

张亚伟,王喜之,刘 强,等. 5种纤维原料的非淀粉多糖及矿物质在成年公鸡消化道各区段的消化规律[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):168-172.

5种纤维原料的非淀粉多糖及矿物质在成年公鸡消化道各区段的消化规律

张亚伟,王喜之,刘 强,王伟兰,高月琴,张文明

(南京农业大学动物科技学院/农业部动物生理生化重点开放实验室,江苏南京 210095)

摘要:选取成年公鸡作为试验动物,采用日粮配制中最为常用的大豆皮、麸皮、米糠、苜蓿粉、西兰花茎叶粉为原料,利用排空强饲法研究5种纤维原料的非淀粉多糖及矿物质在成年公鸡体内的变化规律。研究结果表明,5种纤维原料总非淀粉多糖(TNSP)粪消化率普遍不高,除米糠外(12.76%)总可溶性非淀粉多糖(TSNSP)粪消化率均高于50.0%,不可溶性的非淀粉多糖在前肠、回肠表现出一定的增溶性,其中,增溶效应最显著的是含阿拉伯糖、木糖、半乳糖的多糖,米糠日粮中可溶性的木糖在回肠中的绝对含量增加340.12%,回肠后段消化道为各种纤维的主要消化位点。纤维内源性矿物质很少被成年公鸡利用,多种纤维对动物分泌的内源性矿物质在全消化道内表现出滞留效应,5种日粮的P与Zn在消化道各区段的消化率分别表现出先增后减与先减后增的一致性。

关键词:日粮纤维;成年公鸡;非淀粉多糖;矿物质;消化率;相关性

中图分类号: S831.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)05-0168-05

日粮纤维消化代谢规律一直是动物营养学研究的重点与难点,因为日粮纤维消化代谢受到诸多因素的影响,不同的纤维原料以及同一种纤维原料不同样品之间纤维组分存在差异;不同种纤维被同一动物利用的程度不同,不同日龄的动物对同一种纤维的利用程度也不相同,在动物体内纤维与消化环境相互作用而改变自身的溶解性;并且营养学界对纤维的定义、检测方法、评价体系因人而异,上述因素均会对试验结果产生显著影响。因为缺乏对这些因素的全盘考虑,致使现阶段日粮纤维的研究出现很多无法解释甚至相互矛盾的现象,很难形成关于日粮纤维研究的统一理论。因此,在研究纤维的消化代谢规律时应该从纤维原料的整体出发,分析其组分在消化道各区段的理化性质的改变,并结合各组分之间的相互影响,推导有关纤维消化的系统性理论。本试验研究不同种属纤维原料的非淀粉多糖、矿物质在成年公鸡前肠、回肠及粪中的消化率,探索日粮纤维组分在消化道区段不同生理环境下的存在状态。

1 材料与与方法

1.1 试验设计

选取分别代表豆科、禾本科、蝶形花科、十字花科的大豆皮(中粮东海粮油工业有限公司提供)、麸皮(中粮东海粮油工业有限公司提供)、米糠(南京禾嘉牧业有限公司提供)、苜蓿草粉(上海奶业集团提供)、西兰花茎叶粉(南京禾嘉牧业有限公司提供)5种纤维原料,配以复合维生素预混料和适当的淀粉(南京海得利淀粉厂提供),方便制粒,并加入0.3%

Cr₂O₃(南京寿德化学试剂有限公司提供)作为指示剂,制成颗粒料备用。日粮组成见表1。

表1 日粮的组成

| 原料 | 风干物质组成(g/kg) | | | | |
|--------|--------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 大豆皮 日粮 | 麸皮 日粮 | 米糠 日粮 | 苜蓿 日粮 | 西兰花 日粮 |
| 大豆皮 | 746.5 | | | | |
| 麸皮 | | 996.5 | | | |
| 米糠 | | | 946.5 | | |
| 苜蓿粉 | | | | 846.5 | |
| 西兰花茎叶粉 | | | | | 996.5 |
| 淀粉 | 250.0 | | 50.0 | 150.0 | |
| 维生素预混料 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| 三氧化二铬 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |

试验选取日龄、体质量相似的成年公鸡32羽,随机分为5组,每组6羽,2羽备用,单笼饲养,每组随机饲喂上述一种日粮。参照GB/T 26437—2010《畜禽饲料有效性与安全性评价 强饲法测定鸡饲料表观代谢能技术规程》将试验期分为预饲期、试验期,前2d为预饲期,预饲结束后排空禁食48h,试验期3d,每天强饲50g试验日粮,早晚收集粪样。试验期动物自由饮水。正饲期的最后1d,强饲后4~5h内收集完粪便后立即屠宰,收集嗉囊、胃、十二指肠、空肠食糜混合后作为前肠食糜,并同时收集回肠食糜,每组固定2羽公鸡的食糜分区段转移到同一离心管中,-20℃保存,将3d收集到的粪样按处理食糜样品的方法混合,-20℃保存,样品分析时取出解冻,制成风干样粉碎后4℃保存。

1.2 分析测定

所有粉碎后的样品过0.5mm筛。参照Theander等的方法^[1]及AOAC Official Method 994.13分析样品中可溶性、不可溶性非淀粉多糖的结构单糖,以及糖醛酸的含量。样品经过淀粉酶、糖苷酶水解去淀粉后,将可溶性与不溶性非淀粉多糖分开,水解还原后与乙酸酐反应生成醛醇乙酸酯,用乙酸乙

收稿日期:2014-03-13

基金项目:国家自然科学基金(编号:31172237)。

作者简介:张亚伟(1985—),男,湖南浏阳人,研究生,从事饲料资源开发与利用研究。E-mail:2011105050@njau.edu.cn。

通信作者:刘 强。E-mail:liuayang@msn.com。

酯作溶剂用安捷伦 7890A 气相色谱仪分析。参考 ISO6869:2000 及 GB/T 13885—2003《动物饲料中钙、铜、铁、镁、锰、钾、钠和锌含量的测定 原子吸收光谱法》检测样品中矿物质离子及指示剂 Cr 的含量。样品经过 LabTech 公司生产的 ED54 型电热消解仪消解。添加浓硝酸-高氯酸(4:1)程序升温法消化,消解液定容后经日立 2000 型原子吸收光谱仪分析。

1.3 统计与分析

运用 SPSS 18.0 单因素方差模块,对结构单糖及矿物质在前肠、回肠、粪中的消化率进行差异显著性检验,检测到差异再用 Duncan's 法进行多重比较。试验数据采用平均值±标准误表示,显著水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 非淀粉多糖的消化率

5 种纤维日粮的 TNSP(总非淀粉多糖)降解率普遍较低,西兰花的降解率最高,为 35.96%,大豆皮与苜蓿最低,分别为 5.15%、6.34%。从表 2 至表 4 可以看出,SNSP(可溶性非淀粉多糖)的降解率除米糠日粮以外均达到 50% 左右。SNSP 最容易被降解的单糖残基为半乳糖、糖醛酸;麸皮和米糠日粮中的大部分单糖残基在前肠与回肠表现为负消化,消化率显著低于粪消化率,其中阿拉伯糖、木糖、半乳糖表现最为显著;苜蓿日粮中的阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖以及西兰花日

粮中除糖醛酸外所有其他单糖在回肠也表现为负消化,西兰花日粮中表现回肠负消化的单糖消化率显著低于前肠与粪消化率;而大豆皮日粮、米糠日粮中的葡萄糖及西兰花日粮中的木糖粪消化率低于前肠消化率,除米糠日粮的葡萄糖外差异均显著。大豆皮、苜蓿、西兰花日粮的总 SNSP 在前肠有所消化,大豆皮日粮的消化率最高,为 26.67%,米糠与麸皮日粮的总 SNSP 在前肠就出现负消化的现象;大豆皮、米糠日粮的总 SNSP 在回肠被降解的程度不明显,苜蓿、西兰花日粮的总 SNSP 则在回肠开始出现负消化,回肠负消化现象最显著的是米糠日粮,消化率为 -125.25%;进入回肠后段消化道后 5 种纤维日粮的 SNSP 均有所降解,西兰花日粮降解率最高,为 52.33%。从表 3、表 4 可以看出,INSP(不可溶性非淀粉多糖)的降解率除西兰花日粮外普遍不高,几乎所有麸皮、苜蓿粉日粮及大部分米糠日粮中的单糖残基及糖醛酸均出现回肠负消化的现象,消化率低于前肠及粪消化率;麸皮日粮中的木糖、葡萄糖、糖醛酸,米糠日粮中的葡萄糖,及苜蓿粉日粮中的阿拉伯糖、木糖、半乳糖、糖醛酸消化率均显著低于前肠及粪消化率;5 种纤维日粮的总 INSP 回肠消化率均低于前肠与粪消化率,大豆皮、麸皮、苜蓿粉日粮 INSP 的粪消化率则高于前肠消化率。推断大豆皮、麸皮、苜蓿粉日粮的不可溶性非淀粉多糖主要消化位点是回肠后段消化道,而米糠与西兰花日粮则经过前肠一定程度的降解后不再被后段肠道的微生物所利用。

表 2 5 种纤维日粮的可溶性非淀粉多糖组分在成年公鸡体内的消化率

| 日粮种类 | 消化段 | 消化率(%) | | | | | |
|------|------|------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | 阿拉伯糖 | 木糖 | 甘露糖 | 半乳糖 | 葡萄糖 | 糖醛酸 |
| 大豆皮 | 前肠 | -6.37 ± 4.6a | 37.02 ± 5.37a | 100.00 ± 0.00a | 10.40 ± 3.53a | 55.80 ± 14.85b | 39.98 ± 5.35a |
| | 回肠末端 | -22.85 ± 10.50b | 35.10 ± 2.36a | 100.00 ± 0.00a | 13.56 ± 4.02a | 58.00 ± 26.89b | 50.87 ± 17.36a |
| | 粪 | 11.55 ± 4.91c | 53.58 ± 4.10b | 100.00 ± 0.00a | 60.60 ± 1.91b | 13.62 ± 10.78a | 56.89 ± 4.37a |
| | 标准误 | 4.16 | 2.39 | 0.00 | 1.90 | 10.85 | 6.23 |
| 麸皮 | 前肠 | -66.33 ± 0.45a | -56.67 ± 30.44a | 42.67 ± 57.01a | -107.81 ± 87.74a | -45.33 ± 34.01a | -74.33 ± 50.72a |
| | 回肠末端 | -77.78 ± 14.02a | -85.96 ± 9.12a | 73.23 ± 8.51a | -72.38 ± 24.89a | -30.41 ± 2.04a | -32.67 ± 12.51a |
| | 粪 | 48.01 ± 23.15b | 39.67 ± 24.50b | 77.67 ± 22.51a | 58.67 ± 13.51b | 46.79 ± 13.96b | 59.96 ± 13.03b |
| | 标准误 | 17.53 | 13.41 | 20.58 | 30.69 | 12.31 | 17.82 |
| 米糠 | 前肠 | -114.35 ± 12.50a | -278.70 ± 9.67a | | -223.62 ± 10.46a | 55.68 ± 0.75a | -21.35 ± 14.29a |
| | 回肠末端 | -121.22 ± 62.29a | -340.12 ± 119.33a | | -190.42 ± 60.22a | -31.42 ± 39.80b | -11.90 ± 5.15a |
| | 粪 | 39.21 ± 13.26b | -86.15 ± 33.06b | | 38.01 ± 11.36b | -64.25 ± 54.34b | 50.81 ± 3.28b |
| | 标准误 | 28.33 | 43.49 | | 42.40 | 21.12 | 11.61 |
| 苜蓿 | 前肠 | 15.32 ± 4.13b | 0.12 ± 6.22b | | -7.66 ± 8.88a | 51.06 ± 2.81b | 18.86 ± 6.40a |
| | 回肠末端 | -17.26 ± 10.37a | -47.93 ± 0.59a | | -55.89 ± 26.95b | 12.55 ± 11.49a | 7.12 ± 13.83a |
| | 粪 | 60.21 ± 5.49c | 40.19 ± 20.70c | | 64.24 ± 5.82c | 54.84 ± 21.26b | 49.31 ± 4.50b |
| | 标准误 | 11.42 | 13.24 | | 18.11 | 7.88 | 6.82 |
| 西兰花 | 前肠 | 21.67 ± 10.10b | 21.7 ± 6.68c | | 5.80 ± 18.73b | 44.32 ± 12.75b | 7.38 ± 13.75a |
| | 回肠末端 | -49.29 ± 8.53a | -39.49 ± 8.99a | | -68.03 ± 31.16a | -23.53 ± 6.21a | 19.66 ± 4.48a |
| | 粪 | 61.96 ± 11.22c | -19.20 ± 11.71b | | 24.24 ± 14.49b | 34.64 ± 3.76b | 61.63 ± 10.09b |
| | 标准误 | 16.51 | 9.39 | | 15.53 | 10.87 | 8.72 |

注:空白表示未检出;同列数据后不同小写字母表示相同日粮不同消化段间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 矿物质消化率

从表 5 可以看出,公鸡对 5 种纤维原料中的矿物质利用率非常低,大豆皮日粮中的 Fe、Zn,麸皮日粮中的 Ca、Mg、Zn,米糠日粮中的 Ca、Mg、Fe、Zn,苜蓿日粮中的 Zn,西兰花日粮中的 Mg、Zn,在前肠、回肠与粪中几乎均表现为负消化;麸皮日粮中 Ca 的回肠消化率显著高于前肠与粪消化率,西兰花日粮中 Mg 的回肠消化率显著底于前肠与粪消化率;西兰花日

粮中 Ca 在回肠与粪中表现为负消化,回肠消化率显著低于前肠消化率;麸皮日粮中 Mg 的回肠与粪消化率显著高于前肠消化率。5 种日粮中 Zn 的粪消化率均高于前肠与回肠消化率,除苜蓿粉、麸皮日粮外其他 3 种日粮的差异显著;而 5 种日粮的 P 则在粪中均出现负消化,消化率显著低于前肠与回肠消化率($P < 0.05$)。

表3 5种纤维日粮的不可溶性非淀粉多糖组分在成年公鸡体内的消化率

| 日粮种类 | 消化段 | 消化率(%) | | | | | | |
|------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | | 鼠李糖 | 阿拉伯糖 | 木糖 | 甘露糖 | 半乳糖 | 葡萄糖 | 糖醛酸 |
| 大豆皮 | 前肠 | 25.33 ± 9.55a | 0.67 ± 15.51a | -25.71 ± 12.1a | 9.8 ± 6.21a | 18.33 ± 11.51a | 0.53 ± 12.51a | -3.67 ± 5.77a |
| | 回肠末端 | 22.32 ± 12.56a | -1.97 ± 4.36a | -32.67 ± 11.51a | 13.1 ± 3.98a | 14.25 ± 3.51a | -4.11 ± 3.45a | 7.33 ± 12.51a |
| | 粪 | 30.33 ± 5.51a | 11.33 ± 4.04a | -20.33 ± 14.15a | 16.1 ± 4.67a | 23.98 ± 2.65a | 5.05 ± 1.27a | 4.32 ± 5.77a |
| | 标准误 | 5.57 | 5.48 | 7.31 | 4.32 | 4.12 | 4.37 | 4.64 |
| 麸皮 | 前肠 | -6.89 ± 1.21a | -13.12 ± 2.67a | -9.72 ± 6.38b | -7.02 ± 2.12a | -9.41 ± 2.37ab | -2.24 ± 4.67b | -3.43 ± 5.67b |
| | 回肠末端 | -35.01 ± 41.62a | -27.73 ± 10.21a | -27.67 ± 8.51a | -20.6 ± 19.96a | -22.33 ± 10.51a | -18.43 ± 10.79a | -23.38 ± 5.20a |
| | 粪 | -0.92 ± 7.24a | 5.33 ± 4.51b | 8.01 ± 3.26c | 22.2 ± 29.84b | 5.43 ± 1.53b | 15.23 ± 3.51c | 9.67 ± 5.51c |
| | 标准误 | 9.89 | 5.81 | 6.08 | 8.11 | 4.95 | 5.91 | 5.57 |
| 米糠 | 前肠 | 23.56 ± 1.22a | 3.92 ± 5.84a | 6.31 ± 7.35a | 29.50 ± 0.07a | 5.08 ± 3.64a | 22.63 ± 1.80c | 32.11 ± 14.84a |
| | 回肠末端 | 10.3 ± 0.16a | -5.06 ± 5.07a | -3.91 ± 7.84a | 33.19 ± 9.83a | -3.84 ± 5.28a | 6.92 ± 5.79a | 14.08 ± 9.48a |
| | 粪 | -4.8 ± 20.35a | 8.1 ± 4.66a | 4.82 ± 3.01a | 46.71 ± 1.41b | 7.78 ± 5.35a | 15.29 ± 1.03b | 24.78 ± 7.29a |
| | 标准误 | 5.32 | 2.46 | 2.45 | 3.09 | 2.24 | 2.49 | 4.12 |
| 苜蓿 | 前肠 | 3.99 ± 6.13ab | 9.19 ± 6.44b | 10.86 ± 1.75b | -28.49 ± 5.32a | 16.97 ± 3.39b | -9.99 ± 1.26ab | -4.80 ± 2.35b |
| | 回肠末端 | -15.65 ± 12.09a | -1.89 ± 1.54a | -14.43 ± 8.51a | -41.19 ± 16.52a | -0.59 ± 7.66a | -29.49 ± 4.99a | -22.75 ± 5.04a |
| | 粪 | 16.29 ± 1.67b | 28.67 ± 2.31c | -0.97 ± 1.87b | -17.51 ± 1.89a | 22.98 ± 4.98b | -8.37 ± 3.27b | 11.94 ± 5.71c |
| | 标准误 | 5.48 | 4.65 | 4.46 | 4.81 | 4.08 | 3.82 | 5.24 |
| 西兰花 | 前肠 | 34.40 ± 8.09a | 21.05 ± 11.81a | 49.94 ± 7.41a | 43.47 ± 0.91a | 18.03 ± 16.87a | 48.01 ± 4.74a | 11.35 ± 4.02a |
| | 回肠末端 | 18.99 ± 11.07a | 7.15 ± 2.84a | 31.95 ± 7.84a | 26.21 ± 12.10a | 11.64 ± 2.88a | 43.66 ± 7.30a | -2.49 ± 4.65a |
| | 粪 | 29.42 ± 13.14a | 13.64 ± 16.57a | 35.11 ± 11.19a | 37.89 ± 4.46a | 20.31 ± 16.40a | 37.25 ± 5.13a | 15.9 ± 14.31a |
| | 标准误 | 3.90 | 3.97 | 3.79 | 3.33 | 4.16 | 2.31 | 3.82 |

注:同列数据后不同小写字母表示相同日粮不同消化段间差异显著($P < 0.05$)。

表4 5种纤维日粮的总非淀粉多糖组分在成年公鸡体内的消化率

| 日粮种类 | 消化段 | 消化率(%) | | |
|------|------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | 总可溶性非淀粉多糖 | 总不可溶性非淀粉多糖 | 总非淀粉多糖 |
| 大豆皮 | 前肠 | 26.67 ± 3.06a | -1.33 ± 12.51a | -0.98 ± 12.06a |
| | 回肠末端 | 29.67 ± 9.07a | -4.43 ± 4.16a | -3.67 ± 4.04a |
| | 粪 | 46.21 ± 1.01b | 4.67 ± 3.01a | 5.15 ± 2.65a |
| | 标准误 | 3.41 | 2.61 | 2.51 |
| 麸皮 | 前肠 | -30.07 ± 16.58b | -10.44 ± 2.42b | -11.64 ± 1.96b |
| | 回肠末端 | -69.44 ± 0.88a | -36.01 ± 17.91a | -37.45 ± 17.11a |
| | 粪 | 49.53 ± 20.17c | 9.91 ± 3.39b | 11.61 ± 4.12c |
| | 标准误 | 18.03 | 7.32 | 7.67 |
| 米糠 | 前肠 | -122.62 ± 1.84a | 14.92 ± 3.25b | 13.73 ± 3.21b |
| | 回肠末端 | -125.25 ± 48.01a | 2.98 ± 6.46a | 1.87 ± 5.99a |
| | 粪 | 12.96 ± 17.71b | 12.76 ± 1.14b | 12.76 ± 1.25b |
| | 标准误 | 24.36 | 2.2 | 2.22 |
| 苜蓿 | 前肠 | 12.26 ± 6.77b | -1.29 ± 2.59b | -0.51 ± 2.84b |
| | 回肠末端 | -22.31 ± 21.98a | -20.33 ± 2.64a | -20.45 ± 3.77a |
| | 粪 | 52.21 ± 5.28c | 3.50 ± 4.95c | 6.34 ± 5.16c |
| | 标准误 | 11.77 | 3.96 | 4.36 |
| 西兰花 | 前肠 | 15.21 ± 2.18b | 37.67 ± 5.51a | 38.78 ± 5.11a |
| | 回肠末端 | -27.08 ± 7.48a | 27.67 ± 6.51a | 24.33 ± 5.51a |
| | 粪 | 52.33 ± 9.29c | 30.31 ± 9.07a | 35.96 ± 9.02a |
| | 标准误 | 11.62 | 2.56 | 2.59 |

注:同列数据后不同小写字母表示相同日粮不同消化段间差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

5种日粮中总可溶性与总不可溶性非淀粉多糖最少均是米糠日粮,占日粮比例分别为0.29%、31.24%,最多分别是西兰花与麸皮日粮。Choct对米糠等原料的细胞壁组分进行分析,结果表明,米糠中总可溶性非淀粉多糖与总不可溶性非淀粉多糖的含量分别为0.50%、21.30%^[2],考虑到谷物成熟

度对非淀粉多糖组分的影响,可以认为结果基本一致。从表2可以推测麸皮日粮中可溶性阿拉伯木聚糖及 β -葡聚糖的含量要高于其他4种日粮,苜蓿粉及西兰花日粮含有大量的可溶性果胶。5种日粮均含有大量的不可溶性阿拉伯木聚糖、果胶。而大豆皮日粮中的纤维素及麸皮日粮中的不可溶性阿拉伯木聚糖的含量分别高于其他4种日粮,与Dien等的研究结果^[3-6]基本一致。

表5 5种纤维日粮的矿物质在成年公鸡体内的表现消化率

| 日粮种类 | 消化段 | 矿物质消化率(%) | | | | |
|------|------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | 钙 | 磷 | 镁 | 铁 | 锌 |
| 大豆皮 | 前肠 | 19.35 ± 6.42a | -65.98 ± 48.63b | 11.89 ± 5.61a | -22.85 ± 16.28a | -21.01 ± 5.31a |
| | 回肠末端 | 14.03 ± 12.92a | 48.37 ± 6.90c | 14.01 ± 6.73a | -21.73 ± 7.16a | -30.73 ± 14.24a |
| | 粪 | -0.22 ± 12.49a | -136.27 ± 8.55a | 9.76 ± 13.66a | -27.20 ± 6.07a | 4.27 ± 14.09b |
| | 标准误 | 4.32 | 28.16 | 2.77 | 3.24 | 6.26 |
| 麸皮 | 前肠 | -146.33 ± 28.45b | 14.95 ± 5.29b | -23.33 ± 5.69a | -12.33 ± 11.02a | -94.33 ± 33.02a |
| | 回肠末端 | -89.01 ± 22.87a | 38.33 ± 8.15c | -8.11 ± 8.72a | 18.07 ± 1.39b | -79.73 ± 31.66a |
| | 粪 | -171.33 ± 8.51b | -15.31 ± 9.51a | -7.67 ± 10.51a | 6.67 ± 6.51b | -31.93 ± 25.67a |
| | 标准误 | 13.69 | 8.03 | 3.57 | 4.91 | 12.09 |
| 米糠日粮 | 前肠 | -25.72 ± 51.63a | 14.31 ± 19.71b | -26.54 ± 25.58a | -24.36 ± 32.95a | -186.18 ± 6.82a |
| | 回肠末端 | -12.94 ± 7.47a | 14.23 ± 1.11b | -19.53 ± 2.71a | -5.41 ± 6.39a | -122.38 ± 14.82b |
| | 粪 | -21.21 ± 4.71a | -14.31 ± 0.90a | -21.94 ± 4.05a | -10.62 ± 6.45a | -57.84 ± 30.79c |
| | 标准误 | 8.93 | 5.79 | 4.46 | 6.36 | 19.41 |
| 苜蓿粉 | 前肠 | 16.32 ± 7.41a | 42.33 ± 2.05b | 5.65 ± 17.61a | -7.12 ± 1.37a | -369.10 ± 49.13a |
| | 回肠末端 | 5.56 ± 3.65a | 49.04 ± 2.53b | 6.59 ± 3.56a | -11.23 ± 13.04a | -401.94 ± 10.98a |
| | 粪 | 3.78 ± 5.68a | -78.67 ± 35.72a | -9.14 ± 8.44a | 7.06 ± 12.84a | -282.14 ± 94.16a |
| | 标准误 | 2.57 | 21.59 | 4.18 | 4.13 | 25.22 |
| 西兰花 | 前肠 | 14.33 ± 2.52b | 6.67 ± 0.58b | -16.74 ± 7.28b | 27.67 ± 5.51a | -142.24 ± 26.11a |
| | 回肠末端 | -26.04 ± 17.29a | 6.21 ± 11.27b | -68.03 ± 20.30a | 7.1 ± 33.29a | -164.97 ± 65.62a |
| | 粪 | -2.33 ± 12.22ab | -27.97 ± 13.08a | -33.11 ± 13.23b | 20.53 ± 8.51a | -43.87 ± 38.55b |
| | 标准误 | 6.83 | 6.41 | 8.62 | 6.54 | 22.9 |

注:同列数据后不同小写字母表示相同日粮不同消化段间差异显著($P < 0.05$)。

由于鼠李糖、半乳糖、核糖在非淀粉多糖中含量较低,计算消化率时误差较大。在回肠前段消化道中由于含有阿拉伯糖、岩藻糖、半乳糖及糖醛酸的多糖产生增溶作用,致使麸皮、米糠及西兰花日粮中的这些可溶性单糖残基在前肠与回肠出现木糖负消化,麸皮、米糠日粮经过前肠消化后食糜中可溶性的半乳糖、阿拉伯糖、木糖绝对含量均增加100%以上,米糠日粮经过回肠消化后这种增溶效应表现更加明显,可溶性的木糖绝对含量增加340.12%。Graham等研究麸皮与甜菜渣在猪消化道各区段的消化率及非淀粉多糖组分溶解性试验,发现由于含有上述各种单糖残基的非淀粉多糖在小肠中的增溶效应致使各种可溶性多糖占总非淀粉多糖比例在十二指肠与回肠食糜中呈现不规律的动态变化^[7];Jamroz等研究鸡、鸭、鹅对高大麦含量日粮的非淀粉多糖消化率的试验中发现,在小肠与盲肠中可溶性多糖均表现负消化,消化率显著低于大肠^[8]。相比于多种纤维日粮的可溶性非淀粉多糖在粪中消化率显著高于回肠与前肠的消化率,大豆皮及米糠日粮的可溶性葡萄糖残基则在粪中的消化率低于前肠的消化率,米糠日粮葡萄糖的绝对含量甚至增加110%左右,这可能是由于含葡萄糖的多糖在回肠后段的增溶效应所致,具体原因还有待进一步研究。除西兰花日粮外其他4种日粮几乎所有不可溶性单糖组分以及除大豆皮外其他4种日粮几乎所有可溶性单糖组分在回肠中均表现为负消化,形成这一现象的主要原因可能有3点:(1)某些单糖在小肠中的增溶效应;(2) Nir等研究饲料颗粒孔径大小对禽类生产性能影响时指出,大颗粒饲料通过家禽消化道时间比小颗粒饲料长,禽类的嗉囊先将小颗粒饲料推向消化道后段,而暂时储存大颗粒饲料^[9-11],固态指示剂在消化道中的流通速度又很容易受到非淀粉多糖总量及可溶性非淀粉多糖含量的影响^[12-13],综合这些因素很容易造成指示剂在消化道食糜中的不均匀分布;(3) Bosscher等研究发现,禽类肠道能够通过逆向蠕动将小肠

中的食糜推向嗉囊,而将回肠后段肠道的食糜推向回肠前段^[14-16]。这些因素综合作用使得试验出现上述结果。不可溶性非淀粉多糖的消化率,米糠与西兰花日粮中的不可溶性非淀粉多糖经过前肠消化后似乎不再被后段肠道的微生物降解,但从前肠的数据推测,随着消化道生理环境的改变,某些不溶性多糖通过与消化道环境的相互作用转变为可溶性多糖,造成前肠不可溶性非淀粉多糖假消化的现象,而西兰花日粮的前肠可溶性非淀粉多糖消化率依然表现正消化,表明西兰花日粮中不溶性的非淀粉多糖转变为可消化的可溶性非淀粉多糖被前肠降解。

纤维原料的内源性矿物质在家禽体内的消化受到很多因素的影响,Harland等认为纤维原料中的草酸、单宁、植酸均能与相关的纤维组分、矿物质一起形成很难被动物所利用的复合物而成为影响矿物质利用的主要因素^[17-18]。Camire等认为果胶、纤维素、木质素等日粮纤维组分及蛋白质存在大量的羟基、羧基及氨基,这些基团均能与矿物质结合而影响其在日粮中的利用^[19-22]。本试验中大量的离子在前肠就已经出现负消化现象,说明回肠前段消化器官已经开始向食糜中分泌内源性矿物质。麸皮、米糠日粮中的Ca、Mg、Fe、Zn在消化道各区段几乎均为负消化,这可能是由于谷物副产物中高含量的植酸与矿物质形成不可消化的复合物所致。西兰花日粮中Mg的负消化可能与该原料高不可溶性果胶及蛋白含量有关。Platt等在模拟消化道环境的试验中发现小肠环境下的纤维素能结合大量的Fe^[23],可能是本试验大豆皮日粮中的Fe呈负消化的主要原因;但Platt等模拟十二指肠环境条件时发现纤维对Fe几乎没有结合能力^[22],因此纤维对Fe在体内的结合能力还有待进一步研究。5种纤维日粮的P、Zn在公鸡体内消化表现出非常显著的一致性,P的粪消化率低于前肠与回肠消化率,而Zn的粪消化率高于前肠与回肠消化率,表明回肠后段消化道与肾向回肠后段肠道食糜中排泄P,在回肠

后段消化道中 Zn 与日粮组分的复合体遭到微生物的破坏,使部分 Zn 从复合物中游离出来被后段肠道所吸收。

4 结论

非淀粉多糖在成年公鸡体内的消化呈动态变化。除西兰花日粮外其他 4 种纤维日粮在成年公鸡体内总非淀粉多糖降解率普遍较低,最低的大豆皮日粮仅为 5.15%,而总不可溶性的非淀粉多糖降解率也普遍较低,最低的苜蓿粉日粮降解率仅为 3.50%,总可溶性非淀粉多糖的消化率除米糠外普遍较高,均在 50% 以上。随着消化道环境改变,非淀粉多糖的理化性质也会发生变化。在前场与回肠中因为增溶效应而致使麸皮、米糠、西兰花日粮中部分不可溶性多糖转变为可溶解多糖,对这种增溶效应表现最为显著的是含阿拉伯糖、木糖、半乳糖的 NSP。其中可溶性半乳糖在回肠中的绝对含量增加 340.12%。非淀粉多糖在成年公鸡体内的主要消化部位位于回肠后段消化道。

研究发现,成年公鸡对纤维内源性矿物质的利用效率不高,食糜能滞留机体内源分泌的矿物质而减缓其再度被后段消化道利用,但各种食糜的滞留能力存在差异。麸皮、米糠日粮食糜在全消化道内滞留内源分泌 Ca、Mg、Fe、Zn,西兰花、大豆皮日粮分别对 Mg、Fe 的滞留能力强于其他 4 种日粮。成年公鸡回肠后段消化道和肾分泌一定量的 P 进入后肠食糜中,而试验日粮 Zn 的主要消化吸收部位位于回肠后段消化道。

参考文献:

[1] Theander O, Aman P, Westerlund E, et al. Total dietary fiber determined as neutral sugar residues, uronic acid residues, and Klason lignin (the Uppsala method): collaborative study[J]. *Journal of AOAC International*, 1995, 78(4): 1030 - 1044.

[2] Choct M. Feed non - starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance[J]. *Feed Milling International*, 1997, 191: 13 - 26.

[3] Dien B S, Jung H J G, Vogel K P, et al. Chemical composition and response to dilute - acid pretreatment and enzymatic saccharification of alfalfa, reed canarygrass, and switchgrass[J]. *Biomass & Bioenergy*, 2006, 30(10): 880 - 891.

[4] Miron J, Yosef E, Ben - Ghedalia D. Composition and *in vitro* digestibility of monosaccharide constituents of selected byproduct feeds[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(5): 2322 - 2326.

[5] Choct M, Annison G. Anti - nutritive activity of wheat pentosans in broiler diets[J]. *British Poultry Science*, 1990, 31(4): 811 - 821.

[6] Hoebler C, Barry J L, David A, et al. Rapid acid - hydrolysis of plant - cell wall polysaccharides and simplified quantitative - determination of their neutral monosaccharides by gas - liquid chromatography[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1989, 37(2): 360 - 367.

[7] Graham H, Hesselman K, Aman P. The influence of wheat bran and sugar - beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal - based pig diet[J]. *The Journal of Nutrition*, 1986, 116(2): 242 - 251.

[8] Jamroz D, Jakobsen K, Bach Knudsen K E, et al. Digestibility and en-

ergy value of non - starch polysaccharides in young chickens, ducks and geese, fed diets containing high amounts of barley[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology: Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 2002, 131(3): 657 - 668.

[9] Nir I, Shefet G, Aaroni Y. Effect of particle size on performance. 1. Corn[J]. *Poultry Science*, 1994, 73(1): 45 - 49.

[10] Hetland H, Svihus B, Choct M. Role of insoluble fiber on gizzard activity in layers[J]. *The Journal of Applied Poultry Research*, 2005, 14(1): 38 - 46.

[11] Hetland H, Choct M, Svihus B. Role of insoluble non - starch polysaccharides in poultry nutrition[J]. *World's Poultry Science Journal*, 2004, 60(4): 415 - 422.

[12] Hetland H, Svihus B. Effect of oat hulls on performance, gut capacity and feed passage time in broiler chickens[J]. *British Poultry Science*, 2001, 42(3): 354 - 361.

[13] Almirall M, Esteve - Garcia E. Rate of passage of barley diets with Chromium oxide; influence of age and poultry strain and effect of beta - glucanase supplementation [J]. *Poultry Science*, 1994, 73(9): 1433 - 1440.

[14] Bosscher D, van Caillie - Bertrand M, Deelstra H. Effect of thickening agents, based on soluble dietary fiber, on the availability of calcium, iron, and zinc from infant formulas [J]. *Nutrition*, 2001, 17(7): 614 - 618.

[15] Levey D J, Duke G E. How do frugivores process fruit? Gastrointestinal transit and glucose absorption in Cedar Waxwings (*Bombycilla cedrorum*) [J]. *The Auk*, 1992, 109(4): 722 - 730.

[16] Duke G E. Alimentary canal; anatomy, regulation of feeding, and motility [M] // Sturkie P D. *Avian physiology*. New York: Springer, 1986: 269 - 288.

[17] Harland B F. Dietary fibre and mineral bioavailability [J]. *Nutrition Research Reviews*, 1989, 2: 133 - 147.

[18] Vitali D, Vedralina Dragojević I, Šebečić B. Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from whole grain tea - biscuits; Impact of proteins, phytic acid and polyphenols [J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(1): 62 - 68.

[19] Camire A, Clydesdale F. Effect of pH and heat treatment on the binding of calcium, magnesium, zinc, and iron to wheat bran and fractions of dietary fiber [J]. *Journal of Food Science*, 2006, 46(2): 548 - 551.

[20] Torre M, Rodriguez A R, Saura - Calixto F. Study of the interactions of calcium ions with lignin, cellulose, and pectin [J]. *J Agric Food Chem*, 1992, 40(10): 1762 - 1766.

[21] Torre M, Rodriguez A R, Saura - Calixto F. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1991, 30(1): 1 - 22.

[22] Platt S R, Clydesdale F M. Mineral binding characteristics of lignin, guar gum, cellulose, pectin and neutral detergent fiber under simulated duodenal pH conditions [J]. *Journal of Food Science*, 1987, 52(5): 1414 - 1419.

[23] Platt S, Clydesdale F. Binding of iron by cellulose, lignin, sodium phytate and beta - glucan, alone and in combination, under simulated gastrointestinal pH conditions [J]. *Journal of Food Science*, 1984, 49(2): 531 - 535.