

大豆制品在猪日粮中的应用

Utilization of Soy Products in Swine Diets

Gary L. Cromwell 著（美国肯塔基大学动物科学系）

秦崇德

译（上海市农业科学院畜牧兽医研究所）

SW4--00



大豆制品在猪日粮中的应用

Gary L. Cromwell 著 (美国肯塔基大学动物科学系)

秦崇德 译 (上海市农业科学院畜牧兽医研究所)

前 言

大豆是世界上最重要的蛋白质源和食用油的来源。大豆含蛋白质约 35%，含油约 18%。大部分油都被精炼成供人类消费的食用油（即色拉油，烹饪用油，人造黄油以及焙烤和煎炸用油）有些作工业用途（即用于制造树脂，塑料，印墨，清漆，脂肪酸以及肥皂），量的油用作动物饲料。豆粕则广泛地用作动物饲料中的蛋白质源，大豆粉和其它形式的大豆蛋白质则用于人类食品之中。大豆还可被制成大豆皮、卵磷脂以及其它制品。

美国的大豆种植量比世界上任何其它国家都多。据 1998 年出版的参考指南《大豆统计》(Soy Stats)报告，美国的大豆产量为世界总产量的 47%，居世界首位；其余依次为巴西(20%)、阿根廷(11%)和中国(10%)。1997 年，美国生产大豆 7500 万吨，价值 180 亿美元；种植面积达 2900 万公顷，遍及美国 29 个州。过去 25 年来，美国用于种植大豆的土地面积翻了一番；在这一期间，单产从每公顷 1700 千克增加到了 2700 千克。

美国的大豆种植面积占作物种植总面积的 26%左右，接近于玉米(29%)和小麦(26%)的种植面积，远远大于棉花(5%)、向日葵(1%)和其它油料作物的种植面积。美国的大豆每年用于榨油的量为 4300 多万吨。大豆油消费量占美国食用油总消费量的 82%。美国所产大豆的三分之一左右以整粒大豆、豆粕或大豆油的形式出口到别的国家。

全世界大豆产量占油籽总产量的一半以上，达 54%；其余依次为油菜籽(12%)、棉籽(12%)、花生(10%)、葵籽(8%)、椰仁(2%)和棕榈仁(2%)。

历 史

大豆的历史非常有趣，《大豆统计》(1998)对此作了回顾。据认为，大豆在 5000 多年前起源于中国。1804 年，航海家首次将大豆作为自己船舶廉价的压舱物从中国带到了美国。在美国港口，大豆被卸下，腾出舱位装上其它货物运到中国。美国首次于 1829 年种植大豆，并将大豆用于多方面的用途，包括生产酱油、用作咖啡的廉价代用品（美国内战中士兵常用）、作为绿肥和畜用饲草。George Washington Carver 于 1904 年在 Tuskegee 研究所进行的先驱性研究为将大豆非简单地用作饲草而将其作为蛋白质源和食油来源的用途开辟了新的道路。

1918 年开始了小规模地将大豆压榨以生产食油。1912 年从中国进口了约 10,000 个品种的大豆供美国学者进行研究，这为美国迅速上升为世界第一大豆生产国打下了基础。

一个重要的历史事件——第二次世界大战，促进了大豆的应用。战前，美国将近一半的食用油脂依赖进口。战时，食油供应量缩减，所以加工商和用户转而生产和使用豆油。大战期间对肉和肉制品的需求大增，也是促使人们增加其它蛋白质源在食品和饲料中应用的一个原因。这些事件对于美国大豆业的发展产生了重大影响。

五十年代早期，豆粕作为一种廉价的畜用高蛋白饲料，受到了人们广泛的欢迎。维生素 B₁₂ 作为肉粉、鱼粉和其它高蛋白动物性副产品中动物蛋白质因子的被发现，以及此后这一维生素和其他维生素生产技术的进展，使得猪、禽饲养业迅速地转而应用简单的全植物性谷物和豆粕日粮。

豆粕在猪日粮中的应用

豆粕无疑是全世界应用最广的畜用蛋白质饲料。据估计，全世界畜禽所用的所有各种蛋白质饲料中，豆粕占了 63%左右，其余依次为低毒菜籽粕(12%)、棉籽粕(8%)、葵籽粕(6%)、

鱼粉（4%）、花生粕（4%）、棕榈仁粕（2%）和椰仁粕（1%）（《大豆统计》1998）。

在美国，豆粕的年用量为 2500 万吨，占动物用油籽粕总量的 92%。豆粕的主要用户就是养禽业和养猪业。美国所产豆粕的 53%左右用于家禽饲料，27%用于猪饲料，14%用于牛饲料，3%用于宠物饲料，1%用于水产动物饲料（《大豆统计》1998）。

豆粕在猪、禽饲料中的广泛应用可归因于其较高的蛋白质含量（44—49%）以及其很高的氨基酸消化率和优良的氨基酸构成。其蛋白质中的氨基酸构成虽然还不完美（缺乏蛋氨酸和胱氨酸），但大豆蛋白质富含赖氨酸、色氨酸、苏氨酸、异亮氨酸以及猪、禽日粮常用能量饲料（玉米、高粱和别的一些谷物）中严重短缺的若干氨基酸。

豆粕还常被称为与其它蛋白质源进行对比的“黄金标准”。对各种蛋白质源中蛋白质的质量进行对比的简单方法就是比较其赖氨酸含量，即比较赖氨酸在蛋白质中的百分含量。蛋白质的这一质量评判方法之所以有效，是因为赖氨酸通常是猪日粮中的第一限制性氨基酸。表 1 根据各饲料中蛋白质的赖氨酸百分含量对若干油籽类蛋白质源进行了排序。为了进行比较，将动物性蛋白质源、谷物和谷物副产品也列入了这一表格。豆粕和其它大豆制品显然排在油籽类蛋白质源的最前面，只有低毒菜籽粕与之接近（低毒菜籽粕蛋白质中的赖氨酸含量为豆粕蛋白质中赖氨酸含量的 91%）。其它植物蛋白质源的范围为 65%（棉籽粕）到 37%（芝麻粕）。鱼粉、血制品和乳制品中蛋白质的赖氨酸含量高于豆粕；然而，谷物及其副产品中蛋白质的赖氨酸含量则明显大大低于豆粕的赖氨酸含量。

猪日粮中所用大豆制品的营养成分

猪日粮中所用的二种主要大豆制品是去皮豆粕（含粗蛋白 47—49%）和常规豆粕（常规豆粕中加入了大豆皮，从而使其粗蛋白含量标准化为 44%）。当今的豆粕是用提取法生产的。用溶剂来提取油，然后对豆粕进行精心焙烤以便破坏其中的胰蛋白酶抑制因子。要精心防止对豆粕加热过度，因为过热会使氨基酸和碳水化合物结合起来，这样就会降低氨基酸的消化率，尤其会降低赖氨酸的消化率。溶剂提取法远远优于原来的机械法。机械法是指过去所用的以液压机进行压榨从而将油从大豆中挤出来的方法。采用机械榨油的方法，不仅油的提取率较低，而且还会产生过度的热量而破坏大豆中的蛋白质，从而降低蛋白质的消化率。

去皮豆粕的纤维含量较低而能量含量较高，所以人们喜爱在猪日粮中采用去皮豆粕；但在蛋白质方面，二种豆粕是相当的。常规豆粕和去皮豆粕的营养成分见表 2 和表 3 所示。这二个表中的数值摘自 1998 年出版的第 10 版 NRC《猪的营养需要量》，它们是建立在饲料业和大学研究室大量数据的基础之上的。其它不太常用的大豆制品（加热的全脂大豆，浓缩大豆蛋白质，离析大豆蛋白质）的成分也列在了表中。

在豆粕所含的各种矿物质和维生素中，硒的含量变异最大。豆粕中的硒含量与大豆产地的关系极为密切。图 1 显示了美国不同地区所产豆粕中硒含量巨大变异的情况。表 3 显示豆粕和其它大豆制品中的氨基酸含量与豆粕或其制品中的粗蛋白含量密切相关。图 2 显示了若干常规豆粕样品和去皮豆粕样品中赖氨酸含量和粗蛋白含量之间的关系。从这一关系来看，豆粕中的粗蛋白含量每增加一个百分点，其赖氨酸的含量就会增加 0.063 个百分点。迪高莎（Degussa）公司（新泽西州 Allenda 市）根据多年来对大量豆粕样品所作分析推导出的方程计算得知，豆粕中粗蛋白每增加一个百分点，赖氨酸就增加 0.064 个百分点，苏氨酸增加 0.038 个百分点，色氨酸增加 0.012 个百分点，蛋氨酸增加 0.014 个百分点，蛋氨酸+胱氨酸增加 0.026 个百分点（Fickler 等, 1995；NRC, 1998）。

表 1 各种蛋白质源所含蛋白质中的赖氨酸相对含量（喂时状态）^a

饲料种类	蛋白质 (%)	赖氨酸 (%)	蛋白质中赖氨酸含量 (%)	相对于豆粕 ^b
植物蛋白质源				
浓缩大豆蛋白质	64.0	4.20	6.6	102
豆粕	43.8	2.83	6.4	100
去皮豆粕	47.5	3.02	6.4	100
热加工大豆	35.2	2.22	6.3	98
离析大豆蛋白	85.8	5.26	6.1	95
低毒菜籽粕	35.6	2.08	5.8	91
棉籽粕	41.4	1.72	4.2	65
亚麻籽粕	33.6	1.24	3.7	57
花生粕	49.1	1.66	3.4	53
去壳葵籽粕	42.2	1.20	2.8	44
去壳红花籽粕	42.5	1.17	2.8	43
椰仁粕	21.9	0.58	2.6	41
芝麻粕	42.6	1.01	2.4	37
动物蛋白质源				
喷雾干燥血球粉	92.0	8.51	9.3	144
喷雾干燥血浆粉	78.0	6.84	8.8	136
喷雾干燥血粉 (或转鼓干燥血粉)	88.8	7.45	8.4	131
脱脂奶粉	34.6	2.86	8.3	129
步鱼粉	62.9	4.81	7.6	119
乳清粉	12.1	0.90	7.4	116
肉粉	54.0	3.07	5.7	88
肉骨粉	51.5	2.51	4.9	76
水解羽毛粉	84.5	2.08	2.5	38
谷物				
燕麦	11.5	0.40	3.5	54
大麦	11.3	0.41	3.6	56
软小麦	11.5	0.38	3.3	51
玉米	8.3	0.26	3.1	49
小黑麦	12.5	0.39	3.1	49
高粱	9.2	0.22	2.4	37
谷物副产品				
小麦麸	15.7	0.64	4.1	63
啤酒糟	26.5	1.08	4.1	63
小麦粗粉	15.9	0.57	3.6	56
玉米面筋饲料	21.5	0.63	2.9	46
烧酒糟加残液	27.7	0.62	2.2	35
玉米面筋粉	60.2	1.02	1.7	26

a: 饲料中的蛋白质和赖氨酸含量摘自 NRc (1998)。

b: 各饲料中蛋白质和赖氨酸含量与豆粕蛋白质中赖氨酸含量之比 (%)。

表 2 猪日粮中所用大豆制品的营养成分（喂时状态）^a

营养成分	豆粕	去皮豆粕	加热豆粕	浓缩大豆蛋白	离析大豆蛋白
代谢能（兆卡/千克）	3.18	3.38	3.69	3.50	3.56
粗蛋白（%）	43.8	47.5	35.2	64.0	85.6
脂肪（%）	1.5	3.0	18.0	3.0	0.6
中性洗涤纤维（%）	13.3	8.9	13.9	—	—
酸性洗涤纤维（%）	9.4	5.4	8.0	—	—
矿物质					
钙（%）	0.32	0.34	0.25	0.35	0.15
磷（%）	0.65	0.69	0.59	0.81	0.65
钠（%）	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07
氯（%）	0.05	0.05	0.03	—	0.02
钾（%）	1.96	2.14	1.70	2.20	0.27
镁（%）	0.27	0.30	0.28	0.32	0.08
硫（%）	0.43	0.44	0.30	—	0.71
微量元素					
铜（ppm）	20	20	16	13	14
铁（ppm）	202	176	80	110	137
锰（ppm）	29	36	30	—	5
硒（ppm） ^b	0.32	0.27	0.1	—	0.14
锌（ppm）	55	55	39	30	34
维生素					
生物素（毫克/千克）	0.27	0.26	0.24	—	0.30
胆碱（克/千克）	2.79	2.73	2.31	—	2.00
叶酸（毫克/千克）	1.37	1.37	3.60	—	2.50
烟酸（毫克/千克）	34	22	22	—	6
泛酸（毫克/千克）	16.0	15.0	15.0	—	4.2
核黄素（毫克/千克）	2.9	3.1	2.6	—	1.7 ^e
硫胺素（毫克/千克）	4.5	3.2	11.0	—	0.3 ^e
维生素 B ₆ （毫克/千克）	6.0	6.4	10.8	—	5.4 ^b
维生素 B ₁₂ （毫克/千克）	0	0	0	—	0
维生素 E（毫克/千克） ^c	2.3	2.3	8.1	—	—
β-胡萝卜素（毫克/千克）	0.2	0.2	1.9	—	—

d

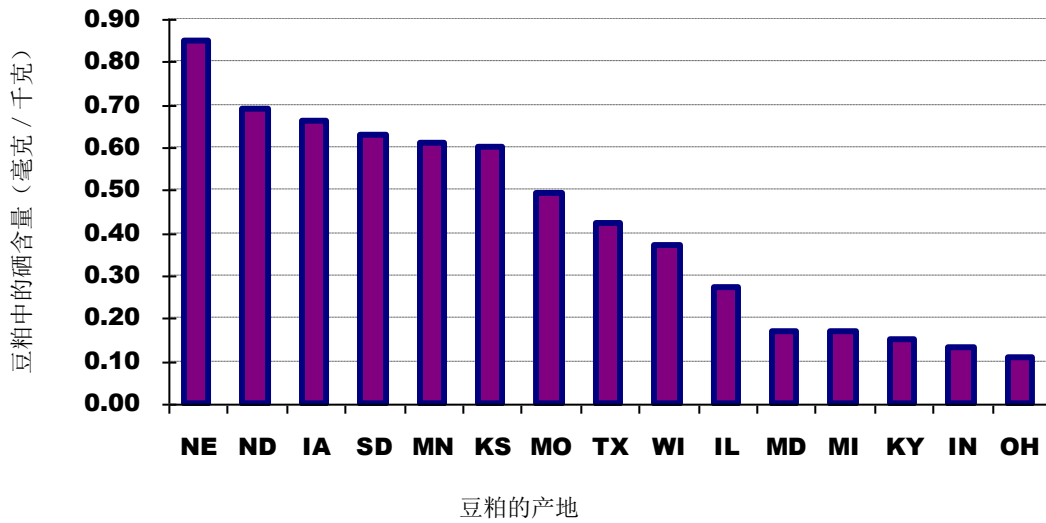
a: NRC(1998); 短划表示该数值未知;

b: 变异极大, 具体取决于产地 (见图 1);

c: 以 α-生育酚的形式提供;

d: 每 1 毫克全反式 β-胡萝卜素 = 267 毫克维生素 A, 80 微克维生素 A 醇 (视黄醇), 或 92 微克醋酸视黄酯;

e: 完全不能利用。



NE=内布拉斯加州；ND=北达科达州；IA=伊阿华州；SD=南达科达州；MN=明尼苏达州；KS=堪萨斯州；MO=密苏里州；TX=德克萨斯州；WI=威斯康星州；IL=伊利诺斯州；MD=马里兰州；MI=缅因州；KY=肯塔基州；IN=印地安那州；OH=俄亥俄州

图 1 美国若干州二年期间所产豆粕样品中的硒含量 (Cromwell 等, 1999)

表 3 猪日粮中所用大豆制品中的氨基酸构成 (%) (NRC, 1998; 喂时状态)

氨基酸	豆粕	去皮豆粕	加热大豆	浓缩大豆蛋白	离析大豆蛋白
精氨酸	3.23	3.48	2.60	5.79	6.87
组氨酸	1.17	1.28	0.96	1.80	2.25
异亮氨酸	1.99	2.16	1.16	3.30	4.25
亮氨酸	3.42	3.66	2.75	5.30	6.64
赖氨酸	2.83	3.02	2.22	4.20	5.26
蛋氨酸	0.61	0.67	0.53	0.90	1.01
胱氨酸	0.70	0.74	0.55	1.00	1.19
苯丙氨酸	2.18	2.39	1.83	3.40	4.34
酪氨酸	1.69	1.82	1.32	2.580	3.10
苏氨酸	1.73	1.85	1.41	2.80	3.17
色氨酸	0.61	0.65	0.48	0.90	1.08
缬氨酸	2.06	2.27	1.68	3.40	4.21

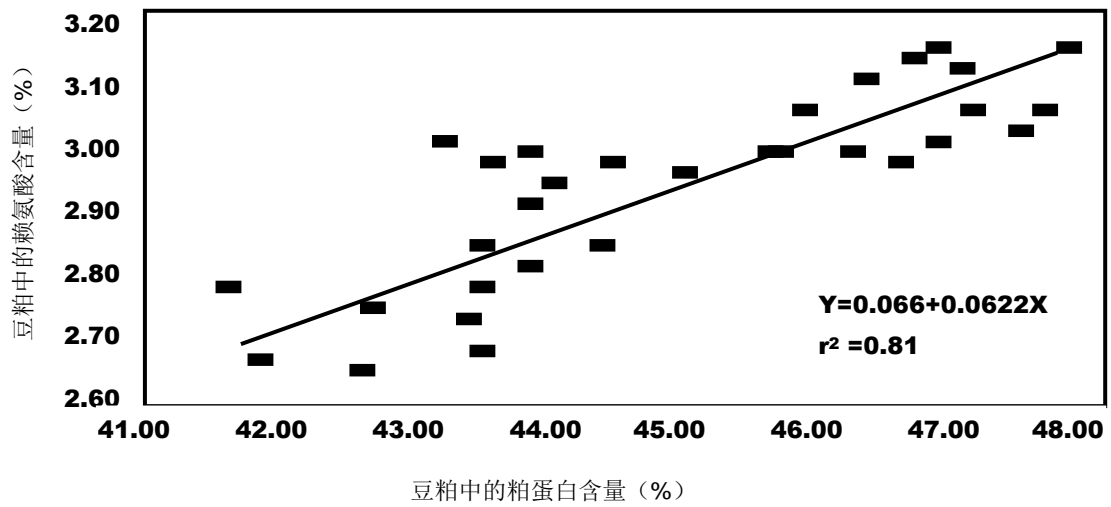


图 2 美国若干地区二年期间所产豆粕的样品中赖氨酸含量和粗蛋白含量之间的关系

大豆制品中氨基酸的生物利用率

完整蛋白质中的氨基酸首先必须被消化，然后才能被猪利用。猪对大豆蛋白质中的氨基酸有较高的消化率。表 4 显示了在小肠末端（即回肠末端）测得的常规豆粕、去皮豆粕、加热大豆和二种大豆制品中蛋白质表观消化率系数和真消化率系数。真消化率系数已就内源氨基酸排泄量（脱落的肠细胞、肠道中的酶以及其它非日粮来源的氨基酸）作了校正，真消化率系数略高于表观消化率系数。

表 4 猪对豆粕中氨基酸的消化率

氨基酸	豆粕	去皮豆粕	加热大豆	浓缩大豆蛋白	离析大豆蛋白
回肠表观消化率系数 (%)					
精氨酸	91	90	89	97	91
组氨酸	86	86	82	95	88
异亮氨酸	84	84	78	93	90
亮氨酸	84	84	80	93	92
赖氨酸	85	85	81	93	88
蛋氨酸	86	86	78	91	—
胱氨酸	77	79	76	90	—
苯丙氨酸	85	84	82	94	88
酪氨酸	86	85	85	93	89
苏氨酸	78	78	77	90	85
色氨酸	80	81	75	89	—
缬氨酸	81	81	76	91	86
回肠真消化率系数 (%)					
精氨酸	93	94	93	99	—
组氨酸	90	91	88	97	—
异亮氨酸	88	89	84	95	—
亮氨酸	88	89	86	95	—
赖氨酸	89	90	86	95	—
蛋氨酸	91	91	85	94	—
胱氨酸	84	87	80	94	—
苯丙氨酸	88	89	88	97	—
酪氨酸	90	90	87	96	—
苏氨酸	85	87	83	94	—
色氨酸	87	90	82	93	—
缬氨酸	86	88	83	94	—

表中数据摘自 NRC (1998); 短划表示数据未知。

为便于比较,表 5 列出了各种蛋白质源、谷物和副产品饲料中赖氨酸的回肠表观消化率系数和真消化率系数。请注意,豆粕的系数(表观消化率系数为 85%,真消化率系数为 89-90%)倾向于高于大多数其它油籽粕的相应值。豆粕中赖氨酸的消化率也高于其他蛋白质源的赖氨酸消化率(血制品、鱼粉和乳制品除外),也都大大高于谷物和谷物副产品的相应值。

表 5 各种蛋白质源中赖氨酸的回肠消化率

饲料	赖氨酸回肠消化率 (%)	
	表观消化率	真消化率
植物蛋白质源		
浓缩大豆蛋白	93	95
豆粕	85	89
去皮豆粕	85	90
加热大豆	81	86
离析大豆蛋白质	88	——
低毒菜籽粕	74	78
棉籽粕	61	64
亚麻籽粕	70	——
花生粕	78	88
去壳葵籽粕	74	83
去壳红花籽粕	——	——
椰仁粕	51	——
芝麻粕	76	85
动物蛋白质源		
喷雾干燥血球粉	——	——
喷雾干燥血浆粉	87	——
喷雾干燥 (或转鼓干燥血粉)	91	94
脱脂奶粉	91	93
步鱼粉	89	95
乳清粉	82	87
肉粉	83	83
肉骨粉	74	80
水解羽毛粉	54	67
谷物		
燕麦	70	76
大麦	68	79
软质小麦	73	81
玉米	66	78
小黑麦	76	81
高粱	62	81
谷物副产品		
小麦麸	69	71
啤酒糟	69	82
小麦粗粉	75	89
玉米面筋饲料	51	66
烧酒糟加残液	47	59
玉米面筋粉	75	80

表中数据摘自 NRC (1998); 短划表示数据未知。

豆粕应用于以谷物为基础的日粮

如前所述, 玉米和豆粕是直到目前为止美国养猪业中最常用的饲料原料。这二种原料之所以如此受欢迎, 是因为其产量丰富、价格比较低廉以及豆粕蛋白质中的氨基酸构成比较全面并且其消化率高。

过去, 猪日粮的传统配合方式都是以粗蛋白为基础。这一方法目前仍然应用于某些情况之下, 并且在日粮是以玉米和豆粕为主要原料的情况下仍是可以接受的, 但在日粮中采用其他谷物或其它蛋白质源为主要原料的情况下就是不可接受的了。

一种更好因而如今得到比较广泛应用的方法是以氨基酸为基础来进行日粮配合。为了做到比较精确, 实际上日粮的配合应该以可利用(即可消化)氨基酸为基础。最新版的 NRC《猪的营养需要量》(1998) 既提供了总氨基酸需要量数据, 也提供了以回肠可消化氨基酸为基础的需要量数据(真可消化氨基酸和表观可消化氨基酸)。总氨基酸需要量数据仅适用于玉米—豆粕日粮。

在谷物—豆粕日粮中, 赖氨酸几乎总是第一限制性氨基酸; 因此, 我们可以根据赖氨酸含量来配合日粮而无须顾及其它氨基酸, 因为只要赖氨酸的含量足够则所有其它氨基酸的含量就都只会多而不会少。表 6 显示了一种玉米—豆粕日粮以及用玉米和若干其它蛋白质源配合而成的日粮中的赖氨酸含量和蛋白质含量。这些日粮的配合目的是满足体重 60 千克猪(这些猪具有中等瘦肉生长率, 每天生长胴体无脂瘦肉 325 克, 这是相同数量阉公猪和小母猪的混合数据)的回肠真可消化赖氨酸需要量(0.70%)。玉米—豆粕日粮含总赖氨酸 0.80%, 含粗蛋白 16%。然而, 请注意, 在以玉米和其它油籽粕配合而成提供 0.70%可消化赖氨酸的日粮中, 粗蛋白的含量较高。除了玉米—低毒菜籽粕日粮中粗蛋白含量略高(17.9%)外, 所有其它日粮的粗蛋白含量都明显较高, 含量范围为 24.5—34.4%不等。这些日粮的总赖氨酸含量为 0.80—0.90%, 但玉米—棉籽粕日粮除外(其总赖氨酸含量为 1.07%)。玉米—棉籽粕日粮的总赖氨酸含量较高, 是因为棉籽粕中赖氨酸的消化率比较低。

表 6 根据可消化赖氨酸含量配合的日粮中的粗蛋白含量^a

日粮	可消化赖氨酸 (%) ^b	总赖氨酸 (%)	粗蛋白 (%)
玉米—豆粕	0.70	0.80	16.0
玉米—低毒菜籽粕	0.70	0.90	17.9
玉米—花生粕	0.70	0.81	24.5
玉米—棉籽粕	0.70	1.07	26.7
玉米—葵籽粕	0.70	0.85	29.5
玉米—芝麻粕	0.70	0.83	34.4

a: 日粮按体重 60 千克猪真回肠可消化赖氨酸需要量估值(0.70%)配合(猪为中等瘦肉生长率, 每天生长 325 克无脂胴瘦肉或每天沉积 127 克体蛋白质, 此为相同数量阉公猪和小母猪数据)(NRC, 1998)

b: 回肠可消化赖氨酸

表 6 的数据清楚地表明了, 在不以豆粕为蛋白质源时仍以粗蛋白为基础来配合日粮是多么不恰当。如果这些日粮都按 16%粗蛋白来配合, 那么就只有玉米—豆粕日粮才会具有适当的赖氨酸含量, 所有其它日粮就都会缺乏赖氨酸。虽然按总赖氨酸量来配合日粮远远优于按粗蛋白进行配合, 但如果采用赖氨酸消化率较低的蛋白质源(比如棉籽粕)那么日粮中的可利用赖氨酸量就会短缺。

采用豆粕和玉米来配合日粮，日粮的粗蛋白含量就可以比较低，这对于环境保护来说具有显著的优点。日粮蛋白质含量比较低，就意味着日粮中其他氨基酸的含量，相对于猪对其的需要量来说，过剩的程度也比较低，结果就只会有较少的这些氨基酸会被脱氨基，从而就只会有较少的氮被排泄到环境中。表 7 中的计算就显示了这一点；表 7 还显示了，猪在饲喂用其它蛋白质源（非豆粕）加上玉米配合而成的日粮时，粪中的氮排泄量增加了 16—167%。

表 7 以可消化赖氨酸为基础进行日粮配合时猪的氮排泄量估值^a

日粮	日粮粗蛋白 (%)	粗蛋白摄入量(估值) (克/天) ^b	氮潴留量(估值) (克/天) ^c	氮排泄量(估值) (克/天) ^d
玉米—豆粕	16.0	63	20	3
玉米—低毒菜籽粕	17.9	70	20	50
玉米—花生粕	24.5	96	20	76
玉米—棉籽粕	26.7	104	20	84
玉米—葵籽粕	29.5	116	20	96
玉米—芝麻粕	34.4	135	20	115

a: 日粮按体重 60 千克猪真回肠可消化赖氨酸需要量估计值 (0.70%) 配合 (猪为中等瘦肉生长率, 每天生长 325 克无脂胴瘦, 从或每天沉积 127 克体蛋白质) (NRC, 1998)

b: 按采食量 2.45 千克/天 (NRC, 1998); 氮摄入量估值=采食量×日粮粗蛋白含量/6.25;

c: 氮潴留量估值=127 克总的体蛋白质/6.25=20 毫克氮/天;

d: 氮排泄量=氮摄入量-氮潴留量。

豆粕和玉米—豆粕日粮中的限制性氨基酸

各种蛋白质源中的氨基酸对于各种动物变得具有限制性的顺序，已被人们研究了许多年了。一般来说，测定蛋白质源中的第一限制性氨基酸是一件比较简单的事。但是，利用各种实验方法测定第二、第三和第四限制性氨基酸就比较困难了，而且测定的结果也很不一致。清楚地理解氨基酸变得具有限制性的顺序以及该顺序中各氨基酸的相互距离（或差别的大小），是非常重要的，尤其在合成氨基酸越来越多地用于饲料中的情况下更是如此。

对于猪来说，豆粕中的蛋氨酸显然是第一限制性氨基酸，而玉米中的第一限制性氨基酸则为色氨酸。玉米和豆粕相互混合后，赖氨酸成了第一限制性氨基酸。对于中等体重的猪来说，玉米—豆粕日粮中色氨酸和苏氨酸的限制性几乎是相同的，而在幼猪则苏氨酸的限制性程度高于色氨酸；在体重较大的肥育猪则色氨酸的限制性程度高于苏氨酸，因为这些猪的日粮中玉米的含量较高，而玉米中色氨酸的含量较低。在非常幼小的猪，日粮中蛋氨酸的限制性既高于苏氨酸也高于色氨酸。在高产泌乳母猪，缬氨酸的限制性接近于赖氨酸，而高于蛋氨酸、苏氨酸或色氨酸。了解这些情况是很重要的，这是因为，在添加一种氨基酸来改善豆粕或其它蛋白质源的氨基酸平衡时，如果添加的是第四限制性氨基酸，而缺乏的却是第二和第三限制性氨基酸，那么添加那种氨基酸就不会带来任何好处（而且实际上还可能有害）。

表 8 对应于 60 千克体重猪对各种氨基酸的需要量 (NRC, 1998) 列出了不同豆粕含量的玉米—豆粕日粮中这些氨基酸的含量。为清楚起见，表中只列出了低于猪需要量的氨基酸含量值。通过比较不同豆粕水平下的日粮氨基酸含量值，就可看出氨基酸成为限制性的顺序。换句话说，“柱子”的高度（以每种氨基酸的含量值组成的柱子）就表明了氨基酸随着豆粕含量的降低而成为限制性的顺序。显然，赖氨酸是第一限制性的；接下来是苏氨酸和色氨酸，其余依次为蛋氨酸+胱氨酸、异亮氨酸和缬氨酸。在豆粕含量很低时组氨酸和芳香氨基酸的含量也很丰富。而另二种氨基酸（精氨酸和亮氨酸）甚至存在于在全玉米日粮中。

表 8 体重 60 千克猪的玉米—去皮豆粕日粮中的氨基酸水平^a

日粮 豆粕 含量 (%) ^b	氨基酸及其需要量 (%)									
	精氨酸	组氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	胱氨酸	酪氨酸	苏氨酸	色氨酸	缬氨酸
	0.29	0.25	0.43	0.74	0.80	0.45	0.72	0.52	0.14	0.53
	日粮中的氨基酸含量 (%)									
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	0.78	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	0.75	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	0.72	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	0.70	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	0.67	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	0.64	—	—	0.50	—	—
13	—	—	—	—	0.61	—	—	0.49	—	—
12	—	—	—	—	0.59	—	—	0.47	0.13	—
11	—	—	—	—	0.56	—	—	0.46	0.12	—
10	—	—	—	—	0.53	—	—	0.44	0.12	—
9	—	—	—	—	0.50	—	—	0.42	0.11	—
8	—	—	0.42	—	0.48	0.44	—	0.41	0.11	—
7	—	—	0.41	—	0.45	0.43	—	0.39	0.10	0.51
6	—	—	0.39	—	0.42	0.42	—	0.38	0.09	0.50
5	—	—	0.37	—	0.39	0.41	—	0.36	0.09	0.48
4	—	—	0.35	—	0.37	0.39	—	0.35	0.08	0.46
3	—	—	0.33	—	0.34	0.38	—	0.33	0.08	0.44
2	—	—	0.31	—	0.31	0.37	0.70	0.30	0.07	0.42
1	—	0.24	0.29	—	0.28	0.36	0.66	0.32	0.06	0.40
0	—	0.23	0.27	—	0.25	0.35	0.63	0.28	0.06	0.38

a: 这里所说的 60 千克体重是指阉公猪和小母猪的平均体重, 这些猪具有中等瘦肉生长率, 每天生长 325 克胴体无脂瘦肉 (NRC, 1998); 表内数字是日粮中低于需要量的氨基酸百分含量, 短划表示含量高于猪的需要量。

b: 这是指日粮中的去皮豆粕含量。日粮中的其它成分为 2% 矿物质和维生素, 玉米加到 100%。

图 3 显示了一种测定方法, 可用以对豆粕中氨基酸变得缺乏的顺序以及对不同氨基酸之间顺序的相对大小进行测定。此图显示的是含 0—40% 豆粕的日粮中豆粕提供的氨基酸 (日粮的其余部分是淀粉和另一些其它非蛋白质成分)。图中的斜线表示日粮中每一种氨基酸的含量 (表示为占需要量的百分率) 随豆粕含量的不同而变化的情况。图中的水平线表示体重 60 千克的猪对氨基酸的需要量 (NRC, 1998)。从每一种氨基酸的含量斜线与需要量水平线的交叉点可以见到豆粕中各种氨基酸在日粮豆粕含量从 40% 降低到 0% 的过程中变得缺乏的顺序。换句话说, 限制性的顺序决定于氨基酸含量斜线与需要量直线相交叉的顺序 (从右到左)。在这

个例子中，对于体重 60 千克的猪来说，豆粕蛋白质中含硫氨基酸是第一限制性氨基酸，苏氨酸是第二限制性氨基酸，赖氨酸是第三限制性氨基酸，缬氨酸是第四限制性氨基酸。

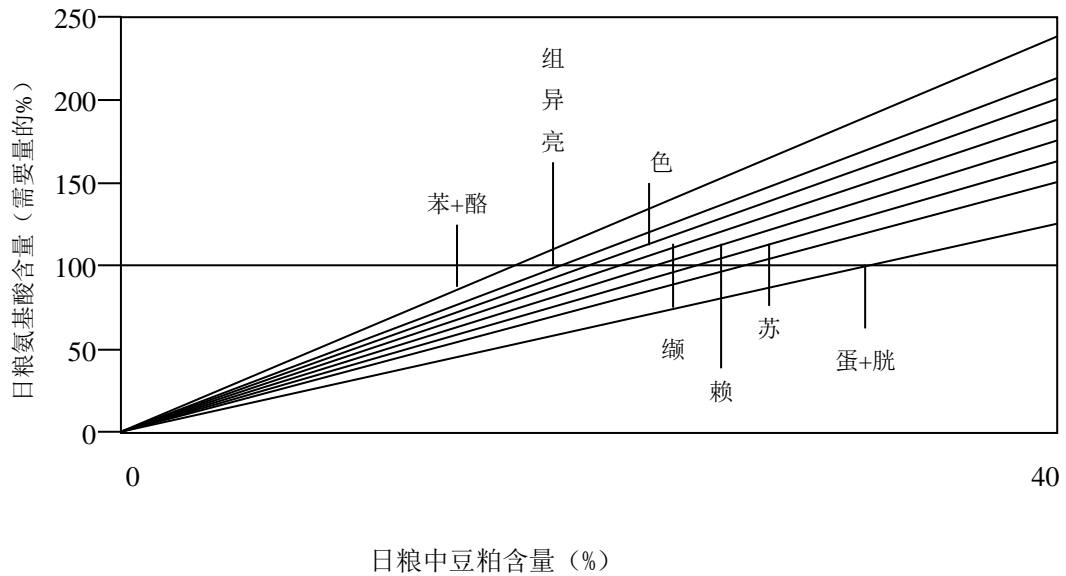


图 3 体重 60 千克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平豆粕的日粮中氨基酸含量的比较

可以采用这一方法来测定多成分日粮中的氨基酸。图 4 显示了体重 60 千克的猪采食玉米—豆粕日粮时日粮中最具有限制性的 6 种氨基酸。对于这一日粮来说，氨基酸含量线（斜线）的最左端表示玉米（即 0%豆粕和 98%玉米）满足了多大比例的氨基酸需要量（%），含量线最右端则表示由 25%豆粕和 73%玉米提供了多大比例的氨基酸需要量（%）。从右到左地观察各氨基酸含量线与需要量水平线的交叉点，可见这一玉米—豆粕日粮中赖氨酸是第一限制性氨基酸，接下来是苏氨酸和色氨酸，其余依次为含硫氨基酸、异亮氨酸和缬氨酸。

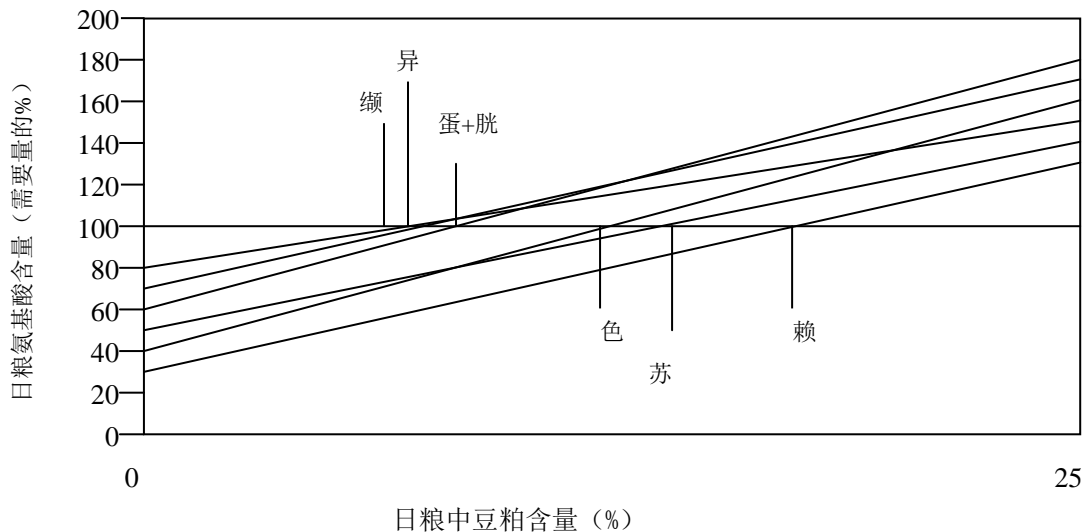
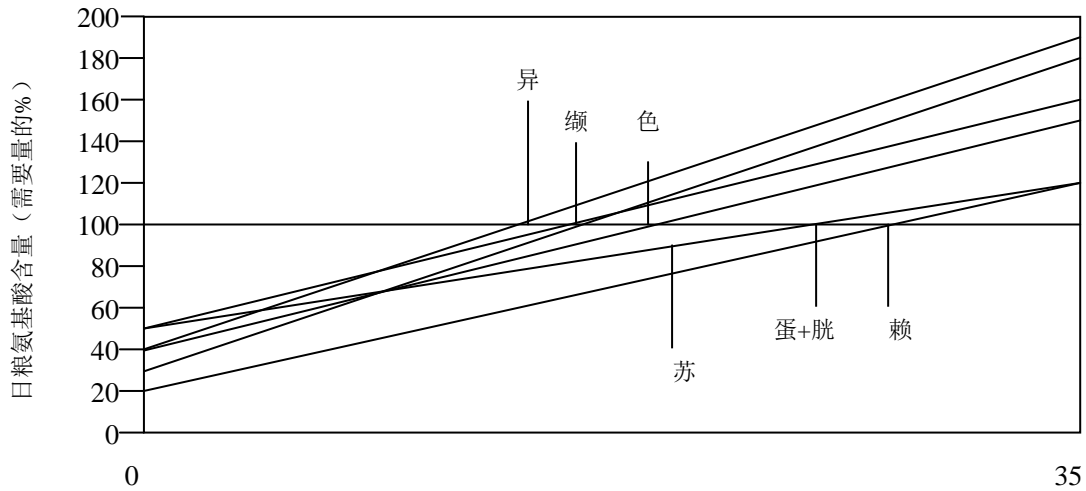


图 4 体重 60 千克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平豆粕的玉米—豆粕日粮中氨基酸含量的比较

图 5 和图 6 分别显示了青年生长猪（体重 20 千克）和大龄肥育猪（体重 120 千克）玉米

—豆粕日粮中氨基酸变为限制性的顺序。在这二个例子中，青年猪日粮中含硫氨基酸比较容易缺乏，因为日粮中豆粕蛋白质的含量比较高；在肥育猪日粮中，色氨酸显然是第二限制性氨基酸，因为日粮中玉米蛋白质的含量比较大。由图 7 可见，高产泌乳母猪对缬氨酸的需要

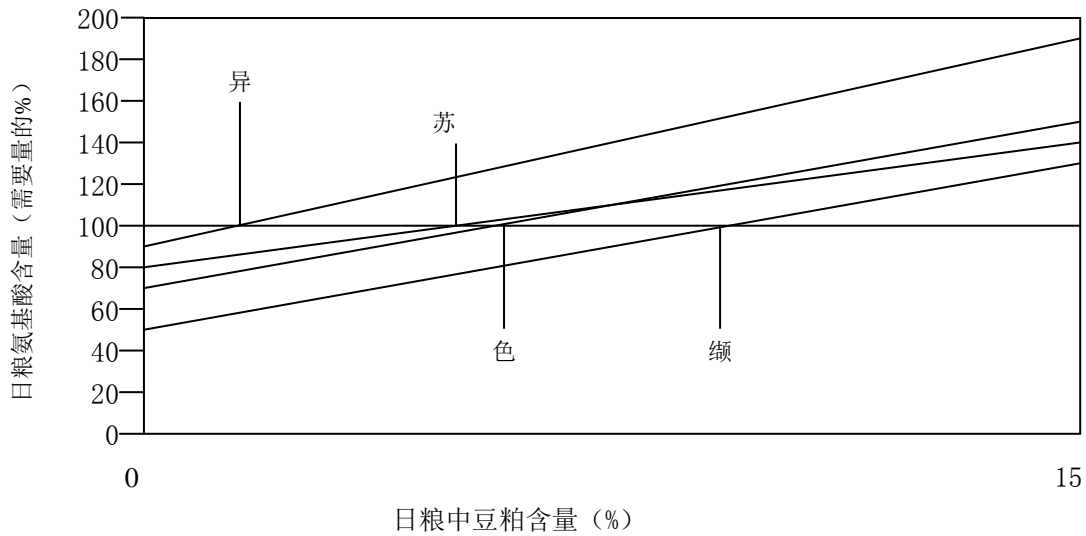


量较高，所以缬氨酸成了泌乳期玉米—豆粕日粮中的第二限制性氨基酸。

日粮中豆粕含量 (%)

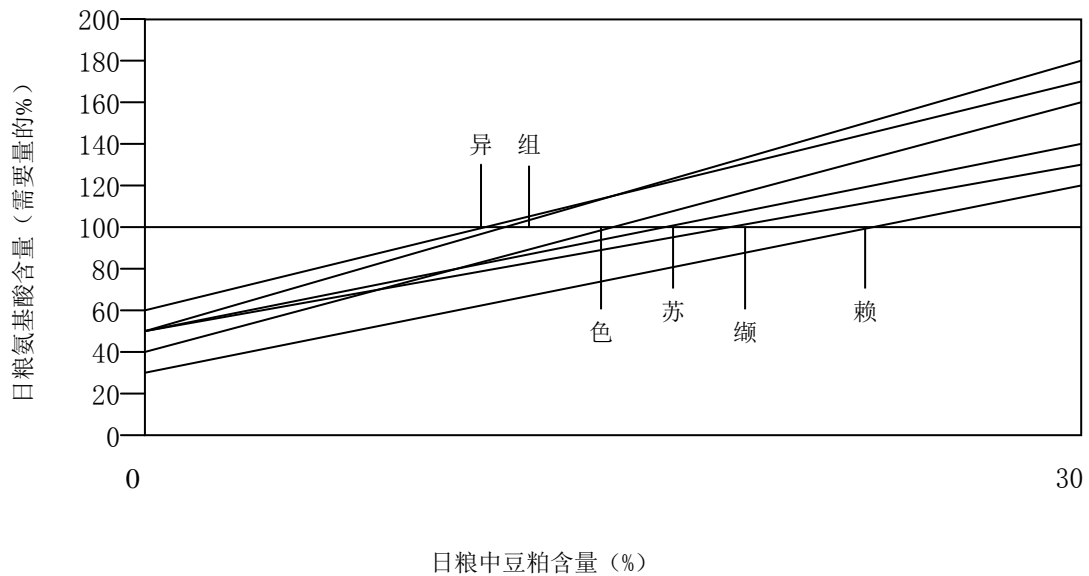
缬=缬氨酸；异=异亮氨酸；蛋+胱=蛋氨酸+胱氨酸；色=色氨酸；苏=苏氨酸；赖=赖氨酸

图 5 体重 20 克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平豆粕的玉米—豆粕日粮中氨基酸含量的比较



异=异亮氨酸；色=色氨酸；苏=苏氨酸；赖=赖氨酸

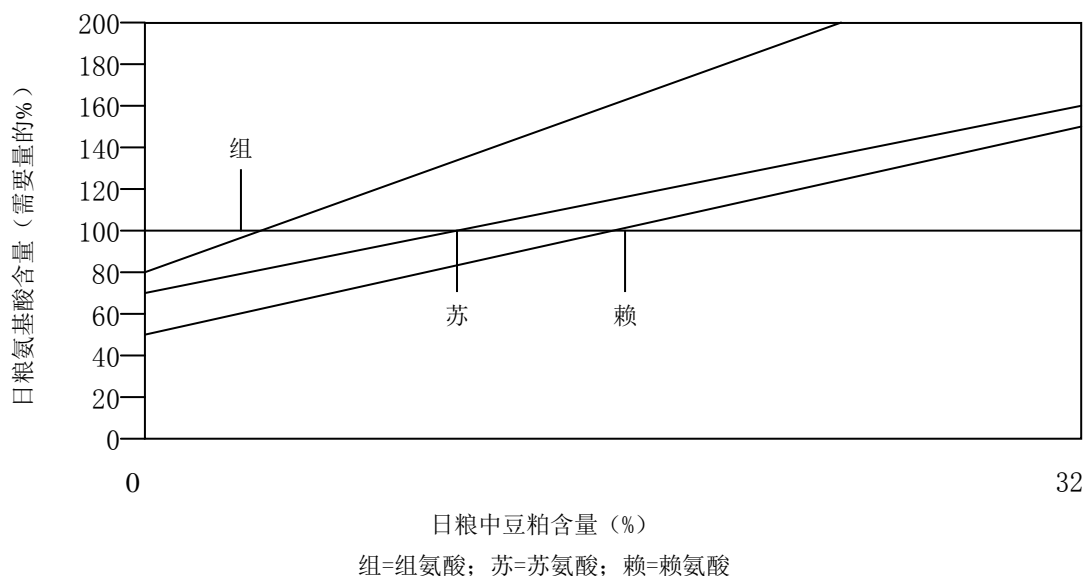
图 6 体重 120 克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平豆粕的玉米—豆粕日粮中氨基酸含量的比较



异=异亮氨酸；组=组氨酸；色=色氨酸；苏=苏氨酸；缬=缬氨酸；赖=赖氨酸

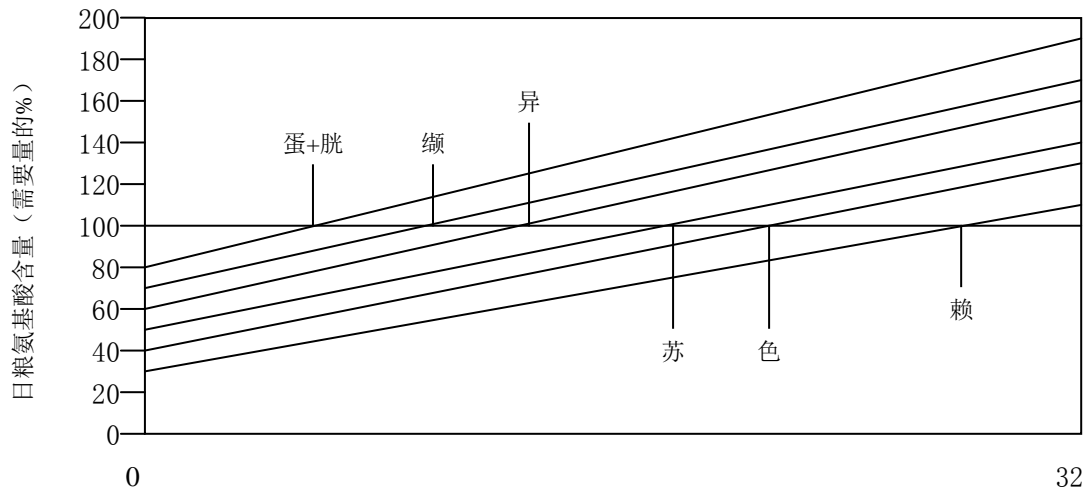
图7 体重175千克的泌乳母猪（泌乳期无失重，哺乳10头仔猪，仔猪在21天哺乳期中平均每天增重250克）对氨基酸的需要量和其含不同水平豆粕的玉米—豆粕日粮中氨基酸含量的比较

显然，采用其它谷物与豆粕相配合，会产生不同的氨基酸限制性顺序；采用别的蛋白质源与玉米相配，限制性顺序又会不同。图8显示，采用小麦—豆粕日粮时，在60千克体重的猪，第一限制性氨基酸是赖氨酸，第二限制性氨基酸是苏氨酸，第三限制性氨基酸是组氨酸。图9显示，玉米—低毒菜籽粕日粮中第一限制性氨基酸是赖氨酸；图10显示，玉米—肉粉日粮中，第一限制性氨基酸是色氨酸。



组=组氨酸；苏=苏氨酸；赖=赖氨酸

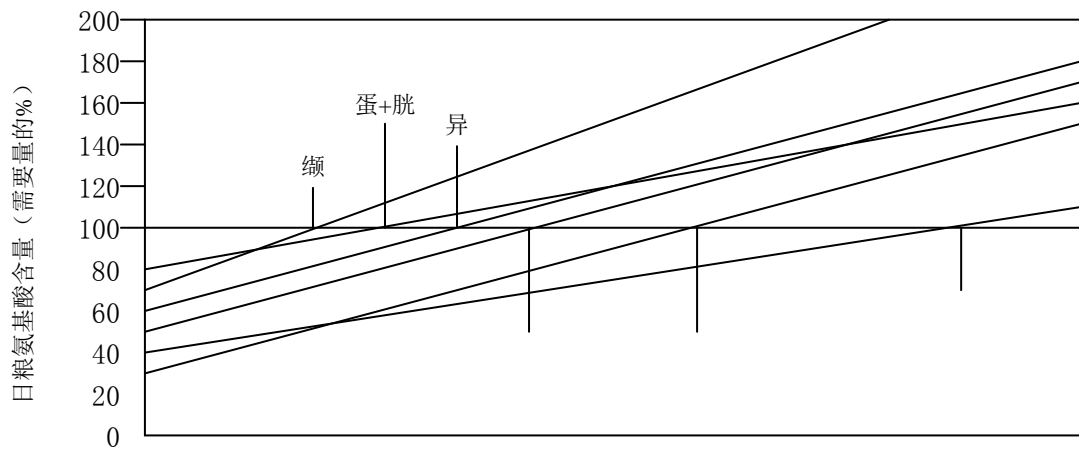
图8 体重60千克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平豆粕的小麦—豆粕日粮中氨基酸含量的比较



日粮中低毒菜籽粕含量 (%)

蛋+胱=蛋氨酸+胱氨酸; 缬=缬氨酸; 异=异亮氨酸; 苏=苏氨酸; 色=色氨酸; 赖=赖氨酸

图9 体重60千克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平低毒菜籽粕和玉米—菜籽粕日粮中氨基酸含量的比较



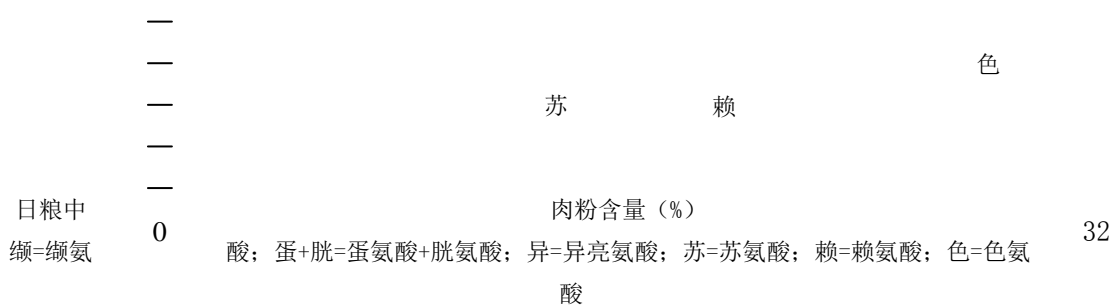


图 10 体重 60 千克的猪对氨基酸的需要量和其含不同水平肉粉的玉米—肉粉日粮中氨基酸含量的比较

大豆和豆粕中的抗营养因子

所有的油籽中都存在天然抗营养因子，大豆也不例外 (Thacker 和 Kirkwood, 1990)。有些抗营养因子已经得到了广泛研究，而有些则还没有得到研究。有些抗营养因子已知可引起猪的生长性能下降。有些抗营养因子可通过各种加工方法被减少甚至被完全去除。此外，有些抗营养因子则可通过育种而被减少或完全去除。本书第二章对此作了更多的讨论。

胰蛋白酶抑制因子

大豆含有一些可抑制胰蛋白酶活性的因子。胰蛋白酶是动物肠道中一种重要的蛋白质分解酶 (Liener 和 Kakade, 1980)，它是一种肽链内切酶，是由胰脏分泌入小肠上段 (十二指肠) 的。胰蛋白酶和另一种胰酶胰凝乳蛋白酶一起进一步消化已在胃中被胃蛋白酶和盐酸作了部分消化的日粮蛋白质。胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶消化作用的最终产物是小分子肽，这些小分子肽又被进一步水解为二肽和游离氨基酸从而被机体从肠道中吸收。没有充分的胰蛋白酶活性，日粮蛋白质的消化率就会很低，这些蛋白质就不能被机体充分利用。

大豆含有若干种胰蛋白酶抑制因子，已得到了广泛研究的二种是 Kunitz 和 Bowman-Birk 胰蛋白酶抑制因子 (Rackis, 1972)。所幸的是，这二种因子都可被湿热条件所破坏。在大豆加工业中，在从大豆中提取了豆油之后通常都对豆粕进行常规的烘烤加热以破坏这些抑制因子。

用生大豆或加热不当的豆粕饲喂幼猪，会严重抑制猪的生长 (Crenshaw 和 Danielson, 1985)。比较年长的肥育猪则比较能够耐受生的或加热不足的大豆，但其生产性能一般还是会下降。对妊娠母猪可以饲喂生大豆而不会产生不良反应，但对泌乳母猪饲喂生大豆则会使母猪和哺乳仔猪的生产性能下降 (Yen 等, 1991)。

对大豆或豆粕加热适当的时间以破坏其中的抑制因子，可以大大改善其营养特性。一般通过尿素酶试验检测大豆及豆粕中尿素酶的含量来评判大豆及其制品的热处理是否适当。因为尿素酶和胰蛋白酶抑制因子都可被热处理破坏，所以如果测出痕量尿素酶就可说明大豆或豆粕加热适当 (见本书第六章)。

植物育种学家已经成功地培育出了 Kunitz 胰蛋白酶抑制因子含量很低的大豆品种 (Singh 等, 1969; Hymowitz, 1986)。在这样的大豆中，抑制因子的含量比常规大豆中的含量少了一半。虽然低胰蛋白酶抑制因子大豆即使未经加热就将其用于猪日粮中时其对猪生产性能影响的程度不及未经加热的常规大豆造成的影响，但若不对其进行一定的热处理则猪的生长性能还是不能达到最佳 (Herkelman 等, 1991, 1992)。有些研究结果表明，大约需要一半的加热量就可使低胰蛋白酶抑制因子大豆的可利用程度达到和常规大豆相同的利用程度 (Herkelman 等, 1991)。

植酸

油籽和谷物中大部分磷都结合成一种有机络合物，称为肌醇 1, 2, 3, 4, 5, 6—六磷酸盐，通常称为植酸或植酸盐 (Nelson 等, 1968)。种籽中 60—80% 的磷都结合在植酸中。为使动物能够利用植酸中的磷，必须首先用酶将磷基团从植酸中释放出来，这一过程需要植酸酶发挥作用。猪和家禽的消化道中缺乏植酸酶，所以猪和其它非反刍动物对植酸磷的利用率很低。反刍动物利用植酸磷是没有问题的，因为反刍动物瘤胃中的微生物能够产生丰富的微生物植酸酶。此外，植酸还能与锌、铜和一些别的微量元素形成络合物从而干扰肠道对这些元素的吸收。

美国肯塔基大学的研究结果表明，豆粕中的磷仅有四分之一到三分之一可以被猪利用（Cromwell, 1993；表 9）。其它油籽粕中磷的利用率更低：低毒菜籽粕中磷的利用率为 16%，葵籽粕和棉籽粕中磷的利用率则几乎为 0%。谷物中磷的生物学利用率也很低。例如，玉米中磷的生物学利用率约为 12%；但是，大麦和小麦中磷的利用率则往往稍高，因为这些谷物的种皮中含有一些内源性植酸酶。动物性蛋白质源中磷的生物利用率相当高，为 85—93%，因为这些磷是无机磷或者是高度可利用的有机磷。根据玉米和豆粕中各自的磷利用率，未添加磷的玉米—豆粕日粮中磷的利用率约为 15%。在这样的日粮中添加微生物植酸酶可分解一部分植酸从而大大提高日粮中磷的生物利用率（表 9）。

表 9 豆粕和其它蛋白质源中磷的生物利用率估值^a

饲料	磷的生物利用率 (%) ^b
植物性蛋白源	
豆粕	31
去皮豆粕	23
低毒菜籽粕	16
花生粕	12
葵籽粕	3
棉籽粕	1
动物蛋白质源	
步鱼粉	93
喷雾干燥血粉	92
脱脂奶粉	91
肉骨粉	85
无机磷源	
磷酸一钙、磷酸二钙	100
脱氟磷酸盐	87
谷物	
玉米	12
高湿度玉米	53
低植酸玉米	75

高粱	20
大麦	30
小麦	50
日粮	
玉米—豆粕日粮	15
玉米—豆粕日粮+植酸酶	45

a:摘自 Cromwell (1993);

b:以磷酸一钠作为 100%可利用的标准, 根据斜率分析来确定相对生物利用率。

由于猪对植酸磷的利用率很低, 所以必须在日粮中添加相当大量的无机磷以满足猪对磷的需要量。大量的日粮磷, 加上日粮中利用率很低的植酸磷, 会导致磷随粪排出体外过多。动物粪中磷过量是农业中的一大环境问题。现已观察到, 在玉米—豆粕日粮中添加微生物植酸酶使猪的磷排泄量减少的程度达到 $\geq 40\%$ (Pierce 等, 1997; 表 10)。

表 10 猪饲喂含植酸酶或低植酸玉米的玉米—豆粕日粮量的磷排泄量^a

	实验 1 日粮 ^b		实验 2 日粮 ^c	
	玉米-豆粕	玉米-豆粕+植酸酶 ^d	玉米-豆粕	低植酸玉米-豆粕 ^e
磷摄入量 (克/天) ^f	11.7	8.27	11.89	8.66
磷潴留量 (克/天)	3.68	3.78	5.31	4.92
磷排泄量 (克/天) ^f	7.49	4.49	6.57	3.74
磷排泄量减少 (%)		40		43

a:每一种日粮中的总磷和有效磷分别如下:

实验 1: 玉米-豆粕日粮, 0.40 和 0.20; 玉米-豆粕+植酸酶日粮, 0.30 和 0.10;

实验 2: 玉米-豆粕日粮, 0.40 和 0.20; 低植酸玉米-豆粕日粮, 0.30 和 0.20;

b:Pierce 等 (1997); 每个处理 6 头猪, 猪体重 87 千克;

c:Pierce (1999); 每个处理 5 头猪, 猪体重 100 千克;

d:酶制剂商品名 Natuphos-600®(BASF, Mt. Olive, Nj); 每千克日粮 500 植酸酶单位;

e:Optimum Quality Grains, Des Moines, IA;

f:每一实验中日粮的作用 ($P < 0.01$)。

现已鉴别出了既能降低种籽中植酸含量又不改变其总磷含量的突变基因 (Raboy 等, 1990), 并已成功地将其整合入了若干玉米杂交系中。最近的研究表明, 低植酸玉米中磷的生物利用率提高到了 75%以上 (Cromwell 等, 1998; Spencer 等, 1998; 表 9)。这一技术类似于添加植酸酶, 对于减少猪粪中磷的排泄量具有巨大的潜力, 如表 10 所示。

低植酸大豆也已培育了出来 (Anderson, 1998), 目前正在进行动物实验。初步结果表明, 低植酸豆粕中磷的生物学利用率大大高于常规豆粕中的磷利用率 (49%对 19%; Cromwell 等 2000a)。低植酸玉米配合以低植酸豆粕, 应可进一步降低猪日粮中无机磷的需用量, 甚至可能完全不需要在日粮中添加磷, 从而应该可以对降低动物的磷排泄量起到重要作用。在新近的一项研究中 (Cromwell 等, 2000b), 对生长猪饲喂用低植酸玉米和低植酸豆粕配合的日粮, 日粮中不添加任何无机磷源, 猪的生产性能和饲喂添加无机磷的常规玉米—豆粕日粮时相同,

而猪的磷排泄量比饲喂加磷常规玉米—豆粕日粮的猪少了 55%。

寡糖

大豆含有若干种寡糖，如棉籽糖、水苏糖和 Verbascose；这些寡糖在大豆中的含量约为 7% (Rackis, 1975)。这一类碳水化合物的特性是具有 α -1,6-半乳糖苷键，这一化学键不能被哺乳动物消化，因为哺乳动物没有 α -1,6-半乳糖苷酶活性 (Cristofaro 等, 1974)。这些寡糖不能被消化或者消化率很低，会造成消化紊乱和生产性能降低，对幼猪的危害尤其大。

浓缩大豆蛋白质是用豆粕制成的，其中的寡糖基本上已被除去了。这一浓缩形式的大豆蛋白质常被用于非常幼小仔猪的断奶日粮之中，因为这些幼小的猪对寡糖比大龄猪更为敏感。

现已鉴别出了能大大减少或消除大豆中寡糖的突变基因 (Anderson, 1998；另见本书第四章)。成功地将这些基因整合到商品大豆品种中去，应该会对豆粕的营养特性产生有利影响，尤其当将豆粕应用于幼猪保育期日粮时更有好处。

抗原因子

幼猪对某些具有免疫活性的大豆蛋白质过敏，比如对大豆球蛋白和 β -伴大豆球蛋白 (Stokes 等, 1984)；幼猪在摄入含高水平豆粕的日粮时会在肠道中产生炎症反应 (见第七章)。通常，肠道会发生形态学改变：绒毛变短和隐窝加深，这会导致养分吸收减少。如果保育期仔猪采食了豆粕，大豆蛋白质的变态反应原性就明显表现较强 (Li 等, 1990)。根据 Li 等 (1991) 和 Sohn 等 (1994) 的研究结果，浓缩大豆蛋白质和离析大豆蛋白质产生的变态反应程度轻于豆粕产生的变态反应。由于豆粕具有抗原性，其在幼猪日粮中的用量一般仅可为 20—25%，可以添加别的蛋白质源或添加氨基酸来满足猪的需要。

其它抗营养因子

大豆中还有一些研究得较少的其他抗营养因子，植物血凝素即为一例。据认为，植物血凝素能与肠道粘膜细胞结合从而干扰肠道对养分的吸收。用其它动物所作研究的结果表明，植物血凝素可能和胰蛋白酶抑制因子同样重要，但适当加热应可破坏植物血凝素的活性 (见本书第二章)。其它化合物，包括皂角苷、脂肪氧合酶和植物雌激素，它们对猪的营养作用尚未被充分了解。

大豆和豆粕中的有益因子

现已在大豆和豆粕中鉴别出了一些可能对猪有益的因子。美国伊阿华州的研究人员 (Cook 等, 1998) 在大豆中鉴别出了多种异黄酮，这些异黄酮能提高幼猪的生长率和刺激其瘦肉组织的合成。对接受了生殖呼吸综合征病毒攻击的猪，在其日粮中添加大豆三羟异黄酮，可降低其血清中病毒的浓度并提高猪的生长率 (Greiner 等, 1999)。尽管这一研究尚处在初期阶段，但其结果看来肯定是令人鼓舞的。

植物育种学家已经利用重组 DNA 技术成功地培育与出了具有高水平油酸的大豆 (Anderson, 1998)。高油酸大豆所产的豆油非常适于人类食用，因为油酸这种单不饱和脂肪酸对人类的健康有比较明显的好处。猪能够相当有效地按照日粮的脂肪酸成分来改变其躯体的脂肪酸成分。因此，如果将来希望将猪肉的脂肪酸成分改变为含高比例的单不饱和脂肪酸，那么饲喂高油酸大豆也许就可提供这一机会。

用于猪日粮中的其它大豆制品

全脂大豆

养猪业已经成功地采用了大豆在猪场就地加工的做法。这一做法的好处是，就地加工的大豆既可作为能量源 (因为其中有很高的油含量，见表 2)、也可作为蛋白质源来喂给猪。损坏的、质次的大豆就可用于这一目的。有若干种类型的设备可以用来在猪场中对大豆进行加热以便破坏其中的抑制因子。使用者必须小心地掌握加热充分而不过度，因为加热过度会损坏大豆的蛋白质从而明显降低大豆的营养价值。从营养上看，只要加热适度，全脂大豆基本上就等同于豆粕 (蛋白质) 与添加脂肪的相应配合。因此，在猪日粮中采用就地加工的大豆

是一个经济上的问题。

浓缩大豆蛋白质

浓缩大豆蛋白质是用大豆在将其中绝大部分油和水溶性非蛋白质成分去除后制成的。根据“美国饲料监控官员协会”(AAFCO, 1999)的标准,浓缩大豆蛋白质必须含蛋白质 65%以上(以干物质计)。浓缩大豆蛋白质的主要优点是其中不可消化的寡糖减少了,甚至根本不含寡糖了;寡糖被认为具有抗营养特性,尤其对幼猪的危害更大。表 2 和表 3 列出了浓缩大豆蛋白质的成分。

离析大豆蛋白质

离析大豆蛋白质是大豆的主要蛋白质组分,是用去皮豆粕在将其中大部分水溶性非蛋白质成分去除掉制成的。根据 AAFCO (1999)的标准,离析大豆蛋白质的蛋白质含量必须 $\geq 90\%$ (以干物质计)。这一蛋白质源在人类食品中的用量大于其在动物饲料中的用量,因为其成本较高。离析大豆蛋白质有时作为浓缩的氨基酸源而在猪的营养学研究中用于半纯制日粮之中。表 2 和表 3 列出了离析大豆蛋白质的成分。

参考文献

- AAFCO. 1999. Official Publication of Association of American Feed Control officials. AAFCO, Oxford, IN.
- Anderson, P. C. 1998. Crop biotechnology for feed improvement. In: J. Wiseman, M. A. Varley, and J.P. Chadeick(Eds.) progress in Pig Science. Proceedings of the 58th Easter School in Agricultural Sciences. PP 265—277. Nottingham Univ. Press, Nottingham. U. K.
- Cook, D. R. T. S. Stahly, and P. A. Murphy, 1998. The effect of dietary soybean soflavone on carcass muscle and body growth in pogs fed from 6 to 32 kg BW. J. Anim. Sci. 76 (Suppl. 2) :57(Abstr).
- Crenshaw, M. A. , and D.M. Danielson, 1985. Raw soybeans for growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 60: 725-730
- Cristofaro, E., F. Mottu, and J. J. Wuhrmann, 1974. Involvement of the raffinose family of oligosaccharides in flatulence. In H. Sipple and K. McNutt (Eds.) Sugars in Nutrition. p 313. Academic Press. New York, NY.
- Cromwell, G. L. 1993. An assessment of the bioavailability of phosphorus in feed ingredients for nonruminants. In: Proc. Maryl and Nutr. Conf., Baltimore, MD. pp 146—158.
- Cromwell, G. L., C. C. Calvert, T. R. Cline, J. D. Crenshaw, T. D. Crenshaw, R. A. Easter, R. C. Ewan, C. R. Hamilton, G. M. Hill, A. J. Lewis, D. C. Mahan, E. R. Miller, J. L. Nelssen, J. E. Pettigrew, L. F. Tribble, T. L. Veum, and J. T. Yen. NCR—4z Committee on Swine Nutrition. 1999. Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and SBM. J. Anim. Sci. 77:3262—3273.
- Cromwell, G. L., J. L. Pierce, T. E. Sauber, D. W. Rice, D. S. Ertl, and V. Raboy. 1998. Bioavailability of phosphorus in low-phytic acid corn for growing pigs. J. Anim. Sci. 76 (Suppl. 2): 54 (Abstr.)

- Cromwell, G. L., S. L. Traylor, M. D. Lindemann, T. E. Sauber, and D. W. Rice. 2000a. Bioavailability of phosphorus in low-ligosaccharide, low phytate SBM for pigs. Abstract presented at the Midwestern Section Mtg. ASAS, March 13–15, Des Moines, IA.
- Cromwell, G.L., S. L. Traylor, L. A. White, E. G. Xavier, M. D. Lindemann, T. E. Sauber, and D. W. Rice. 2000b. Effects of low-phytate corn and low-oligosaccharide, low-phytate SBM on performance, bone traits and phosphorus excretion by growing pigs. Abstract presented at the Midwestern Section Mtg. ASAS March 13–15, Des Moines, IA.
- Fickler, J., J. Fontaine, and W. Heimbeck. 1995. The Amino Acid Composition of Feed stuffs. Degussa Corp., Ridgefield Park, NJ.
- Greiner, L. L., T. S. Stahly, and T. J. Stahel. 1999. Effect of dietary soy genistein on growth and immune response in pigs during a viral challenge. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl.1): 70 (Abstr.) .
- Herkelman, K. L., G. L. Cromwell, and T. S. Stahly. 1991. Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. *J. Anim. Sci.* 69: 4477–4486.
- Herkelman, K. L., G. L. Cromwell, T. S. Stahly, T. W. Pfeiffer, and D. A. Knabe. 1992. Apparent digestibility of amino acids in raw and heated conventional and low-trypsin inhibitor-soybeans for pigs. *J. Anim. Sci.* 70: 818–826.
- Hymowitz, T. 1986. Genetics and breeding of soybeans lacking the Kunitz trypsin inhibitor. *Adv. Exp. Med. Biol.* 199: 291–298.
- R. D. Goodband, and R. D. Klemm. 1990. Transient hypersensitivity to SBM in the early-weaned pig. *J. Anim. Sci.* 68: 1790–1799.
- Li, D. F., J. L. Nelssen, P. G. Reddy, F. Blecha, R. D. Klemm, D. W. Giesting, J. D. Hancock, G. L. Allee, and R. D. Goodband. 1991. Measuring suitability of SBM products for early-weaned pigs with immunological criteria. *J. Anim. Sci.* 69: 3299–3307.
- Liener, E. E., and M. L. Kakade. 1980. Protease inhibitors. In: E. E. Liener (Ed.) *Toxic Constituents of Plant Foodstuffs*. pp 7–71. Academic Press, New York, NY.
- Nelson, T. S., L. W. Ferrara, and N. L. Storer. 1968. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poult. Sci.* 47: 1372–1376.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of swine (10th Ed)*. National Academy Press, Washington, DC.
- Pierce, J. L. 1999. Nutritional assessment of conventional and low phytic acid corn for pigs and chicks. Ph.D. dissertation. University of Kentucky, Lexington.
- Pierce, J. L., W. A. Dozier, III, G. L. Cromwell, and M. D. Lindemann. 1997. Effects of phytase on P balance in finishing pigs fed low Ca, low P diets. *J. Anim. Sci.* 75 (Suppl.1): 66 (Abstr.) .
- Raboy, V., D. B. Dickinson, and M. G. Neuffer. 1990. A survey of maize kernel mutants for variation in phytic acid. *Maydica* 35: 385–390.
- Rackis, J. J. 1972. Biologically active components. In: A. K. Smith and S. J. Circle (Eds.) *Soybeans, Chemistry and Technology*. Vol. 1. Proteins. pp 158–202. AV, Westport, CT.

- Li, D. F., J. L. Nelssen, P. G. Reddy, F. Blecha, J. D. Hancock, G. L. Allee, Nelson, T. S., L. W. Ferrara, and N. L. Storer. 1968. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poult. Sci.* 47: 1372–1376.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of swine (10th Ed)*. National Academy Press, Washington, DC.
- Pierce, J. L. 1999. Nutritional assessment of conventional and low phytic acid corn for pigs and chicks. Ph.D. dissertation. University of Kentucky Lexington.
- Pierce, J. L., W. A. Dozier, III, G. L. Cromwell, and M. D. Lindemann. 1997. Effects of phytase on P balance in finishing pigs fed low Ca, low P diets. *J. Anim. Sci.* 75 (Suppl.1): 66 (Abstr.) .
- Raboy, V., D. B. Dickinson, and M. G. Neuffer. 1990. A survey of maize kernel mutants for variation in phytic acid. *Maydica* 35: 385–390.
- Rackis, J. J. 1972. Biologically active components. In: A. K. Smith and S. J. Circle (Eds.) *Soybeans, Chemistry and Technology*. Vol. 1. Proteins. pp 158–202. AVI, Westport, CT. and flatus problem. In: A. Joanes and J. Hodge (Eds.) *Physiological Effects of Food Carbohydrates*. ACS Symp. Ser. p 207. Am. Chem. Soc. Washington, DC.
- Singh, L., C. M. Wilson, and H. H. Hadley. 1969. Genetic differences in soybean trypsin—inhibitors separated by disc electrophoresis. *Crop Sci.* 9: 489.
- Sohn, K. S., C. V. Maxwell, D. S. Buchanan, and L. L. Southern. 1994. Improved soy bean protein sources for early-weaned pigs, I. Effects on performance and total tract amino acid digestibility. *J. Anim. Sci.* 72: 622–630.
- Soy Stats Reference Guide. 1998. American Soybean Association. St. Louis, MO.
- Spencer, J. D., G. L. Allee, T. E. Sauber, D. S. Ertl, and V. Raboy. 1998.
- Nelson, T. S., L. W. Ferrara, and N. L. Storer. 1968. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poult. Sci.* 47: 1372–1376.
- Digestibility and relative bioavailability of normal and genetically modified low phytate corn for pigs. *J. Anim. Sci.* 76 (Suppl. 2): 54 (Abstr.) .
- Stokes, C. R., T. J. Newby, B. G. Miller, and F. J. Bourne. 1984. The immunological significance of transient cell mediated immunity to dietary antigens. In: P. J. Quinn (Ed.) *Cell Mediated Immunity*. p 249. Commission of the European Communities, Luxembourg.
- Thacker, P. A., and R. N. Kirkwood. 1990. *Nontraditional Feed Sources for Use in Swine Production*. Butterworth, Stoneham, MA.
- Yen, J. T., G. L. Cromwell, G. L. Allee, C. C. Calvert, T. D. Crenshaw, and E. R. Miller. 1991. Value of raw soybeans and soybean oil supplementation in sow gestation and lactation diets: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 69: 656–663.