

不同等级鱼粉和其它来源蛋白对断奶仔猪生产性能的影响

马秋刚¹, 刘国庆¹, 简永军^{1,2}, 陈家钊², 洪五一², 陈立伟², 李峰娟², 计成^{1*}

¹ 中国农业大学动物科技学院国家动物营养重点实验室, 北京 100193

² 福建丰泽农牧饲料有限公司, 福州, 福建 350023

摘要

本论文评价了两种不同等级鱼粉和四种不同来源的植物蛋白对断奶仔猪生长的影响。选取 288 头 26 日龄、体重相近 (7.7 ± 0.2 Kg)、健康的断奶仔猪, 随机分成 6 个处理, 分别为: 普通豆粕组、发酵豆粕组、普通鱼粉组、特级鱼粉组、普通亚麻粕组、发酵亚麻粕组, 每个处理 6 个重复, 每个重复 8 头猪。饲料配方参照农业部猪营养标准 (NY/T 65-2004)。对照组饲喂不含鱼粉的玉米豆粕型日粮, 发酵豆粕组日粮以 60g/kg 的比例替换对照组日粮中的豆粕。普通鱼粉和特级鱼粉组的日粮分别以 50g/kg 的比例分别用普通鱼粉和特级鱼粉替换对照组日粮中的豆粕。普通亚麻粕组和发酵亚麻粕组的日粮以 100g/kg 的比例分别用普通亚麻粕组和发酵亚麻粕替换对照组日粮中的豆粕。所有日粮含有相同代谢能、粗蛋白水平, 以及基本相同的可消化赖氨酸、含硫氨酸、苏氨酸、色氨酸。试验期 28 天。主要测定了生长性能、53 日龄粪便微生物计数、53 日龄血清生化指标等。实验结果表明, 挥发性盐基氮(TVB-N)和组胺含量是反映鱼粉质量的重要指标。挥发性盐基氮(TVB-N)和组胺含量较低的特级鱼粉在生长性能方面是最好的蛋白原料, 各个生长性能参数上都优于普通鱼粉和其它蛋白源。通过发酵可很大程度的提高蛋白原料的营养价值, 发酵豆粕可以用来替代普通鱼粉, 发酵亚麻粕除了适口性问题外其他方面优于普通豆粕。

1.引言

断奶仔猪肠道功能发育不完善，对饲料中的蛋白质来源非常敏感，蛋白质结构和抗营养因子成分含量的差异不仅导致饲料适口性和氨基酸消化率的差异，而且会影响断奶仔猪的生长发育。

鱼粉(FM)是仔猪饲料中的高蛋白、低抗营养因子的优质饲料原料。然而由于生产鱼粉原料的来源和新鲜度以及加工参数(例如温度)不同，不同鱼粉的适口性和消化率差异很大(Aksnes and Mundheim, 1997)。在不同品种的鱼上的研究表明，鱼粉品质能显著影响生长性能和饲料利用率(Pike et al., 1990; Anderson et al., 1993, 1995; Pike, 1993; Moksness et al., 1995; Aksnes and Mundheim, 1997)。但是鱼粉品质对仔猪生长性能影响的报道很少。

最近一些研究探索了利用廉价植物蛋白例如大豆产品代替鱼粉对仔猪生产性能的影响(Sun et al., 2009)。普通豆粕(SBM)消化吸收率高、氨基酸组成较好，资源丰富，是我国畜禽饲料中主要的蛋白原料，但由于其含有多种抗营养因子，如蛋白酶抑制因子、凝集素等，容易引起幼龄动物肠道过敏，抑制其生长发育(Li et al., 1990; Jiang et al., 2000)。与普通豆粕相比，发酵豆粕经微生物发酵处理后，抗营养因子含量低，易消化吸收(Hong et al., 2004; Feng et al., 2007)；亚麻籽饼粕是亚麻籽榨油后副产物，富含蛋白质和膳食纤维等营养成分，是优质的畜禽饲料，CP含量约32%~37%，富含多不饱和脂肪酸，但亚麻籽饼粕含有亚麻胶，碳水化合物中的凝胶可达80 g/kg(Fedeniuk and Biliaderis, 1994)。亚麻胶吸水能力强增加黏度，一方面形成一层保护肠粘膜的生物膜，另一方面作为非淀粉多糖(NSP)降低了饲料营养物质的消化率。亚麻粕在适宜环境条件下，接种特定的微生物，在发酵过程中降低亚麻胶含量，还能产生糖苷酶，并降解亚麻粕中的生氰糖苷达到脱毒的目的。

在本试验中，比较了两种不同等级鱼粉和四种不同来源的植物蛋白对断奶仔猪生长的影响。六种不同的蛋白源包括普通鱼粉，特级鱼粉，普通豆粕，发酵豆粕，亚麻粕和发酵亚

麻粕。

2.材料和方法

2.1 实验材料

2.1.1两种不同等级鱼粉由海洋配料组织IFFO提供营养成分见表1，脂肪酸成分见表2。根据分析结果来看，两种鱼粉的各种营养物质含量差异很小。二者最大差异表现在，与普通鱼粉相比，特级鱼粉具有较低的挥发性盐基氮(TVB-N)和组胺含量。

2.1.2普通豆粕由市场购买，营养成分见表1。

2.1.3 发酵豆粕用市场购买的普通豆粕(46%粗蛋白)自己发酵，乳酸菌 ANEF01 和酵母菌 ANSC14 由中国农业大学国家动物营养重点实验室筛选储存，该菌种被广泛用于植物性饲料原料的固体发酵。发酵粉中的乳酸菌 ANEF01 和酵母菌 ANSC14 数量分别是 1.2×10^8 和 2.6×10^8 。首先，用桶取 15 升水，水温 35-40 度，加入 200g 蔗糖，搅匀后加入 100g 菌种，活化 20-30 分钟。将菌液倒在 100 公斤豆粕中，搅拌，再取 25 升水，倒入上述豆粕中，使豆粕和水的比例达到 100:40，将豆粕混匀后装入只能单向对外排气的发酵袋中(50 cm x 50 cm x 80 cm)，密闭封口。环境温度控制在 30 度，发酵 48 小时。发酵完成后饲料在 50°C烘箱中烘干至水分 10%左右，然后粉碎至 1-mm 后，室温保存备用。

2.1.4 亚麻粕由市场购买，营养成分见表 1。

2.1.5 发酵亚麻粕采用市场购买的亚麻粕自己发酵，发酵亚麻粕的发酵步骤和发酵参数与发酵豆粕相同。

表 1 6 种蛋白原料的营养成分 (%)

	普通鱼粉	特级鱼粉	豆粕	发酵豆粕	亚麻粕	发酵亚麻粕
干物质(DM)	90.17	90.92	88.72	88.54	88.45	88.45

消化能, Mcal/kg	3.95	3.95	3.62	3.97	3.21	3.21
代谢能, Mcal/kg	3.51	3.51	3.30	3.60	3.01	3.01
净能, Mcal/kg	2.35	2.35	2.09	2.28	2.31	2.31
挥发性盐基总氮 (TVB-N, mg/100g)	96.9	129				
组胺 (mg/100g)	134	384				
粗蛋白 (CP, N×6.25)	67.40	68.97	43.50	49.01	31.80	31.94
粗脂肪 (EE)	6.26	8.92	2.60	2.91	0.89	0.92
粗灰分(CA)	15.78	15.34	5.91	6.60	5.63	5.74
钙(Ca)	3.39	3.39	0.31	0.34	0.43	0.44
磷(P)	2.43	2.46	0.65	0.69	0.78	0.78
天冬氨酸	6.13	6.03	4.68	4.97	2.68	2.54
丝氨酸	2.86	2.82	2.32	2.45	1.48	1.54
谷氨酸	7.81	8.17	7.65	8.02	5.08	5.64
苏氨酸	3.00	3.07	1.68	1.90	1.02	1.01
甘氨酸	3.47	3.27	1.69	1.79	1.50	1.65
精氨酸	4.41	4.11	3.81	3.99	2.65	2.97
丙氨酸	4.23	4.21	1.95	2.12	1.59	1.76
色氨酸	2.45	1.67	1.74	1.45	0.98	1.39
脯氨酸	3.05	3.25	2.66	2.77	1.46	1.59
缬氨酸	3.43	3.48	1.85	1.88	1.22	1.38
苯丙氨酸	2.17	2.28	2.02	2.02	1.22	1.19
异亮氨酸	2.09	2.47	1.74	1.74	1.00	1.10
亮氨酸	4.21	4.76	3.30	3.35	1.76	1.85
组氨酸	1.46	1.82	1.08	0.93	0.61	0.68
赖氨酸	5.45	5.58	2.64	2.97	1.21	1.29
蛋氨酸	1.78	1.83	0.58	0.65	0.46	0.47
半胱氨酸	0.59	0.62	0.64	0.73	0.41	0.39

注：消化能，代谢能和净能为计算值，其它营养成分为测定值。

表 2 不同鱼粉的脂肪酸组成(mg/g)

脂肪酸	普通鱼粉	特级鱼粉
C6:0	0.04	0.07
C8:0	0.01	0.01

C10:0	0.01	0.01
C12:0	0.06	0.07
C13:0	0.02	0.02
C14:0	4.37	3.99
C14:1	0.03	0.03
C15:0	0.31	0.34
C16:0	13.41	14.35
C16:1	5.54	3.85
C17:0	0.53	0.66
C18:0	3.32	3.82
C18:1n9c	4.18	4.91
C18:2n6c	0.76	0.85
C18:3n6	0.24	0.23
C18:3n3	0.32	0.52
C20:0	0.15	0.01
C20:1	0.49	0.55
C21:0	0.14	0.18
C20:2	0.05	0.05
C20:3n6	0.16	0.12
C20:4n6	1.00	1.08
C20:3n3	0.03	0.07
C20:5n3	11.61	10.10
C22:0	0.14	0.14
C22:1n9	0.10	0.12
C22:2	0.25	0.06
C23:0	0.43	0.44
C24:0	2.09	1.99
C22:6n3	12.52	16.46
C24:1	0.61	0.88
总脂肪酸	62.92	65.98
不饱和脂肪酸, USFA	37.89	39.88
单一不饱和脂肪酸, MUFA	10.95	10.34
多不饱和脂肪酸, PUFA	26.94	29.54
饱和脂肪酸, SFA	25.03	26.10
n-3 多不饱和脂肪酸	24.48	27.15
n-6 多不饱和脂肪酸	2.16	2.28
n-3/n-6 比例	11.33	11.91

2.2 试验动物和日粮

试验经中国农业大学动物福利委员会批准。选取 288 头 26 日龄、体重相近 (7.7 ± 0.2 Kg)、健康的断奶仔猪，随机分成 6 个处理，分别为：普通豆粕组、发酵豆粕组、普通鱼粉

组、特级鱼粉组、普通亚麻粕组、发酵亚麻粕组，每个处理 6 个重复，每个重复 8 头猪。饲料配方参照农业部猪营养标准 (NY/T 65-2004)。对照组饲喂不含鱼粉的玉米豆粕型日粮，发酵豆粕组日粮以 60g/kg 的比例替换对照组日粮中的豆粕。普通鱼粉和特级鱼粉组的日粮分别以 50g/kg 的比例分别用普通鱼粉和特级鱼粉替换对照组日粮中的豆粕。普通亚麻粕组和发酵亚麻粕组的日粮以 100g/kg 的比例分别用普通亚麻粕组和发酵亚麻粕替换对照组日粮中的豆粕。所有日粮含有相同代谢能、粗蛋白水平，以及基本相同的可消化赖氨酸、含硫氨酸、苏氨酸、色氨酸。实验料组成及营养水平见表 3。

表 3 试验料营养成分表

原料名称	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组
东北玉米	56.35	57.25	59.81	59.81	52.7	52.7
膨化大豆	10	10	10	10	10	10
乳清粉[3%]	6	6	6	6	6	6
大豆粕 43	23.9	17	15.8	15.8	17.4	17.4
发酵豆粕 49		6				
亚麻粕 31					10	
发酵亚麻粕 31						10
普通鱼粉			5			
特级鱼粉				5		
石粉	1	1	1	1	1	1
磷酸氢钙	1.3	1.3	1	1	1.3	1.3
食盐	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
赖氨酸[65%]	0.24	0.24	0.2	0.2	0.36	0.36
DL-蛋氨酸	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04
苏氨酸	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.06
氯化胆碱	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
复合多维	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
猪用--微量	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
抗氧化剂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
防霉剂	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
氧化锌	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
10%抗敌素	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4%恩拉霉素	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
营养素名称	计量单位					
粗蛋白	%	18.99	19.00	19.06	19.14	19.10
猪消化能	MC/Kg	3.50	3.41	3.46	3.46	3.37
猪代谢能	MC/Kg	3.33	3.30	3.29	3.29	3.20

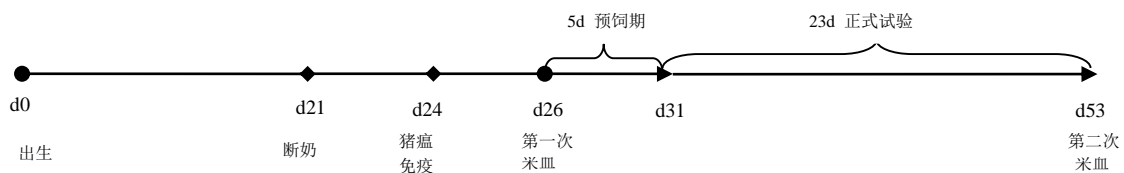
钙	%	0.85	0.84	0.88	0.89	0.88	0.88
总磷	%	0.61	0.61	0.62	0.63	0.68	0.69
非植酸磷	%	0.40	0.40	0.44	0.45	0.43	0.43
蛋氨酸	%	0.32	0.32	0.36	0.36	0.33	0.33
蛋胱氨酸	%	0.66	0.66	0.68	0.68	0.66	0.66
赖氨酸	%	1.17	1.16	1.21	1.21	1.16	1.16
色氨酸	%	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
苏氨酸	%	0.75	0.75	0.76	0.77	0.75	0.75
精氨酸	%	1.27	1.26	1.21	1.22	1.27	1.27

每千克预混料中包括：维生素 A8000 IU, 维生素 D3 1200 IU, 维生素 E 25 IU, 维生素 K3 3.0 mg, 维生素 B1 2.0 mg, 维生素 B2 4.0 mg, 维生素 B6 4 mg, 维生素 B12 0.02 mg, 烟酸 24 mg, 磷酸钙 10.2 mg, 叶酸 0.6 mg/kg, 生物素 200 ug, 氯化胆碱 0.5 g, 锰 65 mg, 铁 150 mg, 锌 120 mg, 铜 220 mg, 碘 0.5 mg 和 硒 0.3 mg.

消化能，代谢能和净能为计算值，其它营养成分为测定值。

2.3 试验动物饲养管理

试验在中国农业大学和福建丰泽农牧饲料有限公司共建的产学研基地进行。试验猪自由采食，鸭嘴式饮水器自由饮水，采用全封闭猪舍，室内温度保持在 $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，免疫程序与猪场商品猪相同。试验料为粉料，试验期从仔猪 26 日龄到 53 日龄共 28 天，其中预饲期 5 天。所有仔猪 24 日龄时注射一份广东永顺传代细胞源型猪瘟疫苗。研究不同来源蛋白对断奶仔猪生产性能、粪中菌数、血清免疫指标以及抗体效价等指标的影响。



2.4 测定指标：

2.4.1 生长性能

实验开始和结束时，仔猪空腹称重，并以每个重复为单位，统计饲料消耗，计算平均日

增重、采食量和耗料增重比；

2.4.2 腹泻率、腹泻指数、成活率

试验期间每天记录腹泻仔猪头数，出现病死猪及时记录。按照 Wu 等 (2012)方法进行腹泻观察，并按照 Huang 等 (2004)方法计算腹泻率。

腹泻率 (Diarrhea Rate) (%) = 腹泻头数 * 腹泻天数 / 实验总头数 * 实验总天数 * 100%。

按照 Montagne 等 (2004)方法计算腹泻指数。

腹泻指数 = 粪便评分之和 / 供试猪头数。

评分标准见表 3，每天 8:00 to 10:00 观察记录粪便性状，以最高分作为当天的腹泻指数。

表 1 腹泻评分标准

腹泻程度	粪便外观	腹泻评分
正常	成形或粒状	0
轻度	软粪，能成形	1
中度	稠状，不成形，粪水无分离现象	2
严重	液状，不成形，粪水有分离现象	3

2.4.3 粪中细菌计数

实验结束当天，每个重复随机收集 3 头仔猪新鲜粪便，混匀后取样置于液氮中冷冻并保存在 -80°C 条件下用于检测大肠杆菌数量、乳酸菌数量、需氧菌总数。计数前将冰冻的粪样 4°C 下解冻 10 h，然后采用平板计数法 (Mikkelsen 等, 2003; Guo 等, 2006) 检测大肠杆菌、乳酸菌数量以及需氧菌总数。简单来说，称取 0.5g 粪样，无菌条件下用生理盐水逐级稀释到 10^{-1} 到 10^{-6} 的浓度。大肠杆菌和需氧菌总数采用麦康凯培养基 (北京海淀培养基厂) 37°C 培养 24 小时，乳酸杆菌采用 MRS 培养基 (英国牛津公司) 37°C 厌氧培养 24 小时。同时滴加无菌水空白对照。微生物数量以每克粪样的菌落数量的对数表示表示。

2.4.4 血清免疫指标、猪瘟抗体、抗体效价

实验开始与结束当天每个重复挑选有耳牌标记的相同的 1 头猪前腔静脉采血 (5ml)，

8000r/min 离心 15min 制备血清放于-20℃冰箱保存，待测。血清 IgG、IgA、IgM 含量、总蛋白、白蛋白在北京 309 医院使用自动生化分析仪检测。球蛋白=总蛋白-白蛋白。采用间接血凝试验检测 26d 和 53d 猪瘟特异性抗体效价。试剂盒购于中国农业科学院兰州畜牧兽医研究所，按照试剂盒的说明进行检测。每份血清样品稀释成 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 和 1/64 一系列浓度的溶液(50 uL/孔)，猪瘟抗体阴性血清和猪瘟抗体阳性血清稀释方法类似，每个孔中加入 25 uL 抗原包被的红细胞 25℃培养 1h。然后每个孔按以下方法分类：“-”，没有凝集，红细胞全部沉淀在孔底；“+”，25%凝集；“++”，50%凝集；“+++”，75%凝集；“+++”，90%-100%凝集。猪瘟抗体阴性血清没有凝集 25%凝集，猪瘟抗体阳性血清 50%凝集或 75%凝集。和猪瘟抗体阳性血清孔对比当血清样品孔达到 50%凝集时，它的最大稀释比例用来计算抗体效价，用平均几何滴度表示。

2.4.5 经济效益分析

根据饲料成本和仔猪价格进行经济效益分析，计算每公斤增重的饲料成本。

2.5 数据分析

采用 SPSS 12.0 软件进行 Anova 方差分析和 Duncan's 多重比较。p < 0.05 表示差异显著。结果用平均值±标准差的方式表示。

3. 试验结果

3.1 不同蛋白源对仔猪生长性能的影响

各个处理的初始体重差异不显著，但是结束体重差异显著(P < 0.05)(表 4)，特级鱼粉组的结束体重最高，显著高于发酵亚麻粕组、豆粕组和亚麻粕组(P < 0.05)，但是特级鱼粉组、普通鱼粉组和发酵豆粕组结束体重差异不显著(P > 0.05)。发酵亚麻粕组和豆粕组结束体重接近，显著高于亚麻粕组(P < 0.05)。

不同处理组的平均日增重和平均日采食量存在极显著差异(P < 0.01)，料重比存在显著差

异($P < 0.05$)。特级鱼粉组的平均日采食量最高，特级鱼粉组的平均日采食量与亚麻粕组差异显著($P < 0.05$)，但是和其它处理组差异不显著($P > 0.05$)。亚麻粕组平均日采食量最低，与其它处理组均存在显著差异($P < 0.05$)。特级鱼粉组的平均日增重最高，显著高于豆粕组，发酵亚麻粕组和亚麻粕组($P < 0.05$)，但是特级鱼粉组，普通鱼粉组和发酵豆粕组间的平均日增重差异不显著($P > 0.05$)。亚麻粕组平均日增重显著低于其它各处理组($P < 0.05$)。特级鱼粉组的料重比最低，与豆粕组和亚麻粕组间存在显著差异($P < 0.05$)，但是与普通鱼粉组，发酵豆粕组和发酵亚麻粕组差异不显著($P > 0.05$)。豆粕组料重比最高，但是除了特级鱼粉组与其他各处理组差异不显著($P > 0.05$)。

总之，在生长性能方面特级鱼粉是最好的蛋白原料，并且在各个生长性能参数上都优于普通鱼粉。通过发酵可很大程度的提高蛋白原料的营养价值，发酵豆粕可以用来替代普通鱼粉，发酵亚麻粕除了适口性问题外其他方面优于普通豆粕。

表 4 不同蛋白来源对仔猪生产性能的影响

项目	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组	P 值
IBW (kg)	7.71±0.06	7.71±0.04	7.71±0.03	7.73±0.04	7.73±0.02	7.72±0.02	0.998
FBW (kg)	17.36±0.25 ^b	17.59±0.28 ^{bc}	17.77±0.31 ^{bc}	18.31±0.29 ^c	16.25±0.18 ^a	17.44±0.18 ^b	0.000
ADFI(g/d)	628.0±14.8 ^b	620.0±15.2 ^b	627.2±15.6 ^b	637.5±10.2 ^b	548.0±10.5 ^a	600.0±13.8 ^b	0.001
ADG (g/d) #	346.2±8.5 ^b	354.0±9.8 ^{bc}	359.2±11.5 ^{bc}	377.3±10.3 ^c	304.3±6.0 ^a	347.0±7.1 ^b	0.000
FCR(F/G)	1.81±0.02 ^b	1.76±0.02 ^{ab}	1.75±0.02 ^{ab}	1.69±0.04 ^a	1.80±0.02 ^b	1.73±0.03 ^{ab}	0.047

*结果以平均值±标准差的方式表示，同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

#IBW: 初始体重; FBW: 结束体重; ADFI: 平均日采食量; ADG: 平均日增重; FCR: 耗料增重比(F/G);

3.2 不同蛋白源对仔猪腹泻率、腹泻指数的影响

不同处理间的腹泻率和腹泻指数差异不显著($P > 0.05$)(表 5)。这可能与该基地饲养管理条件较好，并在基础日粮中添加了氧化锌、抗菌药物等，仔猪腹泻得到较好控制有关。

表 5 不同蛋白来源对仔猪腹泻率、腹泻指数的影响

项目	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组	P 值
----	-------	-------	-------	-------	------	--------	-----

腹泻率 (%)	1.97±0.91	2.55±1.49	2.31±1.05	3.13±1.06	3.35±2.28	2.31±1.15	0.98
腹泻指数	0.75±0.05	0.73±0.01	0.60±0.06	0.55±0.09	0.61±0.08	0.61±0.05	0.34

*结果以平均值±标准差的方式表示，同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

3.3 不同蛋白源对仔猪粪中微生物计数的影响

不同处理间的细菌总数，乳酸杆菌数和大肠杆菌数差异不显著($P>0.05$)，但是乳酸杆菌和大肠杆菌比值差异显著($P<0.05$) (表 6)。亚麻粕组乳酸杆菌和大肠杆菌比值最低，显著低于发酵豆粕组，发酵亚麻粕组和特级鱼粉组($P<0.05$)，豆粕和亚麻粕通过发酵能够提高粪中乳酸杆菌和大肠杆菌比值。从肠道微生物平衡的角度看，发酵豆粕，发酵亚麻粕和特级鱼粉是比较好的蛋白来源。

表 6 不同来源蛋白对仔猪腹泻率、腹泻指数的影响

项目	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组	P 值
细菌总数	8.49±0.11	8.76±0.08	8.75±0.12	8.62±0.10	8.62±0.21	8.60±0.14	0.716
大肠杆菌	5.64±0.16	5.38±0.08	5.76±0.22	5.50±0.19	6.08±0.08	5.54±0.17	0.058
乳酸菌	8.76±0.12	9.00±0.01	8.91±0.12	8.89±0.05	8.87±0.11	9.03±0.08	0.352
L/E#	3.12±0.14ab	3.63±0.09b	3.15±0.29ab	3.39±0.20b	2.79±0.16a	3.48±0.09b	0.026

L/E: 乳酸杆菌和大肠杆菌比值.

*结果以平均值±标准差的方式表示，同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

3.4 不同蛋白源对仔猪血清免疫指标的影响

不同处理间的总蛋白、球蛋白、白球比、IgG、IgA 和 IgM 差异不显著($P>0.05$)，但是不同处理间的白蛋白差异显著($P<0.05$) (表 7)。普通鱼粉组和特级鱼粉组的血清白蛋白水平显著低于亚麻粕组和发酵亚麻粕组($P<0.05$)；也低于豆粕组和发酵豆粕组，但是差异不显著($P>0.05$)。豆粕和亚麻粕通过发酵并没有显著提高白蛋白水平。

表 7 不同来源蛋白对仔猪血清免疫指标的影响

项目	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组	P 值
总蛋白(g/L)	59.19±1.53	63.05±2.23	58.62±2.05	59.06±1.06	64.54±2.16	62.89±1.24	0.087

白蛋白(g/L)	27.75±0.37 ^{abc}	28.0±0.82 ^{abc}	26.25±1.01 ^a	26.63±0.82 ^{ab}	29.75±0.62 ^c	28.75±0.65 ^c	0.019
球蛋白(g/L)	31.44±1.69	35.05±2.05	32.37±2.10	32.44±1.16	34.79±1.99	34.14±1.10	0.600
白球比	0.9±0.055	0.82±0.046	0.83±0.062	0.83±0.048	0.87±0.053	0.85±0.034	0.84
IgG(g/L)	7.45±0.21	8.34±0.24	8.10±0.38	8.57±0.30	8.11±0.40	8.44±0.32	0.18
IgA(g/L)	1.15±0.08	1.16±0.05	1.10±0.06	1.15±0.06	1.16±0.06	1.12±0.60	0.97
IgM(g/L)	0.96±0.03	0.94±0.045	0.88±0.025	0.90±0.035	0.90±0.026	0.87±0.40	0.8

3.5 不同蛋白源对仔猪猪瘟抗体的影响

26 日龄、53 日龄及各个处理间的猪瘟抗体效价没有显著差异($P > 0.05$) (表 8)。母源抗体对 26d 的猪瘟抗体效价有很大影响。首次免疫猪瘟疫苗后, 猪瘟抗体效价正常情况下应该先降低后升高。如果要了解不同蛋白源对猪瘟病毒的特殊免疫反应, 还需要对试验猪在今后生长过程中的抗体效价进行检测。

表 8 不同来源蛋白对仔猪猪瘟抗体的影响

项目	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组	P 值
26d 抗体效价	2.38±0.19	2.46±0.38	2.23±0.07	1.91±0.16	1.98±0.09	1.82±0.18	0.155
53d 抗体效价	1.12±0.13	1.20±0.05	1.26±0.07	1.01±0.12	1.02±0.07	1.09±0.08	0.418
26d 和 53d 抗体效价差 值	1.26±0.15	1.25±0.34	0.98±0.11	0.90±0.08	0.96±0.06	0.73±0.20	0.248

3.6 经济效益分析

虽然普通鱼粉组和特级鱼粉组的饲料价格高, 单位增重耗料价格高, 但是保育期只是猪整个生长阶段的 1/3, 潜在的程序化效应可能在生长期和育肥期体现出来。

表 8 不同来源蛋白对仔猪猪瘟抗体的影响

项目	普通豆粕组	发酵豆粕组	普通鱼粉组	特级鱼粉组	亚麻粕组	发酵亚麻粕组
耗料增重比(F/G)	1.81	1.76	1.75	1.69	1.8	1.73
饲料价格(RMB ¥/kg)	3300	3357	3544	3644	3243	3313
配方价格(US \$/kg)	532	541	572	588	523	534
每单位增重耗料价格(US\$/kg)	0.96	0.95	1.00	0.99	0.94	0.92

4. 结论

本实验结果表明，挥发性盐基氮(TVB-N)和组胺含量是反映鱼粉质量的重要指标。挥发性盐基氮(TVB-N)和组胺含量较低的特级鱼粉在生长性能方面是最好的蛋白原料，各个生长性能参数上都优于普通鱼粉和其它蛋白源。通过发酵可很大程度的提高蛋白原料的营养价值，发酵豆粕可以用来替代普通鱼粉，发酵亚麻粕除了适口性问题外其他方面优于普通豆粕。

致谢：

感谢海洋原料组织(IFFO)提供的鱼粉原料和资金支持，感谢国家重点基础研究发展计划(973计划，任务书编号2012CB124704)、教育部“新世纪优秀人才支持计划”(项目编号NCET-13-0558)、国家科技支撑计划(2012BAD39B00)资助。

参考文献：

- Aksnes, A., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Vergara, J.M., Montero, D., 1997. Influence of fish meal quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*.153, 251–261.
- Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M., 1992. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea water. *Aquaculture*. 108, 111–124.
- Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M., McNiven, M.A., 1991. Lysine requirement for Atlantic salmon (*Salmo salar*) fingerlings. In: Kaushik, S.J., Luquet, P. (Eds.), *Fish Nutrition in Practice*, Biazit (France), June 24–27. INRA, Paris. Les Colloques, no. 61, pp. 867–882.
- Fedeniuk, R. W., Biliaderis, C. G., 1994. Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. *J. Agric. Food Chem.* 42, 240–247.
- Hart G.K., G.J. Dobb. Effect of a fecal bulking agent on diarrhea during enteral feeding in the critically ill. *J Parenter Enteral Nutr* 1988; 12:465–8.
- Huang CH, Qiao SY, Li DF, Piao XS, Ren JP. Effects of lactobacilli on the performance, diarrhea incidence, VFA concentration and gastrointestinal microbial flora of weaning pigs. *Asian-Aust J Anim Sci* 2004; 17: 401–9.
- Li, D. F., Nelssen, J. L., Reddy, P. G., Blecha, F., Hancock, J. D., Allee, G. L., Goodband, R.D., Klemm, R. D., 1990. Transient hypersensitivity to soybean meal in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68, 1790–1799.
- Mikkelsen L.L., M. Jakobsen, B. B. Jensenet. Effects of dietary oligosaccharides on microbial diversity and fructo-oligosaccharide degrading bacteria in faeces of piglets post-weaning. *Animal Feed Science and Technology*, 109 (2003): 133–150.
- Montagne L, Cavaney FS, Hampson DJ, Lalle JP, Pluske JR. Effect of diet composition on post-weaning colibacillosis in piglets. *J. Anim. Sci.* 2004; 82:2364–74.
- Sun Zhantian, Qiugang Ma, Zhongrong Li and Cheng Ji. Effect of partial substitution of dietary spray-dried porcine plasma or fishmeal with soybean and shrimp protein hydrolysate on growth performance, nutrient digestibility and serum biochemical parameters of weanling piglets. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2009. 22(7):1032-1037.

Wu S., F. Zhang, Z. Huang, H. Liu, C. Xie, J. Zhang, P. A. Thacker, S. Qiao. Effects of the antimicrobial peptide cecropin AD on performance and intestinal health in weaned piglets challenged with *Escherichia coli*. *Peptides*. 35 (2012) 225–230