



杜陶然,牛清,蒲广,等.不同月龄苏淮育肥猪纤维表观消化率、肠道长度与微生物差异分析[J].南京农业大学学报,2024,47(1):105-112.
DU Taoran, NIU Qing, PU Guang, et al. Effects of age on apparent fiber digestibility, intestinal length and gut bacteria in Suhuai pig[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2024, 47(1): 105-112.

不同月龄苏淮育肥猪纤维表观消化率、肠道长度 与微生物差异分析

杜陶然^{1,2}, 牛清^{1,2,5}, 蒲广^{1,2}, 李开军^{1,2}, 刘根盛^{1,2},
牛培培², 张总平³, 李强⁴, 李平华^{1,2}, 黄瑞华^{1,2*}

(1.南京农业大学养猪研究所,江苏南京210095;2.南京农业大学淮安研究院,江苏淮安223001;
3.淮安新势畜牧服务有限公司,江苏淮安223001;4.淮安市淮阴新淮种猪场,江苏淮安223322;
5.上海市农业科学院,上海201106)

摘要: [目的] 本试验旨在探究不同月龄苏淮育肥猪耐粗饲特征(以纤维表观消化率为评定表型)、肠道发育及肠道微生物的差异,并分析肠道发育及微生物与纤维表观消化率的相关性。[方法] 试验选取82头出生条件相近的苏淮猪,在相同饲养环境下饲养,分别在7、8月龄时进行屠宰。采集结肠后端内容物样品并测定不同月龄结肠后段各营养成分的表观消化率;测定肠道长度、周长,分析不同月龄苏淮育肥猪肠道营养成分表观消化率和肠道发育差异,并进行消化率与肠道长度、周长的相关性分析。同时,分别在7、8月龄猪中选取高纤维消化率组和低纤维消化率组各5头进行盲肠、结肠内容物常见纤维分解菌的丰度分析。[结果] 8月龄苏淮猪的粗纤维、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、粗蛋白和粗脂肪的表观消化率均显著高于7月龄($P<0.05$),但8月龄苏淮猪大肠、小肠及整个肠道长度、盲肠、结肠周长与7月龄间无显著差异。盲肠周长与粗纤维、酸性洗涤纤维和粗脂肪的表观消化率呈显著正相关($P<0.05$)。7月龄和8月龄苏淮猪的盲肠、结肠白化瘤胃球菌和柔嫩梭菌的丰度在高、低纤维消化率组间均无显著差异。7月龄苏淮猪的结肠柔嫩梭菌丰度在高、低纤维消化率组均显著高于盲肠($P<0.05$)。8月龄苏淮猪结肠柔嫩梭菌丰度在低纤维消化率组显著低于7月龄($P<0.05$)。[结论] 不同月龄苏淮猪耐粗饲特征不同,随月龄的增加,苏淮猪的消化性能逐渐完善,8月龄苏淮猪各营养成分表观消化率显著高于7月龄,且其纤维消化率与盲肠周长呈显著正相关,但肠道内容物中白化瘤胃球菌和柔嫩梭菌可能不是影响其纤维消化的关键微生物。

关键词: 苏淮猪;耐粗饲;日龄;表观消化率;肠道发育;肠道微生物

中图分类号:S852.6

文献标志码:A

文章编号:1000-2030(2024)01-0105-08

Effects of age on apparent fiber digestibility, intestinal length and gut bacteria in Suhuai pig

DU Taoran^{1,2}, NIU Qing^{1,2,5}, PU Guang^{1,2}, LI Kaijun^{1,2}, LIU Gensheng^{1,2}, NIU Peipei²,
ZHANG Zongping³, LI Qiang⁴, LI Pinghua^{1,2}, HUANG Ruihua^{1,2*}

(1. Institute of Swine Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Huai'an Academy,
Nanjing Agricultural University, Huai'an 223001, China; 3. Huai'an Kinshi Animal Husbandry Services Co., Ltd.,
Huai'an 223001, China; 4. Huaiyin Xinhui Pig Breeding Farm of Huai'an City, Huai'an 223322, China;
5. Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China)

Abstract: [Objectives] The experiment of this study was conducted to investigate the characteristics of fiber tolerance (assessed by apparent fiber digestibility), intestinal development and intestinal microorganism of Suhuai finishing pigs of different months of age, and to analyze the correlation between intestinal development, fiber apparent digestibility and intestinal microorganism. [Methods] Eighty-two Suhuai finishing pigs with similar birth conditions were selected and raised in the same feeding environment. The pigs were slaughtered at 7 or 8 months of age, and the contents of posterior colon samples were collected to determine the apparent digestibility of various nutrients in posterior colon segment at different months of age. The intestinal length and circumference were measured to analyze the intestinal development differences of Suhuai finishing pigs at different months of age. The correlations

收稿日期:2022-09-03

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金计划(CX[20]1003);国家重点研发计划项目(2021YFD1301101);江苏现代农业产业技术体系建设专项资金(JATS[2023]410, JATS[2023]186)

*通信作者:黄瑞华,教授,研究方向为地方猪遗传资源种质特性挖掘、保护与创新利用, E-mail: rhhuang@njau.edu.cn.

between apparent digestibility and intestinal length and circumference were also analyzed. And according to the apparent digestibility of fiber in the posterior segment of colon, 5 pigs in the high fiber digestibility group and 5 pigs in the low fiber digestibility group were selected at 7 and 8 months of age to analyze the abundance of common fibrolytic bacteria in the cecum and colon contents. [Results] The apparent digestibility of crude fiber (CF), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), crude protein (CP) and ether extract (EE) of 8 months Suhuai pigs were significantly higher than those of 7 months Suhuai pigs ($P < 0.05$). There was no significant difference in the length of large intestine, small intestine and whole intestine, cecum and colon circumference between Suhuai pigs at 7 and 8 months of age. There was a significant positive correlation between cecum circumference and apparent digestibility of CF, ADF and EE ($P < 0.05$). There was no significant difference in the abundance of *Ruminococcus albus* and *Clostridium leptum* in cecum and colon of Suhuai pigs at 7 and 8 months of age between high and low fiber digestibility groups. The abundance of *Clostridium leptum* in colon of Suhuai pigs aged 7 months was significantly higher than that in cecum in both high and low fiber digestibility groups ($P < 0.05$). The abundance of *Clostridium leptum* in colon of 8-month-old Suhuai pigs in low fiber digestibility group was significantly lower than that of 7-month-old Suhuai pigs ($P < 0.05$). [Conclusions] Different months age of Suhuai pigs had different characteristics of fiber tolerance. The digestive performance of Suhuai pigs improved with age, the nutrients apparent digestibility of Suhuai pigs aged 8 months was significantly higher than that of 7 months of age, and the fiber digestibility of Suhuai pigs was significantly positively correlated with cecum circumference. But the *Ruminococcus albus* and *Clostridium leptum* in intestinal contents might not be the key microorganisms affecting the fiber digestion of Suhuai pig.

Keywords: Suhuai pig; fiber tolerance; age; apparent digestibility; intestinal development; gut bacteria

作为世界第一养猪大国,我国目前猪饲料原料以玉米、豆粕为主。在我国饲料资源逐渐匮乏,玉米、大豆等粮食作物进口量不断提高,“人畜争粮”矛盾日渐突出的情况下,寻找谷物饲料原料的替代品迫在眉睫。近年来,人们对猪饲料研究的关注点也从蛋白质和能量饲料转移到来源丰富且价格低廉的粗饲料上。因此,研究中国地方猪种的耐粗饲性能,促进中国地方猪节粮型粗饲技术的推广,可以大幅度降低饲养成本,减少浪费和污染,缓减农业资源的供需矛盾。

猪胃和小肠不能产生降解日粮纤维的酶,消化吸收粗纤维主要通过其大肠中微生物的降解来实现^[1]。大肠内微生物,尤其是纤维分解菌分泌纤维素酶复合体,将纤维作为发酵底物,水解纤维素聚合体,产生单糖或寡糖,再经发酵产生乙酸、丙酸和丁酸等短链脂肪酸(short chain fatty acid, SCFA),最终被机体吸收利用,其中结肠中 SCFA 可为生长猪提供 5%~28% 的能量来源^[2]。

不同品种猪肠道发育存在差异,在相同生长环境中,中国地方猪品种及含有地方猪血统的培育猪种能够表现出更优的纤维适应力^[3]。Fevrier 等^[4]对大白猪和梅山猪饲喂高粗纤维的日粮,发现梅山猪较大白猪更耐粗饲。Kemp 等^[5]对梅山猪与荷兰长白猪饲喂粗纤维日粮,结果同样发现梅山猪的日粮粗纤维消化率明显高于长白猪。Urriola 等^[6]用梅山猪和不同年龄体重的约克夏猪进行试验,在回肠末端制作套管,测定不同品种猪饲喂不同水平日粮纤维消化率的差异,结果发现梅山猪较约克夏猪具有更高的消化道表观总消化率。

中国地方猪品种的耐粗特性可能与其肠道发育有关。Fevrier 等^[4]发现梅山猪较大白猪有更强的粗纤维消化能力的优势缘于梅山猪拥有更重的胃肠道。Urriola 等^[6]研究也认为,梅山猪对高纤维日粮消化率更强的原因,与梅山猪大肠相对质量更重紧密相关。Yen 等^[7]研究也证实梅山猪胃肠道质量显著大于大白猪。程泽信等^[8]通过对野猪和长白猪内脏器官的观察发现,野猪的十二指肠、空肠、回肠、盲肠、结肠的长度宽度均比长白猪大,且质量也比长白猪大,说明野猪的耐粗饲能力强。宋青龙等^[9]对 8 月龄野猪和长白猪的研究发现,野猪消化道主要器官胃、小肠、大肠、肝和胰的相对长度或相对质量均高于长白猪。特别是与消化有关的小肠的相对质量、大肠的相对长度两指标达到了极显著的水平。

除肠道发育外,肠道微生物也是影响猪纤维消化能力的重要因素。Fevrier 等^[4]发现梅山猪较大白猪更耐粗饲的原因是梅山猪拥有更丰富的大肠微生物。Urriola 等^[6]研究也发现,梅山猪大肠内活跃的纤维降解菌对不同纤维日粮消化能力不同,其具体的微生物学机制尚未明晰。目前明确影响纤维消化率的微生物报道不多,其中白化瘤胃球菌、柔嫩梭菌是常见的纤维分解菌^[10]。

猪的纤维降解能力也与日龄有关,许多研究表明猪的日龄越大,其利用纤维的能力越强。Bindelle 等^[10]运用体外发酵方法发现不同年龄阶段不同体重猪肠道菌群的发酵能力不同;Urriola 等^[6]也发现 102 kg 的大白猪对干酒糟及其可溶物中的粗纤维(crude fiber, CF)表观总消化率显著高于 80 kg 的大白猪。本实验室前期对 28、60、90 和 150 d 苏太猪的纤维表观消化率进行了分析,发现 CF 和酸性洗涤纤维

(acid detergent fiber, ADF) 的表观消化率在 150 d 时最高,且与年龄成正相关;90 d 组中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)表观消化率极显著高于 60 d 组,与 150 d 组无显著性差异^[11],但育肥后期(7、8 月龄)的纤维消化能力是否存在差异未知。

苏淮猪是我国新近培育成功的瘦肉型猪种,含有 75% 大白血统和 25% 淮猪血统,具备其父本大白猪瘦肉率高的特点,又保留其母本淮猪“耐粗”的特性。本课题组前期研究表明,苏淮猪可以适应 35% 的全脂米糠高纤维日粮^[12-13],而且用 12.77% 脱脂米糠替代部分育肥日粮中的玉米对苏淮猪生长性能和营养物质表观消化率无显著影响^[14],初步证明苏淮猪的耐粗特性。苏淮猪的商品销售以优质肉为主,适度控制其生长速度,不在 6 月龄上市,延长饲养期是生产优质肉的有效手段,因此苏淮猪育肥猪一般 7 或 8 月龄上市。但苏淮猪育肥后期(7、8 月龄)的纤维消化能力是否存在差异未知,其纤维消化率能力与其肠道发育和肠道常见纤维分解菌关系有待确定。因此,本课题比较了 7、8 月龄苏淮猪的各类纤维表观消化率与肠道发育的差异,并将纤维表观消化率与肠道长度、周长进行了相关性分析,探究苏淮猪肠道发育与纤维消化能力之间的关系。并使用 real-time PCR 技术,研究 7、8 月龄高、低纤维消化率苏淮猪盲肠和结肠内白化瘤胃球菌和柔嫩梭菌 2 种常见纤维分解菌的丰度差异。本研究为探究 7、8 月龄苏淮猪纤维消化能力提供数据,为改良苏淮猪日粮配方,降低养殖成本提供理论依据,为我国地方猪种及含地方猪种血缘的培育猪种育肥后期的耐粗饲特性研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

在江苏省淮安市淮阴种猪场选取 82 头出生条件相似的苏淮猪,随机分为 2 组,在相同饲养环境下饲养,在 7、8 月龄时分别进行屠宰。采集结肠后端内容物样品,保留 2 管微生物样品,其余制成风干样待检,测定不同月龄猪结肠后段各营养成分的表观消化率。测定不同月龄猪肠道(大肠、小肠及肠道总长)长度、周长,进行消化率与肠道长度、周长的相关性分析。再根据结肠后段纤维的表观消化率,分别在 7、8 月龄猪中选取高纤维消化率组 and 低纤维消化率组各 5 头进行盲肠、结肠内容物微生物 Real-time PCR 测定。饲养试验在江苏省淮安市淮阴种猪场进行。饲料均未添加抗生素。

1.2 试验动物饲养管理

试验猪每日饲喂 2 次,时间分别为 08:30—09:30 和 14:30—15:30。试验过程采用干料饲喂,饲喂时间段自由饮食,全天自由饮水,日常管理与防疫按照场内生产常规进行,试验猪只屠宰前 2 个月均未使用抗生素治疗。试验日粮成分如表 1 所示。

表 1 试验日粮原料组成和营养组成

Table 1 Ingredient composition and nutrient composition of the experimental diet

原料组成 Ingredient composition	含量 Content	营养组成 Nutrient composition	含量 Content
玉米 Corn	57.04	粗蛋白 Crude protein(CP)	15.38
麦麸 Wheat Bran	26.02	粗脂肪 Ether extract(EE)	9.65
大豆粉 Soybean meal	10.01	粗纤维 Crude fiber(CF)	3.26
鱼粉 Wheat Bran	0.5	中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber(NDF)	21.07
米糠 Rice bran	2	酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber(ADF)	5.45
预混料 Premix	1		
盐 Salt	0.25		
石粉 Stone powder	1.66		
赖氨酸 Lysine	0.01		
磷酸氢钙 Calcium hydrophosphate	0.41		
复合维生素 Decavitamin	0.5		

注:每 kg 预混料中各成分含量:维生素 A 500~700 kIU·kg⁻¹;维生素 D₃ 100~200 kIU·kg⁻¹;维生素 E ≥ 2 000 IU·kg⁻¹;维生素 K₃ 75~800 mg·kg⁻¹;维生素 B₁ ≥ 75 mg·kg⁻¹;维生素 B₂ ≥ 400 mg·kg⁻¹;维生素 B₆ ≥ 100 mg·kg⁻¹;维生素 B₁₂ ≥ 2.5 mg·kg⁻¹;烟酸 ≥ 3 000 mg·kg⁻¹;泛酸 ≥ 1 000 mg·kg⁻¹;叶酸 ≥ 50 mg·kg⁻¹;胆碱 ≥ 10 g·kg⁻¹;铁 5~10 g·kg⁻¹;铜 0.6~1.2 g·kg⁻¹;锰 2.5~5.0 g·kg⁻¹;锌 6~12 g·kg⁻¹;碘 60~120 mg·kg⁻¹;硒 20~40 mg·kg⁻¹;水 ≤ 10%。

Note: Content of each component in per kg premix: vitamin A 500~700 kIU·kg⁻¹; vitamin D₃ 100~200 kIU·kg⁻¹; vitamin E ≥ 2 000 IU·kg⁻¹; vitamin K₃ 75~800 mg·kg⁻¹; vitamin B₁ ≥ 75 mg·kg⁻¹; vitamin B₂ ≥ 400 mg·kg⁻¹; vitamin B₆ ≥ 100 mg·kg⁻¹; vitamin B₁₂ ≥ 2.5 mg·kg⁻¹; niacin ≥ 3 000 mg·kg⁻¹; pantothenic acid ≥ 1 000 mg·kg⁻¹; folic acid ≥ 50 mg·kg⁻¹; choline ≥ 10 g·kg⁻¹; iron 5~10 g·kg⁻¹; copper 0.6~1.2 g·kg⁻¹; manganese 2.5~5.0 g·kg⁻¹; zinc 6~12 g·kg⁻¹; iodine 60~120 mg·kg⁻¹; selenium 20~40 mg·kg⁻¹; water ≤ 10%.

1.3 屠宰试验

将 2 组猪只饲养至 7 月龄(210±7)d 和 8 月龄(240±7)d, 禁食 12 h 后运送至淮安苏食肉品有限公司进行屠宰, 期间允许自由饮水。采用宰前电击晕法及颈部大血管放血法进行屠宰。所有试验程序、动物饲养和屠宰均按照南京农业大学动物福利与伦理委员会制定的《实验动物饲养与使用指南》[认证号:SYXK(苏)2017-0007]进行。

1.4 营养成分表观消化率的测定

猪只屠宰后, 采集结肠后端内容物样品, 每 200 g 内容物加入 15 mL 10% 硫酸溶液混合均匀, -20 °C 储存。将内容物样品 65 °C 烘干后用粉碎机粉碎过 40 目筛, 105 °C 烘干至恒重后进行各营养物质的表观消化率测定。采用《饲料中盐酸不溶灰分的测定:GB/T 23742—2009》的方法测定盐酸不溶灰分(acid insoluble ash, AIA)含量; 采用 Kjeltac8400 FOSS 全自动凯氏定氮仪测定粗蛋白(crude protein, CP)含量; 采用《食品中脂肪的测定:GB/T 5009.6—2003》的索氏抽提法测定粗脂肪(ether extract, EE)含量。采用《动物饮料和宠物食品中的(粗)纤维:AOAC 962.09》的方法测定粗纤维(crude fiber, CF)、中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维(acid detergent fiber, ADF)含量。消煮器为 ANKOM A200i 半自动纤维分析仪。营养成分(CP、EE、CF、NDF、ADF)表观消化率(%) = 100 × [1 - (饲料中 AIA 的含量 × 粪便中的该营养成分含量) / (粪便中 AIA 的含量 × 饲料中的该营养成分含量)]。

1.5 肠道指标的测定

猪屠宰后迅速剖开腹腔, 取出完整胃肠道, 保留其中内容物, 将各肠段分界处双结扎, 肠段分段, 分离出小肠(含十二指肠、空肠、回肠)、盲肠、结肠, 在自然伸展状态下, 用皮尺测量小肠、大肠的绝对长度。双手平托盲肠使其处于自然状态, 选择盲肠最宽处, 使用软绳紧贴肠道环绕 1 周, 再测量软绳长度即为盲肠周长。在测量大肠长度时确定大肠中间点, 双手平托中间点周围结肠使其处于自然状态, 使用软绳紧贴肠道环绕 1 周, 再测量软绳长度即为结肠周长。

1.6 肠道纤维分解菌数量测定

根据结肠后段纤维的表观消化率结果, 分别从 7、8 月龄猪中选取高纤维消化率组 and 低纤维消化率组各 5 头进行盲肠、结肠内容物肠道纤维分解菌丰度测定。使用 TIANamp Stool DNA Kit(DP328)提取盲肠、结肠内容物 DNA。白化瘤胃球菌和柔嫩梭菌的引物序列、扩增片段长度及来源文献见表 2。

表 2 PCR 引物及相关参数

Table 2 PCR primer and parameters

微生物 Bacteria	引物序列 Prime sequence(5'→3')	片段长度/bp Sequence size	退火温度/°C Annealed temperature	参考文献 References
白化瘤胃球菌 <i>Ruminococcus albus</i>	GTTTTAGGATTGTAAACCTCTGTCTT/ CCTAATATCTACGCATTTCACCGC	270	60	[10]
柔嫩梭菌 <i>Clostridium leptum</i>	CCTTCCGTGCCGAGTAA/ GAATTAACACATACTCCACTGCTT	108	60	[10]

根据上述特异性引物以及最适退火温度对于不同细菌进行 PCR 扩增。利用 PCR 产物片段纯化试剂盒对扩增产物进行回收纯化后进行 Vector 载体连接与目的片段的克隆。使用质粒提取试剂盒提取含有目的片段的质粒。PCR 产物经 12 g·L⁻¹ 琼脂糖凝胶电泳检测扩增片段长度, 然后经过 DNA 产物纯化试剂盒纯化后测定 PCR 产物的浓度。拷贝数计算公式:

$$\text{拷贝数} = c \times 10^{-9} \times 6.02 \times 10^{23} / (660 \times X) \quad (1)$$

式中: c 为 DNA 浓度($\text{ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$); X 为目的片段长度。再利用 ABI 7300 Real-time PCR 仪对结肠内容物中总细菌及相关微生物数量进行定量分析。

将 2 种细菌的标准样品和待测样品同时进行 PCR 反应, 绘制标准曲线。以不同拷贝数的阳性模板的对数为纵坐标, 以 PCR 反应过程中出现荧光信号的初始循环数(C_T)为横坐标绘制标准曲线。待测样品和标准曲线进行比较, 获得各样品中 2 种细菌的绝对数量。

1.7 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2010 软件进行初步整理, 用 SPSS 19.0 软件包 ANOVA 进行单因素方差分析, 并进行相关性分析。试验结果以平均数±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 不同月龄苏淮猪营养物质表观消化率指标差异分析

如图 1 所示,8 月龄苏淮猪的 CP、EE、CF、NDF、ADF 的表观消化率均显著高于 7 月龄($P<0.05$)。

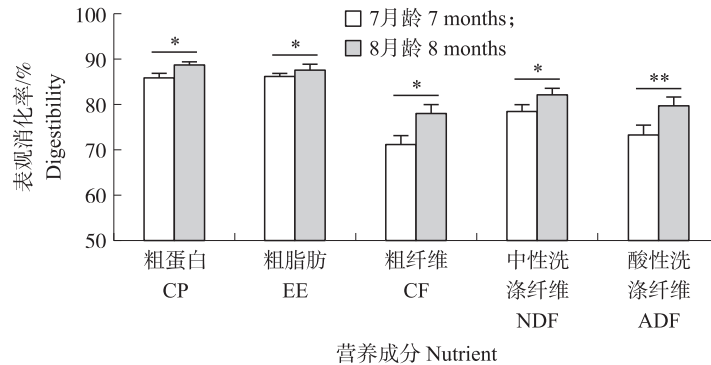


图 1 7 月龄($n=42$)和 8 月龄($n=40$)苏淮猪营养成分表观消化率的差异比较

Fig. 1 Comparison of nutrient digestibility of Suhuai pigs at 7 months($n=42$) and 8 months age($n=40$)

CP: Crude protein; EE: Ether extract; CF: Crude fiber; NDF: Neutral detergent fiber; ADF: Acid detergent fiber. * $P<0.05$; ** $P<0.01$. The same as follow.

2.2 不同月龄苏淮猪肠道指标差异分析

如图 2-A 所示,苏淮猪 7、8 月龄大肠(盲肠与结肠)长度、小肠(十二指肠、空肠、回肠、盲肠)长度及肠总长指标均无显著差异。苏淮猪 7、8 月龄盲肠周长及结肠周长指标均无显著差异(图 2-B)。

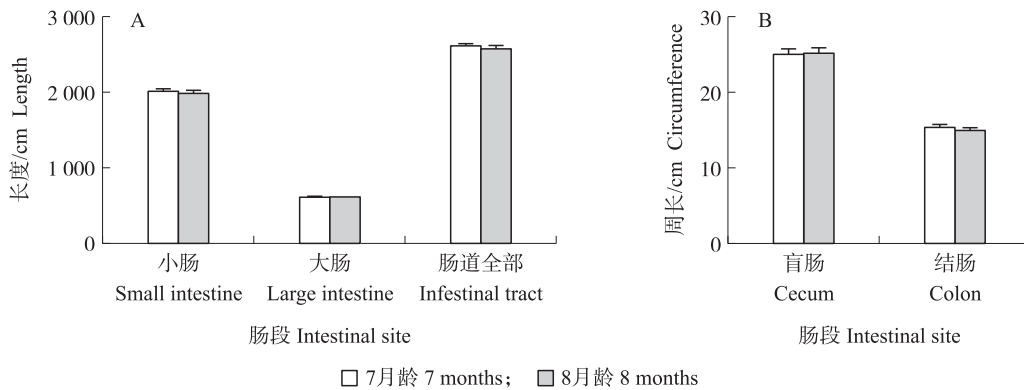


图 2 苏淮猪肠道长度(A)和周长(B)在 7、8 月龄之间的差异比较($n=42$)

Fig. 2 Comparison of the intestinal length(A) and circumference(B) of Suhuai pig between 7 months and 8 months age($n=42$)

2.3 肠道指标与营养成分表观消化率相关性分析

由表 3 可知,盲肠周长与 EE、CF、和 ADF 的表观消化率显著正相关($P<0.05$)。其他肠道指标与 EE、CF、和 ADF 的表观消化率均无显著相关性。

表 3 肠道指标与肠道中营养成分消化率的相关系数($n=82$)

Table 3 Correlation coefficient between intestinal index and nutrient digestibility of intestinal tract($n=82$)

指标 Item	小肠长 Small intestine length	大肠长 Large intestine length	肠道总长 Total intestine length	盲肠周长 Cecal circumference	结肠周长 Colon circumference
粗蛋白 CP	0.098	-0.179	-0.027	0.206	0.119
粗脂肪 EE	0.171	-0.138	0.027	0.227*	0.128
粗纤维 CF	0.183	-0.091	0.043	0.279*	0.178
中性洗涤纤维 NDF	0.020	-0.207	-0.088	0.150	0.164
酸性洗涤纤维 ADF	0.093	-0.163	-0.056	0.270*	0.132

2.4 7 和 8 月龄高、低纤维消化率组的盲肠和结肠微生物丰度差异性分析

由 2.1 节结果可知,日龄对苏淮猪结肠后段纤维消化率影响显著,而且日龄对肠道微生物有影响。因

此,为排除日龄的影响,根据结肠后段纤维的表观消化率,分别在7、8月龄猪中选取NDF表观消化率最高和最低的苏淮猪各5头,进行盲肠、结肠内容物常见纤维分解菌丰度测定。结果如表4可知:7月龄与8月龄高纤维消化率组的各营养成分表观消化率均极显著高于低纤维消化率组($P<0.01$);在高纤维消化率组中,8月龄的NDF、ADF消化率显著高于7月龄,而低纤维消化率组中7、8月龄间表观消化率无显著差异。由图3可知,7月龄和8月龄高、低纤维消化率苏淮猪组间的盲肠、结肠中白化瘤胃球菌和柔嫩梭菌的丰度均无显著差异。7月龄苏淮猪的结肠柔嫩梭菌丰度在高、低纤维消化率组均显著高于盲肠($P<0.05$)。低纤维消化率组苏淮猪的结肠柔嫩梭菌丰度在8月龄时显著低于7月龄($P<0.05$)。

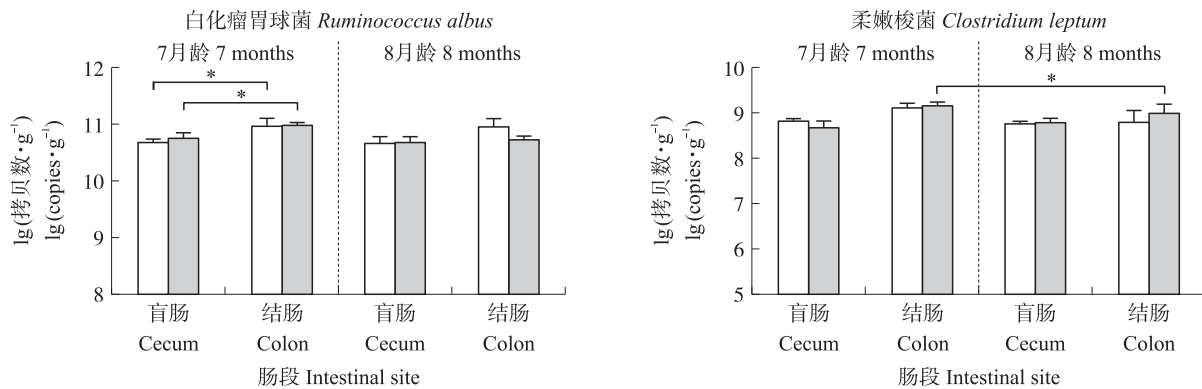
表4 高、低纤维消化率组苏淮猪的结肠营养成分的表观消化率($n=5$)

Table 4 The nutrient digestibility of high and low NDF digestibility groups of Suhuai pig($n=5$)

项目 Items	7月龄 7 months		8月龄 8 months	
	高纤维消化率组 High NDF digestibility group	低纤维消化率组 Low NDF digestibility group	高纤维消化率组 High NDF digestibility group	低纤维消化率组 Low NDF digestibility group
粗蛋白 CP	86.75±2.74 ^A	66.50±2.41 ^B	94.61±0.49 ^A	69.19±1.56 ^B
粗脂肪 EE	86.42±2.75 ^A	65.11±2.46 ^B	93.83±0.76 ^A	65.46±3.51 ^B
粗纤维 CF	75.53±5.06 ^A	18.26±5.56 ^B	91.05±0.75 ^A	24.81±2.39 ^B
中性洗涤纤维 NDF	86.31±0.83 ^{Ab}	52.37±1.59 ^{Bb}	93.25±1.09 ^{Aa}	56.76±2.31 ^{Bb}
酸性洗涤纤维 ADF	77.49±4.17 ^{Ab}	32.57±5.16 ^{Bb}	90.99±0.69 ^{Aa}	36.68±4.22 ^{Bb}

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters mean significant difference($P<0.05$), different capital letters means extremely significant difference($P<0.01$).



□ 高纤维消化率组 High NDF digestibility group; ■ 低纤维消化率组 Low NDF digestibility group

图3 7和8月龄高、低纤维消化率组苏淮猪的盲肠和结肠微生物丰度($n=5$)

Fig. 3 The bacterial abundance of different fiber digestibility groups at 7 months and 8 months age of Suhuai pig($n=5$)

3 讨论

3.1 营养成分表观消化率指标分析

本试验中8月龄苏淮猪对粗蛋白、粗脂肪、粗纤维的表观消化显著高于7月龄。猪是单胃杂食动物,对不同饲料同一营养物质消化率不同,不同生长阶段猪消化道的结构、功能、长度和容积的变化对饲料的消化力也不一样。随着年龄的增长,猪消化器官和机能发育日趋完善,对饲料蛋白质、脂肪、粗纤维的消化率也随之上升,尤以粗纤维最为明显^[15]。研究表明,油脂的利用率随动物年龄的变化而变化,动物越小,对油脂的利用率越低^[16]。由于幼龄动物的消化系统仍处于生长完善过程中,其与油脂消化相关的胆汁分泌、消化酶分泌及活性都不足,因而对日粮脂肪的消化吸收率也较低。研究证实,猪日龄越大,利用纤维的能力越强。Renteria-Flores^[17]发现由于后备母猪没有达到它们的成熟年龄,一方面胃肠道容积小于经产母猪,另一方面与经产母猪相比,胃肠道菌群发育还不够完善,因此经产母猪对纤维的消化率高于后备母猪;Noblet等^[18]发现成年猪对纤维性饲料的消化率远高于生长猪;Fernández等^[19-20]也证实成年母猪后肠微生物活性高于生长猪;Le Goff等^[21]也证实母猪消化发酵纤维的能力比生长猪强。下一步试验可以从肠道形态、微生物方面考虑,进一步探究产生这一变化的原因。

3.2 肠道指标与表观消化率相关性分析

大肠,特别盲肠是猪主要的发酵器官^[22],Bach-Knudsen 等^[23]研究表明,盲肠及结肠对碳水化合物的发酵量占大肠总发酵量的 92%,可见猪大肠的微生物发酵主要集中在大肠的前部。猪大肠的消化细菌主要分布在盲肠,淀粉分解菌和纤维分解菌占主要的优势。小肠对纤维的消化率较低(低于 25%),纤维进入大肠后的消化率高(大于 85%),因此,猪盲肠中纤维分解菌对进入大肠的消化残渣有十分重要的消化作用^[24]。不同生理阶段的猪对纤维利用率差异主要取决于肠道容积大小及大肠微生物的发酵能力,而肠道的发育与肠道微生物也有密切的关系。从相关文献的一些数据可以看出,一个品种或品系的消化性能往往与其消化道的形态结构存在联系^[4,12]。本试验中盲肠周长与粗纤维、ADF 的表观消化率呈显著正相关。关于盲肠长度与粗纤维消化率之间的相关性研究并不多,秦贵信等^[25]认为一般消化道较重、较长或容积较大者,食糜在体内存留的时间较长,饲料养分的消化率也较高。在消化道结构上,品种间的差异在大肠上表现较明显。因为猪饲料粗纤维的主要消化吸收部位是后段消化道,因此,在养分消化率方面,品种间的差异在粗纤维上表现最大。猪种间消化性能差异在消化道形态结构和生理机能上也表现出一致性。推测试验中导致这一结果的原因可能是盲肠容积增加使纤维分解菌定殖增加,导致消化率升高。但盲肠长度也是一个重要的因素,本试验没有单独测量盲肠长度,无法说明这一点。

3.3 苏淮猪 7、8 月龄高、低纤维消化率组肠道纤维分解菌差异

猪通过大肠中微生物的发酵作用消化日粮纤维,这些微生物在猪盲肠和结肠中数量最多,纤维类物质被多种纤维降解菌产生的纤维降解酶降解。猪肠道内纤维降解菌主要有黄化瘤胃球菌(*Ruminococcus flavefaciens*)、白化瘤胃球菌(*Ruminococcus albus*)和产琥珀酸丝状杆菌(*Fibrobacter succinogenes*)等^[26-27]。研究表明,纤维类型对猪后肠中白化瘤胃球菌(*Ruminococcus albus*)数量变化无显著影响,对黄化瘤胃球菌(*Ruminococcus flavefaciens*)、产琥珀酸丝状杆菌(*Fibrobacter succinogenes*)和梭菌Ⅳ群(*Clostridium cluster IV*)的数量变化存在显著影响^[28],且不同肠段间也有一定差异。

不同细菌具有的基因拷贝数不同,而目前对于肠道中各种细菌基因组基因拷贝数的认识有限^[29]。因此,对于不同菌株构成的某类细菌群体的准确数量目前难以测定,一般用其基因拷贝数来估算^[30]。本试验进一步以等梯度稀释的标准品为模板,用作定量分析,标准品扩增值与目标细菌的拷贝数间呈线性相关。所有猪饲喂同一种日粮并饲养于同一环境,这样可减少遗传背景、日粮和环境等对试验的影响。在对相关纤维分解菌的定量研究中,7 月龄和 8 月龄高、低纤维消化率苏淮猪组间的盲肠、结肠白化瘤胃球菌和柔嫩梭菌的丰度均无显著差异。造成定量结果无差异的原因可能是其他未知的纤维分解菌与苏淮猪耐粗特性相关,同时也有可能是受试验样本数较少的影响。下一步需要寻找其他未知的与苏淮猪纤维表观消化率相关的纤维分解菌。

参考文献 References:

- [1] Dégen L, Halas V, Babinszky L. Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: a review[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A: Animal Science, 2007, 57(1): 1-9.
- [2] Montagne L, Pluske J R, Hampson D J. A review of interactions between dietary fibre and the intestinal mucosa, and their consequences on digestive health in young non-ruminant animals[J]. Animal Feed Science and Technology, 2003, 108(1/2/3/4): 95-117.
- [3] 霍贵成. 地方猪种对纤维饲料利用的研究 I. 纤维饲料对生产性能和背膘厚度的影响[J]. 畜牧兽医学报, 1991, 22(4): 318-322.
Huo G C. Utilization of fibrous materials by the indigenous breed of pigs (northeast Min pig) I. Effects of dietary fibre on performance and backfat thickness[J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 1991, 22(4): 318-322 (in Chinese with English abstract).
- [4] Fevrier C, Bourdon D, Aumaitre A. Effects of level of dietary fibre from wheat bran on digestibility of nutrients, digestive enzymes and performance in the European Large White and Chinese Mei Shan pig[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 1992, 68(2): 60-72.
- [5] Kemp B, Hartog L A, Klook J J, et al. The digestibility of nutrients, energy and nitrogen in the Meishan and Dutch Landrace pig[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 1991, 65(1/2/3/4/5): 263-266.
- [6] Urriola P E, Stein H H. Comparative digestibility of energy and nutrients in fibrous feed ingredients fed to Meishan and Yorkshire pigs[J]. Journal of Animal Science, 2012, 90(3): 802-812.
- [7] Yen J T, Varel V H, Nienaber J A. Metabolic and microbial responses in western crossbred and Meishan growing pigs fed a high-fiber diet[J]. Journal of Animal Science, 2004, 82(6): 1740-1755.
- [8] 程泽信, 魏鹏义, 罗维坤, 等. 野猪与长白猪内脏器官的解剖学比较分析[J]. 金陵科技学院学报, 2014, 30(4): 83-85.
Cheng Z X, Wei P Y, Luo W K, et al. The anatomical comparison between the internal organs of wild boar and Landrace swine[J]. Journal of Jinling Institute of Technology, 2014, 30(4): 83-85 (in Chinese with English abstract).

- [9] 宋青龙. 野猪与家猪消化系统及消化机能比较[D]. 长春:吉林农业大学,2004.
Song Q L. Comparison of digestive system and digestive function between wild boar and domestic pig[D]. Changchun: Jilin Agricultural University,2004(in Chinese with English abstract).
- [10] Bindelle J, Buldgen A, Delacollette M, et al. Influence of source and concentrations of dietary fiber on *in vivo* nitrogen excretion pathways in pigs as reflected by *in vitro* fermentation and nitrogen incorporation by fecal bacteria[J]. Journal of Animal Science,2009,87(2):583-593.
- [11] Niu Q, Li P H, Hao S S, et al. Dynamic distribution of the gut microbiota and the relationship with apparent crude fiber digestibility and growth stages in pigs[J]. Scientific Reports,2015,5:9938.
- [12] 张叶秋,郝帅帅,高硕,等. 米糠高纤维日粮对苏淮猪生长性能及肠道功能的影响[J]. 南京农业大学学报,2016,39(5):807-813. DOI:10.7685/jnau.2016.01011.
Zhang Y Q, Hao S S, Gao S, et al. Effects of rice bran source high fibre diet on growth performance and intestine function of Suhuai pigs[J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2016,39(5):807-813(in Chinese with English abstract).
- [13] 郝帅帅,张叶秋,马翔,等. 米糠替代部分玉米的高纤维日粮对苏淮母猪健康及脂肪相关指标的影响[J]. 畜牧与兽医,2016,48(5):18-25.
Hao S S, Zhang Y Q, Ma X, et al. Effect of rice bran partially replacement of corn in diets on health and fatty acid metabolism in Suhuai pigs[J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2016,48(5):18-25(in Chinese with English abstract).
- [14] 蒲广,黄瑞华,牛清,等. 日粮脱脂米糠替代玉米水平对苏淮猪生长性能、肠道发育及养分消化率的影响[J]. 畜牧兽医学报,2019,50(4):758-770.
Pu G, Huang R H, Niu Q, et al. Effects of dietary defatted rice bran substitute corn levels on growth performance, intestinal development and apparent digestibility of nutrients of suhuai pigs[J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences,2019,50(4):758-770(in Chinese with English abstract).
- [15] 田宗祥,张玲清. 猪消化率的影响因素分析[J]. 国外畜牧学:猪与禽,2010,30(1):96-99.
Tian Z X, Zhang L Q. Analysis of influencing factors on digestibility of pigs[J]. Animal Science Abroad:Pigs and Poultry,2010,30(1):96-99(in Chinese with English abstract).
- [16] Yang S L, Bu D P, Wang J Q, et al. Soybean oil and linseed oil supplementation affect profiles of ruminal microorganisms in dairy cows[J]. Animal,2009,3(11):1562-1569.
- [17] Renteria-Flores J A. Effects of soluble and insoluble dietary fiber on diet digestibility and sow performance[D]. Minneapolis:University of Minnesota,2003.
- [18] Noblet J, Dourmad J Y, Etienne M, et al. Energy metabolism in pregnant sows and newborn pigs[J]. Journal of Animal Science,1997,75(10):2708-2714.
- [19] Fernández J, Jørgensen J N. Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig:quantitative aspects[J]. Livestock Production Science,1986,15(1):53-71.
- [20] Fernández J A, Jørgensen H, Just A. Comparative digestibility experiments with growing pigs and adult sows[J]. Animal Science,1986,43(1):127-132.
- [21] Le Goff G, van Milgen J, Noblet J. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows[J]. Animal Science,2002,74(3):503-515.
- [22] 钟永兴,梁展雯,胡光源,等. 猪大肠消化生理的研究进展[J]. 中国畜牧杂志,2009,45(13):63-66.
Zhong Y X, Liang Z W, Hu G Y, et al. Digestive physiology in large intestine of swine[J]. Chinese Journal of Animal Science,2009,45(13):63-66(in Chinese with English abstract).
- [23] Bach-Knudsen K E, Jensen B B, Andersen J O, et al. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 2. Microbial activity in the gastrointestinal tract[J]. The British Journal of Nutrition,1991,65(2):233-248.
- [24] Rodríguez Z, López A, Boucourt R, et al. Fibre level and source on the concentration and cellulolytic activity of the intestinal microbiote of the pig[J]. Cuban Journal of Agricultural Science,2001,35:253-258.
- [25] 秦贵信,陈鹏,高中起. 猪消化性能的品种(品系)差异[J]. 养猪,1994(1):3-8.
Qin G X, Chen P, Gao Z Q. Differences of digestibility among pigs(strains)[J]. Swine Production,1994(1):3-8(in Chinese).
- [26] Varel V H, Yen J T. Microbial perspective on fiber utilization by swine[J]. Journal of Animal Science,1997,75(10):2715-2722.
- [27] Varel V H, Fryda S J, Robinson I M. Cellulolytic bacteria from pig large intestine[J]. Applied and Environmental Microbiology,1984,47(1):219-221.
- [28] Chabeauti E, Noblet J, Carré B. Digestion of plant cell walls from four different sources in growing pigs[J]. Animal Feed Science and Technology,1991,32(1/2/3):207-213.
- [29] 冯平. 肥育猪对不同纤维消化适应性及其后肠发酵与微生物菌群变化研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
Feng P. Adaptation to different types of fiber in growing-finishing swine and changes of hingat fermentation and microbiota[D]. Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2013(in Chinese with English abstract).
- [30] Song Y L, Liu C X, Finegold S M. Real-time PCR quantitation of clostridia in feces of autistic children[J]. Applied and Environmental Microbiology,2004,70(11):6459-6465.