

日粮纤维对仔猪日粮养分消化和代谢的影响

马永喜 李德发 谯仕彦 黄沧海 潘宝海

(中国农业大学农业部饲料工业中心)

摘要 采用 2 个 3×3 拉丁方设计, 选用 6 头杜 × 长 × 大阉公猪测定了仔猪对纤维来源和水平不同的日粮的消化率。日粮处理依次为对照组(不含纤维性饲料), 小麦麸组(含 5% 小麦麸)和甜菜渣组(含 5% 甜菜渣)。试验结果表明, 小麦麸组仔猪对干物质、有机物和 ADF 的回肠表观消化率显著高于 ($P < 0.05$) 对照组, 但处理对干物质、有机物的粪消化率没有显著影响。对照组和小麦麸组仔猪纤维素回肠消化率显著高于 ($P < 0.05$) 甜菜渣组, 半纤维素粪消化率显著低于 ($P < 0.05$) 甜菜渣组。小麦麸组仔猪的回肠总能消化率显著高于 ($P < 0.05$) 甜菜渣组, 但不同处理的总能粪消化率没有显著差异 ($P > 0.05$)。小麦麸组回肠蛋白质消化率显著高于 ($P < 0.05$) 对照组。甜菜渣组的粪氮消化率显著高于 ($P < 0.05$) 对照组。日粮处理对能量和氮的代谢率、15 种氨基酸回肠表观消化率没有显著影响 ($P > 0.05$)。

关键词 小麦麸; 甜菜渣; 仔猪; 养分; 消化; 代谢

中图分类号 S828.5

Effects of Dietary Fiber on Nutrient Digestibility and Utilization in Piglets

Ma Yongxi Li Defa Qiao Shiyan Huang Canghai Pan Baohai

(Ministry of Agriculture Feed Industry Center, CAU)

Abstract In an experiment with two 3×3 Latin square design, six Duroc × Landrace × Large white castrates were used to investigate the effects of dietary fiber sources and level on nutrient digestibility and utilization in piglets. The treatment was CONTROL (no fibrous feedstuff), WB (contain 5% wheat bran) and SBP (contain 5% sugar beet pulp). The results showed that WB piglets had higher ileal digestibility of dry matter, organic matter and ADF than that of CONTROL piglets ($P < 0.05$), but treatment did not significantly influence the fecal digestibility of dry matter and organic matter ($P > 0.05$). Piglets of WB and CONTROL had greater ileal digestibility of cellulose and lower fecal digestibility of hemicellulose than that of SBP piglets ($P < 0.05$). WB piglets had greater ileal nitrogen digestibility than CONTROL piglets ($P < 0.05$) and greater ileal energy digestibility than SBP piglets ($P < 0.05$). SBP Piglets had greater fecal nitrogen digestibility ($P < 0.05$) than CONTROL pigs. Treatment did not significantly influence metabolizability of gross energy, nitrogen or ileal apparent digestibility of 15 amino acids ($P > 0.05$).

Key words wheat bran; sugar beet pulp; piglets; nutrients; digestibility; metabolizability

收稿日期: 2001-03-28

北京市自然科学基金重点项目资助(6991005)

马永喜, 北京圆明园西路 2 号中国农业大学(西校区), 100094

日粮纤维的生理学定义为“所有不能被人类消化道内源酶降解的多糖和木质素^[1]”。但是如何从化学角度对日粮纤维进行量化,则存在较大的分歧^[2,3]。因为即使饲料中日粮纤维的含量相同的,它们在动物胃肠道内的作用也不完全一样^[4]。而且日粮纤维在消化道内的营养生理作用是动态的,并受许多因素,如pH值、氧化还原电位、日粮类型和成分等的制约。到目前为止,还没有一个化学指标可以确切地反映日粮纤维在动物胃肠道内的营养生理作用。因此在本文中,日粮纤维仅作为一个概念使用,而采用可以被大家广泛接受的中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)来表述日粮纤维。

是否可以在仔猪日粮中使用纤维性饲料,存在2种相互矛盾的观点。一种观点认为,可以使用一定量的纤维性饲料,并不会降低仔猪的生产性能^[5],而且对控制或预防仔猪断奶应激,如降低断奶后腹泻发生率有好处^[6]。另一种观点则正好相反,主要内容包括在仔猪日粮中使用纤维性饲料,尤其是含粘性日粮纤维高的饲料原料,会降低仔猪的生产性能,使断奶后腹泻发生率提高^[7,8]。造成以上分歧的原因除了与试验动物、日粮纤维来源与水平以及环境等方面的因素有关以外,更重要的是对日粮纤维与仔猪体内养分代谢关系认识不清,这方面的研究国外也仅有零星的报道。在有关纤维对仔猪生产性能的研究中,纤维源多采用小麦麸和/或甜菜渣。因为小麦麸是非可溶性、木质化程度高的纤维源代表,甜菜渣则是可溶性的、木质化程度低的纤维源代表。因此,本研究以小麦麸和甜菜渣为纤维源,探讨日粮纤维对仔猪养分消化代谢的影响,以期揭示其作用部位与机理,为指导仔猪生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

9头体重(15.26±0.85)kg杜洛克×长白×大白仔猪,每头猪1个代谢笼。适应1周以后,手术置入回肠简单T型瘘管,经10d恢复期后,从中挑选体重相近、健康活泼的仔猪6头,采用2个3×3拉丁方设计,探讨日粮纤维对仔猪养分消化代谢的影响。

1.2 试验日粮

按养分含量基本一致原则,分别在日粮中使用0,5%小麦麸,5%甜菜渣,构成3个处理。小麦麸和甜菜渣的常规养分含量见表1,实验日粮组成及养分含量见表2。日粮系用平膜颗粒机压制的颗粒料,颗粒机出口温度48.5。

表1 小麦麸和甜菜渣的养分含量

w/%,风干基础

日粮原料	水分	粗蛋白	钙	磷	NDF	ADF	ADL	纤维素	半纤维素
小麦麸	11.04	16.62	0.11	0.76	50.77	13.18	2.52	10.23	37.59
甜菜渣	10.48	10.74	1.40	0.13	47.11	35.98	2.24	23.97	11.13

1.3 试验方法

每期试验分预试期3d(让仔猪熟悉环境和试验饲料),收集粪、尿3d,收集回肠食糜3d。代谢室内温度16~20,相对湿度48%~56%。全期日粮一次称好,取样密封保存,于8:00和16:00分2次均分饲喂,总喂料量为体重的3%~4%。粪便和尿液每天收集1次,混合均匀,取样-20冻存。试验结束后,将样本解冻,按相同比例将粪、尿混和均匀,取样,-20条件下冻

存。食糜于 2 次喂料之间收集, 每天收集量不少于 400 g, - 20 ℃ 保存。

表 2 试验日粮组成与养分含量

w / %

饲料组成	营养成分			营养成分	营养成分		
	对照组 不含纤维 质饲料	小麦麸组 含 5% 小 麦麸	甜菜渣组 含 5% 甜 菜渣		对照组 不含纤维 质饲料	小麦麸组 含 5% 小 麦麸	甜菜渣组 含 5% 甜 菜渣
玉米	55.25	51.80	50.87	总能 / MJ·kg ⁻¹	17.08	17.21	17.01
豆粕	27.50	26.00	27.00	干物质	90.76	91.27	91.19
小麦麸		5.00		有机物	93.78	93.47	93.03
甜菜渣			5.00	粗蛋白质	19.91	20.37	20.52
鱼粉	6.00	6.00	6.00	钙	0.89	0.89	0.90
乳清粉	5.00	5.00	5.00	总磷	0.70	0.70	0.71
豆油	2.00	2.00	2.00	赖氨酸	1.32	1.30	1.32
磷酸氢钙	0.95	0.85	1.05	蛋氨酸	0.45	0.44	0.45
石粉	0.80	0.85	0.58	蛋+ 胱氨酸	0.77	0.76	0.75
食盐	0.20	0.20	0.20	苏氨酸	0.89	0.88	0.89
赖氨酸	0.20	0.20	0.20	色氨酸	0.28	0.27	0.28
蛋氨酸	0.06	0.06	0.06	中性洗涤纤维	12.16	13.27	13.71
苏氨酸	0.04	0.04	0.04	酸性洗涤纤维	4.94	5.44	6.87
预混料	1.50	1.50	1.50	酸性洗涤木质素	0.15	0.37	0.47
三氧化二铬	0.50	0.50	0.50	纤维素	4.27	4.17	5.06
总计	100.00	100.00	100.00	半纤维素	7.22	7.83	6.85

预混料可为每 kg 全价料提供: 泰乐菌素 40 mg, 酸制剂 2 000 mg, 维生素 A 8 512 IU, 维生素 D₃ 851 IU, 维生素 E 50 mg, 维生素 K₃ 3.2 mg, 核黄素 5.5 mg, 泛酸 13.8 mg, 尼克酸 30.3 mg, 胆碱 900 mg, 生物素 0.2 mg, 维生素 B₁₂ 50 μg, 锰 100 mg, 铁 100 mg, 锌 100 mg, 铜 250 mg, 碘 0.3 mg, 硒 0.5 mg。

在养分含量中, 除色氨酸和含硫氨基酸为计算值外, 其余均为实测值。

代谢试验结束以后, 将粪便于 65 ℃ 条件下鼓风干燥。对食糜进行冷冻干燥, 干燥后的样品粉碎, 其中用于测定 NDF 和 ADF 的样品过 20 目筛, 其余样品过 80 目筛, 将样品回潮 24 h。采用 GB 6435-86^[9] 测定水分含量, 计算干物质含量, 用 GB/T 6432-94^[10] 法测定粗蛋白质含量。用 GB/T 6438-92^[11] 测定粗灰分含量, 计算有机物含量。用 GB/T 6436-92^[12] 和 GB/T 6437-94^[13] 测定钙、磷含量。采用 PARR 1281 型能量测定仪测定样品中的总能。在测定尿能时, 首先将 2 片滤纸 (重量在 1 g 左右) 折叠, 置于燃烧坩埚内, 缓缓滴入 2 mL 左右的尿样, 于室温 (20 ℃) 下晾干 48 h, 同时测定滤纸的能值。根据 2 者的差值计算尿能。用日立 Z-5000 原子吸收光谱仪测定日粮、回肠食糜和粪中铬的含量。采用 GB/T 18246-2000^[14], 对日粮和回肠食糜进行酸水解, 用日立 L-8800 型氨基酸分析仪测定其中 15 种氨基酸含量。采用杨胜的方法^[15], 测定 NDF、ADF、酸性洗涤木质素 (ADL) 和酸不溶灰分 (ALA) 含量。计算纤维素、半纤维素含量。其中纤维素 (%) = ADF (%) - ADL (%) - ALA (%); 半纤维素 (%) = NDF (%) - ADF (%)。

1.4 数据计算与统计处理

按以下公式计算养分的消化率和代谢率。

$$\text{养分消化率} = 1 - \left[\frac{\text{日粮中 Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量}}{\text{食糜或粪中 Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量}} \times \frac{\text{食糜或粪中养分含量}}{\text{日粮中养分含量}} \right] \times 100\%$$

$$\text{养分大肠消失率} = 1 - \left[\frac{\text{回肠食糜中 Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量}}{\text{粪中 Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量}} \times \frac{\text{粪中养分含量}}{\text{回肠食糜中养分含量}} \right] \times 100\%$$

$$\text{养分的代谢率} = \frac{\text{养分摄入量} - \text{粪中养分排出量} - \text{尿中养分排出量}}{\text{养分摄入量}} \times 100\%$$

式中粪中养分排出量是根据计算出的消化率反推出来的。

以仔猪个体为观察值,用 SPSS6.0 for Windows 统计软件考察收集时间、仔猪个体和日粮处理对试验数据的影响,结果表明收集食糜和粪、尿的时间以及仔猪个体对试验数据没有显著影响,随即作以日粮处理为单因素的方差分析,如差异显著则用邓肯氏法进行多重比较。

2 结果与讨论

2.1 日粮纤维对仔猪常规养分消化率的影响

整个实验期猪只保持健康,食欲旺盛。从表3中可以看出,日粮处理影响干物质、有机物、能量和粗蛋白回肠表观消化率,表现为小麦麸组仔猪对以上4种养分的消化率显著高于($P < 0.05$)对照组,小麦麸组和含甜菜渣组之间以及对照组和甜菜渣组之间在干物质、有机物、能量和粗蛋白回肠表观消化率上没有显著差异($P > 0.05$)。日粮处理对仔猪全消化道的4种养分消化率没有影响。这表明小麦麸使养分在上消化道(盲肠以前)的降解率较高,但不影响养分在整个消化道的降解。甜菜渣纤维与对照组纤维的性质基本相同,即二者在回肠以前和盲肠以后的降解比例相当。在大麦+豆粕型仔猪日粮中使用15%的甜菜渣,发现并没有影响仔猪对能量和氮的粪消化率^[6];在大麦-豆粕型日粮中使用12%的甜菜渣,结果发现并没有降低仔猪对氮的消化率^[16];在仔猪日粮中使用15%的小麦麸,并不影响能量的消化率^[17],这些结果都

表3 日粮纤维对仔猪常规养分消化率的影响

w/%

项 目	处 理			SEM	P 值	
	对照组	小麦麸组	甜菜渣组			
回肠末端	干物质	79.09 b	82.22 a	79.18 b	1.08	0.004
	有机物	82.97 b	84.86 a	82.37 b	1.04	0.026
	能量	83.00 b	85.17 a	82.83 b	0.86	0.008
	粗蛋白	84.09 b	87.42 a	85.96 ab	1.30	0.022
全消化道	干物质	86.06	86.22	87.56	1.23	0.288
	有机物	89.96	89.74	90.90	1.01	0.353
	能量	88.56	88.46	89.74	1.09	0.303
	粗蛋白	88.09	88.81	90.11	1.23	0.158

注:同行之间字母不同者差异显著($P < 0.05$)。下同。

与本试验一致。但在仔猪日粮中使用4.3%, 7.3%, 11.3%或13.3%的Solkafloc(一种含93%纤维素的物质),结果发现回肠和粪干物质消化率呈线性下降($P < 0.05$)^[18],回肠和粪蛋白质消化率却不受影响。造成以上差异的主要原因是Li等所用的纤维源(solkafloc)是纯纤维素,其本身的消化率较低,造成日粮NDF和ADF的消化率较低,从而降低了干物质的消化率^[18]。

当 NDF 是日粮的一部分时, 从猪回肠末端收集到的氮的总量较用纯的 NDF 时增加。这说明纤维源类型不同, 氮的回肠消化率受影响的程度也不一样^[19]。

2.2 日粮纤维对仔猪纤维类物质消化率的影响

小麦麸组仔猪 ADF 回肠末端消化率显著高于 ($P < 0.05$) 对照组, 对照组和小麦麸组仔猪纤维素回肠末端消化率显著高于 ($P < 0.05$) 甜菜渣组, 全消化道半纤维素消化率显著低于 ($P < 0.05$) 甜菜渣组。处理对其余测定指标没有显著影响 (表 4)。可见, 在仔猪日粮中使用 5% 的小麦麸或甜菜渣并没有使仔猪对纤维的消化率降低, 这与 Freire 等的报道一致^[17]。在大麦 + 豆粕型仔猪日粮中使用 15.0% 的甜菜渣, 发现仔猪对总非淀粉多糖的消化率显著提高 ($P < 0.05$)^[6]。用大麦替代仔猪日粮中 41.5% 的玉米, 结果发现粗纤维的粪消化率在数值上有一定程度的提高, 但在统计上差异不显著^[20]。这些结果都显示, 仔猪对日粮纤维具有一定程度的降解能力。

表 4 日粮纤维对仔猪 NDF、ADF、纤维素和半纤维素消化率的影响

w / %

项 目	处 理			SEM	P 值	
	对照组	小麦麸组	甜菜渣组			
回肠末端	NDF	58.65	61.32	56.69	4.21	0.422
	ADF	47.02 b	56.69 a	51.39 ab	3.98	0.031
	纤维素	71.57 a	79.12 a	54.85 b	6.54	0.001
	半纤维素	66.61	64.54	62.03	5.08	0.556
全消化道	NDF	67.01	67.23	73.40	5.00	0.239
	ADF	59.80	57.58	61.40	6.45	0.771
	纤维素	62.64	60.49	62.43	6.62	0.909
	半纤维素	71.96 b	73.94 b	85.46 a	4.45	0.004

2.3 日粮纤维对仔猪能量和蛋白质消化代谢的影响

从表 5 和表 6 中可以看出, 小麦麸组仔猪回肠能量消化率最高, 并显著高于 ($P < 0.05$) 甜菜渣处理组, 但不同处理组的能量粪消化率没有显著差异 ($P > 0.05$), 相应地在大肠中, 小麦麸组的能量消失率最低, 显著低于甜菜渣组 ($P < 0.05$)。小麦麸组仔猪回肠氮消化率显著高于 ($P < 0.05$) 对照组。甜菜渣处理组仔猪的全消化道氮消化率显著高于对照组 ($P < 0.05$)。日粮处理不影响能量和蛋白质的代谢率。本试验结果与有关日粮纤维对猪氮平衡的影响^[21]和有关日粮纤维对仔猪能量平衡影响^[22]的研究结论一致, 而与某些报道相悖^[23]。其原因除了动物、纤维水平等方面的因素外, 主要是由于纤维源存在较大的差异: 有些^[21, 22]用的是溶解度较低的, 在肠道内不易产生粘性的纤维 (非粘性纤维), 而有人用的是粘性纤维 (豌豆纤维和果胶)^[23]。研究表明, 不同类型的纤维作用机制存在明显的差异^[24, 25], 其中非粘性纤维主要是通过物理性阻断消化酶与底物的接近来影响养分的消化, 而粘性纤维可能通过以下几条途径影响养分的消化和吸收: 减少肠道内容物的运动和混合, 从而阻断酶和底物之间的相互作用; 形成不动水层, 从而对养分的吸收产生物理性障碍; 增加持水力, 降低消化产物向黏膜表层的扩散速度。

表5 日粮纤维对仔猪能量代谢的影响

w / %

项 目	处 理			SEM	P 值
	对照组	小麦麸组	甜菜渣组		
摄入总能/MJ·d ⁻¹	16 17	16 29	16 11		
尿中排出总能/MJ·d ⁻¹	0 60	0 60	0 62		
回肠能量消化率	82 85 ab	84 87 a	82 16 b	1 35	0 049
大肠能量消失率	34 28 ab	25 22 b	43 07 a	8 82	0 049
粪能量消化率	88 80	88 75	89 88	1 13	0 380
能量代谢率	84 93	85 06	85 98	1 06	0 415

表6 日粮纤维对仔猪蛋白质代谢的影响

w / %

项 目	处 理			SEM	P 值
	对照组	小麦麸组	甜菜渣组		
摄入粗蛋白/g·d ⁻¹	188 48	192 83	194 25		
尿中排出蛋白质/g·d ⁻¹	89 55	102 05	101 09		
回肠氮消化率	84 28 b	87 19 a	85 12 ab	1 74	0 105
大肠氮消失率	23 78	13 62	32 41	12 22	0 155
粪氮消化率	88 20 b	89 16 ab	90 45 a	1 18	0 078
氮代谢率	39 27	38 31	39 00	3 87	0 946

2.4 日粮纤维对仔猪氨基酸消化率的影响

日粮处理对赖氨酸、苏氨酸等 15 种氨基酸的回肠表观消化率没有显著影响(表 7), 这与某些报道一致^[18]。但是这些试验结果是否适用于其他类型和水平的纤维, 还需进一步研究。

表7 日粮纤维对仔猪氨基酸回肠表观消化率的影响

w / %

项 目	处 理			SEM	P 值
	对照组	小麦麸组	甜菜渣组		
赖氨酸	90 13	90 98	90 79	0 89	0 486
苏氨酸	87 18	88 35	87 55	1 32	0 557
苯丙氨酸	90 96	91 65	91 03	1 18	0 739
异亮氨酸	91 39	91 50	91 32	1 17	0 983
亮氨酸	92 45	92 69	92 56	1 10	0 966
缬氨酸	89 40	89 30	88 63	1 40	0 768
丙氨酸	90 59	90 51	90 00	1 15	0 795
精氨酸	92 45	93 55	93 50	1 08	0 394
天冬氨酸	87 77	88 47	88 04	1 13	0 746
谷氨酸	89 79	91 04	91 08	1 86	0 637
甘氨酸	79 85	82 51	81 73	2 21	0 342
组氨酸	88 97	90 61	89 77	1 78	0 543
脯氨酸	86 02	84 82	86 01	2 80	0 836
丝氨酸	88 88	89 34	88 79	1 04	0 787
酪氨酸	91 24	92 94	90 88	1 32	0 161

结合试验日粮养分组成表和仔猪对不同养分的消化率和代谢率数据(表 7)可以看出, 3 种日粮在 NDF 或 ADF 含量上的差异不大, 但是仔猪对其中养分的消化部位和消化程度却存在明显的区别, 这表明 NDF 或 ADF 都无法恰如其分地反映日粮纤维对仔猪养分代谢的影响, 需要寻求更适宜的指标。日粮纤维对仔猪养分消化和代谢的影响与胃肠道排空速度、肠道消化酶活性变化以及胃肠道微生物活性之间的关系, 是值得进一步研究的问题。

3 结论

总之, 实验表明, 在仔猪日粮中使用 5% 的小麦麸或甜菜渣, 并没有观察到养分消化率降低的现象, 而是影响了养分在消化道不同部位降解的比例。

参 考 文 献

- 1 Trowell H, Southgate D A T, Wolever T M S, et al Dietary fiber redefined Lancet, 1976, 967
- 2 卢德勋 日粮纤维的营养作用及其利用 见: 刘建新主编 饲料营养研究进展 亚洲中医药杂志社, 1998, 13~ 24
- 3 彭健 日粮纤维: 定义、成分、分析方法及加工影响(综述). 猪与禽, 1999, 4: 8~ 11
- 4 Bach Knudsen K E, Hansen I Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions: I. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents Br J Nutr, 1991, 65: 217~ 232
- 5 Longland A C, Carruthers J, Low A G The ability of piglets 4 to 8 weeks old to digest and perform on diets containing two contrasting sources of non-starch polysaccharide Anim Pro, 1994, 58: 405~ 410
- 6 Ball R O, Aherne F X Effect of diet complexity and feed restriction on the incidence and severity of diarrhea in early weaned pigs Can J Anim Sci, 1987, 62: 907~ 914
- 7 English P R Establishing the early weaned pig Pro Pig Vete Soc, 1981, 7: 29~ 33
- 8 McDonald D E, Pluske J R, Pethick D W, et al Interactions of dietary non-starch polysaccharides with weaner pig growth and postweaning colibacillosis In: Cranwell P D. Manipulating Pig Production: VI Australasian Pig Science Association, Werribee, Victoria, Australia, 1997, 179~ 185
- 9 GB 6435-86 饲料中水分测定方法 见: 崔淑文, 陈必芳编 饲料标准资料汇编(1). 北京: 中国标准出版社, 1994, 265~ 268
- 10 GB/T 6432-94 饲料粗蛋白质测定方法 见: 中国饲料工业标准化技术委员会和中国饲料工业协会编 饲料工业标准汇编 北京: 中国标准出版社, 1996, 22~ 24
- 11 GB/T 6438-92 饲料中粗灰分测定方法 见: 中国饲料工业标准化技术委员会和中国饲料工业协会编 饲料工业标准汇编 北京: 中国标准出版社, 1996, 42~ 43
- 12 GB/T 6436-92 饲料中钙测定方法 见: 中国饲料工业标准化技术委员会和中国饲料工业协会编 饲料工业标准汇编 北京: 中国标准出版社, 1996, 34~ 38
- 13 GB/T 6437-92 饲料中总磷测定方法 见: 中国饲料工业标准化技术委员会和中国饲料工业协会编 饲料工业标准汇编 北京: 中国标准出版社, 1996, 39~ 41
- 14 GB/T 18246-2000 饲料中氨基酸测定方法 中国质量技术监督局, 2000
- 15 杨胜 饲料分析及饲料质量检测技术 北京, 北京农业大学出版社, 1993
- 16 Lizardo R, Peiniau J, Aumaitre A. Inclusion of sugar-beet pulp and change of protein source in the diet

- of weaned piglet and their effects on digestive performance and enzymatic activities. *Anim Feed Sci Tech*, 1997, 66: 1~ 14
- 17 Freire J P B, Peiniau J, Cunha L F, et al. Comparative effects of dietary fat and fibre in A lentejano and Large White piglets: digestibility, digestive enzymes and metabolic data. *Liv Prod Sci*, 1998, 53: 37~ 47
- 18 Li S, Saucer W C, Hardin R T. Effect of dietary fiber level on amino acid digestibility in young pigs. *Can J Anim Sci*, 1994, 74: 327~ 333
- 19 Schulze H, van Leeuwen P, Verstegen M W A, et al. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. *J Anim Sci*, 1995, 73: 441~ 448
- 20 Lu Fuzhuang. The roles of non-starch polysaccharide in weanling pig diet and growing-finishing pig diet. In: China Association of Animal Science and Veterinary Medicine. Proc Intern Confer Pig Prod, Beijing, International Academic publisher, 1998, 456~ 459
- 21 Moore R J, Kornegay E T, Grayson R L, et al. Growth, nutrient utilization and intestinal morphology of pigs fed high-fiber diets. *J Anim Sci*, 1988, 66: 1570~ 1579
- 22 Potkins Z V, Lawrence T L J, Thomlinson J R. Dietary fibre in the diet of growing pig: Effects on apparent digestibility and resultant implications for use in reducing the incidence of oesophagogastric parakeratosis. *Research in Veterinary Science*, 1992, 52: 15~ 21
- 23 Jorgensen Henry, Zhao Xin-quan, Eggum B O. The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hindgut and energy metabolism in pigs. *Br J Nutr*, 1996, 75: 365~ 378
- 24 Mosenthin R, Hamberrecht E, Sauer W C. Utilisation of different fibers in piglet feeds. In: Garnsworthy P C, Wiseman J, eds. Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham University Press, 1999, 227~ 256
- 25 Mosenthin R, Hamberrecht E. Physiology of dietary fibers in monogastric animals. In: Jung J K, ed. The 8th World Conference on Animal Production. Proceedings Symposium Series 1, Seoul National University Press, 1998, 78~ 91