



ZHU YING YANG XU YAO

猪营养需要

(第十次修订版)

NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE
Tenth Revised Edition

1998

[美]国家研究委员会 著

谯仕彦 郑春田 姜建阳 等译

李德发 杨胜 审校



中国农业大学出版社



猪 营 养 需 要

(第十次修订版)

NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE
Tenth Revised Edition
1998

[美]国家研究委员会 著

谯仕彦 郑春田 姜建阳 等译
李德发 杨 胜 审校

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

猪营养需要/(美)国家研究委员会著; 譙仕彦等译. —北京: 中国农业大学出版社, 1998. 10
ISBN 7-81002-973-8

I. 猪… II. ①国…②譙… III. 猪-家畜营养学 IV. S828.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 21312 号

出版外国图书合同登记 图字:01-98-0763

出版 中国农业大学出版社
发行 中国农业大学出版社
经销 新华书店
印刷 北京丰华印刷厂印刷
版次 1998年10月第1版
印次 1998年10月第1次印刷
开本 16 18.25 印张 450千字
规格 787×1092
印数 1~5000
定价: 35.00元

总 论

猪需要能量、氨基酸、维生素和水以用于维持、生长、繁殖和泌乳。肌肉和脂肪组织、骨骼、毛发、皮肤和其它体成分的合成导致了水、蛋白质、脂类和灰分的沉积,但这取决于日粮营养物质的充足供应。这些营养物质必须以适口性好且可被有效利用的形式足量供应,以使猪达到最佳的生长、繁殖和泌乳。

自1944年以来,国家研究委员会(NRC)已发行了9版《猪营养需要》。《猪营养需要》的发行对营养学家和其他专业人员在开发和执行猪的营养与饲喂计划方面起了指导作用。第十版继承了这一传统,但形式上与前几版非常不同。增加了一些讨论当前问题的章节;表格内容更加全面;采用了数学积分方程(模型)估计能量和蛋白质需要量;计算机程序和软件可使用户建立特定体重和生产水平猪的营养需要量表。

第一章阐述的是能量。综述了有关猪消化能(DE)、代谢能(ME)和净能(NE)需要量方面的新资料。提供了通过化学组成预测消化能、代谢能和净能的方程。本章增加了有关影响猪能量需要量的新信息。

蛋白质和氨基酸这一章(第二章)主要讨论了赖氨酸(多数猪饲料中的第一限制性氨基酸)及与赖氨酸需要量有关的新信息。描述了生长猪最大瘦肉组织合成和妊娠及哺乳母猪最佳生产性能所需的各种必需氨基酸与赖氨酸“理想比例”这一概念。进一步讨论了真可消化和表观可消化基础上的氨基酸效价。增加了公猪氨基酸需要量这一节。

第三章讨论的是利用数学模型估计猪的能量和氨基酸需要量。这一章描述了分委员会利用模拟方法推算20~120 kg生长肥育猪及妊娠和哺乳母猪的氨基酸需要量。生长模型是基于猪的瘦肉生长速度建立的。它可以估计给定体重猪为使蛋白质沉积量最大每日所需的真可消化赖氨酸量。这样,猪的日粮氨基酸需要量就可以通过日采食量估算出;日采食量的估算反过来又以猪的体重、性别、环境状况和日粮消化能浓度为基础。其它必需氨基酸需要量是以用于维持和蛋白质沉积所需其它必需氨基酸与赖氨酸的理想比例为基础估算出来的。妊娠模型是以配种体重、目标妊娠增重和窝产仔数为基础估计母猪的能量和氨基酸需要量。泌乳模型是以母猪产后体重、哺乳期重量变化和仔猪日增重(反映母猪泌乳量)为基础估计母猪的能量和氨基酸需要量。

矿物质和维生素这两章增补了自上一版发行以来所报道的研究结果。铬被认为是猪的必需微量元素。提高了幼猪钠和氯的需要量及妊娠和哺乳母猪锰的需要量;提供了有关矿物质生物学效价的新信息。基于新的研究资料,提高了妊娠和哺乳母猪维生素E和叶酸的需要量。

有关水这一章的内容已被扩展。除了对各类型猪水需要量的讨论增多以外,这一章还综述了影响饮水质量的各种因素。非营养性添加剂这一章在内容上增加了抗菌剂和其它饲料添加剂,包括驱虫剂、微生物添加剂、寡糖、酶、酸制剂、调味剂、气味控制剂、抗氧化剂、颗粒粘合剂、流散剂、矿物质添加剂和胴体改良剂。

第十版中新增了一章关于营养物质排出的内容。这一章讨论了营养物质特别是氮和磷的过多排出对环境的潜在影响及通过日粮控制减少潜在环境污染物质排出的方法。

更新了饲料原料组成成分数据,并且增加了 23 种饲料原料,从而使表格中的饲料原料达到了 79 种。增加了饲料原料中净能、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和 β -胡萝卜素含量这四项指标,删除了粗纤维含量指标。修订后的饲料原料中维生素 E 的含量仅包括通过高效液相色谱法测定的数值。新表中给出了饲料原料中氨基酸的表观可消化和真可消化系数。另外一些新表中给出了脂肪源中的脂肪酸组成及通过粗蛋白质含量估算出的饲料原料中 4 种常见限制性氨基酸的含量。

最后,修订和更新了营养需要量表。氨基酸需要量是以分委员会对控制用于生长、繁殖和泌乳的蛋白质及脂肪沉积的生物学关系的评估为基础确定的。本版所给出的所有营养物质包括氨基酸需要量的估计值是基于本分会成员通过全面综述全世界相关科技文献做出的最好判断。

与前几版一样,本版所给出的营养需要量估计值是指最低标准,不包括任何安全供给量。因而,它们不应被认为是推荐供给量。在某些情况下,专业营养学家可有选择地增加较为临界缺乏的营养物质水平以包含“安全边际”(但这一点不适用于硒)。另外较为重要的一点是,本版中的矿物质和维生素需要量估计值包括天然饲料中这些营养物质的含量,而不是日粮中应添加的量。

自上一版发行以来,有关猪营养需要量的知识已极大地扩展。但是,有关在生命周期不同生长阶段几种营养物质需要量的资料仍然相互矛盾、不完全或根本没有资料。这对于许多维生素和矿物质尤其如此,特别是对于妊娠和哺乳母猪。有关这方面尚需进一步研究。

特别需要提醒用户的是,本版所描述的原理或假设绝对是正确使用模型和营养需要量表所必需的。

序

养猪业是美国乃至全世界肉食工业的重要组成部分。猪肉是能量、蛋白质、矿物质和维生素的重要来源,是全世界消费最广泛的红肉。正确配合日粮是提高养猪生产效率并尽量减少环境污染的基本途径。日粮的正确配合取决于对猪营养需要量和营养源营养特性的认识和理解。《猪营养需要》第十版对猪的营养需要量进行了重新评估,并增加了用于确定需要量的新信息。

自1988年《猪营养需要》第九版出版以来,猪营养方面的新知识大量涌现。现在关于生长速度、胴体瘦肉率、性别、健康、环境温度、拥挤和胴体改良剂对生长猪营养需要量影响的认识和理解更加深刻。哺喂多仔的高产母猪对营养物质的需要量更高,这一点现在已被更好地理解。此外,现已可得到关于营养物质生物学利用率的新资料。对营养需要量和营养源的更好理解,可使人们更精确地配制饲料以满足猪的营养需要且尽量减少排入环境中的营养物质。

本版的主要变化是分委员会以数学积分方程形式(模型)提供了用于确定能量和氨基酸需要量的生物学基础。分委员会竭力使这些模型简单、明了(即内在部分易于被用户理解)且与经验数据紧密结合。建立这些有效模型极其费力耗时。尽管这些模型尚不完善,但分委员会认为这较之先前确定需要量的体系有明显的改进,并为将来的分委员会进一步完善这些模型提供基础。

用户可根据猪的瘦肉生长速度、性别和环境状况,建立不同体重生长肥育猪营养需要量表。相似地,妊娠和哺乳母猪的能量和氨基酸需要量亦可通过模型估计。用户可建立不同体重、不同妊娠增重和泌乳量母猪的营养需要量表。为达到这一目的,本版增加了含有这些模型的计算机程序。

模型是以真回肠可消化氨基酸为基础确定氨基酸的需要量。氨基酸需要量以真可消化、表观可消化和总氨基酸形式提供给用户,并且以玉米和豆粕为主要饲料成分。这些模型还估计了妊娠和哺乳母猪的能量需要量及自由采食生长猪的能量摄入量。生长模型还包括了估测不同体重生长猪矿物质和维生素需要量的方程。

第十版中还包括了其它新信息。描述了最小养分排出,扩展了对非营养性添加剂的讨论。此外,还包括了有关更多饲料原料的营养组成及氨基酸(真和表观回肠可消化基础)、磷和其它营养物质生物学利用率的新信息。营养需要量表也提供了比前几版更多的信息。

受农业部动物营养委员会委托,猪营养学分会于1994年12月开始工作,1997年12月结束,1998年4月出版并发行该书。

GARY L. CROMWELL, *Chair*
猪营养学分会主席

目 录

| | |
|-----------------|--------|
| 总论 | (1) |
| 第一章 能量 | (1) |
| 能量分类 | (1) |
| 总能 | (1) |
| 消化能 | (1) |
| 代谢能 | (2) |
| 净能 | (3) |
| 产热 | (3) |
| 温度 | (3) |
| 活动量 | (4) |
| 能量需要量 | (4) |
| 维持需要量(ME_m) | (4) |
| 生长需要 | (5) |
| 妊娠需要 | (5) |
| 泌乳需要 | (6) |
| 后备公猪和青年母猪 | (6) |
| 配种公猪 | (7) |
| 能量来源 | (7) |
| 糖和淀粉 | (7) |
| 非淀粉多糖 | (7) |
| 脂类 | (8) |
| 随意采食量 | (9) |
| 哺乳仔猪 | (10) |
| 断奶仔猪 | (10) |
| 生长肥育猪 | (10) |
| 母猪 | (11) |
| 参考文献 | (11) |
| 第二章 蛋白质和氨基酸 | (20) |
| 必需氨基酸和非必需氨基酸 | (20) |
| 日粮中的氨基酸 | (21) |
| 氨基酸之间的比例(理想蛋白质) | (21) |
| 氨基酸的生物学利用率 | (22) |
| 氨基酸异构体 | (23) |
| 氨基酸的缺乏和过剩 | (23) |

| | |
|--------------------------|--------|
| 氨基酸需要量 | (24) |
| 仔猪 | (24) |
| 生长肥育猪 | (33) |
| 母猪 | (33) |
| 公猪 | (35) |
| 参考文献 | (36) |
| 第三章 能量和氨基酸需要量估测模型 | (46) |
| 模型概述 | (46) |
| 生长肥育猪 | (47) |
| 赖氨酸需要量 | (47) |
| 其它氨基酸需要量 | (52) |
| 氨基酸需要量的表示 | (52) |
| 妊娠母猪 | (54) |
| 体增重组成 | (54) |
| 能量需要量 | (55) |
| 赖氨酸需要量 | (55) |
| 其它氨基酸需要量 | (56) |
| 氨基酸需要量的表示 | (56) |
| 泌乳母猪 | (56) |
| 能量需要量 | (56) |
| 赖氨酸需要量 | (57) |
| 其它氨基酸需要量 | (58) |
| 氨基酸需要量的表示 | (59) |
| 断奶仔猪 | (59) |
| 矿物质与维生素需要量 | (60) |
| 模型评价 | (62) |
| 生长模型 | (62) |
| 妊娠模型 | (64) |
| 泌乳模型 | (64) |
| 参考文献 | (65) |
| 第四章 矿物质 | (68) |
| 常量元素 | (68) |
| 钙和磷 | (68) |
| 钠和氯 | (71) |
| 镁 | (72) |
| 钾 | (72) |
| 硫 | (73) |
| 微量元素 | (73) |
| 铬 | (73) |

| | |
|--------------------------------|--------|
| 钴..... | (74) |
| 铜..... | (74) |
| 碘..... | (75) |
| 铁..... | (76) |
| 锰..... | (77) |
| 硒..... | (78) |
| 锌..... | (79) |
| 参考文献..... | (80) |
| 第五章 维生素 | (110) |
| 脂溶性维生素..... | (110) |
| 维生素 A | (110) |
| 维生素 D | (112) |
| 维生素 E | (113) |
| 维生素 K | (114) |
| 水溶性维生素..... | (115) |
| 生物素..... | (115) |
| 胆碱..... | (116) |
| 叶酸..... | (118) |
| 烟酸..... | (119) |
| 泛酸..... | (119) |
| 核黄素..... | (120) |
| 硫胺素..... | (120) |
| 维生素 B ₆ (吡哆醇) | (121) |
| 维生素 B ₁₂ | (122) |
| 维生素 C(抗坏血酸)..... | (123) |
| 参考文献..... | (124) |
| 第六章 水 | (142) |
| 水的功能..... | (142) |
| 水的周转..... | (142) |
| 水的需要量..... | (143) |
| 哺乳仔猪..... | (143) |
| 断奶仔猪..... | (144) |
| 生长肥育猪..... | (144) |
| 妊娠母猪..... | (145) |
| 泌乳母猪..... | (145) |
| 公猪..... | (146) |
| 水的品质..... | (146) |

| | |
|---------------------------|--------------|
| 参考文献..... | (148) |
| 第七章 非营养性饲料添加剂..... | (153) |
| 添加剂..... | (153) |
| 抗菌剂..... | (153) |
| 驱虫药..... | (154) |
| 微生物添加剂..... | (154) |
| 寡糖..... | (154) |
| 酶..... | (154) |
| 酸制剂..... | (155) |
| 调味剂..... | (155) |
| 除臭剂..... | (155) |
| 抗氧化剂..... | (155) |
| 颗粒粘合剂..... | (155) |
| 流散剂..... | (155) |
| 矿物质添加剂..... | (156) |
| 胴体品质改良剂..... | (156) |
| 安全问题..... | (156) |
| 使用规定..... | (157) |
| 参考文献..... | (157) |
| 第八章 减少营养物质排出量..... | (163) |
| 参考文献..... | (165) |
| 第九章 日粮配制..... | (168) |
| 配制玉米—豆粕型日粮..... | (168) |
| 配制..... | (168) |
| 第十章 营养需要量表..... | (172) |
| 第十一章 饲料原料组成..... | (190) |
| 参考文献..... | (226) |
| 附录 1 预测营养需要量的数学方程..... | (229) |
| 附录 2 确定猪瘦肉生长速度的方程..... | (236) |
| 附录 3 建立三次回归方程的方法..... | (238) |
| 附录 4 模型应用指南..... | (240) |
| 附录 5 帮助屏幕..... | (262) |
| 作者简介..... | (274) |

第一章 能 量

能量是有机分子氧化时产生的。能量通常以热量形式释放或以高能键形式贮存以用于随后动物代谢过程的需要。

饲料能量含量可用总能(GE)、消化能(DE)、代谢能(ME)或净能(NE)表示,度量单位为卡(cal)、千卡(kcal)或兆卡(Mcal)。能量也可用焦耳(J)、千焦耳(kJ)和兆焦耳(MJ)表示(1 Mcal=4.184 MJ, 1 MJ=0.239 Mcal, 1 MJ=239 kcal)。本版描述能量需要和饲料能量含量所用的术语,与《家畜营养动物学和能量术语汇编》中充分讨论与定义的术语相似(NRC, 1981)。Whittemore 和 Morgan (1990)、Chwalibog (1991)、Ewan (1991)、Noblet 和 Henry (1991)及 Hoffmann (1994)发表了有关猪对能量利用的综述文章。

用猪测定饲料中的能值很困难且工作量大。早先,能值一般根据鸡饲料中的研究结果进行估测或根据总可消化养分(TDN)计算(NRC, 1971)而来。自 Diggs 等(1959, 1965)和 Tollett (1961)开始用猪直接测定饲料原料能值以来,饲料能量数据库内容一直在增加。Ewan(1996)汇编了世界各地各种饲料原料的能值,对于不能用猪直接获得的饲料能量浓度,可根据饲料化学成分进行估测。在本章给出了根据化学成分估测能值的方程式。方程式中,所有能量和养分浓度均以干物质为基础。

能量分类

总能

总是物质在氧弹式测热器中燃烧所产生的能量。一种饲料原料的 GE 浓度与该饲料中碳水化合物、脂肪和蛋白质含量间存在比例有关。水和矿物质不产生能量,而碳水化合物可提供 3.7(葡萄糖)~ 4.2(淀粉)kcal/g 的能量,蛋白质可提供 5.6 kcal/g 的能量,脂肪可提供 9.4 kcal/g 的能量。假如已知一种饲料的成分,便可非常准确地估测出 GE。Ewan (1989)提出了根据醚浸出物 (EE)、粗蛋白质(CP)和灰分(Ash)含量估测总能公式:

$$GE=4143+(56\times EE\%)+(15\times CP\%)-(44\times Ash\%), \quad R^2=0.98 \quad (1-1)$$

消化能

采食的日粮总能减去粪能等于消化能(DE)。在饲料原料评定过程中,表观非消化能是一个主要的可变因素。Farrell (1978), ARC (1981), Morgan 和 Whittemore (1982)认为,用 DE 描述猪的能量需要量和猪饲料能量含量更合适,因为 DE 易于准确测定且大体上具有可加性。此外,多数常用饲料消化能值现已可得。一般情况下,DE 是指表观消化能,它考虑粪中内源代谢能。

饲料原料的化学组成决定 DE 的高低。醚浸出物含量愈高,DE 愈高,而纤维素和灰分则反之。根据饲料原料化学组成估测 DE(kcal/kg)的公式如下:

$$DE = -174 + (0.848 \times GE) + (2 \times SCHO\%) - (16 \times ADF\%)$$

$$R^2 = 0.87; \text{Ewan}(1989) \quad (1-2)$$

$$DE = 949 + (0.789 \times GE) - (43 \times \text{Ash}\%) - (41 \times \text{NDF}\%)$$

$$R^2 = 0.91; \text{Noblet 和 Perez}(1993) \quad (1-3)$$

$$DE = 4,151 - (122 \times \text{Ash}\%) + (23 \times \text{CP}\%) + (38 \times \text{EE}\%) - (64 \times \text{CF}\%)$$

$$R^2 = 0.89; \text{Noblet 和 Perez}(1993) \quad (1-4)$$

其中, SCHO 表示可溶性碳水化合物, 其含量可根据下式计算:

$$SCHO\% = 100 - (\text{CP}\% + \text{EE}\% + \text{Ash}\% + \text{NDF}\%)$$

ADF 表示酸性洗涤纤维;

NDF 表示中性洗涤纤维;

CF 表示粗纤维。

日粮能量消化率随体重增加而略有提高(Noblet 和 Shi, 1993), 这是因为增加了大肠中非可消化碳水化合物的降解。Noblet 和 Shi(1993)提出, 对于育肥猪, 尤其是限制采食量的母猪, DE 浓度(kcal/kg)可根据下列关系式进行校正:

$$DE = 1391 + (0.58 \times DE) + (23 \times \text{EE}\%) + (12.7 \times \text{CP}\%), \quad R^2 = 0.96 \quad (1-5)$$

$$\text{或 } DE = -712 + (1.14 \times DE) + (33 \times \text{NDF}\%), \quad R^2 = 0.93 \quad (1-6)$$

代谢能

消化能减去肠道气体能和尿能损失等于代谢能(ME)。猪消化道气体能损失通常占 DE 的 0.1%~3.0% (Noblet 等, 1989b; Shi 和 Noblet, 1993)。因为这部分能量数量少且不易被测定, 一般忽略不计。对于大多数在北美实际应用的猪日粮, ME 约为 DE 的 94%~97%, 平均为 96% (Farrell, 1979; ARC, 1981)。

有时根据体内氮存留或氮损失对 ME 浓度进行校正(MEn, Morgan 等, 1975)。如果蛋白质中的氨基酸被降解供能, 则以蛋白质形式贮存的能量总体上不能被动物恢复, 所以, 将 ME 校正到氮平衡为零。将 ME 校正到氮平衡为零, 这对成年猪有效, 但对氮存留量相当大的生长猪则无效。因此, 校正可能没有必要(Farrell, 1979)或必须保证恒定的正氮存留。所采用的校正因子一般用尿中总能/每克尿氮表示。对于猪, Diggs 等(1959)、Morgan 等(1975)和 Wu 和 Ewan(1979)所采用的校正因子分别为 6.77 ME/g 尿氮、9.17 ME/g 尿氮和 7.83 kcal ME/g 尿氮。当处于负氮平衡时加上校正因子, 正氮平衡时减去校正因子。

假如蛋白质质量差或数量过剩, 则 ME 降低。这是因为未用于蛋白质合成的氨基酸被分解作为能源, 而氮从尿中排出, 因此, 尿中氮含量增加, 尿中能量损失也相应增加, 从而导致日粮 ME 下降。根据 DE(kcal/kg)和 CP 含量用下列任何一个关系式可估测 ME(kcal/kg):

$$ME = DE \times (1.012 - (0.0019 \times \text{CP}\%)), \quad R^2 = 0.91; \text{May 和 Bell}(1971) \quad (1-7)$$

$$ME = DE \times (0.998 - (0.002 \times \text{CP}\%)), \quad R^2 = 0.54; \text{Noblet 等}(1989c) \quad (1-8)$$

$$ME = DE \times (1.003 - (0.0021 \times \text{CP}\%)), \quad R^2 = 0.48; \text{Noblet 和 Perez}(1993) \quad (1-9)$$

对于肥育猪或限饲母猪, 由于消化率得到改善, 日粮代谢能相应提高。Noblet 和 Shi(1993)提出, 如果将用生长猪(<60kg)测定的 ME 含量用于肥育猪或母猪时, 应根据下面的公式进行校正:

$$ME = 1107 + (0.64 \times ME) + (22.9 \times \text{EE}\%) + (6.9 \times \text{CP}\%), \quad R^2 = 0.96 \quad (1-10)$$

$$\text{或 ME} = -946 + (1.17 \times \text{ME}) + (3.15 \times \text{NDF}\%), \quad R^2 = 0.94 \quad (1-11)$$

净能

净能(NE)是代谢能(ME)与热增耗(HI)之差。HI是消化和代谢过程中所释放的能量,不用于生产,但可用于在寒冷环境中维持体温。因此,净能是动物用于维持(NE_m)和生产(NE_p)的那部分能量。用于维持的能量(NE_m)也以热能形式散发,所以,总的产热量是HI和 NE_m 的总和。评定NE需进行能量平衡或产热量测定。如果能量被用于维持体况或多余活动,则 NE_p 下降。这说明尽管NE难以测定,但它是衡量动物维持和生产能量所需要的最佳指标(Noblet等,1994)。

对于喂常规日粮,饲养在中立温度区条件下的猪,NE与ME比值范围为0.66~0.75(Thorbeck,1975;Noblet等,1994)。Ewan(1976)、Phillips和Ewan(1977)及Pals和Ewan(1978)报道,生长猪能量用于贮存和维持的利用效率变化范围很大,粉碎小麦为27%,玉米为69%、豆油为75%。Noblet等(1994)报道体重45~150kg猪对菜籽油、玉米淀粉、蔗糖、蛋白质和纤维素的能量利用效率分别为90%,82%,80%,72%和60%。有关饲料NE与其化学组成间关系的部分报道如下:

$$\text{NE} = 328 + (0.599 \times \text{ME}) - (15 \times \text{Ash}\%) - (30 \times \text{ADF}\%) \\ R^2 = 0.81; \text{Ewan}(1989) \quad (1-12)$$

$$\text{NE} = (0.726 \times \text{ME}) + (13.3 \times \text{EE}\%) + (3.9 \times \text{St}\%) - (6.7 \times \text{CP}\%) - (8.7 \times \text{ADF}\%) \\ R^2 = 0.97; \text{Noblet等}(1994) \quad (1-13)$$

$$\text{NE} = 2790 + (41.2 \times \text{EE}\%) + (8.1 \times \text{St}\%) - (66.5 \times \text{Ash}\%) - (47.2 \times \text{ADF}\%) \\ R^2 = 0.90; \text{Noblet等}(1994) \quad (1-14)$$

其中,St表示淀粉。

产 热

总产热量的测定包括HI、维持所需能量、环境变化引起的能量支出这三部分。影响产热的主要环境因素是温度和身体活动。

温度

当环境温度($T, ^\circ\text{C}$)低于临界温度($T_c, ^\circ\text{C}$)时,寒冷产热作用影响能量需要量。临界温度是指低于该温度动物必须增加产热量以维持体温。低于临界温度,猪必须提高代谢产热速度以维持体温恒定(NRC,1981)。改变动物和环境之间能量交换速度的因素均可改变临界温度(NRC,1981)。寒冷产热作用所消耗的能量可用下列方程式描述:

$$\text{MEHc}(\text{kcal ME}/\text{天}) = [(0.313 \times \text{BW}) + 22.71] \times (T_c - T) \quad (1-15)$$

式中,MEHc是寒冷产热作用所消耗的能量;BW代表动物体重,单位:kg; T_c 和 T 用 $^\circ\text{C}$ 表示(ARC,1981)。Verstegen等(1982)估测,环境温度每低于临界温度 1°C ,生长猪(25~60kg)每天需要额外增加25g饲料(80kcal ME/天),而对于肥育猪(60~100kg),则每天需要额外增加39g饲料(125kcal ME/天)。

比临界温度(18~20℃)下限每低1℃,每千克代谢体重($W^{0.75}$)产热量增加大约3.7~4.5 kcal (Noblet等,1985;Close和Poorman,1993)。群体舍饲,使用垫草和降低通风速度均可降低临界温度的下限。对于体重180 kg个体舍饲于水泥地面的母猪,环境温度每低于临界温度下限1℃,用于维持体温的能量需要增加量约为维持需要的4%(Verstegen等,1987)。

临界温度的上、下限间是等温区,在这种温度下猪的产热量相对稳定。环境温度高于临界温度,则猪采食量降低(Ewan,1976)。NRC(1987)认为,猪的有效环境温度每高于临界温度上限1℃,DE采食量下降1.7%。这里,有效环境温度是指动物所处的实际温度。

活动量

物理活动也影响产热量。Petley和Bayley(1988)测定了在踏车上跑的猪的产热量,结果表明运动猪产热量比对照组高20%。Close和Poorman(1993)计算出,每千克体重用于行走的额外能耗为1.67 kcal。Noblet等(1993)测定,母猪每站立100 min,每千克代谢体重产热增加6.5 kcal。这与Hörnigke(1970)、McDonald等(1988)、Susenbeth和Menke(1991)及Cronin(1986)7.6 kcal/kg $BW^{0.75}$ 的报道结果相似。Noblet等(1993)同时测定,每采食1 kg饲料,需消耗能量24~35 kcal。

能量需要量

维持需要量(ME_m)

维持ME需要量(ME_m)包括维持机体所有功能和适度活动所需能量。维持能量需要通常以代谢体重($BW^{0.75}$)为基础表示。也有人认为以 $BW^{0.67}$ (Heusner,1982)、 $BW^{0.60}$ (Noblet等,1989b)或 $BW^{0.42}$ (Noblet等,1994)表示更为合适。每千克代谢体重ME需要量估测值范围为92~160 kcal ME/kg $BW^{0.75} \cdot \text{天}$,其中大多数介于100和125 kcal ME/kg $BW^{0.75} \cdot \text{天}$ 之间。维持代谢能需要(ME_m)平均估测值为106 kcal ME/kg $BW^{0.75} \cdot \text{天}$ (Whittemore,1976;Böhme等1980;Wenk等,1980;ARC,1981;Noblet和Le Dividich,1982;Campbell和Dunkin,1983;Close和Stanier,1984;McNutt和Ewan,1984;Gadeken等,1985;Noblet等,1985),相当于110 kcal DE/kg $BW^{0.75}$ 。但Whittemore(1983)建议, ME_m 可用下式更准确地描述:

$$ME_m(\text{kcal}) = 442 \times Pt^{0.78} \quad (1-16)$$

式中:Pt表示体蛋白质重量(kg)

Robles和Ewan(1982)报道,每日维持净能需要量(NE_m)为71 kcal/kg $BW^{0.75}$;Just(1982c)报道 NE_m 为78 kcal/kg $BW^{0.75}$;Noblet等(1994)报道 NE_m 为86 kcal/kg $BW^{0.42}$ 。

妊娠期间,能量需要量的60%~80%用于维持。NRC(1988)根据可得到的相关文献总结出,妊娠母猪每天每千克代谢体重维持能量需要量为106 kcal ME或110 kcal DE。Noblet等(1990)根据新近的估测提出,初产和经产母猪为105 kcal ME/kg $BW^{0.75}$ 。Beyer等(1994)根据文献报道所总结出的初产(103 kcal)与上类似。但报道的资料表明随着胎次增加,母猪维持能量需要量增高,第一胎93 kcal ME/kg $BW^{0.75} \cdot \text{天}$,第二胎104 kcal ME/kg $BW^{0.75} \cdot \text{天}$,第四胎113 kcal ME/kg $BW^{0.75} \cdot \text{天}$ 。Whittemore和Yang(1989)根据连续4胎对母猪妊娠和哺乳期间的观察结果及断奶至再妊娠的间隔时间,提出母猪维持能量需要量为115

kcal ME/kg BW^{0.75} · 天。

根据文献报道,对于生长猪,似乎每天维持能量需要量按 106 kcal ME/kg BW^{0.75}或 110 kcal DE/kg BW^{0.75}计算较适宜。Whittemore 和 Morgan (1990)提出维持需要与体蛋白质重量呈以下比例关系:

$$ME_m(\text{kcal/天})=600\times Pt^{0.648} \quad (1-17)$$

泌乳母猪每天维持能量需要量为 106 kcal ME/kg BW^{0.75}或 110 kcal DE/kg BW^{0.75}(NRC,1988),与妊娠母猪相同。但新近一些报道认为泌乳母猪的维持能量需要量可能比妊娠母猪高 5%~10%,这可能反映了与奶合成有关的产热量(Noblet 和 Etienne,1986,1987; Burlacu 等,1986)。

Noblet 等(1989a)报道生长公猪、阉公猪和后备母猪维持能量需要量无差别(112 kcal ME/kg BW^{0.75})。Kemp(1989)报道成年公猪维持能量需要量为 99 kcal ME/kg BW^{0.75}。McCracken 等(1991)测定,成年公猪维持能量需要量为 126 kcal ME/kg BW^{0.75}。尽管有限的可得资料所建议的公猪维持能量需要量较高,但所建议的生长猪和母猪维持能量需要量较适宜(106 kcal ME/kg BW^{0.75}或 110 kcal DE/kg BW^{0.75})。

生长需要

蛋白质存留所需能量(ME_{pr})为 6.8~14.0 Mcal ME/kg,平均为 10.6 Mcal ME/kg (Tess 等,1984)。据文献报道,脂肪贮存所需能量(ME_f)为 9.5~16.3 Mcal ME/kg,平均为 12.5 Mcal ME/kg(Tess 等,1984)。尽管每贮存 1 kg 蛋白质或脂肪消耗的能量大约相等(Wenk 等,1980),但 1 kg 瘦肉组织只含 20%~23%蛋白质,而 1 kg 脂肪组织含 80%~95%脂肪。因此,肌肉沉积消耗的能量比脂肪沉积耗能少得多。

妊娠需要

妊娠母猪饲料和能量需要量因体重、妊娠期目标体增重及其它管理和环境因素而异。ARC(1981)、Cole(1982)、Seerley 和 Ewan(1983)及 Aherne 和 Kirkwood(1985)综述了妊娠期能量摄入量对母猪体重和繁殖性能的影响。Aherne 和 Kirkwood(1985)及 Williams 等(1985)建议,通过喂喂和管理,至少头 3~4 胎,母猪妊娠期间母体自身组织增重应达到 25 kg。胎盘和其它妊娠产物重量应大约为 20 kg,所以,母猪妊娠期间总增重应为 45kg(Verstegen 等,1987; Noblet 等,1990)。

一般而言,如妊娠母猪每天摄入能量高于 6.0 Mcal ME/kg,将增加母猪体重,但对分娩时窝产仔数无显著影响(Elsley,1973;ARC,1981)。Whittemore 等(1984)报道连续 5 胎母猪妊娠期饲料采食量在 1.7~2.3 kg/天之间,对总的产仔数无明显影响。然而,接受最低水平饲料的母猪淘汰率确实较高。有关这方面的多数试验结果表明,随着妊娠期饲料或能量进食量增加,仔猪初生重也相应增加。但是,当母猪饲料采食量增加到 6.0 Mcal ME/天以上时,对初生重的增加影响不明显(Libal 和 Wahlstrom,1977; Henry 和 Etienne,1978; ARC,1981)。

增加妊娠早期母猪饲料采食量,并不能增加初生仔猪数(den Hartog 和 Van Kempen,1980;Toplis 等,1983)。青年母猪配种后头 3 天,高水平饲料采食量(>2.5 kg/天)可降低胚胎存活率约 5%(Aherne 和 Williams,1992)或 15%(Dyck 等,1980)。然而,降低胚胎存活率并不一定引起窝产仔数减少。Elsley 等(1971)和 Cromwell 等(1980,1989)已证明,妊娠期饲料采食

模式对母猪生产性能的影响不如饲料采食量重要。增加妊娠后期母猪饲料采食量可提高仔猪平均初生重(Hillyer 和 Phillips, 1980; Cromwell 等, 1982)。Cromwell 等(1989)也报道, 在妊娠的最后 23 天, 增加饲料采食量 1.36 kg 可提高仔猪初生重 40 g, 21 日龄体重增加 170 g。Weldon 等(1991)报道, 增加青年母猪妊娠第 75~105 天能量摄入量(5.76~10.5 Mcal ME/天), 可降低乳腺细胞数量, 导致产奶量降低。

如果让妊娠母猪自由采食, 则能量摄入量将高于用于维持和妊娠产物所需的能量, 从而导致体脂肪和体蛋白质沉积。随着妊娠期能量摄入量和体增重增加, 泌乳期能量摄入量将降低, 体重损失则增加(Salmon-Legagneur 和 Rérat, 1962; Baker 等, 1969; Brooks 和 Smith, 1980; O'Grady, 1980; Cole, 1982; Williams 等, 1985; Weldon 等, 1994)。因此, 应限制妊娠期能量摄入量以控制体增重。妊娠期每天能量需要量, 包括维持需要能量需要、母体蛋白质和脂肪沉积所需能量以及胚胎发育所需能量。

妊娠期体增重是母体蛋白质和脂肪沉积以及妊娠产物增重的总和。Beyer 等(1994)进行的比较屠宰试验结果表明, 在第一、第二或第四胎喂三种能量水平的母猪子宫、子宫内液、妊娠产物和乳腺组织总增重为 22.8 kg。假定窝产仔数为 10 头, 则相当于每头猪 2.28 kg。蛋白质和脂肪分别增加 2.46 kg 和 0.46 kg。总的能量增加量为 19.94 Mcal。总的母体增重取决于能量摄入量。他们发现, 由于妊娠母猪必须沉积约 20 Mcal NE, 即每天沉积 174 kcal NE。假定 ME 转化为 NE 的利用率为 0.486 (Noblet 和 Etienne, 1987), 则母猪妊娠能量需要量为 358 kcal ME/天。高于维持和妊娠需要的能量, 将用于母体增重, 推测其利用效率与用于生长的能量利用效率相同。

泌乳需要

为保证母猪长期良好的繁殖性能, 必须使泌乳期体重损失降低到最小程度(Dourmad 等, 1994)。这一策略使得下一个妊娠期仅需极少量的体增重。泌乳期间的日能量需要量包括维持需要(ME_m)和产奶需要。产奶需要量可根据哺乳仔猪生长速度和窝仔数估测(Noblet 和 Etienne, 1989)。

$$\text{奶中能量} = (4.92 \times ADG \times N) - (90 \times N) \quad (1-18)$$

上式中, 奶中能量用 kcal GE/天表示, ADG 表示哺乳期间仔猪平均生长速度(g/天), N 表示窝仔数。假定日粮能量转化成奶中能量的效率为 0.72(Noblet 和 Etienne, 1987), 则关系式如下:

$$\text{奶中代谢能} = (6.83 \times ADG \times N) - (125 \times N) \quad (1-19)$$

如果日粮能量采食量不能满足维持和泌乳需要, 将分解体组织以提供产奶所需必要养分。Noblet 和 Etienne(1987)得出结论, 组织能量转化成奶能的效率为 0.88, 这说明主要的能源是脂肪。

后备公猪和青年母猪

后备公猪和青年母猪必须自由采食, 直至大约 100 kg 体重时选为种用, 以便评定其潜在生长速度和瘦肉增重。这些猪选为种用后, 应限制能量摄入量, 以使其在配种时具有理想的体重(Wahlstrom, 1991)。

配种公猪

配种公猪能量需要量是维持、配种活动、精液生成和生长需要的总和。Kemp(1989)报道,用假母猪采集配种公猪精液时,产热量为 $4.3 \text{ kcal DE/kg BW}^{0.75}$ 。Close 和 Roberts(1993)根据配种公猪每次射出精液的平均能量含量(62 kcal DE)及能量利用效率的估计值(0.60),估测了精液生成所需能量,即每次射精的能量需要为 103 kcal DE。

能量来源

糖和淀粉

喂给 7 日龄以内仔猪含有高水平不同种类糖的日粮可获得满意存活率和生长速度,这提示 7 日龄以内仔猪可充分有效地利用葡萄糖和乳糖(Kidder 和 Manners, 1978; Sambrook, 1979)。喂给 7 日龄以内仔猪含果糖或蔗糖的日粮,可导致严重腹泻、失重和死亡率升高(Becker 和 Terrill, 1954; Aherne 等, 1969)。7~10 日龄后,仔猪可利用果糖和蔗糖。

在大多数猪日粮中,淀粉是主要的碳水化合物和能量来源。然而对于 2~3 周龄以内仔猪,如喂给含大量淀粉的日粮时,其生长情况不如喂含葡萄糖、乳糖或蔗糖等碳水化合物的日粮时好。这是胰淀粉酶和肠双糖酶不足所致(Cunningham, 1959; Sewell 和 Maxwell, 1966)。2~3 周龄后,猪的消化酶系统能更有效地消化谷物淀粉,此时期的猪可喂以淀粉或谷物为基础的日粮(Becker 和 Terrill, 1954; Cunningham, 1959; Sewell 和 Maxwell, 1966)。

非淀粉多糖

粗纤维测定是一种不精确的分析方法。对于典型饲料原料,粗纤维中纤维素、半纤维素和木质素分别占 50%~80%, 20% 和 10%~50%(Van Soest 和 McQueen, 1973)。鉴于纤维素组成的变异,发展了以可溶性为基础的定量测定纤维素的方法。中性洗涤纤维(NDF)是对总的植物细胞壁含量的估计,主要包括纤维素、半纤维素和木质素(Goering 和 Van Soest, 1970)。酸性洗涤纤维(ADF)是对纤维素和木质素含量的估计。根据 NDF 和 ADF 的差值可估测饲料中半纤维素含量(Goering 和 Van Soest, 1970)。

向猪日粮中添加纤维(粗纤维, NDF, ADF)可降低日粮消化能浓度(King 和 Taveiner, 1975; DeGoey 和 Ewan, 1975; Kennelly 等, 1978; Kennelly 和 Aherne, 1980b)。为了维持 DE 进食量,猪通常增加对这种饲料的采食量(Baird 等, 1975; ARC, 1981; Low, 1985)。然而,当日粮中粗纤维含量超过 10%~15% 时,由于容积过大或适口性降低使采食量下降(Braude, 1967)。在低温环境下,低能(高纤维)日粮能够维持猪的生长速度与喂高能日粮时相同;但在高温条件下,低能(高纤维)日粮一般抑制生长(Coffey 等, 1982; Stahly, 1984)。

已有研究表明,非反刍动物对纤维的利用程度因纤维来源(Bell, 1960; Nehring 和 Uhlemann, 1972; Laplace 和 Lebas, 1981)、木质化程度(Forbes 和 Hamilton, 1952)、饲粮水平(Farrell 和 Johnson, 1970; Just, 1979)和加工程度(Saunders 等, 1969; McNab, 1975)不同而变化很大。对纤维的利用也受日粮的物理和化学组成(Schneider 和 Lucas, 1950; Myer 等, 1975)、饲喂水平(Cunningham 等, 1962)、动物年龄和体重(Zivkovic 和 Bowland, 1970)、对纤维源的适