

配制低蛋白质日粮的必要性及其注意事项

邓敦 邓跃林 陈峰 刘春生

近几十年来，猪的氨基酸营养一直是各国学者研究的热点。一方面由于全世界范围内蛋白质资源的日趋紧张，另一方面由于日粮氨基酸不平衡引发粪尿氮大量排放而引起严重的环境污染。在成本和环保的双重压力下，低蛋白质日粮成为自20世纪90年代以来欧美动物营养领域的研究热点。因此，在充分满足动物营养需要的情况下，采用以理想氨基酸模式为基础，按照真可消化氨基酸需要量合理配制低蛋白质日粮，对降低日粮蛋白质水平及减少环境污染意义重大。

1 配制低蛋白质日粮的必要性

1.1 饲料蛋白质营养价值评定体系的不断完善

评定饲料营养价值是为了了解日粮营养素在动物体内转变为动物产品过程中的损失及利用程度，直接影响营养需要的准确性并为充分利用日粮营养素提供理论基础，为日粮营养素投入与动物产品产出之间提供更直接的联系（伍喜林，2003）。

准确评价饲料氨基酸的含量、畜禽对氨基酸的需要量和饲料氨基酸的利用率是科学设计饲料配方的基础。饲料原料种类繁多，原料氨基酸的含量和质量差异较大，不同畜禽有不同的利用效率。但饲料蛋白质营养价值评定中基本未考虑动物不同生产类型、生理阶段、生产水平、产品质量及健康状况条件对饲料蛋白质营养价值的影响（Han, 1995），存在日粮组成对饲料蛋白质营养价值影响的问题；由于缺乏不同饲料原料的组合效应资料，饲料加工贮存条件（温度、湿度、压力等）对饲料蛋白质营养价值的定量影响关系及其在日粮配制中的研究应用尚处于起步阶段。为更准确地满足动物对氨基酸的需要量，需要由粗蛋白质和总氨基酸体系向可消化或可利用氨基酸体系发展，以理想氨基酸模式为基础，从动态模型出发，采用真可消化氨基酸体系，并考虑各种因素影响，形成切实可行的参考标准式计算模式，这样才能使氨基酸的供给与猪氨基酸需要之间达到精确的统一，减少蛋白质饲料消耗和氮的排出量，使配方设计更加科学，日粮配制更加合理。

1.2 理想氨基酸模式的建立

Block和Blotting（1944）得出生长动物的氨基酸需要量可以由动物体蛋白质的氨基酸组成来确定的结论。后来，许多学者进一步研究发现，只有在日粮氨基酸保持平衡的情况下，氨基酸才能被动物机体有效地利用，任何一种氨基酸缺乏或过剩都会降低日粮中其他氨基酸的利用率。“理想蛋白质”的概念最初由Howard（1958）提出，当时叫做“完全蛋白质”，其实质内容是当日粮中各种必需氨基酸的组成和比例与动物必需氨基酸相吻合时，动物可最大限度地利用蛋白质。Mitchell（1964）给出了理想蛋白质的正式定义：“用氨基酸的混合物或可以被完全消化和代谢的蛋白质来表述，这一氨基酸混合物与动物维持和生产的氨基酸需要相比，其组成应完全一致”。英国农业研究委员会ARC（1981）较为详细地描述了理想蛋白质氨基酸的比例，引用3个来源的数据对理想蛋白质进行了描述：首先通过试验，测定猪对各种氨基酸包括Thr、Met、Trp、Leu的需要量，结果表明Thr、Met、Trp、Leu的需要量与Lys有关，尽管多次试验的氨基酸总量之间有不少差异，但如果以各种氨基酸与Lys的比例表示，则试验结果的差异性变小；其次测定Lys的需要量；第3个来源是测定完全蛋白质的氨基酸组成比例和猪体蛋白质氨基酸组成比例。通过试验确定猪体组织氨基酸组成，即为猪生长阶段的最佳比例。

表1 不同阶段猪的理想氨基酸模式

来源	体重/kg	Lys	Arg	His	Try	Ile	Leu	Val	Phe+Tyr	Met+Cys	Thr
ARC	15~50	100	-	33	15	55	100	70	96	50	60
Yen	25~55	100	30	35	20	55	100	70	100	50	57
Yen	50~90	100	30	35	20	55	100	70	100	50	57
NRC	1~5	100	30	35	20	55	100	70	100	50	57
NRC	5~10	100	43	26	14	54	71	57	80	49	57
NRC	20~50	100	43	26	15	57	74	58	81	51	58
NRC	50~100	100	34	29	16	61	80	64	87	55	64
NRC	100	100	17	30	17	63	83	66	91	57	66
Wang	25~50	100	-	-	18	60	110	75	120	63	72
Fuller	30~50	100	-	-	19	61	110	75	122	59	75
Cole	25~50	100	-	33	19	50	100	68	95	60	65
Chung	10~20	100	42	32	18	60	100	68	95	60	65
Kim	5~7	100	42	32	18	60	100	68	95	60	65
Kim	7~12	100	42	32	18	60	100	68	95	60	65
Cho	4~7	100	65	35	18	37	95	59	51	53	65

资料来源：Han（2000）。

自1981年以来，研究者就对理想氨基酸模式有着极大的关注（Wang和Fuller，1989，1990；Fuller，1989；Chung和Baker，1992）。许多国家（美国、澳大利亚、新西兰等）也依据本国对猪的理想氨基酸需要量的研究结果修改了饲养标准。Wang和Fuller（1989）又共同对ARC（1981）的理想蛋白质模式进行了修改，Chung和Baker（1992）论述了仔猪的理想蛋白质模式，Friesen（1994）论述了肥育猪的理想蛋白质模式。最初，理想蛋白质模式是以日粮总氨基酸浓度表示，然而基于日粮蛋白质单个氨基酸的可利用率不同（一般认为消化率是衡量可利用率的最佳指标），并且为了消除饲料或内源带来的误差，氨基酸模式应以回肠末端真可消化氨基酸来表示（Chung和Baker，1992）。经过20多年的研究，理想蛋白质模式已在生产中得到应用，并已发展成为氨基酸平衡饲粮技术，使养猪者从该理论中受益。尤其在现代化养猪生产中，按照“IP”理论配制日粮是相当重要的，其中添加合成氨基酸的低蛋白质日粮就是IP理论应用的结果。猪生长阶段不同，理想氨基酸模式亦不同（表1）。

1.3 人工合成氨基酸的商业化

由于畜牧和水产养殖业的快速发展，我国对合成氨基酸的使用量呈现逐渐上升趋势。目前拥有全套成熟Lys生产工艺的只有美国、日本、中国等少数国家。近年来，国内一些企业加大了对饲料级Lys生产的研制开发力度，使得国产Lys成为国内市场的主流。但同国外一些跨国公司相比，中国Lys企业的国际市场竞争能力还不很强，要成为Lys生产强国还有一段较长的路要走。

1.4 集约化养猪生产的环境污染

开放系统的特点决定城市郊区集约化养猪生产规模必须控制在其所处生态环境承载能力的范围内。然而大城市集约化的养猪生产由于规模大、区域集中、距离农田远、运输成本高等原因，产生的粪便不能以资源的形式投入到农业生产之中，反而变成一种污染物对生态环境造成负面影响，由于集约化的养猪生产不能完全地融入到农业生态系统中，生态系统正常的物质循环和能量流动受到了严重的破坏。

1.4.1 猪粪尿对水体和土壤的污染

猪饲料中大约有60%~70%的氮是以粪和尿的形式排出体外（Dourmad，1999）。在养猪场，用于堆置大量粪尿和排放污水的地面径流，是造成地表水、地下水及土壤污染的一个大的污染源。有关部门试验表明，猪粪尿的溶淋性极强，其所含氮、磷及生物需氧量的溶淋量大，若不及时妥善地处理，流失到地下水中的硝酸盐直接威胁到人类的健康。进入地表水体湖泊的氨态氮、硝酸盐等还可导致水体富营养化和生物多样性的丧失，从而导致水体严重污染，使土地丧失生产能力。有的畜禽场所排放的粪尿及废水，通过粪坑渗滤进入

地下，致使地下水严重污染，水井报废。更为严重的是，有的养猪场所排出的粪便，长期在积粪场内堆积存放，结果使粪尿中所含大量的含氮化合物在土壤生物的作用下，通过氨化、硝化等化学反应过程，导致地下水和土壤中硝酸盐含量日渐增高，不仅严重影响人体健康，而且还会使土层结构遭到破坏，地表植被消失，土壤丧失还原能力，而且还会为有害微生物以及致病菌和寄生虫卵的繁衍，提供适宜的环境条件，最终导致畜禽发病率的上升。

1.4.2 猪粪尿对大气环境的污染

粪便经微生物的分解可以产生168种以上挥发性物质，其中30种具有恶臭味（O'Neil, 1992）。畜舍小环境内恶臭气体对人和动物的危害与其浓度和作用时间有关。低浓度、短时间作用一般不会有显著危害，而高浓度臭气往往导致对人和动物体健康损害的急性症状。集约化畜牧生产由于饲养密度大，生产周期快，畜舍内的通风换气设备有时难以达到相应规定的要求，因此危害的发生率也较高。值得注意的是低浓度、长时间作用也会产生慢性中毒的危险，对人畜健康和家畜生产力产生渐进性危害。

氨气是猪场臭气中的主要成分，对空气质量产生直接的影响。粪便氮在有氧条件下可转变为氨气，氨气的化学性质活跃，能对生态环境产生酸性效应和毒副作用（Wilson, 1994），反硝化过程产生的一氧化二氮能产生温室效应，硝酸根离子会引起酸雨。另一方面，挥发的氨气随着降雨沉积于水体或土壤中，将会造成植物的营养化或改变生态结构，从而对生物多样性产生一定的影响（Soggard, 2002）。畜牧生产已经成为大气最主要的氨气排放来源（表2），大约占到全球氨气排放的一半以上，在畜牧生产高度集约化的地区（如欧洲）甚至达到了70%。从全球来看，畜禽生产的氨气挥发几乎占到整个挥发量的50%，而其中猪生产的挥发量占13%（Asman, 1992）。

氨气是畜舍空气中降低日增重和饲料利用率的主要成分，氨被动物吸入呼吸系统后，可引起上部呼吸道黏膜充血、支气管炎、严重者引起水肿、肺出血等。氨气进入肺泡后，可由肺泡上皮组织进入血液，破坏血液运氧能力。高浓度氨可直接刺激机体组织，可使组织溶解、坏死；还能引起中枢神经系统麻痹，中毒性肝病，心肌损伤等（邓建国，2001）。氨气能够引起家畜呼吸道和眼睛损伤，也是导致猪的萎缩性鼻炎或地方性支气管炎的一个重要协同因素。

表2 猪粪便中污染平均含量 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$

项目	化学需氧量	生物需氧量	氨氮	总磷	总氮
粪	52	57.03	3.08	3.41	5.88
尿	9	5.00	1.43	0.52	3.30

资料来源：杨朝飞（2002）。

因此，减少畜舍内臭气具有较高的经济价值，而且还有利于养殖人员的健康。

1.4.3 传播人畜共患疾病，直接危害人类健康

据世界卫生组织和联合国粮农组织的有关资料，目前已有200种“人畜共患传染病”，其中较为严重的至少有89种，而这些人畜（禽）共患传染病的传播载体，主要是畜禽粪尿排泄场。诸如炭疽、禽流感、口蹄疫、布氏杆菌病、结核病等，均系世人共知的人畜共患传染病。据西方一些科学家研究报道，很多新的流感病毒，就是在猪身上相互作用后而产生的（邓学法，1999）。

1.5 蛋白质饲料原料的短缺与价格的飞涨

随着我国人口的增加，国民生活水平的不断提高，大豆生产严重不足，2006年进口3000万t左右，进口量高于国内生产总量。豆粕作为大豆榨油后的副产品，也是畜禽养殖的主要蛋白饲料原料，其价格受美国大豆期货市场影响较大，同时也受我国大豆进口数量、畜牧生产形势的影响。从目前情况看，豆粕价格仍将保持平稳波动态势，预计价格在2100-2400元/t波动。

鱼粉价格的高低主要受养殖业，特别是水产养殖业的发展程度、国际市场鱼粉产量及价格和鱼粉进口数量的影响。随着国内水产养殖业的迅猛发展，鱼粉资源供不应求的矛盾更加突出，价格也将受影响。

2 配制低蛋白质日粮的注意事项

2.1 日粮内氨基酸的合理比值

日粮蛋白质降低时，氨基酸的浓度也随之降低而不能满足猪的营养需要，过去认为的非必需氨基酸可能变成必需氨基酸。因此，日粮蛋白质降低时，日粮内氨基酸平衡显得相当重要。

2.1.1 赖氨酸（Lys）与精氨酸（Arg）的平衡

日粮中过量Lys妨碍Arg的吸收，这是因为它们具有相同的消化吸收途径和肾小管重吸收途径，而Lys代谢比Arg慢，所以Arg对Lys的影响较小。日粮过量的Lys又能激活肾脏线粒体中存在的降解Arg的精氨酸酶，加快Arg的分解。为了避免因Lys含量过量导致Arg降解造成Arg缺乏而影响生产性能，一般家禽日粮Lys含量与Arg的比值不超过1.2。

2.1.2 赖氨酸（Lys）与缬氨酸（Val）的平衡

在哺乳母猪日粮中添加晶体Lys应慎重，Lys虽然能提高日粮蛋白质质量，但会造成Val缺乏，可能会影响母猪产奶量从而降低仔猪断奶体重。这是因为添加Lys时，日粮中豆粕的使用量会减少，而除豆粕以外的其他饲料中的Val含量较低。已充分证实，Val用于合成乳的比率比其他大多数氨基酸强，哺乳母猪对Val的需要远超过以前的估计量。试验证明，窝产仔较多的母猪，在日粮中Lys含量保持不变的情况下添加Val，仔猪的增重明显加快，Val与Lys的比值应为1.17，高产母猪对Val与Lys的需要量比值应为1.2（刘国庆译，1995）。

2.1.3 色氨酸（Trp）与大分子中性氨基酸（LNAA）的平衡

Trp是一种具有代谢活性的氨基酸，它是合成脑血清素（5-羟色胺，5-HT）的前体，血清素与其他神经传递物质一起通过中枢神经控制动物采食。Trp与LNAA（Ile、Leu、Val、Phe、Tyr）在肠道吸收和通过血脑屏障时相互竞争，从而干扰脑中血清素的合成（刘丽梅，1995）。Trp缺乏者会引起下丘脑血清素降低（特别是母猪），从而抑制动物采食。试验表明，日粮中Trp/LNAA的比值由2.37降至1.78时，猪采食量减少24%，日增重降低32%，料重比增加19%。

2.1.4 精氨酸（Arg）和蛋氨酸（Met）以及亮氨酸（Leu）和缬氨酸的平衡

玉米-大豆粕日粮Met不足，就会影响雏鸡的生产性能，而日粮中过多添加Arg就会显著降低血浆Met浓度。因为Arg过量，使机体组织的肌酸含量增加，合成肌酸所需的甲基增加，致使Met的需要量增加。而过多添加Met引起Thr的再次缺乏，最后导致生产性能下降（杨禄良译，1994）。日粮Leu过剩，使异亮氨酸（Ile）和Val的需要量显著增加。因为Leu过剩时，可加速体内的Ile分解，血液Ile和Val浓度显著下降。

2.2 应用净能体系

净能（NE）评价体系是唯一表示动物能量需求和饲料能值相统一的方法。消化能（DE）和代谢能（ME）评价体系虽分别考虑了消化和代谢过程中出现的能量损失情况，但未完全考虑能量在体内代谢的整个过程的消耗，NE体系考虑了能量利用过程中所造成的全部损失，因此，NE是衡量动物维持和生产所需能量的最佳指标。用DE或ME对饲料进行评价时，受饲料种类的影响较大，而NE评价体系比较稳定，不受饲料种类的影响，当日粮中增加脂肪及其副产品或降低蛋白质水平时，应用NE评价体系具有独特的优势。

在大多数试验中，添加合成氨基酸降低蛋白质水平可显著降低N排泄量（Canh，1998；Zervas，2002；Figueroa，2002）。然而低蛋白质日粮有使猪胴体变肥的趋势（Kerr，1995；Tui toek，1997；Knowles，1998；Figueroa，2002；Shiver，2003；Kerr，2006）。低蛋白质日粮补充必需氨基酸减少动物能量损失，减少多余氨基酸的脱氨基作用、尿素的连续合成和排泄、降低体蛋白周转和动物产热，使能量在体内的利用率增加。且以DE和ME为基础时不能对上述代谢过程作出估计，使多余的能量以脂肪形式沉积下来，胴体变肥。

Dourmad（1993）将日粮能量调整到相同NE水平，蛋白质水平不影响背膘厚度。Le Bell ego（2001，2002）的试验结果也证实用NE配制低蛋白质日粮能够控制能量沉积和胴体

脂肪，而且表明在低蛋白质情况下DE需要量降低。虽然对NE的直接测定比较困难，但仍可通过回归方法根据饲料中的养分或依据DE，ME与NE的回归关系来推算。目前，NE评价体系有以下几种：NEs (Schiemann, 1972)、NEj (Just, 1982)、NEg (Noblet, 1994)、NE_{nl} (CBV 1994, 1997)和NE_{dk} (Boisen, 1998)，这些体系是依据不同假说，在不同试验条件下建立起来的，因此用它们估测的饲料能值也不相同，但目前比较认可和应用较多的是NEg。Dourmad (1993)和Le Bellego (2001, 2002)采用的是NEg，从试验结果可知猪的生产性能和背膘厚度没有因日粮化学成分的改变而改变，因此用NEg得到的估计值比较接近饲料在动物体内的真实能值。

2.3 添加适量的肽或相应的肽制品

许多研究表明，以添加合成氨基酸形式降低日粮蛋白质水平有一定的限度，日粮完整蛋白质的某些特殊生理作用是合成氨基酸无法替代的。小肽在单胃动物肠道内可以直接吸收，其吸收体系与游离氨基酸吸收无关，且小肽的吸收速率可能比游离氨基酸更快。近年来的研究表明，体内一些活性肽的结构完全与一些蛋白质在消化道中降解后生成的片段结构相同，蛋白质的营养作用并非仅仅提供氨基酸，因而一些学者提出“动物需要一定量的完整蛋白质才能达到最佳的生长效率” (Jensen, 1991)。Shiraga (1999)在标准日粮中添加Gly-Phe饲喂大鼠3d，可以诱导小肽载体1 (PepT1) 基因的表达，日粮二肽浓度增加后，PepT1对二肽转运活性增强的主要原因是二肽和游离氨基酸间接活化PepT1启动子，PepT1基因转录活性增强，在刷状缘细胞膜上PepT1的表达增多。因此，饲料中添加少量肽制品可以显著地提高动物生长速度，改善饲料利用率。

2.4 以蛋白质/能量为基础

日粮能量浓度与猪蛋白质需要量也有很大关系。研究表明：当日粮能量浓度高于或低于常规谷物-豆粕日粮能量浓度时，以占日粮百分比表示的蛋白质需要量应分别向上或向下调整，当日粮能量浓度增加时，蛋白质需要量增加。Rademacher (1998) 研究指出，由于能量进食量显著影响粗蛋白需要量，所以生长猪日粮配制应以蛋白质/能量的比值为基础。

(参考文献略)