

## 低蛋白日粮在猪营养中的益处

Meike Rademacher 博士，德固萨公司，饲料添加剂部  
P.O. Box 1345, D-63403 Hanau, Germany

### 关键信息

- 猪不同生长期日粮的氨基酸组成尽可能接近它的氨基酸需要将会在不影响生产性能的前提下最大限度地减少氮排出量。
- 降低日粮蛋白质含量还可以减少养猪生产中与过量氨基酸脱氨基有关的能量损耗。
- 低蛋白日粮同时可通过减少下痢的发生率和有害物质诸如胺和氨的生成而使猪的健康受益。
- 平衡的低蛋白日粮可减少氮排出、氨释放、水消耗及尿排出。

实践定律：降低日粮蛋白质 1 个百分点可以减少

- 粪便中 10%的氮含量
- 10%进入空气的氨气释放量
- 3%的水消耗
- 5%的粪便体积

- 如果按照净能体系设计猪日粮配方，因其可以提高生产性能和胴体品质，并降低饲料成本，因此可以使养猪生产获得更高的利润。

### 动物生产与环境

在世界某些地区因家畜生产而造成的环境污染已经受到非常重视。在有些国家，这一问题已经导致立法出台以减少家畜矿物质排出从而最大限度地降低对周围环境的污染。目前已有几项营养学手段可用于提高农场可持续发展的矿物质和氮平衡。这些手段包括磷酸酶的使用，氨基酸添加剂的应用以及配制尽可能接近家畜营养需要的日粮，其结果可导致猪粪便中磷的氮的排放量降低超过 35%。这些饲养手段的实现提高了对饲料原料成分评估，饲料配方和生产精确性的要求。目前饲料级赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸以具有竞争力的价格供应给饲料工业。这不仅允许营养学家们可以在提高日粮氨基酸平衡的同时降低日粮蛋白质含量并因此减少氮排出，而且还可以降低与过量氨基酸脱氨基有关的能量损耗。

这本手册将讨论能使养猪生产者在维持猪生产性能的同时减少养猪生产中氮排放的一些营养学手段。

### 提高氮利用的营养学手段

三项因素影响猪的氮排放量：

1. 日粮氮（蛋白质）含量
2. 动物用于生长和维持其它生理功能的日粮氮的利用率
3. 内源氮的损耗量

内源氮的损耗量难以控制。因此，为有效提高氮利用，日粮氮的含量必须降低同时其利用率必须提高。

### 不同手段提高氮利用率的潜在效果

表 1 显示了不同饲养手段提高氮利用率的潜在效果。饲喂补充氨基酸的低蛋白日粮可减少大约 20-25% 的氮排放量。饲喂体系诸如配制更接近动物需要的日粮、阶段饲养和使用高度可消化原料都可以大大提高氮利用。

**表 1：不同手段提高氮利用率的潜在效果（Williams 和 Kelly, 1994）**

手段	粪氮降低的估计值 (%)
<i>添加剂</i>	
添加合成氨基酸同时降低蛋白质水平	20 - 25
<i>酶制剂</i>	
纤维素酶	5
植酸酶	5
<i>生长促进剂</i>	5
<i>饲喂体系</i>	
更接近于需要量	10 - 15
阶段饲养	10
使用更利于消化的原料	5

### 避免过量氮水平

由于生产厂商保留的“安全”限度，商品日粮中的蛋白质水平常常高于猪的实际需要。这些安全限度可能很大，成本很高，并会导致过量的氮排放。设置安全限度的原因和可能降低它们的方式见表 2。

**表 2：降低日粮配合中的安全限度以及提高日粮蛋白质利用的方式**

设置安全限度的原因	降低安全限度和氮排放的措施
饲料配制中的潜在误差	对于饲料原料，采样和分析原料以成品饲料进行良好的质量控制
饲料原料间消化率的差异	使用标准化的回肠可消化氨基酸进行日粮配置，加强配置的准确性
很少有日粮能够满足不同品种猪的需要	采取阶段以及公母分群饲养方式，根据其瘦肉生长潜力进行饲喂
测定并减少饲料的浪费	从新设计饲槽并检查其破损

提高日粮氨基酸平衡性	将理想蛋白质的概念应用于日粮配制，并根据其需要进行饲喂，以便在不影响生产性能的前提下降低氮的排出量
饲喂瘦肉率高的品种	瘦肉比脂肪的沉积效率要高。因而饲喂瘦肉率高的品种自然会提高饲料转化率。从而降低氮的排出量。
保持猪群的健康	低发病率的猪群与传统健康的猪群相比，粪便中氮的排出量要低 10% (Keller, 1980)
降低日粮粗蛋白水平	采食低蛋白日粮的猪只饮水量下降，原因是机体少量的水就可以将过剩的氮以尿的形式排出体外。从而导致排尿量降低，尿氮的排出量也随之降低。粪浆容量降低 30%。

### 低蛋白、补充氨基酸的日粮

已有一系列的试验研究了不同条件下降低日粮蛋白质水平对生长猪的影响。过去 10 年内的多数试验均表明当日粮中补充了足够的必需氨基酸时，在不影响生长速度和饲料效率的前提下生长肥育猪的日粮粗蛋白水平可以降低 4 个百分点。

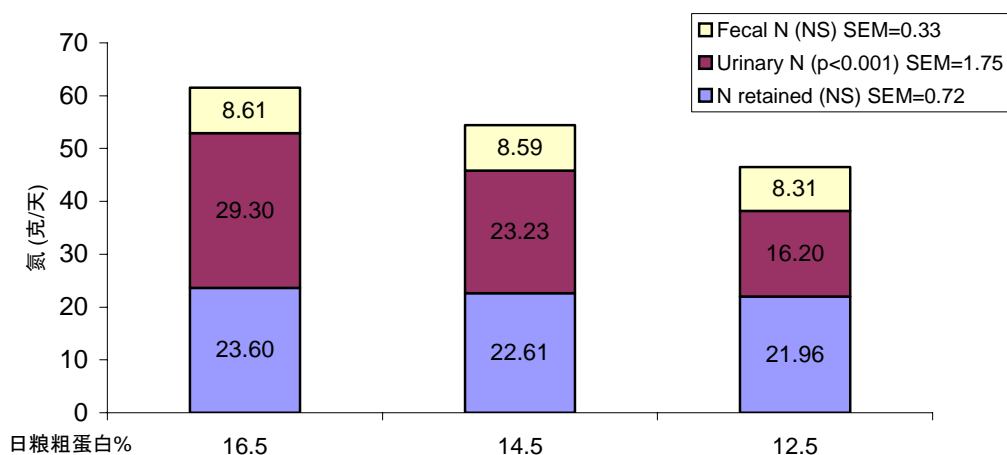
一个生长与平衡的混合试验 (Canh 等, 1998) 评估了三个不同日粮蛋白质水平 (16.5、14.5 和 12.5%) 对生长肥育猪的生产性能、粪浆内的氮和氨排放量的影响。结果显示在平衡和生长两项试验中，日粮粗蛋白水平对采食量、日增重及饲料转化率均没有影响 (表 3)。粪浆中氮的排放量则显著降低了 49%。

**表 3：降低日粮氮水平对肥育猪的生产性能及粪浆内氨排出量的影响 (Canh 等, 1998)**

粗蛋白质 (%)	日粮粗蛋白质含量 (%)			P
	高 16.5	中 14.5	低 12.5	
净能, 兆焦耳/千克	9.38	9.38	9.38	
回肠可消化赖氨酸 (%)	0.71	0.71	0.71	
<u>生产性能</u>				
初始体重 (千克)	54.8	54.9	54.8	NS*
末体重 (千克)	105.6	107.3	105.7	NS
采食量 (千克/天)	2.361	2.341	2.334	NS
日增重 (克/天)	793	819	795	NS
饲料转化率	2.98	2.86	2.94	NS
粪便中氮排出量 (克/天/头)	9.44	6.94	4.79	< 0.001
相对值 (%)	100	73	51	

\*p > 0.05

降低日粮粗蛋白水平导致氮摄入量减少。日粮蛋白质水平的降低还导致尿氮排出量（图 1）的减少并显著降低粪浆氮排放量（表 3）。日粮粗蛋白水平每降低一个百分点可以使氮排放量降低多达 10-12.5%。粪氮和沉积氮保持不变。



氮摄入量（克 / 天）	61.50	54.41	46.50
氮利用率（%）	38.37	41.52	47.30
总氮排出量（克 / 天）	37.91	31.82	24.51
	100%	84%	65%

图 1：降低日粮氮水平对其利用率的影响（Canh 等，1998）

Canh 等人（1998）开展的第二个生产性能试验采用了体重范围在 52 到 104 千克的猪，结果也表明日粮粗蛋白水平对采食量、日增重、饲料转化率及胴体品质没有影响（表 4）。

表 4：降低日粮氮水平对生产性能和胴体品质的影响（试验猪体重从 52 到 104 千克）（Canh 等，1998）

	日粮粗蛋白质含量（%）			
	高	中	低	
粗蛋白质 (%)	16.5	14.5	12.5	P
<u>生产性能</u>				
采食量（千克/天）	2.249	2.245	2.257	NS*
日增重（克/天）	805	805	797	NS
饲料转化率	2.75	2.75	2.79	NS
背膘厚度（毫米）	15.2	15.4	15.9	NS
瘦肉率（%）	57.2	57.1	56.7	NS

肌肉厚度（毫米）	56.9	56.5	57.0	NS
----------	------	------	------	----

\*p > 0.05; 可消化赖氨酸 0.76 天/兆焦耳净能

### 降低氮水平对粪浆容量的影响

机体内过量的氮会形成尿素并通过尿排出体外。这一过程改变猪体内的水平衡。降低日粮粗蛋白水平可以减少猪的水摄入量。Pfeiffer 和 Henkel（1991）饲喂生长肥育猪一个低蛋白日粮和一个高蛋白日粮，并密切监控了水摄入量和尿排出量。结果显示总的饲料采食量一致，低蛋白和高蛋白日粮的蛋白质食入量分别为 311 和 479 克/天，高蛋白日粮的水摄入量和尿产量分别比低蛋白日粮高 26%和 54%（图 2）。

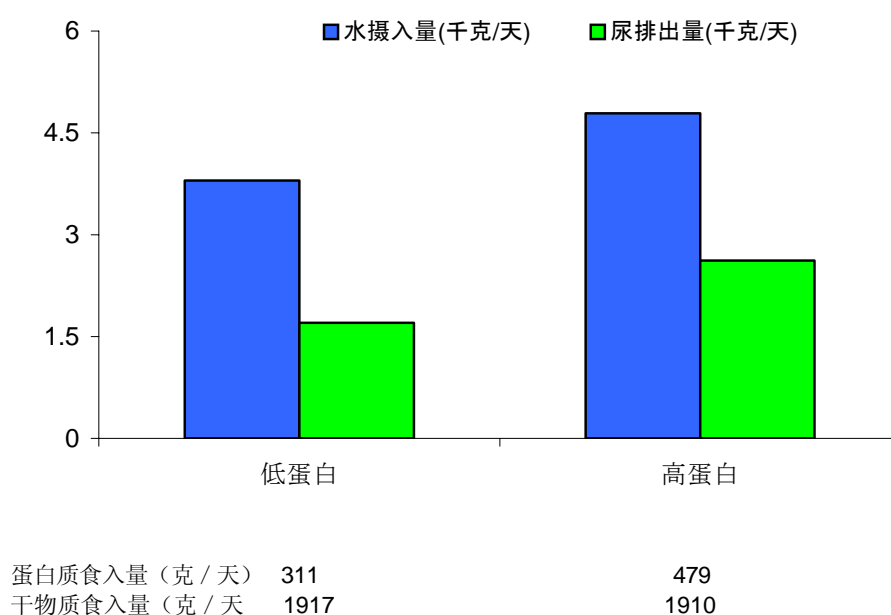


图 2：日粮蛋白质水平对育肥猪水摄入量 and 尿排出量的影响（Pfeiffer 和 Henkel，1991）

Hopp 等人（1990）的试验比较了两期饲喂体系与单期饲喂体系中粪浆容量、粪浆干物质和总氮排出量改变的差异。单期饲喂体系中猪粪浆干物质含量为 12%，而两期饲喂体系中粪浆干物质含量则接近 20%。

Fremaut 和 de Schrijver（1991）的氮平衡试验采用体重范围在 70-85 千克的猪，研究了降低日粮蛋白质水平对水消耗的影响。试验采用两种蛋白质水平的日粮：18.5%和 12.9% 补充氨基酸。氮食入量由 67.8 克/天降低至 48.3 克/天与水摄入量降低了 21%有关，同时与水 and 氮的排放量分别降低了 34%和 39%有关。粪浆干物质含量则分别为 11.7%（高蛋白日粮）和 17.1%（低蛋白日粮）（表 5）。

Kay 和 Lee（1997）发现日粮粗蛋白水平每降低一个百分点可以导致粪浆容量减少 11%。总体上，粪浆容量可以减少大约 30%，这一结果可以导致显著的经济效益：对粪便存储力的需要降低，运输和撒播时间减少，固定和变异成本因此均可以下降。

**表 5：两种日粮蛋白质水平对生长猪（70 到 85 千克）的生产性能、水及氮平衡的影响（Fremaut 和 de Schrijver, 1991）**

日粮粗蛋白质（%）	<b>18.5</b>	<b>12.9</b>	<u>结果</u>
采食量变（克/天）	<b>2290</b>	<b>2340</b>	氮摄入量降低 30%的同时：
日增重（克/天）	<b>781</b>	<b>754</b>	
饲料转化率	<b>2.93</b>	<b>3.10</b>	
水摄入量（克/天）	<b>4270</b>	<b>3390</b>	→ 水摄入量降低 21% → 水排出量降低 34%
相对量	<b>100</b>	<b>79</b>	
以粪尿形式排出的水量（克/天）	<b>3445</b>	<b>2266</b>	
相对量	<b>100</b>	<b>66</b>	
氮摄入量（克/天）	<b>67.8</b>	<b>48.3</b>	→ 总氮排出量降低 39%
总氮排出量(g/day)	<b>41.8</b>	<b>25.5</b>	
相对量	<b>100</b>	<b>61</b>	
粪便中干物质含量（%）	<b>11.7</b>	<b>17.1</b>	→ 粪便干物质含量提高 46%

处理间日粮赖氨酸含量一致（0.95%）

生长猪在代谢笼内自由采食和饮水

### 平衡氨基酸以提高氮利用

猪本身对蛋白质没有需求，而是对单个氨基酸的大致水平和整体平衡有需要。实际日粮中的氨基酸平衡与动物获得最佳生产性能所需的氨基酸平衡之间存在着不小的差异。在生长猪所食的典型的玉米大豆日粮中，大约 25% 的食入蛋白质由不平衡的氨基酸组成。不平衡氨基酸在体内降解后作为昂贵的能源同时还促成尿中氮的排放。略低于一半的猪粪便中的氮是由于日粮中氨基酸的不良平衡导致的（De Lange 等，1999）。一个简便的提高日粮氨基酸平衡性的方法是利用饲料级氨基酸（L-赖氨酸、L-苏氨酸，DL-蛋氨酸、L-色氨酸）替代标准蛋白源（如豆粕）。如果这类日粮设计合理的话，它们应该至少能达到和常规日粮所能达到的生产性能同样的水平（Tuitoek 等，1997）。表 6 提供了不同体重阶段猪的大致的最佳氨基酸平衡，其中赖氨酸水平设置为 100，其它氨基酸水平是根据与赖氨酸的相对水平来定义的（Rademacher 等，1999）。

**表 6：不同体重阶段猪的理想氨基酸模型（比例以相对于标准回肠可消化赖氨酸的相对值表达，Rademacher 等，1999）**

	<b>10 - 20 千克</b>	<b>20 - 50 千克</b>	<b>50 - 100 千克</b>
赖氨酸	100	100	100
蛋氨酸+胱氨酸	60	62	65
苏氨酸	63	65	70
色氨酸	18	19	19

### 日粮配方中可消化氨基酸的应用

高质量蛋白原料的应用会减少过量的不平衡蛋白质。目前普遍接受的观点认为回肠可消化氨基酸序列是对不同饲料原料氨基酸利用率的理想估计。实际设计日粮配方时应该采用标准（真）回肠氨基酸消化率。与表观氨基酸消化率不同，标准回肠氨基酸消化率系数应用在饲料原料的混合物中是可加的（Nyachoti 等，1997）。标准回肠氨基酸消化率系数（Rademacher 等，1999）提高设计日粮配方的精确性。通过提高氨基酸利用率和更精确地预测猪的生产性能，养猪生产的成本效率将会进一步提高。

### **日粮蛋白质水平、生产性能及健康问题**

抗微生物生长促进剂多年来一直被用于提高断奶后的肠道健康。由于抗生素的不断禁用导致仔猪断奶后下痢的增加，已经促使替代性的管理和营养手段的应用，诸如降低日粮粗蛋白水平。氨基酸的广泛供应允许在降低粗蛋白水平的同时维持充分的必需氨基酸的供应以及随之相关的生产性能。

断奶前仔猪可以达到日增重超过 300 克的水平，但这一生长速度往往在断奶后的几周内会下降。断奶时期仔猪的消化力还处于发育阶段，而其日粮则由几乎完全是乳蛋白更换成一个更加复杂的日粮，这对肠道内的乳酸含量以及与此相关的细菌群，绒毛高度和肠道健康有影响，并常常损害猪的健康和生产性能。

平均商品仔猪经历多达 10 天的断奶后不良的肠道健康、采食量和生长速度，直至细菌群和肠壁恢复。在这一相对短的时期内，生长严重受阻，同时有信息（Varley 和 Cole，2000）表明这一时期失去的生长直至屠宰时都不能弥补。例如，断奶体重每 1 千克的增加和断奶后每天额外 50 克的生长可以使屠宰时间减少 10 天之多（Close，2002）。

**健康方面：**在营养手段中，降低日粮粗蛋白水平被报道可以限制仔猪肠道问题的发生率和严重性（Prohaszka 和 Baron，1980；Danielsen 1984；Ball 和 Aherne，1982；Ball 和 Aherne，1987）。胃肠道菌群的生长底物主要来源于日粮。细菌需要例如蛋白质来生长和繁殖。通过降低日粮蛋白质水平并提高其消化力，细菌繁殖的机会将会明显受阻。同时，饲喂一个氨基酸平衡的日粮也可确保最佳生产性能的实现。消化道回肠末端未吸收的养分会成为大肠内细菌生长和繁殖的底物。大群微生物不仅从动物体内夺取养分，而且它们本身还可滋生潜在的病源菌诸如大肠杆菌、沙门氏菌和梭菌。在缺乏抗微生物生长促进剂的前提下，饲喂高蛋白日粮可引起因内源损失和肠道细菌对氨基酸发酵的增加而导致的机体氨基酸需要量的增加。因此，日粮氨基酸含量的提高可以部分弥补抗微生物生长促进剂的缺乏。氨基酸日益广泛的供应允许在降低饲料粗蛋白水平的同时保证充分的必需氨基酸的供应以及随之相关的生产性能（Hansen 等，1993；Jin 等，1998）。

Jensen（1999）发现含有高粗蛋白水平的日粮增加仔猪的下痢发生率。Jensen（1999）的观察是基于其在丹麦猪场的经验。Jost（1993）也研究了饲喂含 15-18%粗蛋白水平日粮的仔猪的下痢发生率。测定粪浓度表明当日粮粗蛋白水平提高时，下痢的发生率增加。采食含 18%粗蛋白日粮的仔猪接受下痢治疗的数目最多。Bolduan（1992），Chen 等（1995）和 Dong 等（1996）也报道了仔猪下痢的发生率随日粮粗蛋白水平的提高而增加的现象。Prohaszka 和 Baron（1980）报道了与饲喂含 13%粗蛋白水平的日粮相比，饲喂含 21%粗蛋白水平的仔猪可以发生严重下痢并出现溶血大肠杆菌。这些研究报道结果与 Aumaitre 等（1995）的报道一致。根据这些研究人员的结果，蛋白质水平的提高会促使腐败下痢和菌群失调症的出现。很少有研究报道日粮粗蛋白水平与猪消化道微生物生态系统之

间的互作。科研人员已经广泛认识到仔猪小肠内有相当数量的蛋白质被发酵。Dierick 等 (1986) 报道猪小肠内 25%到 30%的总氮来源于细菌。排除其它日粮因素的影响, 蛋白质的微生物发酵受日粮蛋白质水平及其消化力的影响。

而且, 有研究指出采食高蛋白日粮的小猪可能还不具备生产足够胃酸的能力以维持胃内较低的 pH 水平 (Prohaszka 和 Baron, 1980)。由于缓冲力随日粮粗蛋白水平的提高而提高, 胃酸的生成因而可能会受到限制。目前普遍认为饲料原料的缓冲力对调节胃和肠道其它部位的 pH 起到关键作用。当饲料原料的缓冲力过高或胃酸的产量过低时, 胃 pH 值会维持在一个高水平, 导致细菌的增殖和胃蛋白酶原的不充分激活。因此, 蛋白质的消化会降低, 同时细菌也会进入消化道并对其产生毒害作用。因此那些具有高缓冲力的蛋白质原料更需要大量的酸以维持胃内较低的 pH 水平。对仔猪而言, 胃内 pH 水平的降低由胃内细菌生产的乳酸来维持。乳酸菌的生长需要乳糖的供应, 而乳糖正是乳产品的一个重要成分。这就是为什么小猪可以消化具有高缓冲力的乳产品的重要原因之一。

**生产性能:** Le Bellego 和 Noblet (2002) 研究了降低日粮粗蛋白水平并补充氨基酸对仔猪生长性能、氮排放、水消耗、尿生成及粪浓度的影响。日粮 1 的采食量 (表 7) 最低 (959 克/天), 日粮 2、3 和 4 的采食量相近 (分别为 1039、1061 和 1048 克/天)。采食最高水平粗蛋白日粮仔猪的采食量较低这一结果与 Hansen 等 (1993) 和 Jin 等 (1998) 观察到的结果一致。这类日粮所提供的氨基酸全部为蛋白质结合的氨基酸, 导致过量 (和) 不平衡氨基酸, 并可能对采食该日粮的小动物造成有害影响 (Harper 等, 1970; Henry, 1985; Henry 和 Seve, 1991)。因此, 限制日粮蛋白含量同时平衡日粮氨基酸看来是使仔猪达到最佳饲料、养分和能量摄入的有效解决措施。猪的日增重未受不同日粮的影响 (平均 666 克/天)。不同日粮处理的饲料效率相近, 平均为 1.55。令人感兴趣的是, 日粮 1 的内脏器官包括血和空的消化道的总重量 (占空体重的百分比) 高于日粮 2、3 和 4, 导致采食日粮 1 的猪的胴体产量低于其它处理组 (数据未报道)。与采食日粮 2、3 和 4 的仔猪相比, 日粮 1 仔猪的水份含量较高, 脂肪和能量含量较低 (数据未显示)。整个试验期从日粮 1 到日粮 4 的氮排出降低了 42%。

**表 7: 日粮粗蛋白水平对仔猪生长性能、氮排放、水摄入、尿生成及粪浓度的影响 (Le Bellego 和 Noblet, 2002)**

日粮 日粮粗蛋白水平 (%)	1 22.4	2 20.4	3 18.4	4 16.9	
体重 (千克)					
初始体重	11.7	12.0	11.8	12.0	
末重	26.0	26.8	27.2	26.8	
采食量 (克/天)	959 <sup>a</sup>	1039 <sup>b</sup>	1061 <sup>b</sup>	1048 <sup>b</sup>	
日增重 (克/天)	642	661	690	663	
饲料转化率	1.50	1.58	1.54	1.58	
总氮排出量 (克/天)	10.7 <sup>a</sup>	9.4 <sup>a</sup>	6.8 <sup>b</sup>	5.1 <sup>c</sup>	- 42 %
氮沉积 (克/天)	17.8	17.7	18.5	15.6	
水消耗 (克/天)	1941	1887	1867	1645	- 15 %
尿排出 (克/天)	757	643	625	481	- 35 %
粪浓度 (% <sup>1</sup> )					



坚实	81.9	82.0	95.4	89.0
柔软	14.7	14.5	4.1	9.0
水样	3.4	3.5	0.5	2.0

日粮含净能 10.4 兆焦/千克，标准可消化赖氨酸 1.01 克 / 兆焦净能。可消化苏氨酸，蛋氨酸+胱氨酸，色氨酸，异亮氨酸，缬氨酸与赖氨酸的比率分别为 65，60，19，60 和 70 %。

<sup>1</sup> 出现坚实，柔软，水样粪便的天数占总试验天数的百分率。

a, b, c, D 不同上标表示差异显著 (p<0.05)。

日粮粗蛋白水平的降低同时还导致水消耗和尿生成从日粮 1 到日粮 4 分别降低了 15%和 36%，或者说饲料粗蛋白水平每降低一个百分点导致水消耗和尿生成从日粮 1 到日粮 4 分别降低了 3%和 7%。这些结果与 Frémaut (1992) and Pfeiffer 等 (1995) 的研究结果一致。对粪浓度的测定结果表明尽管与日粮 1 和 2 相比日粮 3 和 4 的粪便在试验期间不多的天数内表现软和液状，但总结果未受日粮的显著影响。对下痢和生产性能的不显著影响可能与试验的良好卫生条件有关。然而，在商品饲养条件下，卫生条件较差的情况更常见，可以预料低蛋白日粮对下痢的出现和对生产性能的影响将会较大 (Göransson 等，1995)。

### 消化道内蛋白质的微生物降解对健康和生产性能的负面作用

另一个需要考虑的与健康有关的方面是日粮蛋白质水平对胺和氨生成的影响。有关猪肠道微生物蛋白水解活动的知识很有限。然而，一定数量的菌群包括类菌、梭菌、肠细菌、乳酸菌和链球菌具备通过去除氨基酸的碳酸基和降解多肽而生产胺，诸如腐胺、尸胺、组胺和酪胺的能力 (Gaskins, 2001)。Porter 和 Kenworthy (1969) 观察发现 21 天断奶后下痢的发生与增加的尿胺排出有关，其中腐胺和尸胺的水平尤其之高。他们对此现象的评论认为并非这是这两种胺的绝对含量高，而是生成它们的位置促成断奶后下痢的出现。

Porter 和 Kenworthy (1969) 进一步报道了在严重下痢的情况下，小肠是胺生成的主要场所，临床未受影响的猪的小肠胺产量只保持在一个低水平。胺和氨经大肠吸收后或被用于合成非必需氨基酸或作为尿素随尿排出体外 (Just 等，1981)。胺和氨可以被看做有毒物质，从而对健康和生产性能产生负面影响。

Ewtushik 等 (2000) 研究了日粮添加选择性氨基酸或多肽对早期断奶仔猪 (体重 3.94 千克，断奶日龄 12.5 天) 生产性能和肠道发育的影响。结果表明添加谷氨酸盐和精氨酸促进了仔猪的肠道发育，而添加多肽则产生有害影响。

### 经济学

阶段饲养降低每头猪的饲料成本、粪便播撒费用和水成本。同时它还是一个减少氮排放的有效成本节约手段。当蛋白质饲料原料的价格很高时，饲料成本降低的幅度也最大。

表 8 列出了阶段饲养的成本节约。表格显示了与标准饲养体系 (一种日粮用于整个生长肥育期) 相比，三阶段饲养体系可以怎样提高单位利润。节约计算是基于不同饲养程序下猪的生长性能相同的假设。900 头生长肥育猪的饲料成本节约大约是 3%。然而，有试验表明与高蛋白日粮相比，采食低蛋白日粮的猪的生产性能更佳。由于高蛋白日粮中用于去氨基和排出过量氮的能量在低蛋白日粮中可被用于提高生产性能，增重和饲料转化率因此也可以提高。这可以导致饲料成本的进一步节约。

三阶段饲养程序使氮排出降低 16%个单位。根据欧盟的硝酸盐规程，每公顷可耕地只允许播撒 170 千克的粪肥。考虑到这项立法限制，900 头猪在标准饲养程序下每年更新 2.8 窝仔猪将需要 63 公顷可耕地。然而，同样大小的农场，三阶段饲养程序因氮排出的降低只需要 52 公顷可耕地。

**表 8：阶段饲养的成本节约（以 900 头生长肥育猪为单位计算）**

	标准饲养	三阶段饲养	节约 (美元)
日粮粗蛋白质 (%)	17	18 / 16 / 14	
体重 (千克)	25 - 105 千克	25 - 40 / 40 - 70 / 70 - 105 千克	
采食量 (克/天)	235 千克	235 千克 (34 / 80 / 121 千克) <sup>3</sup>	
<i>饲料消耗费用</i>			
饲料费用 (美元 / 1 0 0 千克) <sup>1</sup>	12.68	12.90 / 12.42 / 12.14 <sup>3</sup>	
饲料费用 (美元 / 头)	29.80	29.02 (4.39 / 9.94 / 14.69) <sup>3</sup>	0.78
饲料费用 (美元 / 猪位) <sup>2</sup>	83.44	81.26	2.18
X 900 猪位 (美元)	75,096	73,134	1,962
相对量 (%)	100	97	
<i>氮平衡</i>			
粗蛋白采食量 (千克 / 头)	40.0	35.8 (6.1 / 12.8 / 16.9) <sup>3</sup>	
氮采食量 (千克 / 头)	6.4	5.7	
氮沉积 (千克 / 头)	2.17	2.17	
氮排出量 (千克 / 头)	4.23	3.53	
氮排出量 (千克 / 猪位) <sup>2</sup>	11.84	9.88	
相对量 (%)	100	84	
X 900 猪位 (千克)	10,656	8,892	
公顷 <sup>4</sup>	63	52	

<sup>1</sup> 根据 1999 年秋季美国市场玉米，豆粕，次粉，赖氨酸，蛋氨酸，苏氨酸和维生素矿物质添加剂计算

<sup>2</sup> 2.8 窝 / 年

<sup>3</sup> 阶段 I / 阶段 II / 阶段 III

<sup>4</sup> 根据欧盟硝酸盐规程 91/676/EEC 最多 170 千克 / 公顷

与阶段饲养相结合，分性别饲养能够更好地搭配日粮营养物质浓度从而更精确地满足猪的营养需求。这样一来可以进一步减少养分排出并提高饲料成本节约。

除了通过阶段饲养来节约饲料成本，低蛋白日粮可以通过减少水消耗、降低粪便贮存和撒播成本以及提高健康和福利来节约开支。荷兰进行的一项全国范围的污染控制成本研究表明通过饲料控制来减少废物排放的成本总是低于那些基于运输和工业办法处理废物的措施。

表 9 给出了一个采用阶段饲养程序时粪便贮存和运输成本可能节约情况的例子。基于这些计算，对一个有 900 头生长肥育猪的单位而言，粪便贮存和撒播成本可分别降低 22% 或 475 美元和 863 美元。

**表 9：粪便贮存和撒播的成本节约情况**

	标准	3 阶段饲养	节约 (美元)
日粮粗蛋白质 (%)	17	18 / 16/ 14	
粪浆体积 (立方米)	3,024 <sup>1</sup>	2,360 <sup>2</sup>	
降低的粪浆体积 (立方米)		664	
粪浆贮存投资 (美元 / 立方米)		22	
法律规定最短贮存时间 (月)		6	
设备折旧		15 年，每年 6.5 %	
贮存成本 (美元 / 年)	2,162 <sup>3</sup>	1,687 <sup>4</sup>	475
贮存投资成本 (美元 / 年)	2,661 <sup>5</sup>	2,077	584
撒播的成本(1.3 美元 / 立方米)	3,931	3,068	863
	100 %	78 %	

900 头猪为单位，2.8 窝/年，年出栏 520 头，25 至 105 千克生长肥育猪

<sup>1</sup> 粪浆体积 1.2 立方米/头，标准饲养制度

<sup>2</sup> 日粮粗蛋白质每降低一个百分点粪浆体积降低 11 % (Kay 和 Lee, 1997)

<sup>3</sup>  $22 \times 6 / 12 \times 0.065 \times 3024$

<sup>4</sup>  $22 \times 6 / 12 \times 0.065 \times 2360$

<sup>5</sup>  $22 \times 6 / 12 \times 0.08 \times 3024$

## 净能体系

一些涉及胴体性状的试验研究表明，采食补充氨基酸的低蛋白日粮的猪似乎更肥。胴体背膘厚度的增加很可能是由于补充氨基酸的低蛋白日粮的净能含量相对较高，以玉米-豆粕型日粮为例，它意味着增加了 10% 的玉米含量和减少了 10% 的豆粕含量。尽管玉米和豆粕的代谢能含量大致相同（3420 相对 3180 千卡/千克，NRC 1998），但玉米中的净能含量相对高出很多（2395 相对 1935 千卡/千克，NRC 1998）。总体上消化能和代谢能体系的应用高估了蛋白质和高纤维饲料原料的能值，同时低估了淀粉和脂肪原料的能值。饲料原料间净能的差异比它们消化能和代谢能含量的差异要大。例如，代谢能体系中，玉米含有比大麦高 11% 的能量，而在净能体系中，这个差距增加到 15%。对于象苜蓿，白次粉（高纤维）或大豆油（高脂肪）这样的原料，差异则更加明显。这说明采用净能体系进行日粮配制会更加准确，尤其是当使用替代性饲料原料时更为重要。

理论上，补充氨基酸的低蛋白日粮在营养上要优于完全的蛋白质日粮。饲喂这种日粮，少量的过量氨基酸被脱氨基和转化成尿素从尿中排出。因此这些代谢过程的能量需要减少。

这些没有用于氨基酸脱氨基而节省出来的能量显然会以脂肪的形式沉积。要防止这种脂肪沉积。可以通过配制与完全的蛋白质日粮相同的可消化氨基酸与净能的比例来实现。

Dourmad 等 1993 指出通过控制净能的摄入量，日粮蛋白质水平对动物的生长和胴体脂肪含量在屠宰时不会产生影响（表 10）。

**表 10：日粮粗蛋白水平对 29 至 103 千克生长猪生产性能的影响（Dourmad 等，1993）**

日粮粗蛋白质（%）	17.8	15.5	13.6	日粮影响
消化能，兆焦/千克	14.1	13.9	13.7	p < 0.05
净能，兆焦/千克	10.2	10.2	10.2	-
<u>生产性能</u>				
采食量（克/天）	2292	2319	2307	NS
日增重（克/天）	846	867	852	NS
饲料转化率	2.71	2.68	2.72	NS
<u>胴体性状</u>				
出肉率	80.9	81.2	81.6	NS
肌肉含量（%）	51.3	52.3	51.6	NS
脂肪含量（%）	19.1	18.4	19.3	NS

日粮含可消化赖氨酸至少 0.70 %，蛋氨酸+胱氨酸，苏氨酸，色氨酸与赖氨酸的比率分别为 60，65，18：100。每个处理 40 头猪，单独饲喂，自由采食。

由于产热和尿能损失的大幅降低，降低日粮蛋白水平同时伴随着能量利用率的提高。这可导致食入相同消化能或代谢能的低蛋白日粮的能量沉积更多。净能体系能够将这一效果考虑进去。特别是当饲喂低蛋白日粮时，净能体系在预测生产性能和胴体质量方面的优势已经得到确认（Dourmad 等，1993；Canh 等，1998；Le Bellego 等，2001 和 2002；Le Bellego 和 Noblet，2002）。

最低成本配方的结果将依赖于能量体系的应用。例如，根据净能定义设计的日粮配方通常含有较低的粗蛋白含量和因此较高的补充氨基酸含量，这种情况可以降低日粮成本。表 11 显示了应用净能体系在设计最低成本配方时的潜在效果。在这个例子中，消化能和代谢能体系分别被采用来设计生长期（25-40 千克体重）和肥育期（70-105 千克体重）的玉米大豆型日粮。在每一个阶段中，日粮设计采用消化能和标准化的可消化氨基酸。在生长期，日粮 1 被设计含有 13.5 兆焦 代谢能/千克，其净能和粗蛋白含量分别为 9.88 兆焦化净能/千克和 18.7 %。日粮 2 采用同样的饲料原料，净能水平为 9.88 兆焦/千克，氨基酸也达到和日粮 1 相同的水平，结果导致日粮粗蛋白含量的轻微降低。其实际日粮组成因此包含了较低水平的豆粕和较高水平的玉米和氨基酸。肥育期采用同样的原理并对结果进行了观察（日粮 3 对比日粮 4）。

表 11： 能量体系对最低成本配方的影响

成分 (%)	生长阶段 (25-40 千克体重)		肥育阶段 (70-105 千克体重)	
	日粮 1 代谢能	日粮 2 净能*	日粮 3 代谢能	日粮 4 净能*
玉米	60.06	66.16 ↑	58.17	63.97 ↑
次粉	10.00	5.83	20.00	19.57
豆粕 (粗蛋白 48 %)	24.86	24.67 ↓	17.30	13.06 ↓
蛋氨酸 (99 %)	0.04	0.04	0.01	0.03 ↑
赖氨酸	0.11	0.12 ↑	0.07	0.20 ↑
苏氨酸	-	-	-	0.06
大豆油	1.82	-	1.40	-
磷酸二氢钙	1.01	1.14	0.80	0.89
碳酸钙	0.78	0.71	0.95	0.93
食盐	0.32	0.33	0.31	0.31
预混料	1.00	1.00	1.00	1.00
养分含量 (%)				
代谢能 兆焦/千克 (千卡/千克)	<b>13.50 (3230)</b>	13.31 (3180)	<b>13.00 (3100)</b>	12.75 (3050)
净能 兆焦/千克 (千卡/千克)	9.88 (2360)	<b>9.88 (2360)</b>	9.62 (2300)	<b>9.62 (2300)</b>
粗蛋白	18.7	18.5 ↓	16.4	15.0 ↓
标准可消化赖氨酸	0.90	0.90	0.71	0.71
标准可消化蛋氨酸	0.31	0.31	0.25	0.25
标准可消化蛋氨酸+胱氨酸	0.57	0.57	0.49	0.48
标准可消化苏氨酸	0.59	0.59	0.50	0.50
标准可消化色氨酸	0.17	0.17	0.15	0.14
成本 (美元/100 千克) **	<b>13.59</b>	<b>13.38 ↓</b>	<b>12.11</b>	<b>11.91 ↓</b>

生长阶段日粮标准可消化蛋氨酸+胱氨酸，苏氨酸，色氨酸与赖氨酸的比率分别为 60，65，19：100，肥育阶段为 65，70，19：100。其中蛋氨酸：蛋氨酸+胱氨酸为 55:100

\* 日粮含有相同的净能和标准可消化氨基酸水平

\*\* 参照 2005 春季美国饲料原料价格

表 11 还显示了与代谢能相比，采用净能体系进行日粮配制的经济效益。当以净能为基础配制日粮时，两期的饲料成本降低了大约 2%。

Rademacher 和 Hagemann (2004) 开展了一项目的在于研究能量体系对生产性能、胴体质量和生产成本的影响的试验。在整个生长肥育期内，饲料采食量未受影响 ( $p>0.05$ )。相对 A 组而言，B 组显示出有提高增重和改善饲料转化效率的趋势 (868 相对 854 克/天，和 2.42 相对 2.47) (表 12)。根据净能体系设计日粮配方 (B 组) 有提高

瘦肉率和眼肌面积的趋势。表 12 同时显示了与采用代谢能体系设计的标准蛋白水平日粮（A 组）相比，基于净能体系设计的低蛋白日粮（B 组）的经济学效益。每头猪的饲料成本降低了 0.63 欧元（30.62 相对 29.99 欧元），胴体产值提高了 1.10 欧元（109.63 相对 110.73 欧元），同时每头猪胴体产值与饲料成本的差值提高了 1.73 欧元。

**表 12：降低日粮蛋白质和应用不同能量系统对生长肥育猪的生长性能，胴体品质及经济效益的影响（Rademacher 和 Hagemann，2004）**

组别 处理	A 标准粗蛋白， 代谢能	B 低蛋白， 净能
阶段 I	19.0	16.9
阶段 II	18.0	16.0
阶段 III	17.0	15.0
<b>体重（千克）</b>		
初始体重（阶段 I）	32.8	32.9
初始体重（阶段 II）	49.9	50.0
初始体重（阶段 III）	81.4	81.0
末重	111.7	112.6
<b>生产性能</b>		
全期（30-110 千克）		
日增重（克）	854	868
日采食量（千克）	2.10	2.10
饲料转化率	2.47	2.42
<b>胴体品质</b>		
胴体重（千克）	88.7	<b>89.3</b>
瘦肉（MFFOM，%）	57.8	<b>58.0</b>
瘦肉（克 / 天）	422	<b>431</b>
眼肌面积（平方厘米）	50.2	<b>51.5</b>
<b>饲料成本 / 胴体价值</b>		
成本 / 头（欧元）	30.62	<b>29.99</b>
成本 / 千克增重（欧元）	0.38	<b>0.35</b>
胴体价值*（欧元）	109.63	<b>110.73</b>
胴体价值—饲料成本（欧元）	79.01	<b>80.74</b>

\*基础价格：56 %瘦肉率每千克胴体 1.20 欧元

调整价格：瘦肉率超过 56 %，每一个百分点增加 0.02 欧元

此项研究的结果表明，如果日粮是基于净能体系的定义来配制，并根据理想蛋白质定义综合了标准化的回肠可消化氨基酸和限制性氨基酸的补充，在不影响生长速度、采食量、饲料效率和胴体质量的前提下，生长肥育猪的日粮粗蛋白水平可分别降低至 17 %（30 至 50 千克体重），16.0 %（50 至 80 千克体重）和 15.0 %（80 至 100 千克体重）。由于提高

了猪的生产性能、优化了胴体质量并节约了饲料成本，这一结果可期望导致更高的养猪利润。