduce nutrients assimilation within the intestine because of the interaction between pentosans and endogeneous enzymes which promotes the formation of a complex that diminish the activity of these enzymes. Reports indicate that some wheats have a low AME content and that the utilisation of energy by broilers is often poor (Rogel *et al.*, 1987). Nevertheless, early research has indicated that using whole wheat in broiler and laying diets has little or no negative effect on cumulative performance (McIntosh *et al.*, 1961; Wiseman and Inbarr, 1990).

Two experiments were designed to verify that whole barley with or without enzymes, and whole wheat, both locally grown, could be included at increasing levels in broilers grower and finisher diets without adversely affecting birds' performance.

2.3. Materials and methods

2.3.1. Animals and management

For each experiment, 1 500 one day-old Ross × Ross male broilers, obtained from a commercial hatchery¹ and vaccinated against Marek disease and bronchitis, were randomly distributed in 30 pens. Six replicate pens of 50 birds per pen were allotted for each dietary treatment. Upon placement, broilers received the same starter feed (0-7d) based on corn-soybean without any whole grains². For the growing period in Experiment 1 (7-21d), the corn-soybean meal based diets contained as fed either 0, 10, 10+E³, 15, or 15%+E locally grown whole barley. For the finishing period (21-38d), broilers received diets containing as fed either 0, 15, 20+E, 15, or 20%+E whole barley.

¹ Couvoir Scott Lté, Scott Jonction, PQ, Canada, G0S 3G0.

² Meunerie Gérard Soucy Inc., 926 Route Laurier, Sainte-Croix, Cté Lotbinière, Québec, G0S 2H0, Canada.

³ Avizyme™ 1200, Finnfeds International Ltd, PO Box 777, Marlborough, Wiltshire, SN8 1XN, UK.

For the growing period of Experiment 2 (7-21d), the experimental diets contained as fed either 0, 10, 10, 20, or 20% locally grown whole wheat without enzymes. For the finishing period (21-38d), broilers received diets containing as fed either 0, 20, 35, 20, or 35% whole wheat. In both experiments, diets were isonitrogenous and isocaloric for the starter (21.47% CP; 3025 kcal ME/kg), grower period (21.47% CP; 3025 kcal ME/kg) and for the finisher period as calculated (20% CP; 3150 kcal ME/kg) (Table 2.1, 2.2, 2.3 and 2.4).

Birds were exposed to 24h of light for the first 7d, then to a light:dark cycle of 22h 30min. light (L): 1h 30min. dark (D) until 38d of age. Room temperature was maintained at 31° C for the first 7d and then gradually reduced to 22° C at 38d of age in Experiment 1 while in Experiment 2, room temperature was maintained at 30° C for the first 7d and gradually reduced to 21° C at 38d of age. Feed and water were available for *ad libitum* consumption. The experimental protocol was approved by the Université Laval Animal Care Committee.

2.3.2. Grains

The grains were lightly rolled in order to fracture the outer layer of the kernel before inclusion in the final diets. After sieving for 15 minutes at amplitude 8 in a Test Sieve Shaker⁴, 37% of barley grains were retained by the 4 mm sieve and 61% by the 2 mm sieve. For whole wheat, 5% were retained by 4 mm sieve and 92% by the 2 mm sieve. Whole barley contained 11% CP and whole wheat 13% CP as analysed by Kjeldahl method using Kjel-Foss apparatus⁵. Specific weights were 61.8 g/hl for barley and 77.6 kg/hl for wheat and the grains were ranked number one according to Québec grading standards⁶.

⁴ Octagon 200 (Test Sieve Shaker), Endecotts Limited, Lombard Road, London, SW19 3BR, England.

⁵ N. Foss Electric, Hillerød, Denmark.

⁶ Grains were analysed and grade was attributed by *the Régie des marchés agricoles et alimentaires du Québec*, secteur des grains, 5825, rue St-Georges, Lévis, Québec, G6V 4L2, Canada.

Table 2.1 Diets composition (Experiment 1).

| Ingredients (g/kg) | Starter (0-7d) | Grower (7-21d) | | | | | Finisher (21-38d) | | | | |
|---------------------------------------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Control | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 |
| Ground yellow corn | 581.8 | 580.2 | 468.8 | 467.8 | 414.2 | 413.2 | 601.6 | 445.6 | 381.0 | 445.6 | 381.0 |
| Whole Barley | 0 | 0 | 100 | 100 | 150 | 150 | 0 | 150 | 200 | 150 | 200 |
| Soybean seeds | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Soybean meal (43.8% CP) | 313.1 | 225.3 | 221.5 | 221.7 | 219.4 | 219.6 | 128.9 | 123.0 | 120.9 | 123.0 | 120.9 |
| Meat meal | 30 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Animal fat | 29.7 | 13.8 | 28.3 | 28.6 | 35.2 | 35.5 | 23.7 | 45.0 | 51.9 | 45.0 | 51.9 |
| Limestone | 15.33 | 12.5 | 12.5 | 12.9 | 12.5 | 12.9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Biophosphore | 15.1 | 14.7 | 14.3 | 14.3 | 14.1 | 14.1 | 11.3 | 10.7 | 10.5 | 10.7 | 10.5 |
| Salt | 4.3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Liquide choline | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| Vitamin and minerals mix ¹ | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| D-L Methionine | 2.24 | 2.26 | 2.31 | 2.31 | 2.33 | 2.33 | 2.78 | 2.85 | 2.87 | 2.85 | 2.87 |
| Monteban 70 ² | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Baciferm 50 ³ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| L-Lys-HCl | 0.48 | 0.32 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.63 | 0.65 | 0.66 | 0.65 | 0.66 |
| L-Threonine | 0.37 | 0.33 | 0.36 | 0.36 | 0.38 | 0.38 | 0.46 | 0.51 | 0.53 | 0.51 | 0.53 |
| Avizyme 1200 ⁴ | | | | 1 | | 1 | | | 1 | | 1 |

¹ Provided the following nutrients per kilogram of diet : Vitamin A, 9 000 UI; Vitamin D3, 2 250 UI; Vitamin E, 40 UI; Vitamin K, 2 500 mg; Vitamin B₁₂, 10 µg; Riboflavin, 7 mg; Pantothenic acid, 9 mg; Niacin 44 mg; folic acid, 0.60 mg; Thiamin 1 mg; Pyridoxine, 3 mg; Biotin 0.10 mg; Manganese, 80 mg; Zinc, 55 mg; Iodine 1.1 mg; Iron, 22 mg, Copper 20 mg; Selenium 0.30 mg.

² 70g/kg Narasin; Elanco, Eli Lilly Company Canada Ltd, 3650 Danforth Avenue, Scarborough, Ontario, M1N 2E8.

³ 110g/kg Zinc bacitracin; Hoffman-LaRoche Ltd, 395 Waydom Drive, Ayr, Ontario, N0B 1E0.

⁴ Containing the following active constituents per gram: Beta-glucanase, 100 UI; Xylanase, 2 500 UI; Protease, 800 UI; Finnfeeds International Ltd, P.O. Box 777, Marlborough, Wiltshire, SN8 1XN, UK.

Table 2.2 Calculated nutrient composition of diets for broilers (Experiment 1).

| Nutrients | Starter | Grower | | | | | Finisher | | | | |
|-------------------------|---------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| | Control | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 |
| ME, kcal/kg | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3150 | 3150 | 3150 | 3150 | 3150 |
| Crude protein, % | | | | | | | | | | | |
| Calculated | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Analysed | 23.23 | 21.73 | 22.23 | 22.64 | 22.05 | 22.13 | 20.68 | 20.78 | 20.51 | 20.74 | 20.63 |
| Lysine, % | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| Arginine, % | 1.38 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.30 | 1.29 | 1.29 | 1.29 | 1.29 |
| Calcium, % | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 | 1.07 |
| Available phosphorus, % | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| Sodium, % | 0.21 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.19 |

Table 2.3. Diets composition (Experiment 2).

| Ingredients (g/kg) | Starter (0-7d) | Grower (7-21d) | | | | | Finisher (21-38d) | | | | |
|---------------------------------------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Control | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 |
| Ground yellow corn | 581.8 | 580.2 | 482.0 | 482.0 | 388.6 | 388.6 | 601.6 | 407.4 | 263.3 | 407.4 | 263.3 |
| Whole wheat | 0 | 0 | 100 | 100 | 200 | 200 | 0 | 200 | 350 | 200 | 350 |
| Soybean seeds | 0 | 100 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Soybean meal (43.8% CP) | 313.1 | 225.3 | 214.4 | 214.4 | 142.1 | 142.1 | 128.9 | 106.8 | 89.9 | 106.8 | 89.9 |
| Meat meal | 30 | 40 | 40 | 40 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Animal fat | 29.7 | 13.8 | 21.7 | 21.7 | 20.9 | 20.9 | 23.7 | 38.7 | 49.4 | 38.7 | 49.4 |
| Limestone | 15.33 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Biophosphore | 15.1 | 14.7 | 14.5 | 14.5 | 13.1 | 13.1 | 11.3 | 11.0 | 10.8 | 11.0 | 10.8 |
| Salt | 4.3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Liquide choline | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 |
| Vitamin and minerals mix ¹ | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| D-L Methionine | 2.24 | 2.26 | 2.26 | 2.26 | 2.35 | 2.35 | 2.78 | 2.78 | 2.77 | 2.78 | 2.77 |
| Monteban 70 ² | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Baciferm 50 ³ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| L-Lys-HCl | 0.48 | 0.32 | 0.56 | 0.56 | 0.81 | 0.81 | 0.63 | 1.1 | 1.46 | 1.1 | 1.46 |
| L-Threonine | 0.37 | 0.33 | 0.43 | 0.43 | 0.59 | 0.59 | 0.46 | 0.67 | 0.82 | 0.67 | 0.82 |

¹ Provided the following nutrients per kilogram of diet: Vitamin A, 9 000 UI; Vitamin D3, 2 250 UI; Vitamin E, 40 UI; Vitamin K, 2 500 mg; Vitamin B₁₂, 10 µg; Riboflavin, 7 mg; Pantothenic acid, 9 mg; Niacin 44 mg; folic acid, 0.60 mg; Thiamin 1 mg; Pyridoxine, 3 mg; Biotin 0.10 mg; Manganese, 80 mg; Zinc, 55 mg; Iodine 1.1 mg; Iron, 22 mg, Copper 20 mg; Selenium 0.30 mg.

² 70g/kg Narasin; Elanco, Eli Lilly Company Canada Ltd, 3650 Danforth Avenue, Scarborough, Ontario, M1N 2E8.

³ 110g/kg Zinc bacitracin; Hoffman-LaRoche, 395 Waydom Drive, Ayr, Ontario, N0B 1E0.

Table 2.4. Calculated nutrient composition of diets for broilers (Experiment 2).

| Nutrients | Starter | | | | | Grower | | | | | Finisher | | | | |
|-------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|------|------|------|------|
| | Control | T2 | T3 | T4 | T5 | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 | Control (T1) | T2 | T3 | T4 | T5 |
| ME, kcal/kg | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3025 | 3150 | 3150 | 3150 | 3150 | 3150 |
| Crude protein, % | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calculated | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 21.47 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Analysed | 22.42 | 22.20 | 22.02 | 21.88 | 21.55 | 20.56 | 20.47 | 20.99 | 20.45 | 20.52 | | | | | |
| Lysine, % | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.17 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| Arginine, % | 1.38 | 1.39 | 1.39 | 1.38 | 1.38 | 1.30 | 1.27 | 1.24 | 1.27 | 1.24 | 1.30 | 1.27 | 1.24 | 1.27 | 1.24 |
| Calcium, % | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 1.08 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.07 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| Available phosphorus, % | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| Sodium, % | 0.21 | 0.17 | 0.17 | 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |

2.3.3. Measurements

Broilers were weighed on a pen basis at 0, 7, 21 and 38d of age and feed intake was determined at 7, 21 and 38d of age. At this latter age, three broilers by pen were randomly selected, weighed, and slaughtered for carcass and intestinal measurements. Dissection was performed afterwards on previously frozen (-20° C) plucked whole carcass. Breast, legs, wings, back, abdominal fat, crop, gizzard, proventriculus, heart, liver, duodenum, jejunum, ileum, colon and ceca were weighed. Daily gain, mean body weight, feed efficiency ratio, biological feed efficiency ratio⁷ (BFER), carcass weight and yield were also calculated.

Intestinal length, intestinal weight and weight by cm were also measured for the intestine, duodenum, jejunum, proximal ileum, distal ileum, cecum 1 and cecum 2 were also measured. A 10 cm section of the proximal duodenum, proximal jejunum, proximal ileum, distal ileum, colon, and both ceca were weighed for this purpose. Relative weights of these sections as a proportion of intestinal weight were also calculated. Yields were calculated as a proportion of weight to live weight.

2.3.4. Statistical Analysis

Data from both experiments on bird performance, weight, carcass composition and intestinal measurements were analysed with the General Linear Models procedure of SAS[®] 6.12 version software (SAS Institute, 1994) according to a completely randomized design. Data were subjected to an analysis of variance, and significant differences among treatment means were determined by a F-test (Steel and Torrie, 1980). Linear effects of whole grain addition and the effect of enzyme supplementation were tested using polynomial contrasts (Steel and Torrie, 1980). Significant differences were declared at $P < .05$.

⁷ Calculated by estimating weight gain and feed intake of dead birds.

2.4. Results

2.4.1. Experiment 1

No significant differences were noted for birds performance in the starter (0-7d) and grower periods (7-21d) (Appendix A and B). Moreover, no significant differences were observed in bird performance parameters from 0 to 21d of age (Table 2.5). However, significant differences were noted between control and other treatments for MBW during the 21-38d finisher period (2365 g vs 2413 g) (Table 2.6). Meanwhile, no significant differences were noted for the other parameters measured over the same period.

For the 0-38d period (Table 2.7), significant differences were obtained for FER when comparing treatments without E to treatments with E (0.596 vs 0.586) and between treatment 2 (0,10,15%) and treatment 4 (0,15,15%) (0.591 vs 0.602). Significant differences were also noted in the BFER between control and other treatments (0.597 vs 0.604) when comparing treatments without E to treatments with E (0.607 vs 0.601) and between treatments 2 and 4 (0.603 vs 0.610). Differences ($P < .05$) were also found in FI between treatments without E and treatments with E (3945 g vs 4057 g). Significant differences were also detected for MBW (2365 g vs 2413 g) and ADG (61 g vs 62 g) between control and other treatments. Although, no significant differences were detected in FER and FI between control and other treatments in the 0-38d period. Finally, dietary treatments did not affect mortality rate (Table 2.7).

Dietary treatments had no effect ($P < .05$) on intestine, oesophagus and ceca length, while significant differences between treatments without E and treatments with E were noted for colon length (11 cm vs 10 cm) (Appendix C). Significant differences were although noted for intestine (29 g vs 34 g), duodenum (6 g vs 7 g), jejunum (14 g vs 16 g) and ileum (9 g vs 11 g) weights between control and other diets. Significant differences were found in the ileum relative weight to slaughter weight between control and the other dietary treatments (0.39% vs 0.46%) (Appendix D).

Table 2.5. Effects of dietary treatments on performance of broilers from 0-21d of age (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Feed efficiency ratio | Biological feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain |
|------------------|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | S G | (g:g) | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) |
| 1 | 0, 0 | 0.714 | 0.723 | 1160 | 872 | 39 |
| 2 | 0, 10 | 0.711 | 0.728 | 1154 | 865 | 39 |
| 3 | 0, 10 + E | 0.715 | 0.727 | 1168 | 880 | 40 |
| 4 | 0, 15 | 0.725 | 0.729 | 1143 | 872 | 39 |
| 5 | 0, 15 + E | 0.719 | 0.729 | 1158 | 878 | 40 |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.0042 | 0.0037 | 12.8 | 6.4 | 0.3 |
| Contrasts | | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower;

Table 2.6. Effects of dietary treatments on broilers performance in the finishing phase (21-38d) (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Feed efficiency ratio | Biological feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain |
|------------------|--------|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | F | (g:g) | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) |
| 1 | 0 | 0.528 | 0.542 | 2791 | 2365 | 112 |
| 2 | 15 | 0.540 | 0.551 | 2759 | 2379 | 110 |
| 3 | 20 + E | 0.534 | 0.543 | 2815 | 2405 | 112 |
| 4 | 15 | 0.551 | 0.555 | 2778 | 2421 | 111 |
| 5 | 20 + E | 0.528 | 0.550 | 2881 | 2448 | 115 |
| P | | NS | NS | NS | 0.037 | NS |
| SEM | | 0.0060 | 0.0049 | 28.9 | 18.9 | 1.4 |
| Contrasts | | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | * | NS |
| E (-) vs E (+) | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 3 | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; F or Finisher;

Table 2.7. Effects of dietary treatments on performance of broilers from 0-38d of age (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Feed efficiency ratio | Biological feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain | Mortality |
|------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------|-----------|
| | S G F | (g:g) | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) | (%) |
| 1 | 0, 0, 0 | 0.583 | 0.597 | 3976 | 2365 | 61 | 5.88 |
| 2 | 0, 10, 15 | 0.591 | 0.603 | 3946 | 2379 | 61 | 5.56 |
| 3 | 0, 10, 20 + E | 0.588 | 0.600 | 4012 | 2405 | 62 | 5.88 |
| 4 | 0, 15, 15 | 0.602 | 0.610 | 3944 | 2421 | 62 | 4.24 |
| 5 | 0, 15, 20 + E | 0.585 | 0.602 | 4102 | 2448 | 63 | 8.84 |
| P | | * | ** | * | * | * | NS |
| SEM | | 0.0039 | 0.0019 | 38.7 | 18.9 | 0.5 | 1.309 |
| Contrasts | | | | | | | |
| C vs Others | | NS | ** | NS | * | * | NS |
| E (-) vs E (+) | | * | ** | ** | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | * | * | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

Table 2.8. Effects of dietary treatments on weights and yields of carcass parts from broilers (Experiment 1).

| Treatments | % WB | | | Live weight (g) | Slaughter ¹ weight (g) | Breast weight | | Drumsticks weight | | Wings weight | | Back weight | | Carcass weight | |
|----------------|------|----|--------|--------------------|---|---------------|------|----------------------|------|-----------------|------|-------------|------|-------------------|------|
| | S | G | F | | | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 2271 | 1941 | 527 | 23.2 | 463 | 20.4 | 183 | 8.1 | 321 | 14.1 | 1494 | 65.8 |
| 2 | 0 | 10 | 15 | 2413 | 2175 | 559 | 23.1 | 495 | 20.5 | 196 | 8.1 | 344 | 14.3 | 1595 | 66.1 |
| 3 | 0 | 10 | 20 + E | 2373 | 2129 | 539 | 22.7 | 481 | 20.3 | 189 | 8.0 | 350 | 14.7 | 1558 | 65.7 |
| 4 | 0 | 15 | 15 | 2411 | 2168 | 551 | 22.9 | 488 | 20.2 | 192 | 8.0 | 352 | 14.6 | 1583 | 65.7 |
| 5 | 0 | 15 | 20 + E | 2348 | 2114 | 535 | 22.8 | 478 | 20.4 | 186 | 7.9 | 341 | 14.5 | 1540 | 65.6 |
| P | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | | | 60.4 | 67.9 | 16.8 | 0.27 | 13.1 | 0.17 | 5.0 | 0.15 | 11.3 | 0.23 | 42.3 | 0.27 |
| Contrasts | | | | | | | | | | | | | | | |
| C vs others | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

¹ New York dressed;

Table 2.9. Effects of dietary treatments on organ and abdominal fat weights and yields from broilers (Experiment 1).

| Treatments | % WB | | Liver weight (g) | Heart weight (g) | Abdominal fat weight (g) | Crop weight (g) | Gizzard weight (g) | Pancreas weight (g) | Proventriculus weight (g) | |
|--|---------------|---|---------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|----|
| | S | G | | | | | | | | |
| 1 | 0, 0, 0 | | 41.8 | 10.5 | 50.1 | 4.7 | 31.8 | 4.9 | 7.4 | |
| 2 | 0, 10, 15 | | 44.5 | 11.0 | 50.3 | 5.3 | 37.0 | 5.8 | 7.8 | |
| 3 | 0, 10, 20 + E | | 42.5 | 10.5 | 52.2 | 5.2 | 34.8 | 5.0 | 7.2 | |
| 4 | 0, 15, 15 | | 45.3 | 10.6 | 53.0 | 5.4 | 35.5 | 5.1 | 7.3 | |
| 5 | 0, 15, 20 + E | | 44.8 | 10.5 | 53.2 | 4.9 | 34.2 | 5.7 | 7.4 | |
| P | | | NS | NS | NS | NS | * | ** | * | |
| SEM | | | 1.31 | 0.049 | 3.25 | 0.19 | 1.06 | 0.22 | 0.008 | |
| Contrasts | | | | | | | | | | |
| C vs others | | | NS | NS | NS | NS | ** | * | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | | NS | NS | NS | NS | NS | * | * | NS |
| 3 vs 5 | | | NS | NS | NS | NS | NS | * | * | NS |
| *, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher; | | | | | | | | | | |

No significant differences were noted for intestinal weights by cm (Appendix E). Differences ($P < .05$) were showed in 10 cm proximal ileum weight between control and other treatments (1.2 g vs 1.5 g) and between treatments without E and with E (1.3 g vs 1.5 g) (Appendix F). No significant differences were noted for carcass parts weights and yields (Table 2.8). Significant differences were found in pancreas relative weight to slaughter weight between dietary treatments (0.24% vs 0.21%), whilst pancreas (5.4 g vs 4.9 g) and gizzard (35 g vs 32 g) weights were significantly superior in WB diets than in control (Table 2.9).

However, enzyme addition significantly reduced the relative weights of jejunum to intestine weight (48 % for E- vs 46 % for E+) as did WB inclusion in the diet (49 % vs 47 %). Proximal ileum (4 % vs 5 %) and distal ileum (3 % vs 4 %) weights to intestine weight ratios were inferior ($P < .05$) in treatments without E when compared to treatments with E, whilst no significant differences were noted in the intestinal sections (Appendix G).

2.4.2. Experiment 2

No significant differences were noted in bird performance for the starter period (0-7d) (Appendix H). For the grower period (7-21d), significant deterioration was found in FER (0.671 vs 0.657), MBW (868 g vs 830 g) and ADG (49 g vs 47 g) between 10% and 20% WW inclusion levels. Biological feed efficiency ratio (0.706 vs 0.683), MBW (865 g vs 831 g) and ADG (49 g vs 47 g) were significantly superior with 10% than with 20% WW inclusion level. Average daily gain was also linearly reduced with increasing levels in diets. No differences ($P < .05$) were detected for FI during this period (Appendix I).

For the 0-21d period, higher ($P < .05$) FER (0.687 vs 0.659), BFER (0.706 vs 0.682), ADG (33 g vs 31 g) and MBW (865 g vs 831 g) were detected in 10% WW level when compared to 20% WW inclusion rate.

Table 2.10. Effects of dietary treatments on performance of broilers from 0-21d of age (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Feed efficiency ratio | Biological feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain |
|------------------|-------|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | S G | (g:g) | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) |
| 1 | 0, 0 | 0.684 | 0.698 | 1167 | 845 | 32 |
| 2 | 0, 10 | 0.679 | 0.698 | 1202 | 868 | 33 |
| 3 | 0, 10 | 0.695 | 0.715 | 1169 | 862 | 33 |
| 4 | 0, 20 | 0.669 | 0.690 | 1168 | 830 | 31 |
| 5 | 0, 20 | 0.649 | 0.675 | 1199 | 832 | 31 |
| P | | *** | ** | NS | *** | *** |
| SEM | | 0.0062 | 0.0070 | 12.8 | 6.4 | 0.3 |
| Contrasts | | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | *** | ** | NS | *** | *** |
| 2 vs 3 | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | | * | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower;

Table 2.11. Effects of treatments on performance of broilers in the finishing phase 21-38d (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Feed efficiency ratio (g:g) | Biological feed efficiency ratio (g:g) | Feed intake (g) | Mean body weight (g) | Average daily gain (g/d) |
|------------------|------|-----------------------------|--|-----------------|----------------------|--------------------------|
| | F | | | | | |
| 1 | 0 | 0.559 | 0.566 | 2362 | 2331 | 87 |
| 2 | 20 | 0.547 | 0.578 | 2841 | 2429 | 90 |
| 3 | 35 | 0.572 | 0.604 | 2719 | 2451 | 92 |
| 4 | 20 | 0.568 | 0.587 | 2662 | 2361 | 89 |
| 5 | 35 | 0.580 | 0.621 | 2639 | 2378 | 90 |
| P | | NS | ** | NS | ** | * |
| SEM | | 0.0106 | 0.0104 | 66.9 | 24.3 | 1.1 |
| Contrasts | | | | | | |
| C vs Others | | NS | * | NS | ** | ** |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | ** | NS | NS | NS |
| 2 vs 3 | | NS | NS | NS | NS | NS |
| Linear effect | | NS | * | NS | *** | ** |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; F or Finisher;

Table 2.12. Effects of treatments on performance of broilers from 0-38d of age (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Feed efficiency ratio (g:g) | Biological feed efficiency ratio (g:g) | Feed intake (g) | Mean body weight (g) | Average daily gain (g/d) | Mortality (%) |
|------------------|-----------|-----------------------------|--|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------|
| | S G F | | | | | | |
| 1 | 0, 0, 0 | 0.598 | 0.608 | 3794 | 2331 | 57 | 3.33 |
| 2 | 0, 10, 20 | 0.586 | 0.597 | 4025 | 2429 | 59 | 6.46 |
| 3 | 0, 10, 35 | 0.610 | 0.623 | 3879 | 2451 | 60 | 7.14 |
| 4 | 0, 20, 20 | 0.599 | 0.608 | 3818 | 2361 | 57 | 7.96 |
| 5 | 0, 20, 35 | 0.602 | 0.609 | 3816 | 2378 | 58 | 8.55 |
| P | | NS | NS | NS | ** | ** | NS |
| SEM | | 0.0087 | 0.0089 | 69.8 | 24.3 | 0.6 | 1.560 |
| Contrasts | | | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | ** | * | NS |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | NS | NS | *** | ** | NS |
| 4 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others, or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

Feed intake was not significantly different between dietary treatments over this period (Table 2.10).

No significant differences were found for FER or FI for the finisher period (21-38d). Biological feed efficiency ratio was significantly superior in wheat diets than in control (0.597 vs 0.566), and at 35% WW incorporation level than at 20% WW inclusion level (0.612 vs 0.582). A linear increase in BFER, MBW and ADG was detected with increasing WW levels in the diets. Higher ($P<.05$) mean body weight (2405 g vs 2331 g) and ADG (90 g vs 87 g) were found in WW containing diets when compared to control (Table 2.11).

On the other hand, no significant differences were detected during the 0-38d period in bird performance parameters except for MBW (2331 g vs 2405 g) and ADG (57 g vs 59 g) that were higher ($P<.05$) in WW diets when compared to control. Mean body weight (2440 g vs 2307 g) and ADG (60 g vs 58 g) were also significantly superior in lower WW incorporating levels (10, 20%; 10, 35% vs 20, 20%; 20, 35%) (Table 2.12). Mortality was not significantly affected by WW inclusion levels.

No significant differences were observed in intestinal sections lengths, weights and yields in this experiment except for cecum 2 length and duodenum weight that was superior in dietary treatments. Cecum 2 length was superior in treatments 3 and 5 when compared to treatments 2 and 4. Also cecum 2 length was superior in treatment 5 when compared to treatment 3 (Appendix J and K).

No significant differences were found in the intestinal sections weights by cm with the exception of jejunum weight by cm that was superior in the WW diets when compared to C (0.170 g/cm vs 0.145 g/cm) (Appendix L). In addition, no significant differences were found between C and WW diets for live weight, slaughter weight and carcass parts weights except for carcass weight (1547 g vs 1618 g) and back weight (320 g vs 342 g).

Table 2.13. Effects of treatments on carcass parts weights and yields from broilers (Experiment 2).

| Treatments | % WW | | | Live weight (g) | Slaughter ¹ weight (g) | Breast weight | | Drumsticks weight | | Wings weight | | Back weight | | Carcass weight | |
|--------------|------|----|----|--------------------|---|---------------|------|----------------------|------|-----------------|------|-------------|------|-------------------|------|
| | S | G | F | | | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 2422 | 2139 | 548 | 22.6 | 486 | 20.0 | 192 | 7.9 | 320 | 13.0 | 1547 | 63.8 |
| 2 | 0 | 10 | 20 | 2525 | 2351 | 579 | 22.9 | 518 | 20.6 | 202 | 8.0 | 348 | 13.8 | 1648 | 65.4 |
| 3 | 0 | 10 | 35 | 2490 | 2205 | 573 | 23.0 | 495 | 19.9 | 196 | 7.9 | 340 | 13.6 | 1604 | 64.4 |
| 4 | 0 | 20 | 20 | 2468 | 2078 | 560 | 22.7 | 488 | 19.8 | 191 | 7.7 | 336 | 13.6 | 1575 | 63.8 |
| 5 | 0 | 20 | 35 | 2564 | 2266 | 597 | 23.3 | 502 | 19.6 | 201 | 7.8 | 344 | 13.4 | 1643 | 64.1 |
| P | | | | NS | * | NS | NS | NS | NS | NS | NS | * | NS | * | NS |
| SEM | | | | 49.6 | 59.7 | 12.3 | 0.24 | 8.2 | 0.29 | 3.2 | 0.11 | 6.6 | 0.21 | 26.2 | 0.59 |
| Contrasts | | | | | | | | | | | | | | | |
| C vs others | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ** | NS | * | NS |
| 2, 4 vs 3, 5 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | | | | NS | * | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

¹ New York dressed;

Table 2.14. Effects of treatments on organ and abdominal fat weights from broilers (Experiment 2).

| Treatments | % WW S G F | Liver weight | | Heart weight | | Abdominal fat weight | | Crop weight | | Gizzard weight | | Pancreas weight | | Proventriculus weight | | |
|------------------|---------------|--------------|------|--------------|-------|-------------------------|-------|-------------|-------|-------------------|-------|--------------------|-------|--------------------------|-------|--|
| | | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | |
| 1 | 0, 0, 0 | 48.5 | 2.0 | 8.6 | 0.35 | 53.7 | 2.21 | 4.6 | 0.19 | 30.8 | 1.27 | 5.5 | 0.23 | 6.8 | 0.28 | |
| 2 | 0, 10, 20 | 52.3 | 2.1 | 9.5 | 0.38 | 66.1 | 2.64 | 4.6 | 0.18 | 33.4 | 1.33 | 5.7 | 0.22 | 7.5 | 0.30 | |
| 3 | 0, 10, 35 | 50.3 | 2.0 | 9.4 | 0.38 | 61.4 | 2.46 | 4.5 | 0.18 | 31.9 | 1.28 | 5.5 | 0.22 | 6.8 | 0.28 | |
| 4 | 0, 20, 20 | 50.3 | 2.0 | 9.4 | 0.38 | 60.2 | 2.44 | 4.9 | 0.20 | 31.9 | 1.29 | 5.2 | 0.21 | 7.2 | 0.29 | |
| 5 | 0, 20, 35 | 53.0 | 2.1 | 9.2 | 0.36 | 64.7 | 2.52 | 4.5 | 0.17 | 32.4 | 1.26 | 5.9 | 0.23 | 7.0 | 0.27 | |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS | ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| SEM | | 1.62 | 0.05 | 0.29 | 0.009 | 2.08 | 0.108 | 0.16 | 0.006 | 0.93 | 0.041 | 0.19 | 0.007 | 0.21 | 0.007 | |
| Contrasts | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | NS | NS | NS | ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 2, 3 vs 4, T5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 4 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

Slaughter weight (2266 g vs 2078 g) was higher ($P < .05$) at 0, 20, 35% wheat inclusion levels when compared to 0, 20, 20% (Table 2.13).

No significant differences were detected in yields of carcass parts except for abdominal fat yield which was superior for birds receiving the wheat based diets (2.51% vs 2.21%) (Table 2.14).

No significant differences were found between treatments for the different intestinal sections weights to intestine weight ratio (Appendix M). Neither were differences ($P < .05$) noted between treatments for the 10 cm weight of the different intestinal, cecal and colon sections (Appendix N).

2.5. Discussion

Increasing whole barley and whole wheat content in broilers' diets resulted in equal or even better performances compared to conventional corn-soybean diet. Enzyme supplementation of WB diets resulted in an increase in FI, perhaps due to a reduction in digesta viscosity, as reported by Hesselman *et al.*, (1982), Pettersson *et al.*, (1990a) and Pettersson *et al.*, (1991). On the other hand, this increase in FI did result in an increase in broiler final body weight as previously noted by Svihus *et al.*, (1997b). Thus, feed efficiency ratio was not negatively or drastically affected by enzyme supplementation but was significantly higher in diets containing unsupplemented whole barley. These results are supported by Brake *et al.*, (1997) who noted that WB could safely be used at up to 20% in the broiler grower and finisher diets without E supplementation. It seems that the presence of a more developed digestive system in mature compared to immature birds presumably enables the birds to more efficiently utilize diets rich in viscous polysaccharides. Thus, enzyme supplementation is not or is less needed at a mature age. However, the constant WB inclusion levels adopted in treatment 4 (Experiment 1) could have helped birds to improve FER compared to the other treatments where there is a drastic increase in the barley grain content in the diet when moving from one to another feeding phase. Average

daily gain was superior in barley-based diets probably because of an increase in FI in diets supplemented with E as already noted by Friesen *et al.* (1992) and Wang *et al.* (1992). In fact, it is possible that the β -glucan content of WB is inferior in Québec due in part to higher precipitations than Western Canada as reported elsewhere in the world (McNab, 1992).

The larger gizzards observed in broilers fed on WB as compared to the birds' gizzards fed the corn-soybean diet is in accordance with results reported earlier with whole grains (Forbes and Covasa, 1995). This is probably a consequence of the increased grinding activity of the gizzard. Increase in pancreas weight and in pancreas weight to live weight for birds fed unsupplemented WB are probably related to an increase in endogenous enzyme activities and secretion volume required in order to digest WB as reported earlier by Almirall *et al.* (1995). The heavier intestinal sections found in broilers fed whole barley could be explained by an adaptive response of the intestine and its villi to decreased nutrients digestibility and availability. Even if other studies (Brenes *et al.*, 1993; Svihus *et al.*, 1997a) report that ileum weight decreases with enzyme addition, our results indicate that the 10 cm proximal ileum weight is higher in birds fed WB with or without enzyme as compared to control. The decreased jejunum, and the increased proximal and distal ileum weight to intestine weight ratios indicate that added enzymes influence development of some intestine parts as already noted by Brenes *et al.* (1993). The reduction observed in the colon length of broilers fed supplemented whole barley is supported by the results published by Brenes *et al.* (1993).

Inclusion of increasing levels of WW in the diets negatively affected FER during the grower period as found by Allen *et al.* (1997), and by Bennett *et al.* (1995). The decrease in FER in birds who received 20% vs 10% WW is probably related to a reduction in ADG and in MBW during the grower period. The presence of soluble non-starch polysaccharides and pentosans in WW increases the digesta viscosity, which in turn decreases nutrient digestibility (Choct and Annison, 1992a; 1992b). The intestine microflora is probably not developed enough at this age to counteract the anti-nutritive effects of a high level of wheat

pentosans. However, the intestine microflora is more adapted to feed ingredients during the finisher period which is well demonstrated by the higher MBW and ADG observed in birds fed 20% and 35% WW diets when compared to control.

An increase in MBW was observed in birds fed the experimental diets when compared to C in both experiments. It could also be related to a better availability of the amino acids in the diet or to an under estimation of the energy content of the grains. An increase in diet AME content due to the higher presence of tallow could also be a possible explanation as indicated by Allen *et al.* (1997). Leeson and Summers (1976) and Summers (1984) noted in earlier reports that a synergism exists between saturated and unsaturated fat, which increases the absorption of saturated fat. In our experiments, synergism between micronized soybeans and animal fat could explain the birds' higher mean body weight in experimental groups. On the other hand, increased ceacum length in experiment 2, for diets containing 35% WW, indicates that microbial fermentation was more active and by that the area available for nutrients absorption probably was increased as suggested by Klasing (1998). Finally, carcass yield was not negatively affected in either experiment.

In conclusion, male broilers fed on diets containing up to 20% of WB and up to 35% of WW showed similar FER, better ADG and MBW than those fed the corn-soybean diet. However, the expected efficiency of the added exogenous enzymes to diets relies on the initial grain quality available on the farms. These results may encourage Québec poultry producers to include their own locally grown grains in broilers' diet. That in turn could reduce feed costs without negatively affecting meat output and quality.

2.6. Acknowledgements

The authors are grateful to Pierre Castonguay, Jean-Pierre Huot, Richard Prince and Lucien Marois for their technical assistance during the experiments, and to the *Fédération des Producteurs de Volailles du Québec*, and the *Conseil pour le Développement de*

l'Agriculture du Québec (C.D.A.Q.), Longueuil, Québec, Canada. J4H 3Y9 for their financial support.

2.7. References

- Aastrup, S. 1979. The effect of rain on β -glucan content in barley grains. *Carlsberg Res. Commun.*, 44: 381-393.
- Allen, C.M., McCracken, K.J. et Bedford, M.R. 1997. Effect of fat type, rate of wheat inclusion and enzyme supplementation on diet metabolisability and broiler performance. *Br. Poultry Sci.* 38: S25-S26.
- Almirall, M., Francesch, M., Pérez-Vendrell, A.M., Brufau, J., and E. Esteve-Garcia. 1995. The differences in intestinal viscosity produced by barley and β -glucanase alter digesta enzyme activities and ileal nutrient digestibilities more in broiler chicks than in cocks. *J. Nutr.* 125: 947-955.
- Bennett, C.D., Classen, H.L., and C. Riddell, 1995. Live performance and health of broiler chickens fed diets diluted with whole or crumbled wheat. *Can. J. Anim. Sci.* 75 (4): 611-614.
- Brake, J.D., Brann, D.E., and C.A. Griffey, 1997. Barley without enzyme supplementation in broiler grower and finisher diets. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 422-431.
- Brenes, B., Smith, M., Guenter, W., and R.R. Marquardt, 1993. Effect of enzyme supplementation on the performance and digestive tract size of broilers chickens fed wheat-and barley-based diets. *Poultry Sci.* 72: 1731-1739.
- Cantor, A.H., Pescatore, A.J., Johnson, T.H. and Pfaff, W.K. 1989. Influence of Beta-glucanase Allzyme on performance of broiler chicks fed barley-based diets. In : *Biotechnology in the Feed Industry, Proc. Alltech's Annual Symposium*. T.P. Lyons, ed. Alltech Technical Publications, Nicholasville, KY.

- Choct, M. and G. Annison 1990. Anti-nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets. *Br. Poultry Sci.* 31: 811-821.
- Choct, M., and J. Annison, 1992a. The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *Br. J. Nutr.*, 67: 123-132.
- Choct, M., and G. Annison, 1992b. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *Br. Poultry Sci.* 33: 821-834.
- Dibner, J.J., Kitchell, M.L., Atwell, C.A. and Ivey, F.J. 1996. The effect of dietary ingredients and age on the microscopic structure of the gastrointestinal tract in poultry. *J. Appl. Poultry Res.* 5: 70-77.
- Edney, M.J., Campbell, G.L., and H.L. Classen, 1989. The effect of β -glucanase supplementation on nutrient digestibility and growth in broilers given diets containing barley, oat groats or wheat. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 25: 193-200.
- Forbes J.M., and M. Covasa, 1995. Application of diet selection by poultry with particular reference to whole cereals. *World's Poultry Sci. J.*, 51: 149-165.
- Friesen, O.D., Guenter, W., Marquardt, R.R., and B.A. Rotter, 1992. The effect of enzyme supplementation on the apparent metabolizable energy and nutrient digestibilities of wheat, barley, oats, and rye for the young broiler chick. *Poultry Sci.* 71: 1710-1721.
- Hesselman, K., and P. Åman, 1986. Effect of β -glucanase on the utilization of starch and nitrogen by broiler chickens fed barley of low-or high-viscosity. *Anim. Feed Sci. Tech.* 15: 83-93.

- Hesselman, K., Elwinger, K., and S. Thomke, 1982. Influence of increasing levels of β -glucanase on the productive value of barley diets for broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 7: 351-358.
- Klasing, C.K., 1998. *Comparative Avian Nutrition*. Ed. University Press at Cambridge, CAB International, United Kingdom, 350 p.
- Leeson, S., and J.D. Summers, 1976. Fat ME values: The effect of fatty acid saturation. *Feedstuffs* 48 (46): 26-28.
- MacLean, J., Webster, A.B., and D.M. Anderson, 1994. Effect of 2-row or 6-row barley and a commercial enzyme preparation on growing-finishing broiler chickens from 3 to 6 weeks of age. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 511-517.
- McNab, J. 1992. Factors affecting the nutritive value of wheat for poultry. HGCA project report No 43, London, UK, Home-Grown Cereals Authority, 57p.
- McIntosh, J.I., Slinger, S.J., Sibbald, I.R., and G.C. Ashton, 1961. Factors affecting the metabolisable energy content of poultry feed. 7. The effects of grinding, pelleting and grit feeding on the availability of the energy of wheat, corn, oats and barley. 8. Study on the effects of dietary balance. *Poultry Sci.* 41: 445-456.
- National Research Council, 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Newman, K.R., and C.W. Newman, 1988. Nutritive value of new hull-less barley cultivar in broiler chick diets. *Poultry Sci.* 67: 1573-1579.
- Pettersson, D., Graham, H., and P. Åman, 1990a. Enzyme supplementation of low or high crude protein concentration diets for broiler chickens. *Anim. Prod.* 51: 399-404.

- Pettersson, D., Graham, H., and P. Åman, 1990b. Enzyme supplementation of broiler chicken diets based on cereals with endosperm cell walls rich in arabinoxylanes or mixed-linked β -glucans. *Anim. Prod.* 51: 201-207.
- Pettersson, D., Graham, H. and P. Åman, 1991. The nutritive value for broiler chickens of pelleting and enzyme supplementation of a diet containing barley, wheat and rye. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 33: 1-14.
- Rogel, A.M., Annison, E.F., Bryden, W.L., and D. Balnave, 1987. The digestion of wheat starch in broiler chickens. *Aust. J. Agric. Res.*, 38: 639-649
- SAS Institute, 1994. SAS[®] User's Guide: Statistics. 1994 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Scott, M.L., M.C. Nesheim and R.J. Young. 1982. *Nutrition of the Chicken*. 3rd ed., M.L. Scott & Assoc., Ithaca, NY.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie, 1980. *Principles and Procedures of Statistics. A Biomedical Approach*, 2nd edition, McGraw-Hill publishing Co, New York, NY.
- Summers, 1984. The extra caloric value of fats in poultry diets. Pages 265-276 *in: Fats in Animal Nutrition*. J. Wiseman, Ed. Library of Congress, Great Britain.
- Svihus, B., Herstad, O., and C.W. Newman, 1997a. Effect of high-moisture storage of barley, oats, and wheat on chemical content and nutritional value for broiler chickens. *Acta Agric. Scand. Sect. A, Animal Sci.* 47: 39-47.

- Svihus, B. Herstad, O., Newman, C.W., and R.K. Newman, 1997b. Comparison of performance and intestinal characteristics of broiler chickens fed on diets containing whole, rolled or ground barley. *Br. Poultry Sci.* 38 (4): 524-529.
- Wang, L., Newman, R.K., Newman, C.W., and P.J. Hofer, 1992. Barley β -glucan alter intestinal viscosity and reduce plasma cholesterol concentrations in chicks. *J. Nutr.* 122: 2292-2297.
- Wiseman, J. and J. Inborr, 1990. The nutritive value of wheat and its effect on broiler performance, *In: Recent Advances in Animal Nutrition*, W. Haresign et D.J.A.. Cole. Butterworth, London, 1990, p 79-102.

APPENDIX A

Effect of control diets (0-7d) on performance of broilers (Experiment 1).

| Treatments | | Feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain |
|--------------|---|-----------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) |
| 1 | C | 0.832 | 136 | 157 | 16 |
| 2 | C | 0.831 | 136 | 156 | 16 |
| 3 | C | 0.812 | 136 | 154 | 16 |
| 4 | C | 0.841 | 135 | 156 | 16 |
| 5 | C | 0.830 | 134 | 155 | 16 |
| P | | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.0118 | 1.5 | 1.9 | 0.3 |
| Contrasts | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 3 | | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments;

APPENDIX B

Effect of grower diets (7-21d) on performance of broilers (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Feed efficiency ratio | Biological feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain |
|------------------|--------|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | G | (g:g) | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) |
| 1 | 0 | 0.697 | 0.622 | 1021 | 872 | 51 |
| 2 | 10 | 0.694 | 0.621 | 1014 | 865 | 50 |
| 3 | 10 + E | 0.702 | 0.629 | 1039 | 880 | 52 |
| 4 | 15 | 0.709 | 0.627 | 1006 | 872 | 51 |
| 5 | 15 + E | 0.704 | 0.630 | 1019 | 878 | 51 |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.0045 | 0.0038 | 6.3 | 5.0 | 0.3 |
| Contrasts | | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS |
| E(+) vs E(-) | | NS | NS | NS | NS | NS |
| Linear effect | | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; G or Grower;

APPENDIX C

Effects of treatments on intestinal length of broilers (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Intestine length (cm) | Oesophagus length (cm) | Duodenum length (cm) | Jejunum length (cm) | Ileum length (cm) | Cecum 1 length (cm) | Cecum 2 length (cm) | Colon length (cm) |
|------------------|---------------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 0, 0, 0 | 161.6 | 18.8 | 27.8 | 65.3 | 70.3 | 16.7 | 17.1 | 10.3 |
| 2 | 0, 10, 15 | 177.9 | 19.7 | 29.9 | 70.4 | 77.7 | 18.9 | 18.7 | 11.1 |
| 3 | 0, 10, 20 + E | 168.0 | 19.5 | 28.7 | 67.9 | 71.3 | 17.6 | 17.6 | 10.2 |
| 4 | 0, 15, 15 | 177.7 | 19.5 | 29.0 | 72.9 | 75.8 | 17.8 | 17.8 | 10.7 |
| 5 | 0, 15, 20 + E | 174.3 | 19.7 | 29.6 | 68.9 | 75.7 | 18.1 | 18.2 | 10.1 |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | * |
| SEM | | 5.25 | 0.42 | 0.51 | 2.72 | 2.35 | 0.72 | 0.62 | 0.23 |
| Contrasts | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ** |
| 2 vs 4 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

* , P < 0.05; ** , P < 0.01; *** , P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX D

Effects of treatments on intestinal weights, and on intestinal weights to live weight of broilers (Experiment 1).

| Treatments | % WB | | Intestine | | Oesophagus | | Duodenum | | Jejunum | | Ileum | | Cecum 1 | | Cecum 2 | | Colon | | |
|----------------|---------------|-----|-----------|-------|------------|-------|----------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--|
| | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | (g) | (%) | |
| 1 | 0, 0, 0 | | 28.7 | 1.27 | 9.1 | 0.40 | 6.2 | 0.27 | 14.0 | 0.62 | 8.8 | 0.39 | 2.0 | 0.09 | 2.0 | 0.09 | 2.8 | 0.13 | |
| 2 | 0, 10, 15 | | 35.6 | 1.48 | 10.2 | 0.42 | 7.3 | 0.31 | 17.1 | 0.71 | 11.2 | 0.46 | 2.3 | 0.10 | 2.3 | 0.10 | 3.3 | 0.14 | |
| 3 | 0, 10, 20 + E | | 33.0 | 1.39 | 9.8 | 0.42 | 6.8 | 0.29 | 15.2 | 0.65 | 10.9 | 0.46 | 2.2 | 0.09 | 2.1 | 0.09 | 2.6 | 0.11 | |
| 4 | 0, 15, 15 | | 33.2 | 1.37 | 10.4 | 0.43 | 6.7 | 0.28 | 16.0 | 0.66 | 10.5 | 0.43 | 2.2 | 0.09 | 2.2 | 0.09 | 3.0 | 0.13 | |
| 5 | 0, 15, 20 + E | | 34.2 | 1.45 | 9.6 | 0.41 | 7.0 | 0.30 | 15.8 | 0.67 | 11.4 | 0.48 | 2.4 | 0.10 | 2.3 | 0.10 | 3.0 | 0.13 | |
| P | | | ** | NS | NS | NS | * | NS | * | NS | ** | * | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| SEM | | | 1.31 | 0.050 | 0.42 | 0.012 | 0.21 | 0.008 | 0.65 | 0.026 | 0.53 | 0.018 | 0.10 | 0.003 | 0.09 | 0.003 | 0.42 | 0.009 | |
| Contrasts | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C vs others | | | *** | NS | NS | NS | ** | NS | ** | NS | *** | ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| E (-) vs E (+) | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 2 vs 4 | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 3 vs 5 | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX E

Effects of treatments on intestinal weights by cm of broilers (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Intestine weight/cm | Duodenum weight/cm | Jejunum weight/cm | Proximal ileum weight/cm | Distal ileum weight/cm | Colon weight/cm | Cecum 1 weight/cm | Cecum 2 weight/cm |
|------------------|---------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| | S G F | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) |
| 1 | 0, 0, 0 | 0.178 | 0.200 | 0.173 | 0.120 | 0.111 | 0.248 | 0.126 | 0.118 |
| 2 | 0, 10, 15 | 0.200 | 0.190 | 0.180 | 0.135 | 0.115 | 0.241 | 0.120 | 0.121 |
| 3 | 0, 10, 20 + E | 0.196 | 0.221 | 0.196 | 0.163 | 0.136 | 0.288 | 0.125 | 0.120 |
| 4 | 0, 15, 15 | 0.186 | 0.208 | 0.195 | 0.140 | 0.123 | 0.256 | 0.125 | 0.123 |
| 5 | 0, 15, 20 + E | 0.196 | 0.213 | 0.195 | 0.155 | 0.135 | 0.288 | 0.131 | 0.123 |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.0059 | 0.0112 | 0.0121 | 0.0101 | 0.0078 | 0.0156 | 0.0036 | 0.0038 |
| Contrasts | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX F

Effects of treatments on weights of a 10 cm proximal or distal sections of the intestine (Experiment 1).

| Treatments | % WB | proximal duodenum weight | Proximal jejunum weight | proximal ileum weight | distal ileum weight | proximal cecum 1 weight | proximal cecum 2 weight | proximal colon weight |
|----------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | SGF | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) |
| 1 | 0, 0, 0 | 2.0 | 1.7 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 2.5 |
| 2 | 0, 10, 15 | 1.9 | 1.8 | 1.3 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 2.4 |
| 3 | 0, 10, 20 + E | 2.2 | 2.0 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 2.9 |
| 4 | 0, 15, 15 | 2.1 | 1.9 | 1.4 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 2.6 |
| 5 | 0, 15, 20 + E | 2.1 | 1.9 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 2.9 |
| P | | NS | NS | * | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.11 | 0.12 | 0.10 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.16 |
| Contrasts | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | * | NS | NS | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | NS | NS | * | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX G

Effect of treatments on weight of intestinal sections to total intestine weight (Experiment 1).

| Treatments | % WB | Relative duodenum weight (%) | Relative jejunum weight (%) | Relative ileum weight (%) | Relative proximal ileum weight (%) | Relative distal ileum weight (%) | Cecum 1 weight/cm (%) | Cecum 2 weight/cm (%) | Colon weight/cm (%) |
|------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | S G F | | | | | | | | |
| 1 | 0, 0, 0 | 22.0 | 48.9 | 30.8 | 4.2 | 3.9 | 7.2 | 7.0 | 10.1 |
| 2 | 0, 10, 15 | 20.6 | 48.0 | 31.4 | 3.8 | 3.2 | 6.5 | 6.4 | 9.3 |
| 3 | 0, 10, 20 + E | 20.7 | 46.2 | 33.1 | 5.0 | 4.2 | 6.7 | 6.5 | 7.9 |
| 4 | 0, 15, 15 | 20.1 | 48.2 | 31.6 | 4.2 | 3.7 | 6.7 | 6.6 | 9.1 |
| 5 | 0, 15, 20 + E | 20.4 | 46.3 | 33.3 | 4.5 | 4.0 | 7.0 | 6.7 | 8.9 |
| P | | NS | ** | NS | * | * | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.78 | 0.58 | 0.73 | 0.24 | 0.20 | 0.24 | 0.24 | 0.78 |
| Contrasts | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| E (-) vs E (+) | | NS | ** | NS | ** | ** | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX H

Effect of the control diet (0-7d) on performance of broilers (Experiment 2).

| Treatments | Feed efficiency ratio (g:g) | Feed intake (g) | Mean body weight (g) | Average daily gain (g/d) |
|------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.750 | 156 | 162 | 17 |
| 2 | 0.727 | 153 | 158 | 16 |
| 3 | 0.726 | 154 | 158 | 16 |
| 4 | 0.742 | 153 | 159 | 16 |
| 5 | 0.710 | 156 | 157 | 16 |
| P | NS | NS | NS | NS |
| SEM | 0.0156 | 3.23 | 37.66 | 0.37 |
| Contrasts | | | | |
| C vs Others | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 3 | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments

APPENDIX I

Effect of grower diet (7-21d) on performance of broilers (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Feed efficiency ratio | Biological feed efficiency ratio | Feed intake | Mean body weight | Average daily gain |
|------------------|------|-----------------------|----------------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| | G | (g:g) | (g:g) | (g) | (g) | (g/d) |
| 1 | 0 | 0.674 | 0.698 | 1006 | 845 | 48 |
| 2 | 10 | 0.671 | 0.698 | 1031 | 868 | 49 |
| 3 | 10 | 0.690 | 0.715 | 1006 | 862 | 50 |
| 4 | 20 | 0.657 | 0.690 | 1003 | 830 | 47 |
| 5 | 20 | 0.639 | 0.675 | 1022 | 832 | 47 |
| P | | *** | ** | NS | *** | *** |
| SEM | | 0.0064 | 0.0070 | 10.78 | 6.45 | 0.45 |
| Contrasts | | | | | | |
| C vs Others | | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | ** | NS | *** | *** |
| 10% vs 20% | | *** | NS | NS | *** | ** |
| Linear effect | | NS | NS | NS | NS | * |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; G or Grower;

APPENDIX J

Effects of treatments on intestinal length of broilers (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Intestine length (cm) | Oesophagus length (cm) | Duodenum length (cm) | Jejunum length (cm) | Ileum length (cm) | Cecum 1 length (cm) | Cecum 2 length (cm) | Colon length (cm) |
|------------------|-----------|-----------------------|------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 0, 0, 0 | 174.2 | 19.9 | 29.3 | 70.5 | 74.4 | 18.8 | 18.8 | 9.9 |
| 2 | 0, 10, 20 | 175.6 | 21.1 | 30.2 | 71.6 | 73.8 | 19.4 | 19.6 | 10.2 |
| 3 | 0, 10, 35 | 177.3 | 20.5 | 29.5 | 73.7 | 74.0 | 20.0 | 19.6 | 10.2 |
| 4 | 0, 20, 20 | 177.7 | 20.1 | 29.5 | 73.8 | 74.4 | 18.9 | 18.8 | 10.4 |
| 5 | 0, 20, 35 | 167.9 | 19.5 | 30.7 | 72.4 | 75.0 | 20.0 | 20.5 | 9.9 |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | * | NS |
| SEM | | 5.28 | 0.58 | 0.57 | 1.51 | 1.11 | 0.36 | 0.39 | 0.24 |
| Contrasts | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | * | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | ** | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX K

Effects of treatments on intestinal weights, and on intestinal weights to live weight of broilers (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Intestine | | Oesophagus | | Duodenum | | Jejunum | | Ileum | | Cecum 1 | | Cecum 2 | | Colon | |
|--------------|-----------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|--------|
| | | weight (g) | (%) |
| 1 | 0, 0, 0 | 26.5 | 1.09 | 8.64 | 0.36 | 5.6 | 0.26 | 12.3 | 0.58 | 8.6 | 0.78 | 2.0 | 0.78 | 2.0 | 0.10 | 2.5 | 0.005 |
| 2 | 0, 10, 20 | 29.4 | 1.17 | 9.10 | 0.36 | 6.2 | 0.26 | 13.9 | 0.59 | 9.4 | 0.77 | 2.3 | 0.78 | 2.3 | 0.12 | 2.9 | 0.005 |
| 3 | 0, 10, 35 | 29.8 | 1.20 | 8.50 | 0.34 | 6.3 | 0.29 | 14.1 | 0.64 | 9.3 | 0.80 | 2.0 | 0.79 | 2.1 | 0.10 | 2.3 | 0.005 |
| 4 | 0, 20, 20 | 28.5 | 1.15 | 9.30 | 0.37 | 6.0 | 0.29 | 13.5 | 0.66 | 9.0 | 0.77 | 2.1 | 0.76 | 2.1 | 0.12 | 2.9 | 0.005 |
| 5 | 0, 20, 35 | 29.1 | 1.13 | 8.60 | 0.34 | 6.1 | 0.27 | 13.6 | 0.60 | 9.3 | 0.78 | 2.1 | 0.80 | 2.2 | 0.11 | 2.8 | 0.005 |
| P | | NS | NS | NS | NS | * | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.90 | 0.033 | 0.244 | 0.009 | 0.16 | 0.010 | 0.57 | 0.029 | 0.31 | 0.018 | 0.09 | 0.015 | 0.09 | 0.004 | 0.21 | 0.0001 |
| Contrasts | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | NS | NS | ** | NS | NS | NS |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | NS |
| 4 vs 5 | | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX L

Effects of treatments on intestinal weights by cm (Experiment 2).

| Treatments | % WW | Intestine | Duodenum | Jejunum | Proximal | Distal ileum | Colon | Cecum 1 | Cecum 2 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | | weight/cm | weight/cm | weight/cm | ileum weight/cm | weight/cm | weight/cm | weight/cm | weight/cm |
| | S G F | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) | (g/cm) |
| 1 | 0, 0, 0 | 0.151 | 0.161 | 0.145 | 0.115 | 0.105 | 0.225 | 0.105 | 0.108 |
| 2 | 0, 10, 20 | 0.168 | 0.175 | 0.168 | 0.123 | 0.121 | 0.270 | 0.120 | 0.120 |
| 3 | 0, 10, 35 | 0.168 | 0.181 | 0.178 | 0.118 | 0.110 | 0.253 | 0.101 | 0.106 |
| 4 | 0, 20, 20 | 0.160 | 0.171 | 0.163 | 0.118 | 0.113 | 0.261 | 0.110 | 0.111 |
| 5 | 0, 20, 35 | 0.178 | 0.168 | 0.173 | 0.120 | 0.111 | 0.270 | 0.105 | 0.110 |
| P | | NS | NS | * | NS | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | 0.0110 | 0.0056 | 0.0067 | 0.0037 | 0.0049 | 0.0127 | 0.0047 | 0.0036 |
| Contrasts | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | ** | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 3 vs 4, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 4 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX M

Effect of treatments on weight of intestinal sections to total intestine weight (Experiment 2).

| Treatments | % WW | | | Relative duodenum weight | Relative jejunum weight | Relative ileum weight | Relative proximal ileum weight | Relative distal ileum weight | Cecum 1 weight/cm | Cecum 2 weight/cm | Colon weight/cm |
|------------------|------|----|----|--------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | S | G | F | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 21.1 | 46.3 | 32.1 | 4.32 | 3.98 | 7.5 | 7.80 | 9.65 |
| 2 | 0 | 10 | 20 | 21.0 | 47.0 | 32.0 | 4.15 | 4.12 | 7.8 | 7.90 | 9.98 |
| 3 | 0 | 10 | 35 | 21.3 | 47.5 | 31.3 | 4.06 | 3.71 | 7.0 | 7.15 | 9.15 |
| 4 | 0 | 20 | 20 | 21.1 | 47.3 | 31.6 | 4.17 | 3.94 | 7.3 | 7.42 | 10.14 |
| 5 | 0 | 20 | 35 | 21.2 | 46.7 | 32.1 | 4.14 | 3.78 | 7.3 | 7.74 | 9.65 |
| P | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| SEM | | | | 0.47 | 0.74 | 0.64 | 0.076 | 0.134 | 0.31 | 0.334 | 0.361 |
| Contrasts | | | | | | | | | | | |
| C vs others | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2, 4 vs 3, 5 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 2 vs 4 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| 3 vs 5 | | | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;

APPENDIX N

Effects of treatments on weights of a 10 cm proximal or distal sections of the intestine (Experiment 2).

| Treatments | % WW | SGF | | | | | proximal cecum 1 weight (g) | proximal cecum 2 weight (g) | proximal colon weight (g) |
|--------------|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| | | proximal duodenum weight (g) | proximal jejunum weight (g) | proximal ileum weight (g) | distal ileum weight (g) | proximal cecum 1 weight (g) | | | |
| 1 | 0, 0, 0 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | |
| 2 | 0, 10, 20 | 1.7 | 1.7 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | |
| 3 | 0, 10, 35 | 1.8 | 1.8 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | |
| 4 | 0, 20, 20 | 1.7 | 1.6 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | |
| 5 | 0, 20, 35 | 1.7 | 1.7 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | |
| P | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| SEM | | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.13 | |
| Contrasts | | | | | | | | | |
| C vs others | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 2, 4 vs 3, 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 2 vs 4 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |
| 3 vs 5 | | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | |

*, P < 0.05; **, P < 0.01; ***, P < 0.001; NS, P > 0.05; C or Control; Others or Other treatments; S or Starter; G or Grower; F or Finisher;