

الیاف – ویژگی‌های شیمیایی و عملکردی در تغذیه طیور

مترجم: مسعود برزگر

دانشجوی دکترای تغذیه طیور – دانشگاه تهران

واژه "الیاف"^۱ به طور گسترده در متون مربوط به تغذیه طیور استفاده شده با این حال مفهوم آن ناواضح بوده و به درستی تعریف نشده است. گستردگی واژه به این دلیل است که الیاف اشاره به بقایای مواد آلی دارد که پس از مراحل عصاره‌گیری با اسید، باز یا شوینده‌ها باقی می‌ماند. اصطلاحات مختلفی برای بیان الیاف به کار می‌رود که شامل الیاف خام (CF)^۲، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)^۳، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)^۴ و الیاف جیره (DF)^۵ است. یکی از دلایل صحیح نبودن تعریف الیاف، روش به دست آوردن آن است زیرا همگی بر استفاده از حلال تأکید دارند در صورتی که خصوصیات شیمیایی آن‌ها قابل تشخیص نیستند. از آنجایی که تغذیه دام در جهت تولید بیشتر با مصرف کمتر خوراک در حرکت است از این رو هر ماده مغذی که دارای ارزش تغذیه‌ای است باید مورد بررسی قرار گیرد. در سال‌های اخیر تمایل زیادی به بررسی نقش الیاف در خوراک طیور به وجود آمده است که برای دستیابی به آن، بخش‌های شیمیایی تشکیل‌دهنده الیاف باید بررسی شده و خصوصیات فیزیکی و عملکردی آن‌ها به خوبی شناخته شود. در این مقاله، اصطلاحات مورد استفاده برای توصیف الیاف، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی و عملکرد آن‌ها در ارتباط با تغذیه طیور مورد بحث قرار گرفته است.

مقدمه

جیره مرسوم جوجه گوشتی حاوی حدود ۶۵٪ دانه غلات مثل ذرت و گندم و حدود ۲۵٪ کنجاله سویا است و بقیه آن را اقلام با مقدار کم تشکیل می‌دهد. میزان الیاف خام چنین جیره‌ای حدود ۳-۲/۵٪ است ولی زمانی که تمام اقلام مغذی در ماتریکس جیره در نظر گرفته می‌شوند، میزان الیاف خام کمتر از ۹۰٪ اعداد ذکر شده است. این ۱۰٪ اختلاف بیانگر مقداری از الیاف کل است که توسط الیاف خام قابل اندازه‌گیری نیست. به منظور تعیین دقیق میزان الیاف جیره، سیستمی برای "الیاف شوینده" به کار گرفته شد (ون سست، ۱۹۶۳). این سیستم شامل دو بخش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی است و هدف آن جداکردن "همی سلولز" با تخمیرپذیری بالا از "سلولز" و "لیگنین" با قابلیت هضم کم و بهبود سنجش الیاف در مقایسه با الیاف خام است. با این حال علی‌رغم تحقیقات صورت گرفته، جیره‌نویس‌ها این مسئله را نادیده می‌گیرند. از اواخر دهه ۱۹۷۰ تا کنون، در تغذیه انسانی تحقیقات بر روی الیاف بیشتر شده که دلیل آن اثرات سودمند غذای حاوی الیاف بالا بر سلامت روده و کاهش میزان انرژی دریافتی است (استفان و کومینگس، ۱۹۸۰). با توجه به این تحقیقات، الیاف غذا به صورت "بخش‌های خوراکی گیاهان یا کربوهیدرات‌های مشابهی که در روده کوچک انسان در برابر هضم و جذب مقاومت کرده و در روده بزرگ نیز به طور جرئی یا کامل تخمیر می‌شوند و شامل پلی‌ساکاریدها، الیگوساکاریدها و لیگنین است که از اثرات فیزیولوژیکی مفید آن می‌توان به کاهش کلسترول و گلوکز خون اشاره کرد" تعریف می‌شود (AACC 2000). در این تعریف بحث‌های زیادی وجود دارد با این حال در این مقاله در مورد تعریف الیاف بحثی صورت نمی‌گیرد و تمرکز بر روی روش‌های اندازه‌گیری الیاف جیره و شبیه‌سازی خواص فیزیکی- شیمیایی اجزاء انفرادی آن است.

الیاف و خصوصیات شیمیایی آن

- 1 . fibre
- 2 . Crude Fibre (CF)
- 3 . Acid Detergent Fibre (ADF)
- 4 . Neutral Detergent Fibre (NDF)
- 5 . Dietary Fibre (DF)

اصطلاح "الیاف" به طور گسترده برای توصیف پلی ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای (NSP)^۱ و لیگنین که ساختمان پلی فنولیک دارند به کار می‌رود. با این حال زمانی که مسئله الیاف مطرح می‌شود متخصصین تغذیه طیور با مشکلی اساسی مواجه می‌شوند زیرا اصطلاحات الیافی زیادی وجود دارد که تمایز آن‌ها از هم مشکل است. مفاهیم مرسوم مورد استفاده و اجزاء شیمیایی اصلی و ارتباط آن‌ها با یکدیگر در زیر آمده است:

الیاف خام

در سیستم تجزیه تقریبی^۲ که توسط ویندی^۳ در آلمان مطرح شد (هنه‌برگ و استوهمن، ۱۸۵۹، ۱۸۶۰) کربوهیدرات‌ها به دو بخش با قابلیت هضم بالا و پایین تقسیم شدند که اولی "عصاره عاری از نیتروژن (NFE)"^۴ و دومی الیاف خام نام گرفت. از فواید این سیستم، جدا کردن اجزاء خوراک (CF، NFE، رطوبت، خاکستر، عصاره اتری مثل چربی و پروتئین خام) بر اساس روش‌های تجزیه‌ای بود. این روش موجب ایجاد سیستمی شد که علی‌رغم پیشرفت‌های گسترده در علم تجزیه و درک تغذیه‌ای که از ۱۵۰ سال پیش شروع شده بود، در طی زمان همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الیاف، باقی مانده اقلام خوراک است که در اسید سولفوریک داغ و رقیق و سدیم هیدروکسید قابل حل نیست و بیانگر بخش متغیر NSP نامحلول شامل سلولز و مقداری همی سلولز است. این تغییرات در مقدار الیاف خام ارتباط زیادی به اقلام خوراکی و ماهیت فیزیکی-شیمیایی NSP موجود در آن‌ها دارد. در مرحله اول هیچ کدام از NSP‌های محلول در نظر گرفته نشده است. برای مثال بیشتر پلی ساکاریدهای پکتینی، بتا-گلوکان‌های مخلوط و آرابینوزایلان‌ها اندازه‌گیری نشدند. به علاوه این احتمال وجود دارد که برخی از سلولزهای بی شکل مثل سلولزهای کمتر کریستاله و کمتر لیگنین شده در زمان اندازه‌گیری الیاف خام در نظر گرفته نشده‌اند زیرا این مورد، تابع عصاره‌گیری در اسید یا باز داغ طی مدت زمان طولانی است. با این حال در صنعت طیور هنوز از الیاف خام در جیره‌نویسی استفاده می‌شود. از آنجایی که تقریباً همه پلی ساکاریدهای پکتینی در اندازه‌گیری الیاف خام لحاظ نمی‌شوند ولی منابع پروتئین گیاهی مثل کنجاله سویا که غنی از این پلی‌مرها هستند بخش بزرگی از الیاف واقعی آن‌ها را تشکیل می‌دهند، در عمل لحاظ نمی‌شوند.

الیاف‌های شوینده

ون‌سوست (۱۹۶۳) بیان کرد که الیاف خام نمایانگر میزان الیاف واقعی اقلام خوراکی نیست. دو نوع الیاف وجود دارد که شامل NDF و ADF است. ارتباط مستقیمی بین میزان NDF و سطوح NSP در مواد خام غیرلگومینه وجود دارد. در مورد لگومینه‌ها و دانه‌های روغنی که غنی از پلی ساکاریدهای پکتینی هستند عدد NDF غیر قابل اعتماد می‌باشد زیرا بخش بیشتر NSP محلول موجود در خوراک نادیده گرفته می‌شود، به عبارت دیگر بیشتر پلی‌مرهای پکتینی مانند گالاکتورونان‌ها، رامنوگالاکتورونان‌ها، آرابینان‌ها و آرابینوگالاکتون‌ها لحاظ نمی‌شوند. برای مثال در کنجاله سویا که حاوی بیش از ۳۵٪ کربوهیدرات است حدود ۱۴٪ قند محلول با وزن ملکولی کم و ۲۱٪ NSP وجود دارد. از این NSP‌ها ۷-۵٪ محلول هستند (چوکت و همکاران، ۲۰۱۰). میزان NDF کنجاله سویا در دامنه ۱۲/۲-۷/۴٪ بر اساس ماده خشک و ۱۰/۷-۶/۵٪ بر اساس ماده تر است (ون ایز و همکاران، ۲۰۰۴). این مسئله بیان می‌دارد که ۲۹-۲۴٪ کربوهیدرات‌های موجود در کنجاله سویا توسط NDF به دام نیفتاده‌اند. بنابراین مشاهده ارتباط مقادیر زیاد NDF در تغذیه حیوانات تک‌معدة دشوار است.

از دیدگاه شیمی، مقادیر NDF و ADF هیچ گونه نگرش خاصی را نشان نمی‌دهند. می‌توان گفت که هر دو بخش الیاف با یکدیگر هم‌پوشانی دارند زیرا NDF به بخش NSP نامحلول به علاوه لیگنین و ADF به بخش NSP نامحلول که به طور عمده از سلولز و لیگنین تشکیل شده است اشاره دارد. بنابراین از تخمین زیر برای بیان میزان همی سلولز استفاده می‌شود:

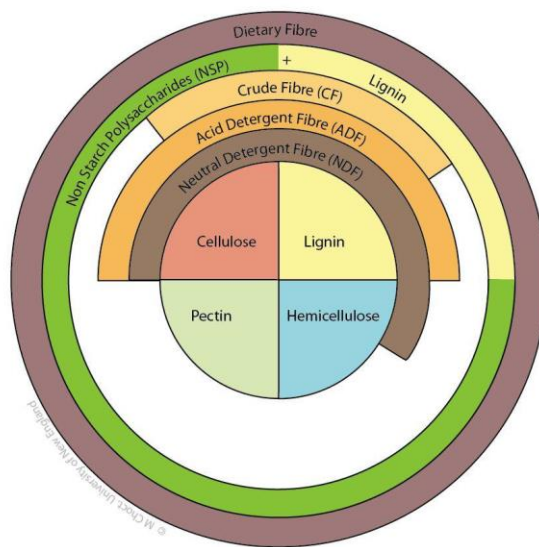
$$\text{NDF-ADF} = \text{همی سلولز}$$

1. non-starch polysaccharides (NSP)
2. Proximate Analysis System
3. Weende
4. nitrogen free extract (NFE)

در گذشته نظر بر این بوده است که همی سلولز بخشی از دیواره سلولی گیاهی است که در قلیا قابل حل بوده و پیش ساز سلولز می باشد (اسچولز، ۱۸۹۱) در حالی که این برداشت اشتباه بوده و در نتیجه اصطلاح همی سلولز یک تعریف نادرست است. در واقع همی سلولز شامل آرابینوزایلان ها، بتا-گلوکان ها، زایلوگلوکان ها، مانان ها، گالاکتومانان ها، گالاکتان ها، آرابینان ها و پلی ساکاریدهای خنثی دیگری غیر از سلولز است. با این حال این واژه توسط صنعت و دانشگاه مورد استفاده قرار می گیرد.

الیاف خوراک

همان طور که در ابتدا گفته شد، DF اصطلاحی است که در تغذیه انسان به کار می رود. تعریف DF بسیار بحث برانگیز بوده است زیرا طی سال ها، تعاریف متنوعی ارائه شده که برخی بر اساس اثرات فیزیولوژیکی DF و برخی بر اساس روش های تعیین آن بنا شده اند. درک DF در تغذیه طیور ساده است زیرا شامل مجموع NSP و لیگنین است. دو روش مناسب برای اندازه گیری DF وجود دارد. روش اول روش آنزیمی-گرانشی^۱ است که توسط انجمن رسمی شیمی تحلیلی (AOAC)^۲ ارائه شده است که در آن مواد آلی غیر از دیواره سلولی را به روش آنزیمی حذف می کنند سپس توسط گرانش، بقایای تصحیح شده بر اساس خاکستر را اندازه گیری می کنند. روش دیگر به نام روش آپسالا^۳ شناخته می شود. در این روش بقایای قندها با تبدیل شدن به آلدیتول استات و اندازه گیری آن با کروماتوگرافی گازی به صورت انفرادی ثبت می شوند (تیندر و همکاران، ۱۹۹۵). در این روش لیگنین و اورونیک اسید به صورت جداگانه تعیین می شوند. روش آپسالا مزایای زیادی دارد به عنوان مثال می توان ترکیب قندهای موجود در الیاف خوراک را به صورت انفرادی جدا کرد که می تواند دیدگاهی در مورد نوع پلی ساکاریدهای موجود در اقلام خوراکی ارائه دهد. از مزایای دیگر آن توانایی تقسیم بندی NSP بر اساس حلالیت آن در آب است (این مورد در روش های دیگر نیز وجود دارد).



ارتباط بین الیاف های مختلف

1 . enzymatic-gravimetric methods

2 . Association of Official Analytical Chemists (AOAC)

3 . Uppsala Method

خصوصیات فیزیکی و اهمیت تغذیه‌ای الیاف

در طبیعت هزاران پلی‌ساکارید وجود دارد به این دلیل که تغییر مختصر در واحدهای تکرار شونده پلی‌ساکاریدها می‌تواند پلی‌مرهای کاملاً متفاوت با خصوصیات متضاد تشکیل دهد. از لحاظ تغذیه طيور حلالیت‌پذیری و گران‌روی^۱ دو ویژگی مهم است با این حال معماری ساختمانی و ارتباط درونی NSP با اجزاء دیگر دیواره سلول در نظر گرفته نمی‌شوند (اسوبهوس، ۲۰۱۱).

حلالیت‌پذیری

محلول بودن در آب بیانگر حلالیت‌پذیری در دستگاه گوارش بوده (هر چند که همیشه درست نیست) و یکی از ویژگی‌های بسیار مهم الیاف است. حلالیت NSPها به ساختار شیمیایی آن‌ها و باقیمانده ترکیبات دیواره سلولی بستگی دارد. NSPهای محلول و نامحلول اثرات تغذیه‌ای متفاوتی در جیره طيور دارند (متئوس و همکاران، ۲۰۱۲). با این حال باید در نظر داشت که حلالیت به خودی خود یک عامل کلیدی تعیین کننده خصوصیات تغذیه‌ای NSP در طيور نیست. برای مثال کربوهیدرات‌های با وزن ملکولی پایین مانند الیگوساکاریدها و فروکتان‌ها در آب بسیار محلول هستند و توسط طيور به خوبی تخمیر می‌شوند (کاره و همکاران، ۱۹۹۵). بسیاری از این گونه کربوهیدرات‌ها به عنوان پربیوتیک^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این حال آرابینوزایلان‌ها و بتا-گلوکان‌های محلول محیطی با گران‌روی بالا تشکیل می‌دهند که اثر منفی بر هضم و استفاده از مواد مغذی دارند (چوکت و آنیسون، ۱۹۹۲). این مسئله اهمیت جدا کردن NSPهای ایجاد کننده محیط با گران‌روی بالا را از انواعی که گران‌روی نداشته یا وزن ملکولی پایینی دارند نشان می‌دهد.

گران‌روی

گران‌روی مختص ترکیبات قندی یا نوع اتصال موجود در NSPها نیست. اثر فیزیکی گران‌روی بر هضم و جذب مواد مغذی بدون توجه به منبع NSP، با هم مشابه است. به طور کلی گران‌روی بالای دستگاه گوارش موجب کاهش میزان عبور مواد مغذی و آنزیم‌های هضمی شده و تعاملات مؤثر آن‌ها با مخاط نیز کمتر می‌شود (ایکه‌گامی و همکاران، ۱۹۹۰). NSPهای محلول با گلیکوکالیکس^۳ موجود در مرز مسواکی روده تقابل پیدا کرده و موجب ضخیم‌شدن لایه آب‌گریز مخاط می‌شوند که نتیجه آن کاهش بازدهی جذب مواد مغذی از طریق دیواره روده است (جانسون و گی، ۱۹۸۱). زمانی که تغییرات فیزیولوژیکی و میکروبی رخ می‌دهد، بازدهی هضم، انتقال و جذب مواد مغذی نیز تغییر می‌یابد. به عنوان مثال، گران‌روی موجب آهسته شدن نرخ عبور مواد هضمی و کاهش قابلیت هضم مواد مغذی می‌شود که طی آن مواد مغذی هضم نشده برای مدت طولانی در روده باقی مانده و از طرفی ترشح مخاط نیز به واسطه حضور میکروب‌ها افزایش می‌یابد (چی و همکاران، ۲۰۱۰) و به دلیل تغییر در نیاز اکسیژن در روده کوچک، میزان تخمیر افزایش می‌یابد (چوکت و همکاران، ۱۹۹۶).

معماری ساختاری

NSPهای نامحلول بخش اعظم الیاف موجود در جیره را تشکیل می‌دهند ولی اثر کمی بر میزان استفاده مواد مغذی در حیوانات تک‌معه دارند (بگین، ۱۹۶۱). با این حال این نوع از NSPها بدون ضرر نیستند و نقش آن‌ها در تغذیه تک‌معه‌ای‌ها بی‌اهمیت نیست. یکی از مهمترین ویژگی NSPهای نامحلول توانایی آن‌ها در جذب مقادیر زیاد آب و حفظ تحرک طبیعی در روده است (استفان و کومینگس، ۱۹۷۹). این مورد برای استحکام مواد دفعی در تک‌معه‌ای‌ها ضروری است. افزایش میزان الیاف نامحلول در جیره مدت زمان ماندگاری مواد هضمی را کاهش داده (کروان و همکاران، ۱۹۷۴) که نتیجه آن کمتر شدن قابلیت هضم مواد مغذی است. منطقی این است که حضور طولانی مدت خوراک در روده موجب بیشتر شدن و کامل شدن هضم آن‌ها می‌شود. به اشتباه ثابت شده است که افزودن الیاف نامحلول به گندم با انرژی پایین موجب افزایش انرژی قابل سوخت و ساز در طيور

1 . viscosity

2 . prebiotic

3 . glyocalyx

می‌شود (روگل، ۱۹۸۵). در سال‌های اخیر تحقیقات مختلف نشان داده است که افزودن الیاف نامحلول با ساختار درشت در جیره طیور موجب افزایش نمو روده و در برخی موارد بهبود قابلیت هضم مواد مغذی شده است. با این حال، تحقیق در این زمینه علاوه بر تأکید بر اجزاء شیمیایی انفرادی تشکیل‌دهنده NSP نامحلول، بر اهمیت "اجزاء ساختاری" جیره نیز تأکید دارد (متئوس و همکاران، ۲۰۱۲). الیاف به دلیل این‌که پیوند عرضی با دیگر ترکیبات دیواره سلولی دارد به صورت مجزا مشاهده نمی‌شود. برای مثال لیگنینه شدن سلولز (بارسلو، ۱۹۹۷) و متیله شدن دیگر NSPها (مک‌فیتز و آرمسترانگ، ۱۹۸۴) برای حفظ یکپارچگی ساختاری سلول و بدنه آوندی گیاهان مهم است. در ارتباط با تغذیه دام در اغلب موارد، کل اقلام خوراکی موجود در جیره به جای مواد مغذی خاصی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در مورد ارزیابی اثرات الیاف بر سلامت دستگاه گوارش طیور لازم است که آن‌را در زمینه‌ای از معماری فیزیکی دیواره سلولی در نظر بگیریم. در واقع، در کنار پیوندهای عرضی، ساختار فیزیکی الیاف توسط بسیاری از عوامل همچون درجه کریستاله شدن پلی‌مرهای انفرادی مثل سلولز، طول زنجیره و آرایش سه بعدی NSP، منشأ گیاهی و فرآوری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. فرآوری‌هایی مانند تیمار حرارتی، آسیاب کردن (اندازه ذرات) و استخراج شیمیایی می‌توانند ساختار فیزیکی الیاف را به شدت تغییر دهند. برای مثال آسیاب نرم پوسته یولاف موجب افزایش هضم مواد مغذی و سلامت روده می‌شود (اسویهوس، ۲۰۱۱).

الیاف در جیره‌نویسی

در صنعت طیور، خوراک بیش از ۶۰٪ تولیدات را در بسیاری از کشورها به خود اختصاص می‌دهد. برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید لازم است که هر ماده مغذی در فضای ماتریسی جیره به دقت در نظر گرفته شود. در حال حاضر الیاف را در نظر نمی‌گیرند یا به درستی محاسبه نمی‌شود زیرا هنوز از الیاف خام استفاده می‌شود. در آینده، ماتریکس مواد مغذی جدید برای تمام کربوهیدرات‌های اقلام خوراکی شامل مقدار و نوع الیگوساکاریدها و NSPها (محلول، نامحلول و NSP کل) باید در نظر گرفته شود. چنین رویکردی منجر به استفاده هدفمندتر از مواد مغذی سودمند مانند آنزیم‌های تجزیه کننده NSP، افزودنی‌های الیاف و دیگر افزودنی‌های تقویت کننده دستگاه گوارش می‌شود.

References

- ASSOCIATION OF ANALYTICAL CEREAL CHEMISTS (AACC 2000). AACC International approves new dietary fiber definition. <http://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Pages/DietaryFiber.aspx>
- BARCELO, A.R. (1997) Lignification in plant cell walls. *International Review of Cytology - a Survey of Cell Biology* **176**, 87-132.
- BEGIN, J.J. (1961) The effect of cellulose with and without supplemental energy in chick diets. *Poultry Science* **40**, 892-900.
- CARRÉ, B., GOMEZ, J. AND CHAGNEAU, A.M. (1995) Contribution of oligosaccharide and polysaccharide digestion, and excreta losses of lactic acid and short chain fatty acids, to dietary metabolisable energy values in broiler chickens and adult cockerels. *British Poultry Science* **36**, 611-29.
- CHEE, S.H., IJI, P.A., CHOCT, M., MIKKELSEN, L.L. and KOCHER, A. (2010) Characterisation and response of intestinal microflora and mucins to manno-oligosaccharide and antibiotic supplementation in broiler chickens. *British Poultry Science* **51**, 368-80.
- CHOCT, M. and ANNISON, G. (1992) Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *British Poultry Science* **33**, 821-34.
- CHOCT, M., DERSJANT-LI, Y., McLEISH J. and PEISKER, M. (2010) Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: a review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **23**, 1386-1398.

CHOCT, M., HUGHES, R.J., WANG, J., BEDFORD, M.R., MORGAN, A.J. and ANNISON, G. (1996) Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens. *British Poultry Science* **37**, 609-21.

HENNEBERG, W. and STOHMANN, F. (1859) Über das Erhaltungsfutter volljährigen Rindviehs. *Journal der Landwirtschaft* **3**, 485–551.

HENNEBERG, W. and STOHMANN, F. (1860) Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer I & II. Braunschweig.

IKEGAMI, S., TSUCHIHASHI, F., HARADA, H., TSUCHIHASHI, N., NISHIDE, E. and INNAMI, S. (1990) Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *Journal of Nutrition* **120**, 353-360.

JOHNSON, I.T. and GEE, J.M. (1981) Effect of gel-forming gums on the intestinal unstirred layer and sugar transport in vitro. *Gut* **22**, 398-403. 119

KIRWAN, W.O., SMITH, A.N., MCCONNELL, A.A., MITCHELL, W.D. and EASTWOOD, M.A. (1974) Action of different bran preparations on colonic functions. *British Medical Journal* **4**, 187-189.

MATEOS, G.G., JIMÉNEZ-MORENO, E., SERRANO, M.P. and LÁZARO, R.P. (2012) Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *Journal of Applied Poultry Research* **21**, 156–174.

McFEETERS, R.F. and ARMSTRONG, S.A. (1984) Measurement of pectin methylation in plant cell walls. *Annals of Biochemistry* **139**, 212-7.

ROGEL, A.M. (1985) The digestion of wheat starch in broiler chickens. PhD Thesis, University of Sydney, Camden, Australia.

SCHULZE, E. (1891) Zur Kenntnis der Chemischen Zusammensetzung der pflanzlichen Zellmembranen. *Ber Dtsch Chem Ges* **24**, 2277-2287.

STEPHEN, A.M. and CUMMINGS, J.H. (1979) Water-holding by dietary fibre in vitro and its relationship to faecal output in man. *Gut* **20**, 722-729.

STEPHEN, A.M. and CUMMINGS, J.H. (1980) Mechanism of action of dietary fibre in the human colon. *Nature* **284**, 283-284.

SVIHUS, B. (2011) The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poultry Science Journal* **67**, 207-223.

THEANDER, O., ÅMAN, P., WESTERLUND, E., ANDERSSON, R. and PETTERSSON, D. (1995) Total dietary fiber determined as neutral sugar residues, uronic acid residues, and Klason lignin (the Uppsala method): collaborative study. *Journal of AOAC Internals* **78**, 1030-44.

VAN EYS, J.E., OFFNER, A. and BACH, A. (2004) Chemical analysis. Manual of quality analyses for soybean products in the feed industry. American Soybean Association. <http://www.slideshare.net/drvasuc/manual-of-quality-analysis-soya-products>

VAN SOEST, P.J. (1963) Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fibre residues of low nitrogen content. *AOAC Journal* **46**, 825–829.