

肉仔鸡盲肠微生物体外发酵 NDO 和 NSP 的比较研究

易中华 朱年华 黎观红 宋小珍 潘珂 瞿明仁

(江西农业大学 动物科技学院 江西 南昌 330045)

摘要: 为评价和比较非消化寡糖(NDO)和非淀粉多糖(NSP)的发酵特性,选用饲喂无抗生素日粮的肉仔鸡盲肠微生物为菌源,通过体外发酵试验比较短链脂肪酸的产量及产生速率。结果表明:非消化寡糖发酵产生短链脂肪酸的产量普遍高于非淀粉多糖,非消化寡糖可发酵性的大小顺序依次为棉子糖、水苏糖、果寡糖、甘露寡糖,NSP可发酵性的大小顺序依次为小麦NSP、豆粕NSP、玉米NSP、小麦麸NSP、纤维素;NSP发酵产生的短链脂肪酸中以乙酸的比例较非消化寡糖多,而非消化寡糖以丙酸的比例相对较NSP多;与不可溶性NSP相比,可溶性NSP的发酵特点更接近于非消化寡糖。

关键词: 非消化寡糖;非淀粉多糖;肉仔鸡;体外发酵;短链脂肪酸

中图分类号: S831.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)02-0345-06

Comparative Evaluation of the *in Vitro* Fermentation Characteristics of Selected Non-digestible Oligosaccharides and Non-starch Polysaccharides Using Caecal Microbial Inoculum from Broilers

YI Zhong-hua, ZHU Nian-hua, LI Guan-hong,
SONG Xiao-zhen, PAN Ke, QU Ming-ren

(College of Animal Science and Technology, JAU, Nanchang 330045, China)

Abstract: An *in vitro* experiment in comparison of fermentation characteristics of selected non-digestible oligosaccharides (NDO) and non-starch polysaccharides (NSP) was conducted using caecal microbial inoculum from broilers fed an antibiotics-free diet. The results showed that the total production of SCFA from the fermentation of NDO was higher than that of NSP. The fermentability ranked in the order of Raffinose > Stachyose > Fructooligosaccharides (FOS) > mannanoligosaccharides (MOS) in NDO and ranked in the order of Wheat NSP > Soybean meal NSP > Corn NSP > Wheat bran NSP > Cellulose in NSP. In addition, the molar percentage of acetate from the fermentation of NSP was higher, whereas the percentage of propionate from that of NDO was higher. Compared with insoluble NSP, the fermentation characteristics of soluble NSP was closer to that of NDO.

Key words: non-digestible oligosaccharides; non-starch polysaccharides; broilers; *in vitro*; fermentation; short-chain fatty acid

收稿日期: 2011-10-26 修回日期: 2012-02-16

基金项目: 江西省教育厅科技项目(GJJ09170)和江西农业大学博士科研启动基金项目(2003)

作者简介: 易中华(1971—),男,副教授,博士,主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: yizhcn@126.com。

众多研究认为,非可消化寡糖(Non-digestible oligosaccharide, NDO) 由于其在非反刍动物消化道前端的难消化性及在消化道内的行为与非淀粉多糖(Non-starch polysaccharide, NSP) 相同或相似,从营养生理角度分析,它们应属于日粮纤维的范畴^[1]。国内外研究表明,某些非消化寡糖和非淀粉多糖具有益生菌活性,即不能被消化道前段酶消化但可被胃肠道微生物发酵,能选择性地刺激肠道有益菌的生长与活性,防止病原菌的滋生,从而提高动物健康水平^[2-3]。近年来,随着功能性寡糖和无抗生素日粮研究的深入,欧美发达国家正在尝试通过改变日粮碳水化合物组成(如非消化寡糖、非淀粉多糖等)来改善畜禽肠道微生态系统,以达到降低甚至停用饲用抗生素的目的^[4-5]。因此,有必要认识和评价肉仔鸡肠道微生物对非消化寡糖和非淀粉多糖的发酵特性。但国内外对家禽体外发酵非可消化寡糖的研究及从营养生理角度比较其与非淀粉多糖异同的研究还鲜有报道。本试验选用饲喂无抗生素日粮的肉仔鸡盲肠微生物为菌源,通过体外发酵棉子糖、水苏糖、果寡糖、甘露果糖等非消化寡糖和玉米、小麦、豆粕、小麦麸等的NSP提取物及纤维素,比较其短链脂肪酸的产量及产生速率,为评价非消化寡糖和非淀粉多糖提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验动物及菌源

选择48只1日龄AA肉公鸡,其日粮中未曾添加过任何抗生素和药物性饲料添加剂,按AA肉仔鸡饲养手册进行饲养管理。试验第42天08:00随机抓取12只试鸡,肌肉注射戊巴比妥钠麻醉后,将试鸡宰杀,剖开腹腔,取出盲肠,结扎固定盲肠近端,自结扎外侧剪断,用硫酸纸包扎,置于液氮中,然后转移至-80℃超低温冰箱冷冻保存。

1.2 发酵底物的来源及制备

1.2.1 非消化寡糖的来源及含量 水苏糖制剂购自中国科学院食品发酵研究所,主要组分为:水苏糖92.36%,蔗糖4.69%,棉子糖2.18%;棉子糖制剂购自中国科学院食品发酵研究所,主要组分为:棉子糖85.74%,蔗糖7.03%,水苏糖3.29%;果寡糖由江南大学食品学院提供,主要组分为:单糖1.83%,蔗糖1.13%,蔗果三糖39.81%,蔗果四糖49.78%,蔗果五糖7.06%;甘露寡糖由北京奥特奇生物制品有限公司提供,来自于酵母细胞壁提取物,其中甘露寡糖蛋白>99.0%,含粗蛋白质>28%。

1.2.2 非淀粉多糖的来源及制备 非淀粉多糖来源于滤纸纤维及玉米、豆粕、小麦和麦麸等4种饲料原料。以滤纸纤维作为纯纤维素的来源。参照Choct和Annison^[6]的方法,从玉米、豆粕、小麦和麦麸等饲料原料中提取碱溶性NSP。

1.3 发酵程序与样品采集

1.3.1 培养液的配置 培养液的配方参照Sunvold等^[7]的方法配置。

1.3.2 发酵底物处理 称取0.3g底物(准确至0.001g)放入250mL葡萄糖瓶中,加入30mL培养液,于121℃高压灭菌20min。每种发酵底物按一式三份处理,设3个重复。

1.3.3 菌源的处理 将取回来的盲肠食糜样品在超净台室温解冻,用预先配置好的培养液以1:10(重量与体积之比)的比例稀混匀后,用200目尼龙网过滤,取滤液,将滤液密封于250mL葡萄糖瓶中,冲入CO₂使其保持在厌氧环境中。

1.3.4 菌源对底物的发酵 向每个装有底物的葡萄糖瓶中加入1mL处理好的菌源,冲入CO₂密封,放入37℃恒温摇床中培养6,12,24h。在各个时间点取上清液样4mL,用于测定发酵液的SCFA产量和pH值。

1.4 测试指标及方法

1.4.1 饲料原料的纤维成分分析 参照Lee等^[8]的方法,分析玉米、豆粕、小麦和麦麸等4种饲料原料及其NSP提取物所含的日粮纤维(TDF)、可溶性日粮纤维(SDF)与不可溶性日粮纤维(IDF)的含量。采用张丽英^[9]的方法,测定4种饲料原料及其NSP提取物的干物质(DM)和粗蛋白质(CP)的含量。

1.4.2 发酵液中短链脂肪酸浓度的测定 参照Carre等^[10]的方法,用气相色谱仪测定肠道内容物中乙酸、丙酸和丁酸的浓度。

1.5 数据处理

原始数据经 Excel 初步处理后,采用 SPSS 14.0 软件中的 One - Way ANOVY 程序进行方差分析和 Duncan 氏多重比较。试验结果用平均数 \pm 标准差 ($\bar{X} \pm S$) 表示, $P < 0.05$ 为有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 饲料原料及其碱溶性 NSP 提取物的纤维成分分析

饲料原料及其碱溶性 NSP 提取物的日粮纤维组成见表 1。在饲料原料组成中,总日粮纤维或粗纤维的含量均以小麦麸为最高,总日粮纤维含量以玉米为最低,粗纤维含量以小麦为最低;在总日粮纤维的比例中,可溶性纤维比例以小麦(22.07%)为最高,豆粕(20.37%)次之,小麦麸(12.16%)最低;玉米、小麦、豆粕和麦麸等 4 种饲料原料的碱溶性 NSP 提取物含量均高于相对应的总日粮纤维含量。在碱溶性 NSP 提取物组成中,除豆粕 NSP 提取物粗蛋白含量高达 15.45% 外,其它原料 NSP 提取物粗蛋白含量都很低;总日粮纤维含量大幅度高于原料,且不同 NSP 提取物之间总日粮纤维含量的差距变小;可溶性纤维占总日粮纤维的比例仍以小麦 NSP 为最高,豆粕 NSP 次之,小麦麸 NSP 最低。

表 1 饲料原料的日粮纤维与其碱溶性非淀粉多糖提取物的组成(%,风干基础)

Tab. 1 Composition of dietary fiber and the alkali extracted NSP of the feedstuffs (% , Air dry basis)

项目 Item	玉米 Corn	小麦 Wheat	豆粕 Soybean meal	小麦麸 Wheat bran
饲料原料的组成 Composition of the feedstuffs				
干物质 Dry matter	87.03	87.46	89.28	87.81
粗纤维 Crude fiber	2.51	2.27	6.19	12.49
总日粮纤维 Total dietary fiber	7.85	14.69	29.31	47.86
不溶性日粮纤维 Insoluble dietary fiber	6.96	11.51	22.59	42.18
可溶性日粮纤维 Soluble dietary fiber	1.21	3.26	5.78	5.84
可溶性/总日粮纤维 SDF/TDF	14.81	22.07	20.37	12.16
碱溶性 NSP 提取物 Alkali extracted NSP	8.37	16.48	36.14	50.53
碱溶性 NSP 提取物的组成 Composition of the alkali extracted NSP				
干物质 Dry matter	92.09	91.84	92.67	93.18
粗蛋白 Crude protein	1.47	2.16	15.45	2.39
非淀粉多糖 NSP	90.36	89.57	77.29	90.78
粗纤维 Crude fiber	16.04	11.83	19.37	20.71
总日粮纤维 Total dietary fiber	91.56	89.74	73.06	91.59
不溶性日粮纤维 Insoluble dietary fiber	80.33	69.09	58.82	83.41
可溶性日粮纤维 Soluble dietary fiber	9.89	20.16	16.15	8.23
可溶性/不溶性日粮纤维 SDF/IDF	10.96	22.59	21.54	8.98

2.2 非消化寡糖和非淀粉多糖体外发酵后短链脂肪酸产量和组成比例的比较

非消化寡糖和非淀粉多糖体外发酵后短链脂肪酸产量和组成比例,见表 2 和表 3。经 24 h 发酵, NDO 的 SCFA 产量及生成速率普遍大于 NSP; NSP 发酵产生的 SCFA 中以乙酸比例较 NDO 多,而 NDO 发酵产生的 SCFA 中以丙酸比例相对较 NSP 多;随着发酵时间的增加,丁酸比例逐渐增加,多数发酵底物在第 24 h 产生丁酸的比例明显增多。

在 NDO 中,棉子糖发酵 6 h 后, SCFA 产量迅速增加,显著高于其他发酵底物 ($P < 0.05$),而且在各发酵底物产生 SCFA 中乙酸比例最小、丙酸比例最大 ($P < 0.05$);第 24 h, SCFA 产量达到最大,丁酸比例在各发酵组中也增至最大。水苏糖和果寡糖的发酵仅次于棉子糖,但第 6 h、第 12 h 的 SCFA 产量仅为棉子糖的 50% 左右,第 24 h 的 SCFA 总产量分别达到棉子糖的 83.81% 和 75.84%。甘露寡糖的发酵最慢,第 6、12、24 h 的 SCFA 总产量仅为棉子糖的 23.81%、18.90%、40.94%。可见 4 种 NDO 的可发

酵性的大小顺序依次为棉子糖、水苏糖、果寡糖、甘露寡糖。

表 2 肉仔鸡盲肠食糜菌源发酵非消化寡糖和非淀粉多糖 6、12、24 h 后短链脂肪酸产量

Tab.2 Short-chain fatty acid production after onset of 6, 12 and 24 hours fermentation of various NDO or NSP by caecal microflora in broilers

	乙酸 (mmol/g DM) Acetate			丙酸 (mmol/g DM) Propionate		
	6 h	12 h	24 h	6 h	12 h	24 h
水苏糖 Stachyose	1.02 ± 0.16 ^e	2.01 ± 0.42 ^d	3.83 ± 0.58 ^e	0.38 ± 0.10 ^d	0.65 ± 0.20 ^c	1.77 ± 0.60 ^c
棉子糖 Raffinose	1.42 ± 0.17 ^f	3.89 ± 0.34 ^e	4.66 ± 0.72 ^f	1.07 ± 0.11 ^e	1.83 ± 0.20 ^d	1.90 ± 0.09 ^c
果寡糖 FOS	0.73 ± 0.13 ^d	1.61 ± 0.34 ^d	3.29 ± 0.52 ^e	0.26 ± 0.04 ^c	0.98 ± 0.18 ^d	1.71 ± 0.26 ^c
甘露寡糖 MOS	0.47 ± 0.08 ^c	0.83 ± 0.30 ^{bc}	2.05 ± 0.06 ^d	0.13 ± 0.02 ^b	0.33 ± 0.09 ^a	0.87 ± 0.06 ^b
玉米 NSP Corn NSP	0.25 ± 0.05 ^{ab}	0.66 ± 0.11 ^{bc}	1.26 ± 0.18 ^{bc}	0.04 ± 0.01 ^a	0.09 ± 0.02 ^a	0.20 ± 0.05 ^a
小麦 NSP Wheat NSP	0.39 ± 0.05 ^{bc}	1.08 ± 0.30 ^c	1.77 ± 0.11 ^{cd}	0.08 ± 0.02 ^{ab}	0.18 ± 0.02 ^{ab}	0.41 ± 0.03 ^a
小麦麸 NSP Wheat bran NSP	0.22 ± 0.08 ^{ab}	0.53 ± 0.03 ^{ab}	0.91 ± 0.19 ^{ab}	0.03 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	0.13 ± 0.04 ^a
豆粕 NSP Soybean meal NSP	0.27 ± 0.06 ^{ab}	0.73 ± 0.16 ^{bc}	1.26 ± 0.06 ^{bc}	0.05 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.04 ^a	0.28 ± 0.03 ^a
纤维素 Cellulose	0.20 ± 0.05 ^a	0.16 ± 0.03 ^a	0.36 ± 0.08 ^a	0.03 ± 0.03 ^a		0.03 ± 0.02 ^a

	丁酸 (mmol/g DM) Butyrate			SCFA 总量 (mmol/g DM) TSCFA		
	6 h	12 h	24 h	6 h	12 h	24 h
水苏糖 Stachyose	0.13 ± 0.01 ^b	0.23 ± 0.05 ^c	1.32 ± 0.18 ^c	1.52 ± 0.26 ^e	2.90 ± 0.58 ^d	6.92 ± 1.25 ^e
棉子糖 Raffinose	0.26 ± 0.05 ^c	1.04 ± 0.22 ^d	1.70 ± 0.37 ^d	2.75 ± 0.12 ^f	6.76 ± 0.52 ^e	8.26 ± 0.58 ^f
果寡糖 FOS	0.04 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.03 ^{bc}	1.26 ± 0.19 ^c	1.02 ± 0.16 ^d	2.77 ± 0.55 ^d	6.26 ± 0.94 ^e
甘露寡糖 MOS	0.06 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.06 ^{ab}	0.46 ± 0.08 ^b	0.66 ± 0.09 ^c	1.28 ± 0.44 ^{bc}	3.38 ± 0.08 ^d
玉米 NSP Corn NSP	0.02 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.03 ^a	0.14 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.04 ^{ab}	0.84 ± 0.15 ^b	1.60 ± 0.20 ^{bc}
小麦 NSP Wheat NSP	0.05 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.05 ^c	0.37 ± 0.05 ^{ab}	0.52 ± 0.07 ^{bc}	1.46 ± 0.37 ^c	2.55 ± 0.19 ^{cd}
小麦麸 NSP Wheat bran NSP	0.04 ± 0.05 ^a	0.07 ± 0.01 ^a	0.12 ± 0.04 ^a	0.29 ± 0.13 ^a	0.65 ± 0.04 ^{ab}	1.15 ± 0.27 ^{ab}
豆粕 NSP Soybean meal NSP	0.03 ± 0.01 ^a	0.11 ± 0.03 ^{ab}	0.30 ± 0.03 ^{ab}	0.34 ± 0.05 ^{ab}	0.95 ± 0.19 ^{bc}	1.83 ± 0.11 ^{bc}
纤维素 Cellulose				0.23 ± 0.05 ^a	0.16 ± 0.03 ^a	0.38 ± 0.07 ^a

同列数据肩注字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)，未标注或字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

表 3 肉仔鸡盲肠食糜菌源发酵非消化寡糖和非淀粉多糖 6、12、24 h 后短链脂肪酸摩尔百分比

Tab.3 Molar percentage of short-chain fatty acid after onset of 6, 12 and 24 hours fermentation of various NDO or NSP by caecal microflora in broilers

	乙酸 (mol/100 mol) Acetate			丙酸 (mol/100 mol) Propionate			丁酸 (mol/100 mol) Butyrate		
	6 h	12 h	24 h	6 h	12 h	24 h	6 h	12 h	24 h
水苏糖 Stachyose	66.80 ± 0.53 ^b	69.40 ± 3.58 ^c	55.56 ± 1.71 ^{ab}	24.75 ± 2.07 ^a	22.15 ± 2.61 ^c	25.17 ± 4.21 ^d	8.45 ± 1.64	8.45 ± 3.16 ^{ab}	19.27 ± 2.66 ^{de}
棉子糖 Raffinose	51.55 ± 4.04 ^a	57.56 ± 1.30 ^a	56.26 ± 5.87 ^{ab}	38.93 ± 5.35 ^c	27.16 ± 3.58 ^d	23.08 ± 1.41 ^d	9.52 ± 1.35	15.28 ± 2.34 ^d	20.66 ± 4.60 ^e
果寡糖 FOS	70.79 ± 1.72 ^b	58.05 ± 0.86 ^a	52.51 ± 0.66 ^a	25.14 ± 0.82 ^b	35.68 ± 0.76 ^c	27.26 ± 0.99 ^d	4.06 ± 1.23	6.27 ± 0.10 ^a	20.24 ± 1.54 ^{de}
甘露寡糖 MOS	71.27 ± 3.47 ^b	64.82 ± 2.54 ^b	60.65 ± 3.08 ^b	19.65 ± 3.76 ^{ab}	26.00 ± 2.50 ^{cd}	25.75 ± 1.11 ^d	9.08 ± 0.38	9.18 ± 1.33 ^{ab}	13.59 ± 2.01 ^{bc}
玉米 NSP Corn NSP	78.83 ± 4.96 ^b	78.99 ± 1.11 ^{ef}	78.81 ± 3.81 ^d	13.06 ± 0.58 ^{ab}	11.25 ± 0.75 ^{ab}	12.44 ± 2.57 ^{bc}	8.10 ± 4.64	9.76 ± 1.20 ^b	8.75 ± 1.30 ^a
小麦 NSP Wheat NSP	74.83 ± 3.67 ^b	73.33 ± 3.13 ^d	69.51 ± 1.15 ^c	14.66 ± 3.06 ^{ab}	12.39 ± 2.21 ^b	15.99 ± 0.23 ^c	10.51 ± 0.63	14.29 ± 1.06 ^{cd}	14.50 ± 1.03 ^c
豆粕 NSP Soybean meal NSP	80.14 ± 8.37 ^b	81.27 ± 0.71 ^f	78.84 ± 2.39 ^d	10.97 ± 3.66 ^a	7.92 ± 0.07 ^a	10.81 ± 1.28 ^{ab}	8.89 ± 12.24	10.81 ± 0.77 ^b	10.35 ± 1.11 ^{ab}
小麦麸 NSP Wheat bran NSP	78.38 ± 6.51 ^b	76.41 ± 2.42 ^{de}	68.49 ± 1.14 ^c	13.54 ± 3.22 ^{ab}	12.18 ± 4.45 ^{ab}	15.01 ± 1.19 ^{bc}	8.08 ± 3.35	11.41 ± 2.94 ^{bc}	16.51 ± 0.56 ^{cd}
纤维素 Cellulose	87.24 ± 11.22 ^c	100.00 ± 0.00 ^g	92.32 ± 5.23 ^c	12.76 ± 11.22 ^a	-	7.68 ± 5.23 ^a	-	-	-

同列数据肩注字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$)，未标注或字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

在 NSP 中, 小麦 NSP 提取物的 SCFA 产量增加较快, 与 NDO 中的甘露寡糖接近; 豆粕 NSP 提取物次之, 第 6、12、24 h 的 SCFA 总产量分别为小麦 NSP 提取物的 64.87%、65.28%、71.94%; 玉米 NSP 提取物和小麦麸 NSP 提取物紧随豆粕 NSP 提取物之后, 第 6、12、24 h 的 SCFA 总产量分别为小麦 NSP 提取物的 60.43%、57.59%、62.59% 和 54.95%、44.46%、45.30%; 纤维素的发酵性最差, 第 12、24 h 的 SCFA 总产量仅为小麦 NSP 提取物的 10.37%、15.09%。总之, 5 种 NSP 的发酵性的大小顺序依次为小麦 NSP、豆粕 NSP、玉米 NSP、小麦麸 NSP、纤维素。

3 讨论

国内外研究表明, 非消化寡糖和非淀粉多糖由于不能被消化道前段酶消化, 但可被胃肠道微生物发

酵作用产生挥发性脂肪酸(VFA),如乙酸、丙酸及丁酸,并参与体内代谢^[2-3]。本试验选用饲喂无抗生素日粮的肉仔鸡盲肠微生物为菌源,通过体外发酵棉子糖、水苏糖、果寡糖、甘露果糖等非消化寡糖和玉米、小麦、豆粕、小麦麸等的 NSP 提取物及纤维素,结果表明,棉子糖、水苏糖、果寡糖和甘露果糖等非消化寡糖的短链脂肪酸产量及生成速率普遍高于玉米、小麦、豆粕、小麦麸等的 NSP 提取物及纤维素,而且 NSP 发酵产生的短链脂肪酸中以乙酸比例较非消化寡糖多,而非消化寡糖发酵产生的短链脂肪酸中以丙酸比例相对较 NSP 多。非消化寡糖和非淀粉多糖不同的发酵特性,可能与其不同理化性质有关,如糖的纯度、分子量、单糖组成及分子结构等。糖的成份影响 VFA 生成比例,发酵速度较慢和含纤维素较多的糖类产生乙酸的比例较高,而发酵速度快的糖类产生较多的丙酸。

本试验 4 种非消化寡糖的可发酵性的大小顺序依次为棉子糖、水苏糖、果寡糖、甘露寡糖。这是由于微生物酵解非消化寡糖的能力取决于催化特定糖苷键的关键酶,每分子棉子糖含 1 分子 $\alpha-1,6$ -半乳糖苷键,每分子水苏糖含 2 分子 $\alpha-1,6$ -半乳糖苷键,每分子果寡糖含 1~3 分子 $\beta-1,2$ 糖苷键,甘露寡糖的主要成分是甘露寡糖蛋白复合物,且富含粗蛋白、粗脂肪和粗纤维,可抑制微生物的发酵。非消化寡糖的这些化学结构和特性决定了棉子糖极易发酵,水苏糖和果寡糖的发酵性也很高,而甘露寡糖则与小麦 NSP 和豆粕 NSP 相当,为中等程度发酵性。

本试验 NSP 的可发酵性的大小顺序依次为小麦 NSP、豆粕 NSP、玉米 NSP、小麦麸 NSP、纤维素。这是由于 NSP 的特性不同,造成微生物对 NSP 的利用能力有所差异所致。小麦麸 NSP 和玉米 NSP 主要以不溶性日粮纤维为主,小麦 NSP 和豆粕 NSP 则含可溶性日粮纤维相对较多,不同特性日粮纤维影响微生物是否能侵入纤维间隙进行水解作用。可溶性日粮纤维易被微生物发酵分解,因其持水性较高,使微生物易于侵入纤维间隙中,但微生物难以侵入不可溶性日粮纤维的间隙,以致无法快速降解纤维^[11]。在豆粕 NSP 组中,乙酸比例有较其它组高的趋势,这是由于豆粕中的 NSP 与蛋白质结合牢固,本试验提取 NSP 过程中虽用蛋白酶水解豆粕中的蛋白质,但粗蛋白仍达 14.45%,这得以提供微生物利用,即以蛋白质为发酵作用的底物,而其产物乃以乙酸为主,故造成豆粕中含有较高比例的乙酸。Macfarlane 等^[12]指出,微生物发酵时所使用的底物会影响到 SCFA 产量,一般以蛋白质作为发酵底物所产生的 SCFA 量会较以碳水化合物为基质的为少。甘露寡糖由于组成相对其它非消化寡糖混杂,其发酵特点与豆粕 NSP 有类似之处。

为比较非消化寡糖与可溶性 NSP 的发酵异同,本试验在提取 NSP 过程中采用碱溶性 NSP 提取法,为的是保留更多的可溶性 NSP。结果表明,与不可溶性 NSP 相比,可溶性 NSP 的发酵特点更接近于非消化寡糖。尽管如此,非消化寡糖和可溶性 NSP 对动物消化生理的影响还是有其不同之处的。可溶性 NSP 溶解后,通过分子之间相互缠绕,共价或非共价键连接成网状结构,使水溶液呈现一定的黏滞性,这会降低胃的排空速率,影响肠道食糜的混合和营养素向肠道表皮细胞或吸收表面的扩散,结果造成饲料的消化和吸收的速率全面下降;与可溶性 NSP 不同的是,非消化寡糖在水溶液一般不表现黏滞性,但发酵产生的 SCFA 可增加食糜的流通速率。

在本试验体外发酵条件下,非消化寡糖的短链脂肪酸产量及生成速率普遍高于 NSP 提取物及纤维素,4 种非消化寡糖的可发酵性的顺序依次为棉子糖、水苏糖、果寡糖、甘露寡糖,5 种 NSP 的可发酵性的大小顺序依次为小麦 NSP、豆粕 NSP、玉米 NSP、小麦麸 NSP、纤维素;NSP 发酵产生的短链脂肪酸中以乙酸比例较非消化寡糖多,而非消化寡糖发酵产生的短链脂肪酸中以丙酸比例相对较 NSP 多;与不可溶性 NSP 相比,可溶性 NSP 的发酵特点更接近于非消化寡糖。

参考文献:

- [1]Englyst H N, Kingman S M, Cumming J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. Eur J Clin Nutr, 1992, 46: 33-50.
- [2]Flamm G, Glinsmann W, Kritchevsky D, et al. Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence [J]. Crit Rev in Food Sci Nutr, 2001, 41(5): 353-362.
- [3]易中华, 马秋刚, 王晓霞, 等. 水苏糖对肉仔鸡消化器官发育及肠黏膜形态的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(3): 566-570.

- [4] Bedford M. Removal of antibiotic growth promoters from poultry diets: implications and strategies to minimize subsequent problems [J]. *World's Poult Sci J*, 2000, 56: 347-365.
- [5] Verstegen M W, Williams B A. Alternatives to the use of antibiotics as growth promoters for monogastric animals [J]. *Anim Biotechnol*, 2002, 13: 113-127.
- [6] Choct M, Annison G. Anti-nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora [J]. *Br Poult Sci*, 1992, 33: 821-834.
- [7] Sunvold G D, Hhussein H S, Jr Fahey G C, et al. Reinha. In vitro fermentation of cellulose, beet pulp, citrus pulp, and citrus pectin using fecal inoculum from cats, dogs, horses, humans, and pigs and ruminal fluid from cattle [J]. *J Anim Sci*, 1995, 73: 3639-3648.
- [8] Lee S C, Porsky L, De Vries J W. Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods - enzymatic - gravimetric method, MES - TRIS buffer: collaborative study [J]. *J AOAC Int*, 1992, 75(3): 395-416.
- [9] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
- [10] Carre B, Gomez J, Chagneau A M. Contribution of oligosaccharide and polysaccharide digestion, and excreta losses of lactic acid and short chain fatty acids, to dietary metabolizable energy values in broiler chickens and adult cockerels [J]. *Br Poult Sci*, 1995, 36(4): 611-29.
- [11] Schneeman B O. Soluble V S. insoluble fiber - different physiological responses [J]. *Food Technol*, 1987, 41: 81-82.
- [12] Macfarlane G T, Allison C, Gibson S A W, et al. Contribution of the microflora to proteolysis in the human large intestine [J]. *J App Bacteriology*, 1988, 64: 37-46.

(上接第328页)

- [3] 李川, 姚小华, 王开良, 等. 薄壳山核桃无性系果实性状指标简化研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2011, 33(4): 696-700.
- [4] 姚小华, 王开良. 薄壳山核桃优新品种和无性系开花物候特性研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2004, 26(5): 675-680.
- [5] 侯冬培, 习学良, 石卓功. 我国薄壳山核桃研究概况 [J]. *山东林业科技*, 2007(4): 53-55.
- [6] Bagnall C R. Species identification among pollen grains of *Abies*, *Picea* and *Pinus* in the Rocky Mountain (A scanning electron microscope study) [J]. *Rev Palaeobotany Palynology*, 1975, 19: 203-220.
- [7] Erdtman G. Handbook of palynology - an introduction to the study of pollen grains and spores [J]. Copenhagen: Munksgaard, 1969.
- [8] 王伏雄. 中国植物花粉形态 [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1995.
- [9] 阳志慧, 张孝岳, 李先信. 果树花粉形态研究进展 [J]. *湖南农业科学*, 2009, 38(3): 133-136.
- [10] 林树燕, 丁雨龙, 张昊. 5种竹子花粉萌发率及开花特性 [J]. *林业科学*, 2008, 44(10): 159-163.
- [11] 任列花, 程三虎, 张登福, 等. 15个早实核桃品种花粉粒形状、大小及生活力测定初报 [J]. *北方园艺*, 2005(2): 56-57.
- [12] 刘剑锋, 柳福柱. 5种秋子梨品种的花粉形态观测 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(5): 153-156.
- [13] 齐莉, 巨艳秋, 李微, 等. 梨花柱头可授性和花粉活力的研究 [J]. *牡丹江师范学院学报: 自然科学版*, 2007(4): 29-30.
- [14] 李春林, 姚小华, 杨水平, 等. 普通油茶花粉形态及花粉管活体萌发的研究 [J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(3): 242-246.
- [15] 袁德义, 谭晓风, 邹锋, 等. 油茶花粉生活力检测方法比较 [J]. *西南林学院学报*, 2009, 29(4): 10-12.
- [16] 李雪, 徐迎春, 李永荣, 等. 贮藏条件对薄壳山核桃4个品系花粉活力影响 [J]. *林业科技开发*, 2011, 25(1): 70-73.
- [17] 胡适宜. 植物胚胎学实验方法(一) 花粉生活力的测定 [J]. *植物学通报*, 1993, 70(2): 60-62.
- [18] 李雪, 徐迎春, 李永荣, 等. 薄壳山核桃不同品系开花物候期特性观察 [J]. *江苏林业科技*, 2010, 37(6): 18-21.
- [19] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论 [M]. 北京: 北大出版社, 1983: 21-32.
- [20] 贺澄日, 滕文军. 玉米花粉不同干燥方法试验 [M]. *作物杂志*, 1991(4): 36-37.
- [21] 张毅, 裘伟伟. 山核桃离体花粉活力初步研究 [J]. *江苏林业科技*, 2007, 34(6): 12-14.
- [22] 王翔, 刘庆华. 耐冬山茶 (*Camellia japonica* L.) 花粉活力和柱头可授性研究 [J]. *西南农业学报*, 2008, 21(4): 1078-1080.
- [23] 孙强, 芦建国, 沈永宝, 等. 非洲菊花粉和柱头生物学学习性初步研究 [J]. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2008, 26(1): 78-80.
- [24] Donald E Stone. Pollen size in hickories (*Carya*) [J]. *National Science Foundation Grant No. G-17603*, 1963, 15(6): 208-215.