

LA SUPPLEMENTATION DE BIOFACTEURS PROTEGES SUR DES PERFORMANCES DES POULETS DE CHAIR SOUMIS A UN STRESS PRECOCE

L. Lahaye¹, C. Bortoluzzi¹, F. Perry², A. Cottin-Tillon³, S. Benaben³, E. Landeau³, R. Arsenault², D. Korver⁴, M. Kogut⁵ et E. Santin¹

¹Jefo Nutrition, 5020 avenue Jefo, St Hyacinthe, QC, J2S7B6, Canada

²Department of Animal and Food Sciences, University of Delaware, DE, USA

³Jefo Europe, 2 rue Claude Chappe, 44481 Carquefou, France

⁴University of Alberta, Edmonton, AB, Canada

⁵USDA-ARS, Southern Plains Agricultural Research Center, College Station, TX, USA
sbenaben@jefo.ca

RÉSUMÉ

Les stress en début de vie peuvent avoir des effets négatifs sur les performances et la santé des poulets. Limiter l'impact de ces stress par une nutrition adaptée pourrait ainsi être bénéfique. L'objectif de cette étude était d'évaluer la supplémentation alimentaire d'un complexe de biofacteurs protégés (vitamines et extraits de fermentation) sur les performances de poulets de chair soumis à des facteurs de stress en début de vie. L'essai s'est déroulé au Centre d'Innovation et de Recherche en Alimentation Animale de Jefo (St-Hyacinthe, Canada) sur une durée de 35 jours. 720 poussins mâles d'un jour (Ross 308) ont été répartis en 2 traitements alimentaires avec 12 répétitions de 30 oiseaux par traitement. Les traitements consistaient en une supplémentation ou non entre 1 et 14 jours d'un complexe de biofacteurs protégés à raison de 150g/tonne d'aliment. De surcroît, tous les poussins étaient soumis à deux stress, un stress vaccinal par double vaccination contre le virus de la bronchite infectieuse administrée au couvoir, et un stress thermique au jour 3 avec une exposition de 48 heures à 20-23°C. Les consommations et les poids ont été relevés toutes les semaines. Des échantillons de poumon et de foie ont été prélevés aux jours 7 et 15 pour mesurer l'expression de gènes de marqueurs de l'inflammation et du sérum au jour 15 pour établir le statut antioxydant et la réponse immunitaire. Les données ont été soumises à une ANOVA. La supplémentation a amélioré significativement le gain de poids (+3,8%) et l'indice de consommation (-1,2%) sur la période 1-21 jours. Cet effet se confirme sur la période totale avec une augmentation significative du gain de poids (+4.1%) et une tendance à la diminution de l'indice de consommation (-2,3%). L'expression des gènes codant pour des marqueurs de l'inflammation, la réponse immunitaire à la vaccination et le statut antioxydant des poulets sont également significativement modifiés pendant et/ou consécutivement à la période de supplémentation. Cet essai démontre un effet positif d'une supplémentation précoce en biofacteurs protégés tant sur les performances de croissance que sur la santé de poulets soumis à des stress en début de vie.

ABSTRACT

A protected complex of biofactors and antioxidants improved growth performance and modulated the immunometabolic phenotype of broiler chickens undergoing early life stress

Early life stresses can have negative effects on the performance and health of chickens. Limiting the impact of these stresses through appropriate nutrition could thus be beneficial. The objective of this study was to evaluate the dietary supplementation of a complex of protected biofactors (vitamins and fermentation extracts) on the performance of broilers subjected to early life stress factors. The trial took place at Jefo Animal Feed Research and Innovation Center (St-Hyacinthe, Canada) over a period of 35 days. 720 male day-old chicks (Ross 308) were distributed into 2 groups with 12 replicates of 30 birds per group. The treatments consisted of supplementation or not between 1 and 14 days of a complex of protected biofactors at 150g/tonne of feed. In addition, all the chicks were subjected to two stresses, a vaccinal stress with a double vaccination against the infectious bronchitis virus administered at the hatchery, and a heat stress on day 3 with an exposure of 48 hours at 20-23 °C. Feed intake and weights were recorded every week. Lung and liver samples were taken on days 7 and 15 to measure inflammation gene expression and serum on day 15 to establish antioxidant status and immune response. Data were submitted to ANOVA. The supplementation significantly improved weight gain (+ 3.8%) and feed consumption index (-1.2%) over the period 1-21 days. This effect is confirmed over the entire period with a significant increase in weight gain (+ 4.1%) and a tendency to decrease feed consumption index (-2.3%). The expression of genes encoding for markers of inflammation, the immune response to vaccination and the antioxidant status of chickens were also significantly altered during and / or subsequently to the supplementation period. This trial demonstrates a positive effect of early supplementation with protected biofactors both on growth performance and on the health of chickens subjected to early life stress.

INTRODUCTION

Les stress de début de vie comme le stress thermique peuvent avoir des impacts négatifs sur les performances des poulets de chair (Su et al., 2020) mais aussi sur le développement du système immunitaire (Zhang et al., 2011 ; Zhao et al., 2013). Le stress dû au froid peut augmenter la sensibilité aux maladies respiratoires telles que la bronchite infectieuse aviaire (BI) qui affecte les voies respiratoires supérieures des poulets. Un déséquilibre entre les systèmes pro et antioxydant du corps est susceptible d'endommager les composants cellulaires (Estévez, 2015), y compris les cellules immunitaires, et ainsi altérer le fonctionnement de la réponse immunitaire. La supplémentation alimentaire en antioxydants, tels que la vitamine E et d'autres biofacteurs tels que des métabolites d'hydrolysats de cellules de levure, peut améliorer les performances de croissance et protéger les cellules des radicaux libres (Ghazi Harsini et al., 2012) qui sont générés naturellement en raison de la réponse immunitaire, ou exacerbés dans des situations de stress. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact d'une supplémentation alimentaire en biofacteurs protégés (vitamines et extraits de fermentation) P(BF) sur les performances de croissance, l'activité antioxydante, l'expression de gènes liés au système immunitaire et le phénotype immunométabolique du jéjunum et du foie de poulets de chair soumis à un stress précoce.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'expérience menée à la station expérimentale de Jefe Nutrition Inc. (St-Hyacinthe, Qc, Canada) sur 720 poulets mâles Ross 308 âgés d'un jour, vaccinés contre la maladie de Marek (HVT) consistait en un design aléatoire complet avec deux traitements : un aliment supplémenté ou non de 150 mg/kg de biofacteurs protégés P(BF) constitué d'un mélange de vitamines (incluant vitamines A, D3, E, K3, B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9, B12) et d'extraits de fermentation (des genres *Bacillus* et *Aspergillus*) microencapsulés dans une matrice d'huile végétale hydrogénée (Jefe Nutrition Inc., St-Hyacinthe, Qc, Canada) distribué pendant les 14 premiers jours d'âge d'un programme d'alimentation (farine sur base maïs-soja) divisé en deux phases : démarrage (0-14) et croissance (14-35 jours). Tous les oiseaux étaient nourris par la suite avec le régime non supplémenté entre 14 et 35 jours d'âge. Chaque traitement comprenait 12 enclos répétés avec 30 oiseaux chacun.

1.2. Challenges

À j0, les oiseaux ont reçu au couvoir une double dose de vaccin vivant contre la bronchite infectieuse (MILDVAC-Ma5) par pulvérisation. De plus, à j3, tous les poulets ont été soumis à une réduction de la température ambiante de 32°C à 20°C (12°C sous la température de thermoneutralité) pendant 48 h.

1.3. Données collectées

Performances de croissance

Le poids corporel (PC) et la consommation alimentaire (CA) par enclos ont été enregistrés hebdomadairement pour le calcul de gain de poids corporel (GPC) et de l'indice de consommation (IC).

Échantillons

À j7 et j15, un oiseau par enclos a été sélectionné au hasard, euthanasié par dislocation cervicale et des échantillons de sérum, de foie, de poumon, de jéjunum et d'iléon ont été prélevés afin d'évaluer le statut antioxydant et l'expression des gènes liés au système immunitaire. Le jéjunum et le foie des oiseaux à j15 ont été soumis à l'analyse des kinases.

Marqueurs de stress oxydatif

Les échantillons de sérum à j7 et j15 ont été analysés pour les biomarqueurs de stress oxydatif, malondialdéhyde (MDA), les activités de la glutathione peroxydase (GPx) et de la glutathione réductase (GR) par kits de dosage colorimétrique (Cayman Chemicals, Ann Arbor, MI). La GR n'a été analysée qu'à j15 par manque de sérum obtenu à j7.

Expression génique

Les poumons, le foie, le jéjunum et l'iléon ont été évalués pour l'expression de gènes liés au système immunitaire selon Kogut et Arsenault (2015). Le tissu pulmonaire a été analysé pour l'expression des gènes IL-10, IL-1 β et IFN- γ . Le foie, le jéjunum et l'iléon ont été testés pour les gènes IL-6 et IL-10.

Analyse du Kinome

Les tissus collectés ont été immédiatement congelés dans de l'azote liquide pour préserver l'activité enzymatique de la kinase et stockés à -80°C. Le kinome (peptide array) a été réalisé comme décrit par Arsenault et al. (2017).

Analyse Statistique

Les performances de croissance, l'expression des gènes et l'activité antioxydante ont été soumises à une ANOVA (SAS 9.4). Les données non paramétriques ont été soumises au test de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$) et les tendances indiquées lorsque $P < 0,10$. L'analyse du kinome, a été effectuée selon Johnson et al. (2019). Les données ont été analysées par le logiciel d'analyse de matrice de peptides PIKA2 (Trost et al. 2013).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances de croissance

De j0 à j14, aucun effet significatif n'a été observé sur les performances de croissance (tableau 1) hormis une tendance à l'amélioration de l'IC à j7 ($P=0,10$) et à une augmentation du GPC à j14 ($P=0,06$) chez les oiseaux nourris avec P(BF). De 0 à 21j et de 0 à 28j, la supplémentation en P(BF) a significativement augmenté le GPC ($P<0,05$) de 3,6 et 3,8 %, et amélioré l'IC ($P<0,05$) de 1,2 et 1,8 %, respectivement. Sur la période 0 à 35j, la supplémentation a amélioré le GPC ($P=0,03$) de 4 % et l'IC de 2 % ($P=0,07$). La supplémentation en P(BF) a permis d'améliorer les performances de croissance des poulets soumis à des stress de début de vie. La supplémentation a été fournie de j1 à j14 seulement, lorsque les oiseaux peuvent être plus sensibles aux facteurs de stress et que le système immunitaire peut ne pas être complètement mature (Klasing, 2007). Par conséquent, une période de supplémentation plus longue pourrait être encore plus bénéfique, en particulier lors de challenges plus tardifs. Du point de vue de l'industrie, les performances de croissance sont les principaux indicateurs pour qualifier une supplémentation nutritionnelle. En condition d'essai, les performances de croissance ne reflètent pas systématiquement la réalité de la production où les challenges peuvent être plus nombreux et/ou aigus. Le processus de prise de décision pourrait donc être complété par le soutien d'autres paramètres comme l'immunométabolisme qui représente l'interaction entre immunité et métabolisme. Dans la présente étude, la supplémentation en P(BF) a positivement influé sur les performances de croissance des oiseaux à j21, j28 et j35, mais également sur les défenses antioxydantes et sur l'expression des gènes du système immunitaire. L'immunométabolisme, est une approche de recherche récente qui peut être envisagée sous différents angles : l'effet de l'immunité sur l'ensemble du métabolisme de l'organisme ou le rôle des voies métaboliques sur l'immunité de l'hôte (Arsenault et Kogut, 2013). Bien qu'intéressant pour l'évaluation du mécanisme d'action de nouveaux additifs alimentaires, il existe peu d'études utilisant ce concept (Arsenault et al., 2017 ; Johnson et al., 2019).

2.2. Expression génique et stress oxydatif

Les concentrations sériques de MDA, GPx et GR sont présentées dans le tableau 2. Il n'y avait pas de différence entre les traitements à j7 ou j15 pour l'activité MDA et GPx. L'activité GR à j15 était plus élevée chez les oiseaux nourris avec P(BF) ($P=0,04$). L'expression des gènes liés au système immunitaire est présentée dans le tableau 3. Par rapport aux oiseaux nourris avec un régime témoin, les poulets supplémentés en P(BF) présentaient une expression plus faible de l'IL-1 β dans les poumons à j7, et une expression de l'ARNm de l'IL-6 plus élevée de 26 et 18% dans le foie à j7 et j15, respectivement. Les oiseaux ont été doublement vaccinés contre la BI et exposés à 48 h de stress thermique par le froid. Les

facteurs de stress conduisent à l'activation de facteurs de transcription, tels que NF-kB, qui favorisent à terme l'expression de cytokines pro-inflammatoires (Banerjee et al., 2020), dont l'IL-1 β . Par conséquent, l'expression plus faible de l'IL-1 β dans les poumons des oiseaux supplémentés en P(BF) à j7 peut indiquer une réponse inflammatoire réduite. De plus, l'expression d'IL-6 plus élevée avec P(BF) peut aller de pair avec un effet métabolique important en plus de ses effets de médiation immunitaire, car il a été démontré que l'IL-6 pouvait agir sur l'élimination du glucose, la lipolyse, le métabolisme oxydatif et la dépense énergétique (Han et al., 2020). Ces données d'expression génique sont par ailleurs en accord avec l'analyse du kinome réalisée dans le jéjunum et le foie, dans laquelle la phosphorylation et la fonction de plusieurs protéines, liées aux défenses immunitaires et antioxydantes, a été modifiée par la supplémentation.

2.2. Analyse du kinome

Les résultats de l'analyse du kinome dans le jéjunum et le foie ont montré que le traitement avait un effet significatif sur la résistance au stress oxydatif. L'analyse des tissus du jéjunum et du foie à j15 met en évidence la voie de signalisation de la protéine Forkhead box O (FOXO) par l'état de phosphorylation de ses protéines en amont et en aval (tableau 4). La phosphorylation est un mécanisme important de modification post-traductionnelle régulant la fonction des protéines et les processus biologiques (Manning et al., 2002). L'analyse du kinome peut ainsi nous aider à mieux expliquer l'amélioration des performances de croissance observée chez les animaux soumis à un stress précoce ainsi que les observations faites sur l'activité de la GR et les changements dans l'expression des gènes obtenus par la supplémentation en P(BF). En effet, FOXO est une voie de signalisation immunométabolique et inflammatoire double avec une action sur le stress oxydatif et la résistance au stress oxydatif (Akasaki et al., 2014 ; Sundaresan et Puthanveetil, 2017). Sous stress oxydatif, FOXO a des effets anti-inflammatoires en favorisant la détoxification des radicaux libres (RL), l'apoptose (ASK-1, AP-1) et en diminuant l'activation des cytokines pro-inflammatoires. Nous avons aussi observé une diminution de la phosphorylation des protéines immunorégulatrices ou pro-inflammatoires. La phosphorylation de la catalase sur ses sites de phosphorylation Y231 et Y386 favorise l'ubiquitination et l'activité protéasomique (Cao et al., 2003). Par conséquent, la réduction de la phosphorylation de la catalase sur ces sites telle qu'observée dans cette étude indique une préservation de l'enzyme et une meilleure garantie de son activité dans le tissu. La littérature montre également que GPx et GR sont tout aussi importantes dans la détoxification des RL (Yang et al., 2006). Les résultats observés ici sur le stress oxydatif indiquent une activité accrue de la GR et corroborent ainsi la

relation avec la signalisation FOXO pendant le stress oxydatif. Une illustration supplémentaire indiquant une réponse active et une amélioration de la résistance au stress oxydatif est observée par l'activation de la sénescence cellulaire qui peut également être induite via le stress oxydatif et la signalisation TGF β (Hubackova et al., 2012). Les résultats hépatiques ont montré plus de voies immunorégulatrices innées et l'analyse a montré que le statut de phosphorylation des protéines STAT3, IL12-R, IL-23R et TIRAP indiquait moins d'activation que chez les poulets de chair témoins (non supplémentés). Ces résultats ainsi que l'augmentation de l'expression de l'IL-10 (tableau 3) et la phosphorylation des récepteurs IL-6R et TGF- β sur leurs sites actifs peuvent être une indication d'une inflammation réduite ou d'une réponse anti-inflammatoire. Semblable aux échantillons de foie prélevés à j15, les résultats de l'analyse du kinome du jéjunum ont montré une diminution de la phosphorylation associée à une diminution de l'activation de TIRAP, IL-12R et NF- κ B (tableau 4). Les protéines en amont et en aval de FOXO comme NF- κ B, P38, NFAT, STAT3 et AP-1 se trouvent dans la voie de signalisation des récepteurs des cellules T pour le foie à j15. Ces protéines sont liées à l'expression accrue du marqueur anti-inflammatoire IL-10 (Hermann-Kleiter et Baier, 2010 ; Sanin et al., 2015). Le jéjunum montre également une phosphorylation accrue du duo anti-inflammatoire IL-6R et récepteur TGF- β (tableau 4) mais aussi une activation par phosphorylation des facteurs pro-

inflammatoires RAG et STAT3 illustrant une réponse immunomodulatrice plus complexe dans le jéjunum que dans le foie. D'autres signalisations cellulaires importantes ont par ailleurs été observées et comprenaient la signalisation des adipocytokines et des chimiokines pour le foie, tandis que la sénescence cellulaire et la signalisation de la relaxine ont également été observées pour le jéjunum. La supplémentation en P(BF) a permis, dans les conditions de cette étude, d'améliorer les performances de croissance des poulets de chair soumis à un stress précoce. Il sera intéressant de continuer l'analyse de ces avantages sous des angles complémentaires et en variant les conditions d'expérimentation (de stress, de type d'aliments, de système de production, etc.) afin d'explorer le plein potentiel de cette supplémentation.

CONCLUSION

La supplémentation en P(BF) a amélioré les performances de croissance des poulets de chair soumis à un stress précoce. Les analyses de l'expression génique et les résultats du statut antioxydant appuyés par les données de l'analyse du kinome démontrent que cette nouvelle supplémentation module de façon favorable les systèmes de défense immunitaire et antioxydant des oiseaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akasaki, Y., O. Alvarez-Garcia, M. Saito, B. Caramés, Y. Iwamoto, and M. K. Lotz. 2014. *Arthritis Rheumatol.* 66:3349–3358.
- Arsenault, R., and M. Kogut. 2013. *Curr. Top. Biotechnol.* 7:79–89.
- Arsenault, R. J., J. T. Lee, R. Latham, B. Carter, and M. H. Kogut. 2017. *Poult. Sci.* 96:4307–4316.
- Banerjee, S., S. Ghosh, A. Mandal, N. Ghosh, and P. C. Sil. 2020. *Arch. Toxicol.* 94:2293–2317.
- Cao, C., Y. Leng, X. Liu, Y. Yi, P. Li, and D. Kufe. 2003. *Biochem.* 42:10348–10353.
- Estévez, M. 2015. *Poult. Sci.* 94:1368–1378.
- Ghazi Harsini, S., M. Habibiyan, M. M. Moeini, and A. R. Abdolmohammadi. 2012. *Biol. Trace Elem. Res.* 148:322–330.
- Han, M. S., A. White, R. J. Perry, J.-P. Camporez, J. Hidalgo, G. I. Shulman, and R. J. Davis. 2020. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 117:2751–2760.
- Hermann-Kleiter, N., and G. Baier. 2010. *Blood.* 115:2989–2997.
- Hornbeck, P. V., B. Zhang, B. Murray, J. M. Kornhauser, V. Latham and E. Skrzypek. 2015. *Nucleic Acids Res* 43:D512–D520.
- Hubackova, S., K. Krejčíková, J. Bartek, and Z. Hodny. 2012. *Aging.* 4:932–951.
- Johnson, C. N., M. H. Kogut, K. Genovese, H. He, S. Kazemi, and R. J. Arsenault. 2019. *Microorganisms* 7.
- Klasing, K. A. 2007. *Br. Poult. Sci.* 48: 525–537.
- Kogut, M. H., and R. J. Arsenault. 2015. *Front. Vet. Sci.* 2.
- Manning, G., D. B. Whyte, R. Martinez, T. Hunter, and S. Sudarsanam. 2002. *Sci.* 298:1912–1934.
- Sanin, D. E., C. T. Prendergast, and A. P. Mountford. 2015. *J. Immunol.* 195:1218–1232.
- Su, Y., S. Li, H. Xin, J. Li, X. Li, R. Zhang, J. Li, and J. Bao. 2020. *Poult. Sci.* 99:129–141.
- Sundaresan, S., and P. Puthanveetil. 2017. *Am. J. Cell Physiol.* 313:C239–C241.
- Yang, M. S., H. W. Chan, and L. C. Yu. 2006. *Toxicol.* 226:126–130.
- Zhang, Z. W., Z. H. Lv, J. L. Li, S. Li, S. W. Xu, and X. L. Wang. 2011. *Poult. Sci.* 90:1555–1561.
- Zhao, F., Z. Zhang, H. Yao, L. Wang, T. Liu, X. Yu, S. Li, and S.-W. Xu. 2013. *Res. Vet. Sci.* 95:146–155.

Tableau 1. Performances de croissance de poulets de chair soumis à un stress précoce et nourris d'un aliment témoin ou supplémenté avec un complexe protégé de biofacteurs.

	GPC, g	CA, g	IC	GPC, g	CA, g	IC	GPC, g	CA, g	IC
Traitement	0 à 7 j			0 à 14 j			0 à 21 j		
Témoin	92	118	1.266	345 ^x	456	1.322	770 ^b	1069	1.389 ^a
P(BF) ¹	95	117	1.229	359 ^y	469	1.306	799 ^a	1096	1.372 ^b
SEM	1.39	0.84	0.01	4.14	3.79	0.01	8.02	8.04	0.01
Valeur P	0.13	0.55	0.10	0.06	0.68	0.25	0.03	0.74	0.02
Traitement	0 à 28 j			0 à 35 j			Taux de survie, %		
Témoin	1367 ^b	2042	1.545 ^a	2051 ^b	3281	1.686 ^x	98		
P(BF) ¹	1422 ^a	2107	1.516 ^b	2136 ^a	3390	1.647 ^y	97		
SEM	13.03	16.50	0.01	22.74	27.65	0.01	0.01		
Valeur P	0.01	0.81	0.01	0.03	0.35	0.07	0.25		

¹Complexe protégé de biofacteurs; GPC: Gain de Poids Corporel; CA: Consommation Alimentaire; IC: Indice de Consommation; SEM: Err. Type de la moyenne; (^{a,b}P<0.05; ^{x,y}P<0.10; n=12 enclos (30 ani.)/trt).

Tableau 2. Malondialdéhyde, glutathione peroxidase, et glutathione reductase dans le serum de poulets de chair soumis à un stress précoce et nourris d'un aliment témoin ou supplémenté avec complexe protégé de biofacteurs.

Traitement	MDA (µM)		Gpx nmol/min/ml		GR nmol/min/ml
	7 jours	15 jours	7 jours	15 jours	15 jours
Témoin	21.7	25.0	18.5	18.5	34.9 ^b
P(BF) ¹	23.3	23.4	17.5	19.4	45.3 ^a
SEM	1.80	1.14	1.13	1.11	2.72
Valeur P	0.56	0.38	0.55	0.69	0.04

¹Complexe protégé de biofacteurs; MDA: Malondialdéhyde; Gpx: glutathione peroxidase; GR: glutathione reductase SEM: Erreur type de la moyenne (^{a,b} P < 0.05 ; n = 6 échantillons/traitement).

Tableau 3. Expression d'ARNm de cytokines dans les poumons, jejunum, ileon et foie de poulets de chair soumis à un stress précoce, nourris d'un aliment témoin ou supplémenté avec complexe protégé de biofacteurs.

Traitement	Poumons			Jejunum		Ileon		Foie	
	IL-10	IL-1β	IFN- γ	IL-6	IL-10	IL-6	IL-10	IL-6	IL-10
Jour 7									
Témoin	9.82	10.50 ^a	8.63	10.19	8.95	9.59	7.43	8.24 ^y	8.15 ^x
P(BF) ¹	9.17	9.04 ^b	8.07	9.04	8.30	9.12	6.43	11.09 ^y	5.88 ^y
SEM	0.45	0.48	0.47	0.59	0.48	0.40	0.45	0.85	0.66
Valeur P	0.35	0.03	0.45	0.20	0.38	0.45	0.14	0.06	0.06
Jour 15									
Témoin	9.77	10.77	13.28	10.53	9.54	8.27 ^x	9.62	9.87 ^b	7.82 ^b
P(BF) ¹	9.50	10.37	13.46	9.09	8.17	9.30 ^y	9.00	12.03 ^a	9.39 ^a
SEM	0.25	0.61	0.36	0.93	0.55	0.38	0.37	0.60	0.79
Valeur P	0.51	0.68	0.74	0.32	0.10	0.06	0.33	0.02	0.03

¹Complexe protégé de biofacteurs ; SEM: Erreur type de la moyenne (^{a,b}P < 0.05 ; ^{x,y}P<0.10 ; n = 6 éch./trt).

Tableau 4. État de phosphorylation de protéines de la voie de signalisation FOXO dans le jejunum et foie de poulets de 15 jours après un stress précoce, nourris d'aliment témoin ou supplémenté avec complexe protégé de biofacteurs.

Identification	Proteine	Phosphorylation	Fonction	Phosphorylation	Fonction
		Jejunum		Foie	
P36897	TGF-B receptor	+	+	+	+
P04040	Catalase (Y231)	-	+	-	+
O95644	NFAT	+	+		
Q60591	NFAT			+	+
P05412	AP-1	+	+	+	+
P46108	P38	-	+	-	+
Q00653	NF-kB	-	Altérée	-	Altérée
P40189	IL-6R	+	Altérée	+	Altérée
P29460	IL-12	-	Inconnue	-	Inconnue
Q5VWK5	IL-23			+	Inconnue
P58753	TIRAP	-	+	-	+
P40763	STAT3	+	+	-	+