



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

**REVUE AGRICULTURE**

Revue home page: <http://revue-agro.univ-setif.dz/>



## Prebiotics in poultry nutrition: Importance and effects on growth performance and gut health

### Les prébiotiques en nutrition avicole : Importance et effets sur les performances zootechniques et la santé gastro-intestinale

Ameni Askri<sup>1a\*</sup>, Aziza Raach-Moujahed<sup>1b</sup>, Hajer Debbabi<sup>1a</sup>

<sup>1a</sup>Université de Carthage, Institut National Agronomique de Tunisie, Département des Industries agroalimentaires, UR17GR01 PATIO : Valorisation du patrimoine naturel et agroalimentaire tunisien par l'innovation ; <sup>1b</sup>Université de Carthage, Institut National Agronomique de Tunisie, Département des Ressources Animales, 43 Av. Charles Nicolle, Tunis 1082, Tunisie

[\\*askria.ing@gmail.com](mailto:*askria.ing@gmail.com)

#### ARTICLE INFO

Article :

Reçu le : 03/04/2020

Accepté le : 03/07/2020

**Mots clés :** *Prébiotiques, microbiote intestinal, paramètres de croissance, nutrition avicole*

**Keywords:** Prebiotics, intestinal microbiota, growth parameters, poultry nutrition

#### RESUME

L'intensification de l'élevage avicole a conduit à une amélioration de la productivité, au dépend de la mortalité et de la santé animale. Face à ces deux handicaps, l'utilisation d'additifs alimentaires est devenue une nécessité afin de maintenir un niveau satisfaisant de production et améliorer la santé intestinale. Depuis le bannissement des antibiotiques comme facteurs de croissance, l'utilisation des prébiotiques en tant qu'alternatives possibles connaît un développement important. Le microbiote intestinal équilibré et sain peut avoir des impacts positifs sur la croissance et également sur le système immunitaire des volailles tout en réduisant l'invasion des agents pathogènes et le développement des maladies. La présente revue se propose de discuter les modes d'action des prébiotiques, tels l'exclusion compétitive (EC) et les propriétés antibactériennes, en particulier chez les volailles. Les différents effets des prébiotiques sur le microbiote intestinal et les paramètres zootechniques sont décrits. L'alimentation *in ovo* de prébiotiques à effet prometteur sur les performances de croissance et la réduction des agents pathogènes, est également discutée dans cette revue.

#### ABSTRACT

The intensification of poultry farming has led to an improvement in productivity, at the expense of mortality and animal health. Faced the two handicaps and to maintain a satisfactory level of production and improve gut health, the use of feed additives has become a necessity. Due to the ban on antibiotic growth promoters (AGPs), the use of prebiotics as possible alternatives in animal husbandry has been very much developed. Improving microbiota gut health can have a positive impact on the growth and development of both body weight and the immune system of poultry while reducing pathogen invasion and disease. The review discusses the mode of action of prebiotics, such as competitive exclusion (CE) and antibacterial properties, particularly in poultry. The different effects of prebiotics on gut microbiota and zootechnical parameters are described. *In ovo* feeding of prebiotics with promising effect on growth performance and reduction of pathogens is also discussed in this review.

## 1. INTRODUCTION

Dans l'optique d'améliorer la productivité avicole, l'alimentation peut être enrichie par des additifs alimentaires. Depuis les années 1960, les antibiotiques ont été largement utilisés comme facteurs de croissance (AGPs) dans le but de promouvoir les performances des volailles (Chattopadhyay, 2014). Cette utilisation a connu un déclin notable suite à l'apparition récurrente des effets indésirables et de sérieux soucis de santé notamment l'apparition des réactions allergiques chez le consommateur et le développement des souches bactériennes résistantes (Kummerer, 2009 ; Forgetta et al., 2012 ; Furtula et al., 2013). A ce stade les antibiotiques ne sont plus recommandés ce qui conduit les autorités à restreindre ou à interdire leur utilisation (Castanon, 2007). Le bannissement des antibiotiques a entraîné de mauvais impacts particulièrement sur le microbiote intestinal et par conséquent a eu des répercussions négatives sur les performances des volailles. Face à cette situation, les industriels de l'alimentation animale se sont alors efforcés de chercher des alternatives à ces molécules pour tenter de rééquilibrer l'écosystème intestinal (Alleman et al., 2013 ; Diarra and Malouin, 2014). Parmi celles envisagées, l'utilisation des prébiotiques est l'une des plus prometteuses (Huyghebaert et al., 2011). Des études ont établi que les prébiotiques peuvent efficacement contribuer à améliorer la santé digestive de l'animal, notamment à la protection contre plusieurs bactéries délétères pour les volailles et à l'équilibre de l'écosystème caecal (Askri et al., 2018). D'autres chercheurs ont montré que l'inclusion des prébiotiques en alimentation avicole conduit aux meilleures performances de croissance (Mathlouthi et al., 2012 ; Sarangi et al., 2017 ; Askri et al., 2020). Cette synthèse présente l'état actuel des connaissances sur l'utilisation des prébiotiques en nutrition avicole. Dans une première partie, les modes d'action des prébiotiques tels que l'exclusion compétitive (EC) et les propriétés antibactériennes sont présentés. Dans une deuxième partie, les effets de l'ajout des prébiotiques sur l'écosystème microbien et leurs conséquences sur les performances zootechniques sont décrits. En outre, une nouvelle méthode consistant en l'injection *in ovo* de prébiotiques devenant une tendance dans l'élevage avicole, est exposée (Bednarczyk et al., 2016 ; Tavaniello et al., 2018).

## 2. DEFINITION

La définition de prébiotiques s'avère d'une importance grandissante non seulement pour la communauté scientifique mais également pour les agences de régulation, l'industrie alimentaire, les consommateurs et les professionnels de la santé (Hutkins et al., 2016). La première définition remonte à 1995 proposée par Gibson et Roberfroid pour désigner des composants annexes de l'alimentation, non digestibles par les enzymes du tractus digestif, ayant une action bénéfique sur l'hôte en stimulant de façon sélective la croissance et/ou l'activité d'une ou d'un nombre limité de certaines bactéries probiotiques.

Considérant l'importance des prébiotiques sur la santé humaine en général, l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture a constitué un comité technique afin de redéfinir les prébiotiques en tant que « composant alimentaire non-viable qui confère des avantages pour la santé de l'hôte associé à la modulation du microbiote » (FAO, 2008). Gibson et al. (2010) ont donné une nouvelle définition : « un ingrédient, dont la fermentation de façon sélective entraîne des changements spécifiques de la composition et/ou de l'activité du microbiote gastro-intestinal, dont en résultent des bénéfices pour la santé de l'hôte ». Pour qu'un ingrédient alimentaire puisse porter l'appellation de « prébiotique », il doit répondre à ces critères : (1) le substrat ne doit pas être hydrolysé par les enzymes gastrointestinales de l'hôte; (2) le substrat ne doit pas être absorbé directement par les cellules dans le tractus gastro-intestinal; (3) le substrat doit enrichir sélectivement un ou un nombre limité des bactéries commensales bénéfiques; (4) le substrat doit modifier le microbiote intestinal et son activité; et (5) le substrat doit améliorer l'immunité luminal et systémique contre l'invasion des bactéries pathogènes (Gaggia et al., 2010).

Le concept de prébiotiques a été rediscuté et la condition de « spécificité », les approches moléculaires modernes ont révélé que ces derniers ne sont pas aussi spécifiques et sélectifs que précédemment supposé. Ils ne sont pas confinés à un changement sélectif dans la composition et l'activité du microbiote.

Une nouvelle définition a donc été proposée par Bindels et al. (2015) pour désigner « un composé non-digestible qui, via sa métabolisation par les microorganismes de l'intestin, module la composition et/ou l'activité du microbiote intestinal, conférant ainsi un effet physiologique bénéfique sur l'hôte ». Ils sont en outre ajoutés depuis quelques années par l'industrie alimentaire à certains aliments, à différents produits lactés ou à des barres de céréales (functional foods). En outre, des aliments pour nourrissons sont partiellement enrichis depuis peu avec des prébiotiques (Le Bourgot, 2016).

### 3. PRINCIPAUX PREBIOTIQUES

Les prébiotiques présentent un important réservoir en glucides, et existent naturellement dans différents produits d'origine végétale, comme dans certains légumes (le poireau, l'oignon, l'ail, l'artichaut de Jérusalem, la chicorée, les asperges, la betterave sucrière, les pois, les haricots), fruits (la banane, la tomate) et céréales (le seigle, le blé, l'orge, le soja), ainsi que dans des produits d'origine animale (le miel, le lait maternel et de vache) et récemment, dans les algues et les microalgues (Varzakas et al., 2018).

La plupart des prébiotiques identifiés sont des glucides, notamment des oligosaccharides avec différentes structures moléculaires qui se produisent habituellement chez l'homme et l'animal ; les glucides alimentaires tels que les fibres, sont des candidats prébiotiques, mais le plus prometteur sont des oligosaccharides non digestibles (OND). Les prébiotiques sont pour la plupart des OND : ces derniers comprennent les mannan-oligosaccharides (MOS), les fructo-oligosaccharides (FOS), les galacto-oligosaccharides (GOS), l'inuline, les isomaltooligosaccharides (IMO) et les xylooligosaccharides (Ferreira et al., 2011 ; Gibson et al., 2017).

Les MOS sont des oligomères à base de mannose, liés entre eux par des liaisons  $\beta$ -(1,4) glycosidiques, présents dans la paroi cellulaire de la levure *Saccharomyces cerevisiae* (Pourabedin et al., 2014), le mannose étant le monosaccharide le plus communément utilisé comme additif alimentaire (Van Immerseel et al., 2002). Les prébiotiques quantitativement les plus importants dans les aliments sont les fructo-oligosaccharides (FOS) et l'inuline. Les FOS sont naturellement présents dans des végétaux et céréales tels que l'ail, l'oignon, le riz, la banane, l'asperge, le blé, la paille et le son. Les fructo-oligosaccharides (FOS) sont des polymères linéaires d'unités fructosyle liées en  $\beta$ -(2-1), terminés par un résidu de glucose et ne sont pas digérés dans l'intestin supérieur des espèces aviaires (Roberfroid et al., 2010). L'inuline est la version à chaîne longue de FOS. Les xylooligosaccharides sont des oligomères constitués d'unités de xylose, liées par des liaisons  $\beta$ -(1-4) (Aachary et al., 2008).

Plusieurs prébiotiques commerciaux sont préparés à partir de cellules de levure, notamment des parois cellulaires et des produits de fermentation (Santin et al., 2001). Les produits de fermentation de *Saccharomyces cerevisiae* ou la culture de levure, montrent les effets similaires aux prébiotiques (Roto et al., 2015). Les prébiotiques sont caractérisés par la facilité de leur incorporation dans l'alimentation animale, ainsi que leur stabilité puisque qu'ils ne présentent pas la difficulté de les maintenir en vie comme les probiotiques (Chambers et Gong, 2011).

### 4. MODE D'ACTION DES PREBIOTIQUES

Les principaux mécanismes d'action des prébiotiques comprennent la modulation du microbiote intestinal en proliférant sélectivement les groupes de bactéries bénéfiques et en réduisant la colonisation intestinale indésirable de bactéries pathogènes, ce qui conduit à améliorer l'intégrité de la muqueuse intestinale (Hajati et Rezaei, 2010 ; Park et al., 2016). Les prébiotiques résistent à la digestion et à l'hydrolyse par les enzymes salivaires, digestives et pancréatiques. Ils ne sont pas digérés ou absorbés dans le tractus gastro-intestinal (TGI) supérieur et fournissent plutôt une source de nourriture pour les bactéries bénéfiques de l'hôte, telles que *Lactobacillus* (LAB) et les bifidobactéries, dans le TGI inférieur. L'importance de l'incorporation de prébiotique provient de leur capacité de stimuler d'une manière sélective la croissance et la multiplication des bifidobactéries indigènes et de lactobacilles qui suppriment l'activité des bactéries nocives et réduisent la concentration des produits de fermentation toxiques dans le TGI (Samanta et al., 2007, 2010). Les bactéries endogènes augmentent en nombre et entrent en compétition avec les bactéries délétères pour la santé de l'hôte, en bloquant leur liaison à la muqueuse intestinale. Ce mécanisme est connu par l'exclusion compétitive (EC) (Iji et Tivey, 1998). Par ailleurs, les MOS ont la capacité de se lier aux *pili*s de certaines bactéries virulentes qui présentent un risque sanitaire permanent pour l'élevage avicole. Cela exclut finalement la fixation d'agents pathogènes, y compris *E. coli* et le *Salmonella*, entraînant leur excrétion de l'intestin avec le flux de digesta au lieu de se lier aux récepteurs muqueux (Fernandez et al., 2002 ; Thomas et al., 2004).

Dans le cadre du processus de fermentation, de nombreux composés sont produits par la flore digestive, y compris les acides gras à chaîne courte (AGCC), principalement l'acide butyrique, l'acide propionique et l'acide acétique (Jozefiak et al., 2008). Ces AGCC ont différents effets bénéfiques : Ils présentent une source d'énergie potentielle pour le métabolisme, ou ils sont utilisés par les différents tissus de l'hôte et stimulent leur développement en agissant sur la prolifération des muqueuses (Blaut, 2002 ; Gabriel et al., 2005). Cela module l'inflammation et régule les fonctions métaboliques (Pourabedin et al., 2014). Les prébiotiques sont également capables de modifier l'environnement intestinal. Comme décrits auparavant, les produits de fermentation sont principalement des acides qui baissent le pH intestinal rendant le milieu intolérant aux agents pathogènes (Macfarlane et al., 2008). Par conséquent, la production des AGCC et la réduction du pH intestinal présentent des mécanismes clés des

prébiotiques permettant d'inhiber la colonisation de la muqueuse intestinale par des agents nocifs et de maintenir une performance de croissance et une santé optimale chez les volailles. D'autres substances peuvent être produites par fermentation des prébiotiques, telles que l'acide organique et la bactériocine ayant un effet antimicrobien et empêchant la colonisation de bactéries pathogènes sur la muqueuse intestinale (Turrone et al., 2014).

## 5. L'EFFICACITE DES PREBIOTIQUES EN AVICULTURE

Depuis le bannissement des antibiotiques facteurs de croissance, les prébiotiques ont été proposés en tant qu'alternatives potentielles chez les volailles (Burch, 2006). Des études d'application (Murshed & Abudabos, 2015 ; Borgohain et al., 2017 ; Waqas et al., 2018 ; Biswas et al., 2019 ; Askri et al., 2020) ont augmenté au cours des dernières années afin d'évaluer leur effet sur la santé intestinale d'une part et les performances zootechniques d'autre part.

### 5.1. Effet sur l'écosystème intestinal

L'intensification de l'élevage avicole a conduit à une amélioration de la productivité, au dépend de la mortalité et de la santé animale. Le maintien de l'intégrité et de la santé intestinales constitue la première étape vers une digestion et une absorption des nutriments plus efficaces et par conséquent vers une production optimale (Yamauchi et al., 2010 ; Yang et al., 2013). Des facteurs externes, tels que le stress, le changement brusque de l'aliment, peuvent avoir un impact négatif sur la santé intestinale et se répercuteront sur l'animal dans son ensemble : ceci entraînera une modification de sa consommation et de ses besoins nutritionnels, à l'origine d'une diminution de ses performances (Wang et al., 2016). L'épithélium intestinal constitue une barrière naturelle protégeant l'animal contre les agents pathogènes et les toxines d'une part (Xiaofei and Yuming, 2008). D'autre part, la flore digestive des poulets joue un rôle crucial dans la croissance et le développement des tissus de son hôte (Tim et al., 2005). Elle contribue à la modification de la physiologie, ainsi que l'anatomie du tractus digestif, plus précisément l'épaisseur, le poids des intestins et subséquemment améliore le transit intestinal (Shakouri et al., 2009). Le microbiote intestinal correspond à l'ensemble des micro-organismes présents dans le tractus digestif, composé essentiellement de bactéries et dans une moindre mesure, de champignons et de protozoaires. La flore intestinale est un écosystème dynamique dont la composition non seulement dépend de l'âge mais peut être aussi modifiée par de nombreux facteurs externes comme la souche, le sexe, l'individu, l'environnement, la composition et la structure de l'aliment (Gabriel et al., 2005). La population bactérienne représente une large gamme de types métaboliques et morphologiques qui vit en symbiose avec son hôte et peut se nourrir de substrats exogènes issus de l'alimentation comme les prébiotiques. Ces derniers interagissent de manière bénéfique avec la physiologie de l'animal en stimulant de manière sélective le microbiote favorable dans le système intestinal (Macfarlane et al., 2008). En effet, de nombreuses études ont montré que l'abondance de LAB et de bifidobactéries dans l'intestin du poulet a été associée à la supplémentation de prébiotiques, principalement des MOS, des FOS et des fructanes de type inuline (Geier et al., 2009 ; Kim et al., 2011). Askri et al. (2018) ont révélé que l'addition d'un prébiotique à base de levure *Saccharomyces cerevisiae* a un effet hautement significatif sur le microbiote intestinal, se manifestant par une diminution de la charge de *E. coli* associée à une augmentation des lactobacilles. Des résultats similaires ont été trouvés par Baurhoo et al. (2007) montrant que l'apport d'une dose de 0,2% de MOS chez des poulets entraîne une augmentation de 0,8 logs (unité formant des colonies/mL) de la concentration en lactobacilles et de 0,6 logs en bifidobactéries, dans leur contenu caecal, comparativement à un régime contrôle avec des antibiotiques facteurs de croissance (Virginiamycine). Une étude menée par Abdel-Raheem et al. (2012) a montré que les concentrations de bactéries appartenant à *Lactobacillus* dans le duodénum et le jéjunum étaient significativement plus élevées chez les poulets recevant un régime complété par des prébiotiques comparés avec le lot témoin et le lot recevant des symbiotiques. En outre, Xu et al. (2003) ont montré que l'addition de 4,0 g / kg de FOS a non seulement amélioré la croissance de *Bifidobacterium* et *Lactobacillus*, mais aussi a inhibé le développement de *E.coli* dans l'intestin grêle et le caecum. Une autre étude a rapporté une augmentation significative de la population des bifidobactéries intestinales chez les poulets de chair nourris avec un régime standard et à deux doses différentes de GOS (Jung et al., 2008). Yusrizal et Chen (2003b) ont montré que la supplémentation de fructanes a entraîné aussi une augmentation des lactobacilles dans le tractus gastro-intestinal. De même, Pourabedin et al (2014) ont rapporté que les MOS favorisent la croissance des LAB, contribuant à la diversité microbienne globale du contenu du caecum de poulet. Par ailleurs, la population de *Clostridium* et de *E. Coli* a diminué avec une supplémentation de 0,25% de FOS et de 0,05% de MOS, alors que la diversité de LAB augmentait dans l'iléon des deux groupes recevant les prébiotiques (Kim et al., 2011). Un autre essai a montré que

l'alimentation en lignine ou en MOS a augmenté la population de LAB et de bifidobactéries, tandis qu'elle a diminué la charge en *E. coli* dans le caecum des poulets de chair (Baurhoo et al., 2007). Par conséquent, les prébiotiques peuvent améliorer sélectivement les populations de lactobacilles et bifidobactéries et réduire la colonisation de la muqueuse intestinale par des bactéries néfastes (Biggs et Parsons, 2008 ; Baurhoo et al., 2009) et le processus le plus efficace a été observé dans le caecum (Cummins et al., 2001). La supplémentation de fructanes en tant que prébiotiques a également montré son efficacité sur le microbiote intestinal manifestant par une augmentation des lactobacilles dans le tractus gastro-intestinal et une diminution de *Campylobacter* et de *Salmonella* (Yusrizal et Chen, 2003b). Kleessen et al. (2003) ont mis en évidence une diminution de nombre de *Clostridium perfringens* et une réduction des niveaux d'endotoxines bactériennes en ajoutant 0,5% de sirop de topinambours riche en fructanes dans l'eau de boisson des poulets de chair. En outre, les régimes alimentaires contenant différentes quantités de isomaltooligosaccharide (IMO) ont augmenté de manière significative le nombre de bifidobactéries intestinales et ont réduit significativement le niveau de *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* présents dans le caecum des jeunes poulets de chair (Thitaram et al., 2005). Ainsi, les GOS ont conduit à une augmentation de LAB, les bifidobactéries ou leurs produits de fermentation (Macfarlane et al., 2008). Il en ressort donc que l'ajout des prébiotiques aurait des effets positifs sur la santé de l'intestin manifestant par une augmentation certaines bactéries bénéfiques associée à une réduction des bactéries nocives (Janczyk et al., 2009) et améliorant l'intégrité globale de l'intestin (Alloui et al., 2013). D'après Mead (2000) la flore microbienne bénéfique telle que LAB et *Bifidobacterium* spp. renforce le système de défense de l'animal contre les agents pathogènes envahissants en stimulant la réponse immunitaire du tractus gastro-intestinal. Par conséquent, l'incorporation des prébiotiques dans l'aliment peut également améliorer la réponse immunitaire du tissu lymphoïde lié à l'intestin. Janardhana et al. (2009) ont rapporté que les groupes traités par des prébiotiques de type MOS et FOS avaient des performances similaires à celles d'un groupe traité par des antibiotiques facteurs de croissance, avec une meilleure immunité du tissu lymphoïde lié à l'intestin chez les poulets. Les modifications immunologiques induites par les prébiotiques peuvent être en partie dues à une interaction directe entre les prébiotiques et les cellules immunitaires de l'intestin, ainsi qu'à une action indirecte des prébiotiques *via* la colonisation préférentielle du microbes et produits microbiens bénéfiques qui interagissent avec les cellules immunitaires (Janardhana et al., 2009). Fernandez et al. (2002) ont confirmé que les MOS, qui sont généralement dérivés de la cellule externe de la levure, modulent le système immunitaire et éliminent les agents pathogènes du tractus intestinal.

## 5.2. Effet sur les performances zootechniques

Les prébiotiques peuvent augmenter les AGCC qui sont directement absorbés par l'intestin et utilisés comme source d'énergie dans les tissus de l'hôte (Chapman et al., 1994). Cette production des AGCC conduit à de meilleures performances de croissance, par un mécanisme d'augmentation de la répartition des nutriments dans les autres tissus du corps (Lu et al., 2012 ; Ajuwon, 2016). En ajoutant des fructanes de chicorée à l'aliment des poulets de chair, Yusrizal et Chen (2003a) ont montré une amélioration de gain de poids et une diminution de l'indice de consommation. De même, Xu et al. (2003) ont observé un effet positif d'une dose dépendante de FOS sur le gain moyen quotidien. Des résultats similaires ont été trouvés par Sims et al. (2004), suite à l'incorporation des MOS dans l'aliment des dindes. En outre, les résultats trouvés par Shang et al. (2010) indiquent que l'ajout d'inuline dans l'aliment des poules pondeuses a conduit au développement des œufs avec un faible taux de cholestérol comme exigé par certains consommateurs soucieux de leur santé. Par ailleurs, une amélioration de la qualité de la coquille et des os et du métabolisme des minéraux a été observée en ajoutant de l'inuline ou de l'oligofructose (Swiatkiewicz et Arczewska-Wlosek, 2012). En revanche, l'effet de l'ajout des prébiotiques dans l'aliment des poulets de chair pourrait varier en fonction de nombreux facteurs tels que le type de prébiotiques, la dose, la durée d'inclusion, le mode d'administration, le mode d'élevage. En effet, Askri et al. (2019) ont mis en exergue que la durée de l'incorporation de prébiotique est un facteur influant et qui doit être pris en considération en élevage avicole. L'étude indique que la présence de prébiotique durant toute la période de l'élevage est nécessaire pour un effet zootechnique intéressant, mais doit être retiré une semaine avant l'abattage afin d'éviter toute altération de la qualité sensorielle. Par conséquent, pour assurer une durabilité des effets bénéfiques des prébiotiques, il est nécessaire d'en incorporer de façon continue. De même, une autre étude a permis de démontrer que la supplémentation en FOS pour une longue durée a contribué au développement de la hauteur des villosités et la profondeur de la crypte de l'intestin (Hanning et al., 2012). Qaisrani et al. (2015) ont souligné l'importance de la structure de l'aliment, en montrant que l'utilisation d'un aliment grossier peut améliorer la

digestibilité des protéines chez les volailles comparativement à un aliment à particules fines, et par conséquent avoir un impact positif sur les performances zootechniques.

### 5.3. Utilisation de *Saccharomyces cerevisiae* comme additif alimentaire en aviculture

Pendant les dernières années, les composants de la paroi cellulaire de levure *Saccharomyces cerevisiae* ont été utilisés en tant qu'alternatives potentiels aux antibiotiques en alimentation animale (Hooge, 2004). Leur inclusion dans les régimes de poulets de chair a donné lieu à des améliorations de la productivité animale, qui a été attribué à des effets physiologiques sur la muqueuse digestive intestinale (Santin et al., 2001 ; Zhang et al., 2005 ; Baurhoo et al., 2007 ; Askri et al., 2020).

En effet, plusieurs études ont montré que l'introduction de *Saccharomyces cerevisiae*, comme additif alimentaire pour les animaux d'élevage, a permis d'améliorer les performances zootechniques (Onifade et al., 1999 ; Rozeboom et al., 2005). Mathlouthi et al. (2012) ont rapporté que les parois de *Saccharomyces cerevisiae* ont conduit à l'amélioration des performances zootechniques des poulets de chair en augmentant le poids vif soit +5,4%, et en diminuant l'indice de consommation et le taux de mortalité. Une étude de Huff et al. (2006) a suggéré que l'utilisation de MOS et  $\beta$ -glucanes, extraits de l'hydrolyse enzymatique de la paroi cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae*, peut apporter plus d'avantages chez les animaux maintenus dans des conditions de provocation microbienne. En effet, une amélioration de gain de poids et de l'indice de consommation a été enregistrée chez les poulets de chair élevés en cages, inoculés avec *E.coli* et nourris un aliment supplémenté d'une dose de 20 mg de  $\beta$ -glucanes/kg. En revanche, les poulets non inoculés nourris avec le même prébiotique ont connu une réduction des poids. D'autre part, d'après Chae et al. (2006), les effets positifs de  $\beta$ -glucanes sur la productivité de poulet étaient plus marqués chez les oiseaux maintenus dans des enclos à litière, que ceux élevés en cages.

Des expériences sans conditions de provocation ont montré des améliorations de la productivité des poulets maintenus dans des cages et nourris avec 50 mg de  $\beta$ -glucanes / kg d'aliment (Zhang et al., 2008). Ces auteurs ont suggéré que la structure, le poids moléculaire, et l'origine sont aussi des facteurs liés à l'efficacité des  $\beta$ -glucanes dans les régimes alimentaires des volailles. Généralement, un régime alimentaire qui contient la paroi cellulaire de levure, tend à améliorer la productivité des poulets de chair (Santin et al., 2001). Cependant, le mode d'action des parois cellulaires de levure dans les régimes des poulets de chair n'est pas encore bien cerné et les caractéristiques de ces derniers n'ont pas été jusqu'à présent totalement définies. La dose de l'incorporation de prébiotiques joue un rôle important, ceci a été confirmé par Fritts et Waldroup (2003) montrant que l'ajout d'un prébiotique à base de MOS dérivé de la paroi cellulaire de la levure, à deux doses différentes, 0.05% et 0.10% n'a aucun effet significatif sur le poids vif, la mortalité, et le rendement du bréchet. Cependant, l'indice de consommation a été significativement amélioré de l'âge de 0 à 20 semaines avec la dose de 0,10%. De même, Morales-López et al. (2009) n'ont pas observé des effets significatifs des composants de la paroi de levure sur les paramètres de croissance des poulets de chair.

D'autre part, plusieurs chercheurs ont étudié l'effet de l'incorporation de la paroi cellulaire de levure dans l'aliment des poulets de chair sur le microbiote intestinal. Une étude de Spring et al. (2000) a montré qu'un régime alimentaire supplémenté par les MOS a contribué à la réduction des concentrations de coliformes caecales mais qui reste non significative. Il n'y a eu aucun effet sur les concentrations caecales de lactobacilles, d'entérocoques, des bactéries anaérobies, ainsi que sur les niveaux de lactate et des AGV, ou le pH du caecum. Les mêmes auteurs ont conclu que les MOS présents dans la paroi de levure pourraient agir en tant que ligands de haute affinité, avec l'avantage potentiel d'offrir un site de liaison compétitive pour les bactéries pathogènes. Un autre effet intéressant a été observé lors de l'utilisation de la paroi cellulaire en tant qu'un additif alimentaire sur le développement des villosités intestinales (Solis de los Santos et al., 2007). Morales-López et al. (2009) ont révélé une augmentation au niveau de la hauteur des villosités de la muqueuse jéjunale des poulets ayant reçu les prébiotiques.

L'incorporation de la paroi cellulaire de levure dans l'aliment peut exercer aussi certains avantages sur le système immunitaire de la muqueuse intestinale (Ferket et al., 2002). Selon l'étude de Fing et Lin (2003), l'inclusion des (1 $\rightarrow$ 3) (1 $\rightarrow$ 6)  $\beta$ -glucanes, présents dans la paroi de levure, dans l'aliment améliorent la prolifération des lymphocytes B et T ainsi que la synthèse des immunoglobulines. Ces composants sont caractérisés par leur effet immunomodulateur puissant et son rôle crucial dans la stimulation et la réactivité du système immunitaire. Les  $\beta$ -glucanes ont la capacité de se lier à de nombreuses mycotoxines telles que l'aflatoxine, d'empêcher leur absorption par le tractus gastro-intestinal et par conséquent de réduire le risque sur l'état sanitaire et sur les performances des volailles (Kusumaningtyas et al., 2006).

## 6. INJECTION *IN OVO* DE PREBIOTIQUES CHEZ LES POULETS

Outre les méthodes classiques de supplémentation des prébiotiques telles que dans l'aliment et dans l'eau de boisson, une attention particulière a été portée à la technologie *in ovo* impliquant l'injection d'une solution d'une substance donnée directement aux œufs en incubation (Madej et al., 2015 ; Bogucka et al., 2017 ; Angwech et al., 2019). L'idée de la supplémentation *in ovo* est de fournir de la nourriture à l'animal à un âge précoce afin de lutter contre les éventuels agents pathogènes, avant d'être colonisé à l'éclosion (Bednarczyk et al., 2016). Avant de consommer leur premier aliment, lors de l'éclosion, du sexage, de la vaccination et du transport, les poussins peuvent être exposés à des agents pathogènes. Par conséquent, il est essentiel d'introduire le tube digestif de l'embryon de volaille dans l'environnement extérieur pour établir une communauté microbienne intestinale saine à un âge précoce (de Oliveira et al., 2014). Des chercheurs ont observé que le douzième jour (j12) de l'incubation était le moment le plus opportun pour l'injection de prébiotiques, entraînant ainsi des taux élevés de bifidobactéries dans le tractus du poulet (Villaluenga et al., 2004 ; Pilarski et al., 2005). Hormis le maintien des bactéries bénéfiques dans l'intestin, l'injection *in ovo* des prébiotiques a également induit un meilleur développement du système immunitaire, une meilleure digestibilité des nutriments et par conséquent un taux de croissance plus élevé (Sławińska et al., 2014). Différents sites d'administration *in ovo* ont été évalués, notamment l'amnios, l'allantoïde, l'embryon ou le sac vitellin (Cheled-Shoval et al., 2011 ; Salmanzadeh, 2012). D'autres études ont montré que l'injection *in ovo* de prébiotiques (inuline) et de symbiotiques (inuline avec *Lactococcus lactis*) a entraîné une amélioration des réponses immunitaires liées à la stimulation de plaques de Peyer, de la colonisation des amygdales cœcales par des cellules T ainsi que le développement des organes immunitaires tels que la rate et le thymus (Madej et al., 2015 ; Sławińska et al., 2014). L'injection *in ovo* des prébiotiques est une méthode prometteuse qui permettra de promouvoir les paramètres zootechniques en agissant à la fois sur la communauté microbienne et sur le système immunitaire du tractus gastro intestinal.

## 7. LIMITES DE L'UTILISATION DES PREBIOTIQUES

Bien que de nombreuses études ont montré des effets bénéfiques de l'incorporation des prébiotiques, en tant qu'alternative possible aux antibiotiques facteurs de croissance, sur la population microbienne intestinale, leur effet sur les performances a conduit à des résultats contradictoires. Plusieurs facteurs interviennent dans l'efficacité des prébiotiques tels que notamment l'origine, la nature, la structure, la dose, la période et le mode d'administration. Ceci a été observé par Iji et Tivey (1998) lors de l'ajout des oligosaccharides d'origine naturelle ou synthétique. Xu et al. (2003) ont rapporté que les performances de croissance des poulets de chair ont été négativement affectées par la supplémentation en FOS à une dose élevée (8 g / kg). Une étude de Bednarczyk et al. (2016) a aussi mis en évidence que l'injection *in-ovo* ou dans l'eau de boisson des GOS a conduit à l'augmentation de la quantité ingérée et de l'indice de consommation. Juskiewicz et al. (2006) n'ont signalé aucune incidence sur les performances ou la productivité des dindons après l'addition des quantités différentes de FOS dans l'aliment pendant huit semaines. De même, Jung et al. (2008) n'ont enregistré aucune différence significative entre les poulets de chair nourris avec un régime standard et les poulets ayant reçus deux doses différentes de GOS. En revanche, les mêmes auteurs ont montré une modification du microbiote intestinal et ceci par une augmentation des bactéries anaérobies intestinales et des LAB. Par ailleurs, Stanczuk et al. (2005) n'ont observé aucun gain de poids chez les dindes nourris avec deux concentrations différentes d'inuline et de MOS. L'étude de Thitaram et al. (2005) a consisté à évaluer l'effet d'une dose élevée de prébiotiques dans l'aliment des poulets de chair sur le gain de poids et aucune différence significative n'a été enregistrée. Semblablement, Biggs et al. (2007) ont constaté qu'une dose élevée de prébiotiques (8g/kg) peut avoir des impacts négatifs sur la digestibilité des acides aminés ainsi que sur l'énergie métabolisable et par conséquent peut retarder la croissance des poussins. D'autre part, Rebolé et al. (2010) ont montré que la supplémentation en inuline n'a eu aucun effet sur la hauteur des villosités et la profondeur de la crypte du jéjunum.

Il s'avère que les prébiotiques améliorent les performances zootechniques mais à des modes d'administration et des doses qui doivent être optimisés. Cela exige également des recherches répétitives avec différents niveaux ou concentrations de fructo-oligosaccharides, mannan-oligosaccharides ou galacto-oligosaccharides seuls ou associés entre eux, complétant l'alimentation des volailles.

## 8. CONCLUSION

Depuis l'apparition du concept, de nombreuses études expérimentales ont montré que les prébiotiques ont un impact réel sur l'équilibre de l'écosystème intestinal apportant et des effets bénéfiques sur les paramètres de croissance des volailles. De nombreux facteurs tels que la dose, la période, le mode et les conditions d'administration ainsi que les principes actifs contenus dans le composé, doivent être pris en considération lors de

l'utilisation des prébiotiques chez les volailles. Les prébiotiques ont éventuellement une large gamme de mécanismes d'action stimulant la croissance du microbiote intestinal bénéfique notamment des LAB et des bifidobactéries d'autre part et d'autre part, éliminant les agents pathogènes tels que *Salmonella* et *E. coli* chez le poulet. Ces agents pathogènes non seulement présentent un risque potentiel sur la productivité et par conséquent sur la rentabilité de l'élevage avicole mais également sont à l'origine de problèmes majeurs de santé humaine. Des investigations plus poussées s'imposent afin de mieux appréhender le(s) mécanisme(s) de stimulation du système immunitaire intestinal. Les approches en nutriginomique et en métabolomique peuvent aider à élucider les mécanismes d'action des prébiotiques ainsi que les interactions entre l'hôte et le microbiome. Les futures études devraient être axées sur l'évaluation de l'impact des prébiotiques sur les effets spécifiques des tissus (tissus hôtes et communauté microbienne) et sur le processus digestif intestinal. L'étude de l'impact de l'ajout des prébiotiques sur la qualité de la viande, surtout ceux liés aux paramètres physico-chimiques et sensoriels, doit porter plus d'attention. Jusqu'à présent, l'injection *in ovo* de prébiotiques a montré des résultats prometteurs, néanmoins l'application de cette méthode dans les élevages avicoles reste restreinte.

## REFERENCES

- Aachary A-A., Prapulla S-G., 2008. Corn-cob-Induced endo-1,4- $\beta$ -D-Xylanase of *Aspergillus oryzae* MTCC 5154: Production and Characterization of Xylobiose from Glucuronoxylan. *J. Agric. Food Chem.*, 56: 3981-3988, doi: [10.1021/jf073430i](https://doi.org/10.1021/jf073430i).
- Abdel-Raheem S-M., Abd-Allah S-M-S., Hassanein, K. M. A., 2012. The effects of prebiotic, probiotic, and symbiotic supplementation on intestinal microbial ecology and histomorphology of broiler chickens. *IJAVMS*, 6 (4), 277-289, <http://www.scopemed.org/fulltextpdf.php?mno=23459>.
- Adhikari PA and Kim WK., 2017. Overview of prebiotics and probiotics: focus on performance, gut health and immunity – a review, *Ann. Anim. Sci.*, 17 (4), 949–966, doi : 10.1515/aoas-2016-0092.
- Ajuwon K-M., 2016. Toward a better understanding of mechanisms of probiotics and prebiotics action in poultry species. *J. Appl. Poult. Res.*, Volume 25, Issue 2, 277–283, doi: [10.3382/japr/pfv074](https://doi.org/10.3382/japr/pfv074)
- Alloui M-N., Szczurek W., Świątkiewicz S., 2013. The usefulness of prebiotics and probiotics in modern poultry nutrition – a review. *Ann. Anim. Sci.*, 13: 17–32, doi: 10.2478/v10220-012-0055-x.
- Alleman F., Gabriel I., Dufourcq V., Perrin F., Gabarrou J., 2013 : Utilisation des huiles essentielles en alimentation des volailles. 1. Performances de croissance et réglementation. *INRA Prod. Anim*, 26 : 3–12.
- Amat C., Planas J-M., Moreto M., 1996. Kinetics of hexose uptake by the small and large intestine of the chicken. *Am. J. Physiol.*, 271(4Pt2): 1085-1089, doi: 10.1152/ajpregu.1996.271.4.R1085
- Askri A., Fitouhi N., Raach-Moujahed A., Abbassi M-S., Maalaoui Z., Debbabi H., 2018. Effect of a commercial prebiotic « AVIATOR® » on zootechnical performances, caecal microflora and meat quality of broilers. *Journal of new sciences, Sustainable Livestock Management*, 8 (1), 161-168.
- Askri A., Raach-Moujahed A., M'hamdi N., Maalaoui Z., Debbabi H., 2019. Prebiotic Supplementation in Broiler Diet During Starter Period: Effect on Growth Performance, Carcass Characteristics and Meat Quality, *Acta Scientifica Veterinary Sciences*, 1(3): 08-14.
- Askri A., Raach-Moujahed A., M'hamdi N., Maalaoui Z., Debbabi H., 2020. Broiler's performance and carcass characteristics improvement by prebiotic supplementation, *Large Animal Review* (Accepted paper).
- Baurhoo B., Letellier A., Zhao X., Ruiz-Feria C-A., 2007. Cecal populations of Lactobacilli and Bifidobacteria and *Escherichia coli* after *in vivo* *Escherichia coli* challenge in birds fed diets with purified lignin or mannanoligosaccharides. *Poultry Science* 86(12), 2509–2516, doi: [10.3382/ps.2007-00136](https://doi.org/10.3382/ps.2007-00136)
- Baurhoo B., Goldflus F., Zhao X., 2009. Purified cell wall of *Saccharomyces cerevisiae* increases protection against intestinal pathogens in broiler chickens. *International Journal of Poultry Science* 8(2), 133–137, doi: [10.3923/ijps.2009.133.137](https://doi.org/10.3923/ijps.2009.133.137)
- Bednarczyk M., Stadnicka K., Kozłowska I., Abiuso C., Tavaniello S., Dankowiakowska A., Sławińska A., Maiorano G., 2016. Influence of different prebiotics and mode of their administration on broiler chicken performance. *Animal*, 10 (8): 1271-1279 doi:10.1017/S1751731116000173.
- Biggs P., Parsons C-M., Fahey G-C., 2007. The effects of several oligosaccharides on growth performance, nutrient digestibilities, and cecal microbial populations in young chicks. *Poult. Sci.*, 86(11): 2327-2336, doi: [10.3382/ps.2007-00427](https://doi.org/10.3382/ps.2007-00427)
- Biggs P., Parsons C-M., 2008. The effects of grobiotic-P on growth performance, nutrient digestibilities, and cecal microbial populations in young chicks. *Poultry Science* 87(9), 1796–1803, doi: [10.3382/ps.2007-00450](https://doi.org/10.3382/ps.2007-00450).



- Bindels L-B., Delzenne N-M., Cani P-D., Walter J., 2015. Towards a more comprehensive concept for prebiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* 12(5), 303-10, doi : 10.1038/nrgastro.2015.47.
- Biswas, A, Mohan, N, Raza, M, Mir, NA, Mandal, A. Production performance, immune response and blood biochemical parameters in broiler chickens fed diet incorporated with prebiotics., 2019. *J Anim Physiol Anim Nutr* 103, 493– 500, doi : 10.1111/jpn.13042.
- Blaut M., 2002. Relationship of prebiotics and food to intestinal microflora. *European Journal of Nutrition*. 41Suppl 1: 11- 16, doi: [10.1007/s00394-002-1102-7](https://doi.org/10.1007/s00394-002-1102-7).
- Borghain, B., Mahanta, J., Islam, R., Sapkota, D., Sarma, S., & Borah, M. (2017). Effect of Feeding Garlic (*Allium sativum*) as Prebiotic on the Performance of Broiler Chicken. *International Journal of Livestock Research*, 7(7), 225-233, doi : 10.5455/ijlr.20170520043023.
- Bozkurt M., Kucukyilmaz K., Catli A-U., Cinar M., Bintas E., Coven F., 2012. Performance, egg quality, and immune response of laying hens fed diets supplemented with mannan-oligosaccharide or an essential oil mixture under moderate and hot environmental conditions. *Poult. Sci.*, 91(6): 1379-1386, doi: 10.3382/ps.2011-02023.
- Burch, D. (2006). Anticipated effects of the withdrawal of antibiotic growth promoters (AGPs) from pigs in the European. *British Poultry Science*, 4, 368–380.
- Cao B-H., Karasawa Y., Guo Y-M., 2005. Effects of green tea polyphenols and fructooligosaccharides in semi-purified diets on broilers` performance and caecal microflora and their metabolites. *Asian Australas J. Anim. Sci.*, 18(1): 85-89, doi: 10.5713/ajas.2005.85.
- Castanon., 2007. History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poult Sci*, 86(11), 2466-71, doi : 10.3382/ps.2007-00249.
- Chae B-J., Lohakare J-D., Moon W-K., Lee S-L., Park Y-H., Hahn T-W., 2006. Effects of supplementation of  $\beta$ -glucan on the growth performance and immunity in broilers. *Res. Vet. Sci.* 80(3): 291–298, doi: [10.1016/j.rvsc.2005.07.008](https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2005.07.008)
- Chambers J-R., Gong J., 2011. The intestinal microbiota and its modulation for Salmonella control in chickens. *Food Research International*, 44(10), 3149-3159, doi : 10.1016/j.foodres.2011.08.017
- Chapman M., Grahn M., Boyle M., Hutton M., Rogers J., Williams N., 1994. Butyrate oxidation is impaired in the colonic mucosa of sufferers of quiescent ulcerative colitis. *Gut.*, 35(1): 73-76, doi: 10.1136/gut.35.1.73.
- Chattopadhyay MK., 2014. Use of antibiotics as feed additives: a burning question. *Front Microbiol*, 5 : 334.
- Cheled-Shoval S-L., Amit-Romach E., Barbakov M., Uni Z., 2011. The effect of in ovo administration of mannan oligosaccharide on small intestine development during the pre- and posthatch periods in chickens. *Poult. Sci.*, 90(10): 2301-2310, doi: 10.3382/ps.2011-01488.
- Cindy Le Bourgot, 2016, La supplémentation périnatale en fibres prébiotiques (fructo-oligosaccharides à courte chaîne, scFOS) modifie le microbiote intestinal et programme le phénotype métabolique et immunitaire du porc, pris comme modèle de l'Homme. *Alimentation et Nutrition*. AgrocampusOuest.
- Cummings J-H., Macfarlane G-T., Englyst H-N., 2001. Prebiotic digestion and fermentation. *Am. J. Clinic. Nutr.*, 73(Suppl 2): 415-420, doi: 10.1093/ajcn/73.2.415s
- de Oliveira J-E., van der Hoeven-Hangoor E., van de Linde I-B., Montijn R-C., van der Vossen J-M., 2014. In ovo inoculation of chicken embryos with probiotic bacteria and its effect on posthatch Salmonella susceptibility. *Poult. Sci.*, 93(4): 818-829, doi: [10.3382/ps.2013-03409](https://doi.org/10.3382/ps.2013-03409).
- Diarra MS., Malouin F., 2014. Antibiotics in canadian poultry productions and anticipated alternatives. *Front Microbiol*, 5:282.
- Ding G., Chang Y., Zhao L., Zhou Z., Ren L., Meng Q., 2014. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on alfalfa nutrient degradation characteristics and rumen microbial populations of steers fed diets with different concentrate-to-forage ratios. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 5(1): 24, doi: 10.1186/2049-1891-5-24
- FAO., 2008. FAO Technical Meeting on Prebiotics, Rome. *Advance Analytical Technologies* [online], <http://www.aat-taa.eu/index/en/company/download/1262610500.html>.
- Ferket P-R., Parks C-W., and Grimes J-L., 2002. Benefits of dietary antibiotic and mannanoligosaccharide supplementation for poultry. *Proc. Multi-State Poultry meeting. Feed. Nutr. Conf.; Indianapolis, Indiana USA. May 14–16.2002.* p. 22.
- Fernandez F., Hinton M., Van Gils B., 2002. Dietary mannan-oligosaccharides and their effect on chicken caecal microflora in relation to salmonella enteritidis colonization. *Avian Pathol.*, 31(1): 49-58, doi : [10.1080/03079450120106000](https://doi.org/10.1080/03079450120106000).
- Ferreira CL., Salminen S., Grzeskowiak L., Brizuela MA., Sanchez L., Carneiro H., 2011. Terminology concepts of probiotic and prebiotic and their role in human and animal health. *Rev Salud Anim*, 33 : 137–46.

- Forgetta V., Rempel H., Malouin F., Vaillancourt Jr R., Topp E., Dewar K., 2012. Pathogenic and multidrug-resistant *Escherichia fergusonii* from broiler chicken. *Poult Sci*, 91 : 512e25.
- Fritts A-C., Waldroup P., 2003. Evaluation of Bio-Mos Mannan Oligosaccharide as a Replacement for Growth Promoting Antibiotics in Diets for Turkeys. *International Journal of Poultry Science*. 2, doi: 10.3923/ijps.2003.19.22.
- Furtula V., Jackson CR., Farrell EG., Barrett JB., Hiott LM., Chambers PA., 2013. Antimicrobial resistance in *Enterococcus* spp. isolated from environmental samples in an area of intensive poultry production. *Int J Environ Res Publ Health*, 10 : 1020e36.
- Gabriel I, Mallet S, Sibille P., 2005. La microflore digestive des volailles : facteurs de variation et conséquences pour l'animal. *INRA Prod. Anim.*, 18 (5), 309-322. <http://www.versailles-grignon.inra.fr/>
- Gaggia F., Mattarelli P., Biavati B., 2010. Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, 141(Suppl 1), S15-S28, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031
- Geier M-S., Torok V-A., Allison G-E., Ophel-Keller K., Hughes R-J., 2009. Indigestible carbohydrates alter the intestinal microbiota but do not influence the performance of broiler chickens. *J. Appl. Microbiol.*, 106: 1540-1548, doi: 10.1111/j.1365-2672.2008.04116.x
- Gibson GR., Roberfroid MB., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125(6), 1401-1412, doi: [10.1093/jn/125.6.1401](https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401)
- Gibson GR., Probert HM., Van Loo J., Rastall RA., Roberfroid MB., 2004. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutr. Res. Rev*, 17(2) : 259-75, doi: 10.1079/NRR200479.
- Gibson GR., Scott KP., Rastall RA., Tuohy KM., Hotchkiss A., Dubert-Ferrandon A., Gareau M., Murphy E-F., Saulnier D., Loh G et al., 2010. Dietary prebiotics: current status and new definition. *Food Science & Technology Bulletin Functional Foods* (7), 1-19, doi: 10.1616/1476-2137.15880.
- Gibson GR., Hutkins R., Sanders ME., Prescott SL., Reimer RA., Salminen SJ., 2017. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 14 : 491–502.
- Hajati H., Rezaei M., 2010. The application of prebiotics in poultry production. *Internat. J. Poult. Sci.*, 9(3): 298-304, doi: 10.3923/ijps.2010.298.304.
- Hanning I., Clement A., Owens C., Park S-H., Pendleton S., Scott E-E., Almeida G., Gonzalez Gil F., Ricke S-C., 2012. Assessment of production performance in 2 breeds of broilers fed prebiotics as feed additives. *Poult. Sci.*, 91(12): 3295-3299, doi: 10.3382/ps.2012-02557.
- Hiss S., Sauerwein H., 2003. Influence of dietary  $\beta$ -glucan on growth performance, lymphocyte proliferation, specific immune response and haptoglobin plasma concentrations in pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 87(1-2): 2–11, doi.org/10.1046/j.1439-0396.2003.00376.x
- Hooge D-M. 2004. Meta-analysis of broiler chicken pen trials evaluating dietary mannan oligosaccharide, 1993–2003. *Int. J. Poult. Sci.* 3:163–174, doi : 10.3923/ijps.2004.163.174
- Huang Q., Wei Y., Lv Y., Wang Y., Hu T., 2015. Effect of dietary inulin supplements on growth performance and intestinal immunological parameters of broiler chickens. *Livest. Sci.*, 180: 172-176, doi : 10.1016/j.livsci.2015.07.015
- Huff G-R., Huff W-E., Rath N-C., Tellez G., 2006. Limited treatment with  $\beta$ 1, 3/1, 6-glucan improves production values of broiler chickens challenged with *Escherichia coli*. *Poult. Sci.* 85(4): 613–618, doi: [10.1093/ps/85.4.613](https://doi.org/10.1093/ps/85.4.613)
- Hutkins R-W., Krumbeck J-A., Bindels L-B., Cani P-D., Fahey G., Goh Y-J., 2016. Prebiotics: Why definitions matter. *Curr. Opin. Biotechnol.* 37, 1R7. doi: 10.1016/j.copbio.2015.09.001
- Huyghebaert G., Ducatelle R., Van Immerseel F., 2011. An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. *Vet. J.* 187:182–188.
- Iji P-A., Tivey D-R., 1998. Natural and synthetic oligosaccharides in broiler chicken diets. *World's Poult. Sci. J.*, 54: 129-143, doi: [10.1079/WPS1998001](https://doi.org/10.1079/WPS1998001)
- Janczyk P., Halle B., Souffrant W-B., 2009. Microbial community composition of the crop and ceca contents of laying hens fed diets supplemented with *Chlorella vulgaris*. *Poult. Sci.*, 88(11): 2324-2332, doi: 10.3382/ps.2009-00250
- Janardhana V., Broadway M-M., Bruce M-P., Lowenthal J-W., Geier M-S., Hughes R-J., Bean A-G., 2009. Prebiotics modulate immune responses in the gut-associated lymphoid tissue of chickens. *J. Nutr.*, 139(7): 1404-1409, doi: 10.3945/jn.109.105007.
- Jozefiak D., Kaczmarek S., Rutkowski A., 2008. A note on the effects of selected prebiotics on the performance and ileal microbiota of broiler chickens. *J Anim Feed Sci* , 17:392e7.
- Jung S-J., Houde R., Baurhoo B., Zhao X., Lee B-H., 2008. Effects of galactooligosaccharides and a *Bifidobacteria lactis*-based probiotic strain on the growth performance and fecal microflora of broiler chickens. *Poultry Science*, 87(9), 1694- 1699, doi: 10.3382/ps.2007-00489

- Juskiewicz J., Jankowski J., Zdunczyk Z., Mikulski D., 2006. Performance and gastrointestinal tract metabolism of turkeys fed diets with different contents of fructooligosaccharides. *Poultry Science* 85(5), 886–891, doi: 10.1093/ps/85.5.886
- Kim G-B., Seo Y-M., Kim C-H., Paik I-K., 2011. Effect of dietary prebiotic supplementation on the performance, intestinal microflora, and immune response of broilers. *Poult. Sci.*, 90(1): 75-82, doi: 10.3382/ps.2010-00732
- Kleessen B., Elsayed N.A.A.E., Loehren U., Schoedl W., Krueger M., 2003. Jerusalem artichokes stimulate growth of boiler chickens and protect them against endotoxins and potential cecal pathogens. *Journal of Food Protection* 11, 2171–2175.
- Kummerer K., 2009. Antibiotics in the aquatic environment a review part I. *Chemosphere*, 75 : 417e34.
- Kusumaningtyas E., Widiastuti R., Maryam R., 2006. Reduction of aflatoxin B1 in chicken feed by using *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus oligosporus* and their combination., *Mycopathologia*, 162(4):307-11, doi: 10.1007/s11046-006-0047-4.
- Lu H., Su S., Ajuwon K-M., 2012. Butyrate supplementation to gestating sows and piglets induces muscle and adipose tissue oxidative genes and improves growth performance. *Journal of animal science*. 90 Suppl 4: 430-432, doi: 10.2527/jas.53817
- Macfarlane G-T., Steed H., Macfarlane S., 2008. Bacterial metabolism and health-related effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics. *J. Appl. Microbiol.*, 104(2): 305-344. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03520.x.
- Madej J-P., Stefaniak T., Bednarczyk M., 2015. Effect of in ovo-delivered prebiotics and synbiotics on lymphoid-organs' morphology in chickens. *Poult. Sci.*, 94 (6): 1209-1219, doi: 10.3382/ps/pev076
- Mathlouthi N, Auclair E, Larbier M., 2012. Effet des parois de levures sur les performances zootechniques du poulet de chair. *LRRD* 24 (11): 201
- Mead, G. C. (2000). Prospects for 'competitive exclusion' treatment to control salmonellas and other foodborne pathogens in poultry. *Vet. J.*, 159 (2): 111-123, doi: [10.1053/tvj.1999.0423](https://doi.org/10.1053/tvj.1999.0423)
- Morales-López R., Auclair E., García F., Esteve-García E., Brufau J., 2009. Use of yeast cell walls;  $\beta$ -1, 3/1, 6-glucans; and mannoproteins in broiler chicken diets. *Poult. Sci.*, 88(3): 601–607, doi:10.3382/ps.2008-00298.
- Murshed MA & Abudabos AM, 2015. Effects of the Dietary Inclusion of a Probiotic, a Prebiotic or their Combinations on the Growth Performance of Broiler Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science.*, 17, 99-103.
- Novak M., Vetvicka V., 2008. Beta-glucans, history, and the present: Immunomodulatory aspects and mechanisms of action. *J. Immunotoxicol.*, 5(1) : 47-57, doi: 10.1080/15476910802019045.
- Oliva Das SSPatil., Savsani HH., Ravikala K., Odedra AB., Chavda MR., 2017, Effect of Using Prebiotics Probiotics and Synbiotics as Feed Additives on Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens. *Ind.Vet.Journ*, 94: 46 – 49.
- Onifade A-A., Odunsi A-A., Babatunde G-M., Olorede B-R., Muma E., 1999. Comparison of the supplemental effects of *Saccharomyces cerevisiae* and antibiotics in low-protein and highfibre diets fed to broiler chickens. *Arch. Tierernahr.* 52(1): 29–39.
- Park SH., Lee SI., Ricke SC., 2016. Microbial populations in naked neck chicken ceca raised on pasture flock fed with commercial yeast cell wall prebiotics via an illumine miseq platform. *PLoS One*, 11, e0151944.
- Pilarski R., Bednarczyk M., Lisowski M., Rutkowski A., Bernacki Z., Wardeńska M., Gulewicz K., 2005. Assessment of the effect of  $\alpha$ -galactosides injected during embryogenesis on selected chicken traits. *Folia biologica.*, 53: 13-20, doi: 10.3409/1734916054663474.
- Pourabedin M., Xu Z., Baurhoo B., Chevaux E., Zhao X., 2014. Effects of mannan oligosaccharide and virginiamycin on the cecal microbial community and intestinal morphology of chickens raised under suboptimal conditions. *Can. J. Microbiol.*, 60 (5): 255-266, doi: 10.1139/cjm-2013-0899
- Qaisrani S-N., Van Krimpen M-M., Kwakkel R-P., Verstegen M-W-A., Hendriks W-H., 2015. Diet structure, butyric acid, and fermentable carbohydrates influence growth performance, gut morphology, and cecal fermentation characteristics in broilers. *Poult. Sci.*, 94(9): 2152-2164, doi : [10.3382/ps/pev003](https://doi.org/10.3382/ps/pev003)
- Rebolé, A., Ortiz, L. T., Rodríguez, M. L., Alzueta, C., Treviño, J., Velasco, S. (2010). Effects of inulin and enzyme complex, individually or in combination, on growth performance, intestinal microflora, cecal fermentation characteristics, and jejunal histomorphology in broiler chickens fed a wheat- and barley-based diet. *Poult. Sci.*, 89(2): 276-286, doi: [10.1080/713654986](https://doi.org/10.1080/713654986).
- Recommendation, 2001/459/EC". *OJEU L 161 (2001) : 42-44.*
- Roberfroid M., Gibson G-R., Hoyles L., McCartney A-L., Rastall R., Rowland I., Wolvers D., Watzi B., Szajewska H., Stahl B., Guarner F., Respondek F., Whelan K., Coxam V., Davicco M-J., Leotoing L., Wittrant Y., Delzenne N-M., Cani P-D., Neyrinck A-M., Meheust A., 2010. Prebiotic effects: metabolic and health benefits. *Br. J. Nutr.*, 104: S1-63.

- Roto S-M., Rubinelli P-M., Ricke S-C., 2015. An introduction to the avian gut microbiota and the effects of yeast based prebiotic-type compounds as potential feed additives. *Front. Vet. Sci.*, 2: 28, doi: 10.3389/fvets.2015.00028
- Rozeboom D-W., Shaw D-T., Tempelman R-J., Miguel J-C., Pettigrew J-E., Connolly A., 2005. Effects of mannan oligosaccharide and an antimicrobial product in nursery diets on performance of pigs reared on three different farms. *J. Anim. Sci.* 83(11): 2637–2644, doi: [10.2527/2005.83112637x](https://doi.org/10.2527/2005.83112637x).
- Salmanzadeh M., 2012. The effects of in-ovo injection of glucose on hatchability, hatching weight and subsequent performance of newly-hatched chicks. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 14(2): 137-140, doi: 10.1590/S1516-635X2012000200008.
- Samanta, A. K., Kolte, A. P., Chandrasekhariah, M., Thulasi, A., Sampath, K. T., & Prasad, C. S. (2007). Prebiotics: The rumen modulator forenhancingtheproductivityofdairyanimals. *Indian Dairyman*, 59, 58–61.
- Samanta, A.K., Senani,S., Kolte,A.P., Sridhar,M., &Jayapal,N. (2010). Potentiality of prebiotics in poultry diets. *Agrovet Buzz*. III, 3, 39–42.
- Santin, E., A. Maiorka, and M. Macari. 2001. Performance and intestinal mucosa development of broilers chickens fed diets containing *Saccharomyces cerevisiae*s cell wall. *J. Appl. Poult. Res.* 10(3): 236–244, DOI: 10.1093/japr/10.3.236.
- Sarangi NR., Babu LK., Kumar A., Pradhan CR., Pati PK., Mishra JP., 2016. Effect of dietary supplementation of prebiotic, probiotic, and synbiotic on growth performance and carcass characteristics of broiler chickens, *Veterinary World*, 9(3): 313-319.
- Seifert S., Watzl B., 2007. Inulin and oligofructose: Review of experimental data on immune modulation. *J. Nutr.*, 137(Suppl 11): 2563S-2567S. doi: 10.1093/jn/137.11.2563S.
- Shang H-M., Hu T-M., Lu Y-J., Wu H-X., 2010. Effects of inulin on performance, egg quality, gut microflora and serum and yolk cholesterol in laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 51(6):791-6. doi: 10.1080/00071668.2010.531005.
- Shakouri M-D., Iji P., Mikkelsen L-L., Cowieson A., 2008. Intestinal function and gut microflora of broiler chickens as influenced by cereal grains and microbial enzyme supplementation. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 93. 647-58, doi : 10.1111/j.1439-0396.2008.00852.x.
- Sims M-D., Dawson K-A., Newman K-E., Spring P., Hooge DM., 2004. Effects of dietary mannanoligosaccharide, bacitracin methylene disalicylate, or both on the live performance and intestinal microbiology of turkeys. *Poultry Science* 83 (7), 1148– 1154, doi: 10.1093/ps/83.7.1148
- Sławińska A., Siwek M., Żylińska J., Bardowski J., Brzezińska J., Gulewicz K-A., Nowak M., Urbanowski M., Płowiec A., Bednarczyk M., 2014. Influence of synbiotics delivered in ovo on immune organs development and structure. *Folia biologica* 62: 277-285, doi: [10.3409/fb62\\_3.277](https://doi.org/10.3409/fb62_3.277)
- Solis de los Santos F., Donoghue A-M., Farnell M-B., Huff G-R., Huff W-E., Donoghue D-J., 2007. Gastrointestinal maturation is accelerated in turkey poult supplemented with a mannan-oligosaccharide yeast extract (Alphamune). *Poult. Sci.* 86(5): 921–930, doi: [10.1093/ps/86.5.921](https://doi.org/10.1093/ps/86.5.921)
- Spring P., Wenk C., Dawson K-A., Newman K-E., 2000. The effect of dietary mannanoligosaccharides on ceca of *Salmonella*-challenged broiler chicks. *Poult. Sci.*, 79: 205-211. doi: [10.1093/ps/79.2.205](https://doi.org/10.1093/ps/79.2.205)
- Stanczuk J., Zdunczyk Z., Juskiewicz J., Jankowski J., 2005. Indices of response of young turkeys to diets containing mannanoligosaccharide or inulin. *Veterinary Zootechnic* 31: 98–101.
- Suskovic J., Kos B., Goreta J., Matosic S., 2001. Role of lactic acid bacteria and bifidobacteria in symbiotic effect. *Food technol. Biotechnol.* 39: 227–235.
- Swiatkiewicz S., Arczewska-Wlosek A., 2012. Prebiotic fructans and organic acids as feed additives improving mineral availability. *World's Poult. Sci. J.*, 68(2): 269-279, doi: [10.1017/S0043933912000323](https://doi.org/10.1017/S0043933912000323). SYNPA, 2011 (Syndicat National des Producteurs d'Additifs et d'Ingrédients Alimentaires).
- Tavaniello G., Maiorano K., Stadnicka R., Mucci J., Bogucka., Bednarczyk M., 2018. Prebiotics offered to broiler chicken exert a positive effect on meat quality traits irrespective of delivery routes. *Poultry Science* 97, 2979–2987.
- Tim J-D., Jannet E-H., Seth A-B., Kingsley K-A., Sean M-H., Andrew G Van Kessel., 2005. Enumeration of specific bacterial populations in complex intestinal communities using quantitative PCR based on the chaperonin-60 target. *Journal of Microbiological Methods*. Volume 64, Issue 1, January 2006, Pages 46–62, doi: [10.1016/j.mimet.2005.04.006](https://doi.org/10.1016/j.mimet.2005.04.006)
- Thitaram S-N., Chung C-H., Day D-F., Hinton A., Bailey J-S., Siragusa G-R., 2005. Isomaltooligosaccharide increases cecal Bifidobacterium population in young broiler chickens. *Poultry Science* 84(7): 998–1003, doi: [10.1093/ps/84.7.998](https://doi.org/10.1093/ps/84.7.998)
- Thomas W-E., Nilsson L-M., Forero M., Sokurenko E-V., Vogel V., 2004. Sheardependent 'stick-and-roll' adhesion of type 1 fimbriated *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol.*, 53(5): 1545-1557, doi: [10.1111/j.1365-2958.2004.04226.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2004.04226.x).

- Turróni F., Ventura M., Buttó L.F., Duranti S., O'Toole P.W., Motherway M.O.C., van Sinderen D., 2014. Molecular dialogue between the human gut microbiota and the host: A lactobacillus and Bifidobacterium perspective. *Cell. Mol. Life Sci*, 71, 183–203.
- Uni Z., Ferket P-R., Tako E., Kedar O., 2005. In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. *Poult. Sci.*, 84(5): 764-770, doi: [10.1093/ps/84.5.764](https://doi.org/10.1093/ps/84.5.764)
- Van Immerseel F., Cauwerts K., Devriese L-A., Haesebrouck F., Ducatelle R., 2002. Feed additives to control Salmonella in poultry. *World's Poultry Science Journal*, 58(4), 501-513, doi: [10.1079/WPS20020036](https://doi.org/10.1079/WPS20020036).
- Varzakas T., Kandyliis P., Dimitrellou D., Salamoura C., Zakyntinos G., Proestos C. Innovative and fortified food: Probiotics, prebiotics, gmos, and superfood. In *Preparation and Processing of Religious and Cultural Foods*; Elsevier: London, UK, 2018; pp. 67–129.
- Villaluenga C-M., Wardeńska M., Pilarski R., Bednarczyk M., Gulewicz K., 2004. Utilization of the chicken embryo model for assessment of biological activity of different oligosaccharides. *Folia biologica* 52(8): 135-142. doi: [10.3409/1734916044527502](https://doi.org/10.3409/1734916044527502).
- Wang W., Yang H., Wang Z., Han J., Zhang D., Sun H., Zhang F., 2015. Effects of prebiotic supplementation on growth performance slaughter performance growth of internal organs and small intestine and serum biochemical parameters of broilers. *Journal of Applied Animal Research* 43, 33-38.
- Waqas M., Mehmood S., Mahmud A., Saima N., Hussain J., Ahmad S., Tahir Khan M., Rehman A., Zia MW., Shaheen MS., 2018. Effect of yeast-based mannan oligosaccharide (Actigen™) supplementation on growth, carcass characteristics and physiological response in broiler chickens. *Indian Journal of Animal Research*, 53 : 1475-1479.
- Xiaofei H., Yuming G., 2008. Corticosterone administration after small intestine morphology and function of broiler chickens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 21: 1773–1778.
- Xu Z-R., Hu C-H., Xia M-S., Zhan X-A., Wang M-Q., 2003. Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers. *Poultry Science* 82(6): 1030–1036, doi : [10.1093/ps/82.6.1030](https://doi.org/10.1093/ps/82.6.1030)
- Yang Y., Iji P-A., Choct M., 2009. Dietary modulation of gut microflora in broiler chickens: a review of the role of six kinds of alternatives to in-feed antibiotics. *World's Poultry Science Journal* 65(1): 97–114, doi: [10.1017/S0043933909000087](https://doi.org/10.1017/S0043933909000087)
- Yeo J., Kim K-I., 1997. Effect of feeding diets containing an antibiotic, a probiotic or a yucca extract on growth and intestinal urease activity in broiler checks. *Poultry Science* 76:381-385, doi : [10.1093/ps/76.2.381](https://doi.org/10.1093/ps/76.2.381)
- Yusrizal Y., Chen T-C., 2003a. Effect of adding chicory fructans in feed on broiler growth performance, serum cholesterol and intestinal length. *International Journal of Poultry Science*, 2(3): 214-219, doi: [10.3923/ijps.2003.214.219](https://doi.org/10.3923/ijps.2003.214.219)
- Yusrizal Y., Chen T-C., 2003b. Effect of adding chicory fructans in feed on fecal and intestinal microflora and excreta volatile ammonia. *International Journal of Poultry Science*, 2(3): 188-194, doi: [10.3923/ijps.2003.188.194](https://doi.org/10.3923/ijps.2003.188.194).
- Zhang A-W., Lee B-D., Lee S-K., Lee K-W., An G-H., Song K-B., Lee C-H., 2005. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poult. Sci.* 84(7):1015–1021, doi: [10.1093/ps/84.7.1015](https://doi.org/10.1093/ps/84.7.1015)
- Zhang G-D., Ma L., Doyle M-P., 2007. Salmonellae reduction in poultry by competitive exclusion bacteria *Lactobacillus salivarius* and *Streptococcus cristatus*. *Journal of Food Protection*, 70(4): 874-878
- Zhao P-Y., Wang J-P., Kim I-H., 2013. Effect of dietary levan fructan supplementation on growth performance, meat quality, relative organ weight, cecal microflora, and excreta noxious gas emission in broilers. *J. Anim. Sci.* 91(11): 5287-5293.