

动物营养参数 与饲养标准

● 张宏福 张子仪 编著



中国农业出版社

动物营养参数与饲养标准

张宏福 张子仪等 编著

读者注意

- ① 爱护公共图书切勿任意卷折和涂写，遗失或损坏照章赔偿。
- ② 请在借书期限前归还以便他人阅读，请给予合作。

主编：张宏福 张子仪

参编：任 鹏 杜 荣 苗泽荣

动物营养参数与饲养标准

张宏福 张子仪等 编著

* * *

责任编辑 李锦明

中国农业出版社出版（北京市朝阳区农展馆北路2号 100026）

新华书店北京发行所发行 北京市密云县印刷厂印刷

787mm×1092mm 16开本 27.75印张 650千字

1998年6月第1版 1998年6月北京第1次印刷

印数 1—5000册 定价 38.00元

ISBN 7-109-05146-3/Q·324

（凡本版图书出现印刷、装订错误，请向出版社发行部调换）

前 言

饲料是营养物质的载体。根据产出与投入的关系,科学地调控畜禽对营养物质的最佳供给量时,需要一系列科学参数以及饲养标准为指南。早期的饲养标准多以个人名义命名,如本世纪初德国的“凯尔纳饲养标准”、美国的“莫利逊饲养标准”等都在促进养殖业的产业化、提高产出效率方面起到了积极作用。鉴于世界各地畜禽品种、饲养环境、饲料组成,乃至市场经济条件等存在着很大差异,因此,到本世纪中叶,有些国家如美国的国家科学研究委员会(NRC)、英国的农业研究委员会(ARC)、法国的营养平衡委员会(AEC)前后将“饲养标准”改称为“营养需要量(nutrients requirement)”。但德国、日本、澳大利亚、韩国、前苏联以及我国则仍沿用“饲养标准”这一术语。日本、德国发布的饲养标准技术指标简练,参数标准化,解说清晰易懂,可操作性强,适于养殖业生产模式较单一的国家;而英国、澳大利亚则对每项技术指标的产生、试验条件、文献出处都有详尽交待,对建议的指标及参数只作小结,建议不作为立法依据,具有客观公正性;美国的营养需要量则充分体现科研为生产服务的时效性,版本更新及时,对新方法、新技术乃至探索性的公式都尽量地反映在新的版本上,可提供人以新思路,但不要求所有参数样样俱全,是为具有相当水平的用户在决策时参考。

我国早在1957年提出的“十二年农业科学研究规划”中就已把畜禽饲养标准的研究任务列入国家重点科研项目,并在全国性的饲料营养成分普查及营养价值评定方面取得进展。“六五”至“八五”期间均由国家拨专款,组织全国进行攻关,历时近15年。目前已基本完成了适合于我国生产条件的猪、鸡、牛、羊、鱼虾、特种经济动物等的饲养标准,有些标准已通过国家技术监督局作为国家标准或行业标准发布实施。

由于现代动物营养科学技术在我国养殖业及饲料工业中的不断普及与应用,近15年来我国在人均占有粮食多年徘徊的情况下,1995年全国肉、蛋、奶、水产品总产量分别达到了5260万吨、1676万吨、623万吨和2517万吨,比70年代末期增长了近5~7倍,这是一个举世瞩目的伟大成就。分析其原因,除了政策、投入因素外,科学技术,特别是饲养标准的应用、饲料配方技术的普及与推广,在推动全国养殖业的发展上起到了决定性的技术保证作用。为了使广大读者能全面了解国内外在饲料营养科技方面的进展近况,编者等汇总整理了美国、德国、日本、法国、英国、澳大利亚、前苏联、韩国以及我国的猪、鸡、鸭、鹅、火鸡、鹌鹑、野鸡、珍珠鸡、斗鸡、奶牛、肉牛、绵羊、山羊、湖羊、马、兔、狗、猫、鱼、虾、甲壳类动物、麝、实验动物(含大鼠、小鼠、沙鼠、豚鼠、仓鼠、田鼠、兔)等的饲养标准方面的技术资料。此外,在本书中还摘要概述了现代动物营养学的基本知识、有关计算方法及互换公式、饲料分类、最新中国饲料成分及营养价值表以及饲料生物学效价(如消化率、代谢率、可利用率)等方面的资料,以便于读者参考应用。

本书在编写过程中得到了农业部动物营养代谢重点开放实验室与中国饲料数据库情报网中心的大力支持，谨此致谢。

编 者

1997年9月

目 录

前言

第一章 基本知识	1
一、名词术语	1
二、计算方法及互换公式	6
三、饲料营养成分及营养价值的名称符号及有效位数	14
第二章 饲料分类	18
一、国际饲料分类法	18
二、中国饲料分类法	18
第三章 中国饲料成分及营养价值表	22
一、饲料名称、饲料描述及编号	22
二、饲料常规成分及钙、磷含量	23
三、饲料中氨基酸含量	25
四、饲料中矿物质及微量元素含量	27
五、饲料有效能值含量	28
六、维生素含量参考值	30
第四章 饲料养分生物学效价	31
一、猪对各类饲料的消化率	31
二、鸡对各类饲料的能量代谢率	36
三、牛对各类饲料的消化率	42
四、羊对各类饲料的消化率	50
五、猪饲料氨基酸消化率	59
六、鸡饲料氨基酸代谢率	77
七、磷的生物学效价	92
第五章 世界各国和地区饲养标准	95
一、猪的饲养标准	95
二、鸡的饲养标准	165
三、鸭的饲养标准	184
四、鹅的饲养标准	196
五、火鸡的饲养标准	199
六、鹌鹑的饲养标准	205
七、野鸡的饲养标准	210
八、珍珠鸡的饲养标准	210

九、斗鸡的饲养标准·····	213
十、奶牛的饲养标准·····	213
十一、肉牛的饲养标准·····	261
十二、绵羊的饲养标准·····	320
十三、山羊的饲养标准·····	350
十四、湖羊的饲养标准·····	358
十五、马的饲养标准·····	360
十六、兔的饲养标准·····	381
十七、狗的饲养标准·····	385
十八、猫的饲养标准·····	388
十九、鱼、虾、甲壳类的饲养标准·····	390
二十、麝的饲养标准·····	398
二十一、实验动物的饲养标准·····	401
第六章 典型饲料配方 ·····	409
一、猪的典型饲料配方示例·····	409
二、鸡的典型饲料配方示例·····	414
三、鸭的典型饲料配方示例·····	416
四、鹅的典型饲料配方示例·····	418
五、牛的典型饲料配方示例·····	418
六、羊的典型饲料配方示例·····	420
七、马的典型饲料配方示例·····	424
八、水貂的典型饲料配方示例·····	425
九、兔的典型饲料配方示例·····	425
十、鱼的典型饲料配方示例·····	426
十一、对虾的典型饲料配方示例·····	429
十二、火鸡的典型饲料配方示例·····	430
十三、鹌鹑的典型饲料配方示例·····	431
十四、肉鸽的典型饲料配方示例·····	432
十五、野鸡的典型饲料配方示例·····	433
十六、珍珠鸡（珠鸡）的典型饲料配方示例·····	434
十七、实验动物的典型饲料配方示例·····	434
十八、狗的典型饲料配方示例·····	437

第一章 基本知识

一、名词术语

(一) 常规成分

1. 粗蛋白质 (crude protein) 常用于表示饲料中蛋白质含量的一种指标。一般用饲料中含氮化合物中的总氮量乘以 6.25 的积来表示。因蛋白质中含氮约 16%，因此将饲料的含氮量乘以 6.25 即被视为其蛋白质的含量。但饲料中含氮化合物并非全部以蛋白质的形态存在，不同品种的饲料含氮物中还含有不等量的氨基酸、酰胺 (amide)、含氮有机碱类及氮化物等，因此，这种方法测出的蛋白质含量只是一个近似值。常用凯氏法测定，市售仪器品种繁多，原理概同，皆以浓硫酸加催化剂水解饲料样品，使形成硫酸氨，再与碱反应生成氨，然后导入定量的酸标准液中滴定，间接算出氮的含量，再乘以系数即得，我国国家标准也采用这种方法。

2. 粗脂肪 (crude fat, ether extracts) 饲料中可溶于无水乙醚的一组成分。粗脂肪中除包括脂肪外，还含有部分有机酸、蜡质、色素和类脂质。常规饲料分析采用索氏 (Soxhlet) 脂肪提取器测定。近年来，这种仪器改进很大，但主要的部件还是冷凝管、回流浸提器（或淋式浸提器）和接受瓶三部分组成。也有将样品称于滤纸筒或滤纸包内，放入浸提管加入无水乙醚浸泡并加温热回流抽提。浸提时间依饲料性质而定。原理是测定样本浸提前后重量之差，视为粗脂肪含量。

3. 粗纤维 (crude fiber) 饲料有机物中不溶于稀酸、稀碱、乙醇、乙醚的无灰残留物的总称。其中有植物性纤维素、半纤维素、木质素、果胶以及动物性的甲壳素 (chitin) 等。测定时前后用 1.25% 的稀硫酸和 1.25% 氢氧化钠热溶液将样品分别先后各煮沸 30 分钟，再用乙醚、乙醇冲洗残渣，除去残脂，烘干称重，再灼烧，从减重中即得粗纤维含量。它是饲料中较难被家畜消化的一组成分，在动物性饲料中一般不含粗纤维。有时在动物性饲料中出现的粗纤维多系混杂物或含有少量甲壳质所致。粗纤维不仅本身不易被消化，对单胃动物来说还会由于它的存在，增加能量消耗，使饲料营养价值降低。但对于反刍类动物和草食动物来说粗纤维仍是正常消化生理中所不可缺少的成分之一。

4. 无氮浸出物 (nitrogen free extract) 以各种饲料中各种常规养分的百分含量之和为 100，减去水分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、粗灰分百分含量后的余数即视为无氮浸出物。又称可溶性无氮化合物。一般在常规饲料分析法中不直接单独测定，而是通过计算求出。无氮浸出物不是单一的化学物质。其中还包括有单糖、双糖、五碳糖、淀粉及部分可溶性木质素、半纤维素等。无氮浸出物计算值受许多因素的影响，特别是在测定各项常规饲料成分时的系统误差及样品水分含量变异等都直接影响无氮浸出物计算值。因此在实际计算或应用这一参数时应根据其资料来源、测试环境条件等对数据的有意义性作出客观评价。

5. 粗灰分 (crude ash) 样品在 550~600℃ 下灼烧至恒重后的残余物。其中除了饲料自身所含各种常量元素、微量的氧化物外,还残留有少量氯化物及碳酸盐。此外在饲料中的无机物并非全部来自饲料自身,它混杂的砂石、尘灰也都包括在内。因此“粗灰分”不能反映饲料中的矿物质或微量元素的含量与质量,通常作为限制性指标加以控制。

6. 水分 (moisture) 饲料样品在 100~105℃ 下烘至恒重所失去的重量,常用百分含量表示。

7. 干物质 (dry matter) 从饲料样品中扣除水分后的重量,常用百分含量表示。

(二) 能量及有效能

1. 总能 (gross energy) 将饲料样品压成小颗粒,在加压氧弹中完全燃烧后所释放的热量。在动物营养学范畴,1984 年以前用“卡”为单位表示,以后按我国国家标准规定,统一改用“焦”(或焦耳)为单位表示。

2. 消化能 (digestible energy) 从动物食入饲料的总发热量中减去从粪中排出的总发热量的差值。是一种评价有效能值的初级指标,又称粗能 (crude energy)。用常规的消化试验所测得的粪能中既包含饲料中未消化物的能量,同时也包括消化道脱落物、肠道内分泌物和肠液微生物等所含能量。因而所测得的消化能又称为表观消化能 (apparent digestible energy),比真消化能 (true digestible energy) 值低。

3. 代谢能 (metabolizable energy) 从饲料总能中减去粪能、尿能及甲烷能剩余的能量。通常对甲烷能、代谢性粪能、内源性尿能忽略不计,所以又称表观代谢能 (apparent metabolizable energy),表观代谢能加代谢性粪能及内源性尿能则成为真代谢能 (true metabolizable energy),有种种测定方案,可更进一步地反映饲料的生理能值。通常如不加注解的代谢能值即为表观代谢能。用常规方法测定猪饲料中的表观代谢能值时须粪、尿严格分离,分别测定,但对禽类则一般不作分别测定。

4. 净能 (net energy) 从饲料的代谢能中减去热增耗 (HI) 后的能值,热增耗主要由消化道微生物发酵热增耗和营养素新陈代谢所需热增耗两大部分组成,是动物机体内食入饲料后不可避免的损耗。净能一般根据消化能或代谢能计算。用于奶牛者为产奶净能 (NEI),用于肉牛者为增重净能 (NEg),用于维持者为维持净能 (NE_m)。

5. 卡 (calorie) 在 101.325 千帕 (kPa) 的恒定压力下,将 1 克无空气的水从 14.5℃ 加热到 15.5℃ 所需的热量。准确的全称应为克卡 (gram-calorie)。各种能 (energy) 的形式都可以转变成热能,所以过去营养学者都习惯地用热单位来表示能的量。“卡”,英文缩写成“cal”(旧时称为“小卡”),1000 卡称为:千卡 (kilo calorie) 缩写成 kcal (旧时称为“大卡”),今废用此词,1000 千卡称为兆卡 (mega calorie) (旧时称为“千大卡”),亦废用。

6. 焦耳 (joule) 1 千克质量的物体在力的方向上移动 1 米所作的功。换言之即用 1 “牛顿”的力把 1 千克质量的物体在力的方向上移动 1 米所需能量。简称为“焦”。1 牛顿 (N) 是加在质量为 1 千克的物体上使之产生 1 米/秒² 加速度的力。英国的物理学家詹姆斯·普雷斯科特·焦耳 (James Prescott Joule, 1818~1889) 测定了热的功当量,创立了米·千克·秒制中功和能量的单位,为纪念其功绩而命名。

(三) 氨基酸 (amino acid) 构成动物营养所需蛋白质的基本物质。自然界存在的氨基酸形式约有 200 多种,但构成动物机体蛋白质的氨基酸只有 20 种。根据在动物机体内的合

成量及其能满足动物营养需要的程度可分为必需氨基酸与非必需氨基酸及限制性氨基酸等。在必需氨基酸中又根据其易缺的程度又可分为第一、第二、第三……限制性氨基酸；除甘氨酸外，氨基酸按其碳原子的构型又可分为L-型氨基酸和D-型和DL型氨基酸。动植物体蛋白质水解后产生的氨基酸都是L-型的，化学合成和发酵法产生的氨基酸有L-型氨基酸、D-型氨基酸及L-型和D-型混合的DL型氨基酸。动物体内的酶系统只能直接利用L-型氨基酸组蛋白质。除蛋氨酸外，D-型和DL型氨基酸利用率均很低，甚至完全不能被动物利用。

1. 赖氨酸 (lysine) 是一种重要的必需氨基酸，在动物体内不能合成，必须从饲料中补给。以谷实类为主的日粮中常常是第一限制性氨基酸，赖氨酸不足的日粮，粗蛋白质再高也不能被充分利用。赖氨酸盐酸盐可以通过发酵工业生产，被广泛用于饲料。鱼粉、豆粕中均含有较高的赖氨酸，可供调剂谷实类中之不足，并提高蛋白质利用效率。

2. 含硫氨基酸 通常指蛋氨酸 (methionine)、半胱氨酸 (cysteine) 和胱氨酸 (cystine)。蛋氨酸可在体内转化为半胱氨酸，但半胱氨酸不能转化为蛋氨酸，是食物中硫的主要来源。蛋氨酸的主要功能是为动物体内的肾上腺素、乙酰胆碱和肌酸等化合物的形成提供一种活泼的甲基 (CH_3) 化剂。

3. 色氨酸 (tryptophan) 是一种动物必需氨基酸，也常常成为限制性氨基酸。它可生成动物体大脑中的一种重要神经传递物质——5-羟色胺，具有调节肾上腺素和去甲肾上腺素的作用。色氨酸可在动物体内转化为烟酸，但不能满足烟酸的全部需要量。

4. 精氨酸 (arginine) 是一种动物必需氨基酸，该氨基酸在肝脏中参与氮代谢的最终代谢产物——尿素的形成。这一代谢过程叫作尿素循环。精氨酸与赖氨酸同属碱性氨基酸，具有拮抗作用，精氨酸/赖氨酸的比例不宜太大，过大会影响赖氨酸的吸收利用。

5. 苏氨酸 (threonine) 是一种发现较晚的脂肪族氨基酸之一，已有工业合成产品。在低蛋白质日粮中将赖、蛋、色、胱、苏氨基酸平衡后增产效果显著。

6. 苯丙氨酸、酪氨酸 (phenylalanine, tyrosine) 皆为动物必需氨基酸，苯丙氨酸在动物体内可转化为酪氨酸，但不能发生逆向反应。在动物体几乎所有未用于合成蛋白质的苯丙氨酸会全部转化为酪氨酸，而酪氨酸在动物体内则可转化为肾上腺髓质，分泌去甲肾上腺素、肾上腺素、甲状腺素与三碘甲状腺原氨酸，是动物体内几种主要激素的母体化合物。

7. 组氨酸 (histidine) 是一种动物必需氨基酸。组氨酸会刺激胃产生胃蛋白酶及胃酸，帮助消化。组氨酸脱羧 (即失去 COOH) 后会形成组胺，有降血压、舒张血管作用。

8. 亮氨酸与异亮氨酸 (leucine, isoleucine) 皆为动物必需脂肪酸。均属脂肪族氨基酸，两者之间具有拮抗作用。最早从血纤维蛋白中分离。一般饲料中亮氨酸较多，因此往往会引起比例失调，而影响蛋白质利用率及生产速度下降。

9. 缬氨酸 (valine) 是一种动物必需氨基酸，属脂肪族氨基酸之一，与亮氨酸、异亮氨酸代谢失调时，可引起遗传性病变，有髓磷脂化作用。

(四) 矿物质及微量元素

1. 钙 是构成骨骼、牙齿的主要成分，在帮助血液凝结、体内某些酶的活化、维持神经的传导性能、肌肉的伸缩性、毛细血管的正常渗透压、体内的酸碱平衡等方面起着重要作用。缺乏钙或钙磷平衡失调，会引起发育停滞、食欲减退、皮毛状态不良、跛行、软骨、死胎等症状。但钙的摄取量过多亦会导致钙磷比例失调及阻碍微量元素的吸收。

2. 磷 是构成骨骼、牙齿的主要成分，同时也是细胞核蛋白及动物体内各种酶的主要成分，具有帮助葡萄糖、脂肪、蛋白质代谢的功能。缺磷时阻碍钙在软骨中的沉积，引起牙齿发育不正常，骨质疏松或软化、食欲不振、异嗜、瘫痪等疾病。缺磷症与缺钙症极相似。维生素 D 具有调整钙磷失调的作用。谷实类、油饼类、米糠、麸皮中的磷多系植酸态磷，利用率差。动物性饲料、矿物质饲料中不含植酸磷，利用率也高。

3. 有效率 饲料总磷中可供养殖动物作为磷源利用的部分。通常从总磷中扣除植酸磷形态的磷，即视为有效磷。

4. 铁 是构成血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素的重要成分。对体内的氧、二氧化碳的摄取与排出起着重要作用，缺铁可出现贫血、活力下降、毛质粗硬、皮肤松弛、呼吸促迫等症状。猪乳的含铁量很低，不能满足仔猪的需求，因此应在 20 日龄左右补饲硫酸铁或直接注射铁剂。

5. 锰 具有促进正常成骨的作用。雏鸡缺锰会发生腿关节肿大症 (perosis)，繁殖母猪缺锰会引起胎儿存活率下降，产仔虚弱、运动失调等症状，还可引起发情失常或停止发情。一般饲料中不易缺锰。过量会导致锰中毒，其症状为食欲减退、发育停滞、运动失调。

6. 铜 在动物体内含量与锰相近，具有催化血红蛋白的合成作用。铁的代谢与铜有关，缺铜时即使铁含量丰富，仍会发生贫血。每千克饲料中添加 150~250 毫克的铜对猪有促生长作用。硫与铜有拮抗作用，硫酸铜对含铜的呼吸酶有抑制作用。

7. 锌 是含锌金属酶的成分，参与核酸和蛋白质的代谢，猪缺锌会引起角化不全、皮肤干燥等症状，雏鸡缺锌会引起羽毛脱落及羽枝缺损等症状。锌与钙有拮抗作用，食钙过多会阻碍锌的吸收利用。

8. 硒 与维生素 E 代谢有关。缺硒会引起克山病、白肌病、渗出性特异素质 (exudative diathesis)、肝脏坏死等症状。相反，在含硒多的地区出产的植物由于胱氨酸、蛋氨酸中的硫被硒所置换，一旦动物食入含硒后，又会引起硒中毒。据报道，饲料中硒含量超过 5 毫克/千克时，鸡的孵化率降低、胚胎异常、性成熟延缓；过量的硒还有可能致癌。硒是谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH_{px}) 的组成成分，这种酶能将还原型的谷胱甘肽转化成氧化型的谷胱甘肽，并使过氧化物转变为无害的醇类，从而起到保护细胞膜的作用。如精液或血液中的 GSH_{px} 都起到保护精子和血红细胞的作用。硒和维生素 E 有类似的生理作用，但维生素 E 不能代替硒。

(五) 维生素及必需脂肪酸

1. 维生素 A (vitamin A) 有多种形式，或相互转换，但维生素 A 酸不能转换成其他维生素 A 形式。维生素 A 酸只具有维生素 A 的部分功能，维生素 A 的功能与视觉有关，因眼球中接收光线的色素视红质中含有维生素 A。维生素 A 是家畜正常生长，骨髓、牙齿正常发育所必需的营养物质。维生素 A 还参与保持皮肤、消化道、呼吸道和生殖道上皮细胞的完整，增加畜体对疾病的抵抗力。

维生素 A 缺乏会引起家畜夜盲症以及其他功能障碍，导致生长缓慢、皮肤粗糙、骨骼生长变形、牙齿珐琅质异常、繁殖力降低、对疾病的抵抗力减弱。日粮中添加过量的维生素 A 不但不经济，还会导致家畜出现中毒症状，生长受阻，采食量下降，眼睑肿大、干硬，骨骼强度下降，并出现其他腿部疾病，死亡率大大增加。

2. 胡萝卜素 又名维生素 A 原。植物性饲料不含维生素 A，动物所需维生素 A 是通过

胡萝卜素转化而来。它具有防治夜盲症，维持正常上皮细胞健康，增加对传染病的抵抗力，促进生长的作用。

3. 维生素 D 以多种形式存在，其中最为重要的是麦角钙化甾醇（D₂）和胆钙化甾醇（D₃），分别由紫外线辐射麦角甾醇和 7-脱氢胆甾醇形成的。它促进肠道中钙的吸收，也有可能促进肠道中磷的吸收。促进钙、磷在骨基质中沉着，有助于保持血中有充足的钙和磷，以进行骨的钙化作用。因此缺乏维生素 D 导致骨的钙化不良和骨软，在重荷下易于弯曲。

4. 维生素 K 以 K₁、K₂、K₃ 等多种形式存在。它是维持血液凝固系统的功能所不可缺少的。参与凝血酶原（因素Ⅱ）和凝血因素Ⅵ、Ⅷ和Ⅹ的形成，因此维生素 K 缺乏显著地降低血液凝固的正常速度，从而引起出血。

5. 硫胺素 又名维生素 B₁，是构成脱羧辅酶的主要成分。为动物体充分利用碳水化合物所必需，具有防止神经炎、脚气病，增进食欲，促进生长的作用。猪不易缺乏，幼龄雏鸡缺乏维生素 B₁ 时会发生头向颈后抽搐症状。

6. 核黄素 又名维生素 B₂，是构成脱氢酶的主要成分，为活细胞中氧化作用所必须。具有促进生长，保证健康作用。在猪、鸡饲料中均易缺乏。猪缺乏维生素 B₂ 时四肢弯曲、动作失调；雏鸡缺乏维生素 B₂ 时，鸡爪向内弯曲。

7. 烟酸 又名尼克酸，维生素 PP，为维生素 B₅。是动物体内辅酶的组成部分，为细胞内的呼吸作用所必需，具有维护皮肤和神经健康的作用。雏鸡缺乏烟酸时羽稀疏、生长停滞；猪缺乏烟酸时发生下痢、呕吐和癞皮病。谷实类中的烟酸一般为结合型，猪几乎不能利用，但可由色氨酸在体内合成。因此烟酸的需要量视色氨酸在饲料中的含量而定。

8. 胆碱 又名维生素 B₄，在传递副交感神经的体液传递过程中，起着重要作用。胆碱不足会引起脂肪代谢紊乱。仔猪对胆碱的需要量很高，但饲料中蛋氨酸含量高时不易引起胆碱缺乏。猪的缺乏症状是共济运动失调、关节柔韧性差、贫血、生长停滞等；蛋鸡在笼饲时因胆碱不足易发生脂肪肝。饲喂高能量饲料时更应注意胆碱的补给。

9. 泛酸 又名吡哆酸，为维生素 B₃。泛酸参与碳水化合、蛋白质和脂肪的代谢。猪缺乏泛酸时生长缓慢，因肠道发生溃疡而引起腹泻、皮肤病变、掉毛；雏鸡缺乏泛酸时，眼分泌物和眼睑粘在一起，喙角和趾部形成痂皮。泛酸遍布于植物性饲料，但在酸性和碱性溶液中易被破坏。

10. 叶酸 又名维生素 B₉，参与嘌呤的合成，而嘌呤又是核酸的结构成分。叶酸对正常血细胞的形成有促进作用。家禽缺乏叶酸时表现为贫血、生长受阻、羽毛脱色、脊柱麻痹；猪实验性的叶酸缺乏症状为皮炎、脱毛以及消化、呼吸、泌尿器官的粘膜损害。动物对叶酸需要依靠饲料和肠道微生物的合成可以满足，但在长期饲喂广谱抗菌素，或磺胺类药物，或长期患肠道疾病后均有可能出现缺乏症。

11. 维生素 E 又名生育酚。它是食物中唯一能随着脂类通过肠壁进入机体的天然脂溶性抗氧化剂，雄性动物缺乏，则睾丸萎缩，不能产生精子；雌性动物缺乏，则子宫生理机能发生障碍，受精卵发育到一定阶段胎儿便普遍出血、死亡、流产。维生素 E 缺乏症与硒缺乏症相似，表现为肌肉营养不良（白肌病）、渗出性特异素质、皮下水肿、肝脏病变坏死。维生素 E 的供给量应根据饲料中不饱和脂肪酸含量的增加而增加。牛乳中不含维生素 E，用牛乳单独长期饲喂大鼠，可以致死。麦胚油含量较多。

12. 维生素 B₁₂ 又名钴氰维生素, 曾被称为“动物蛋白因子”、“雏鸡生长因子”。对核酸的形成、含硫氨基酸的代谢脂肪和碳水化合物的代谢、红细胞的生成起着重要作用。猪缺乏 B₁₂ 时丧失食欲, 神经性障碍, 对应激敏感; 鸡缺乏 B₁₂ 时贫血、脂肪肝、孵化率下降。

13. 生物素 又名维生素 H。在碳水化合物、脂类、蛋白质代谢过程中的互相转化过程中起着辅酶作用。生物素在代谢方面还与维生素 C、B₁₂、叶酸、泛酸等维生素有密切关系, 可通过饲料供给或肠道微生物合成。缺乏时会引起鸡皮炎、生长缓慢, 对不饱和脂肪酸利用率降低, 孵化率降低。是引起家禽脂肪肝综合症原因之一。

14. 亚油酸 (linoleic acid) 是一种不饱和脂肪酸, 又称 18 碳二烯酸, 是动物不可缺少的脂肪, 所以又被称为必需脂肪酸。亚麻酸, 即 18 碳三烯酸 (linolenic acid) 及花生油酸, 即 20 碳四烯酸 (arachidonic acid) 也都是必需脂肪酸, 但在动物体内均可经由亚油酸合成, 所以, 通常需通过饲料或植物油保证供给, 缺乏时会发生皮肤鳞片化、生长停滞、繁殖性能降低、水肿及皮下出血, 幼畜尤为明显。

二、计算方法及互换公式

(一) 计算方法

$$\begin{aligned} \text{消化能(KJ/kg)} &= \text{可消化粗蛋白质(g/kg)} \times 23.85 + \text{可消化粗脂肪} \\ &\quad (\text{g/kg}) \times 39.33 + \text{可消化粗纤维(g/kg)} \\ &\quad \times 17.57 + \text{可消化无氮浸出物(g/kg)} \times 16.74 \end{aligned}$$

$$\text{消化能(MJ/kg)} = \text{总可消化养分(TDN)(\%)} \times 18.41(\text{MJ})$$

$$\text{鸡表观代谢能(AME)(KJ/kg)} = \text{总能(MJ/kg)} \times \text{总能代谢率(\%)}$$

$$\text{猪代谢能(KJ/kg)} = \text{总能(MJ/kg)} \times \text{总能代谢率(\%)}$$

$$\text{猪的代谢能(MJ/kg)} = \text{消化能(MJ/kg)} \times \frac{96 - 0.202 \times \text{CP}(\%)}{100}$$

注: “CP (%)” 为饲料干物质中粗蛋白质含量

$$\text{即: } \frac{\text{饲料原样中的粗蛋白质含量}}{\text{饲料原样中的干物质百分含量}} \times 100$$

(二) 能量互换公式

$$1 \text{ 千克总消化养分(TDN)} = 18.41 \text{ MJ 消化能}$$

$$\text{反刍动物(牛、羊)的代谢能(MJ/kg)} = \text{消化能(MJ/kg)} \times 0.82$$

$$\text{肉牛代谢能(ME)(MJ/kg 干物质)} = \text{总可消化养分(TDN)(\%)} \times 1.51(\text{MJ})$$

$$\text{奶牛产奶净能(NEI)(MJ/kg 干物质)} = 0.5501 / \text{消化能(DE)(MJ/kg 干物质)} - 0.3958$$

$$\text{NND(MJ/kg 干物质)} = \text{NEI(MJ/kg 干物质)} \div 0.75$$

$$\text{肉牛维持净能} \cdot \text{NE}_m(\text{Mcal/kg}) = 1.37\text{ME} - 0.138\text{ME}^2 + 0.0105\text{ME}^3 - 1.12 = \text{DE} \times K_m$$

$$\text{肉牛增重净能} \cdot \text{NE}_g(\text{Mcal/kg}) = 1.42\text{ME} - 0.174\text{ME}^2 + 0.0122\text{ME}^3 - 1.65 = \text{DE} \times K_f$$

$$\text{肉牛综合净能} \cdot \text{NE}_{mf}(\text{Mcal/kg}) = \text{DE} \times K_{mf} = \text{DE} \times \frac{K_m \times K_f \times \text{APL}}{K_f + (\text{APL} - 1) \times K_m}$$

$$\text{其中: APL(生产水平)} = \frac{\text{NE}_m + \text{NE}_g}{\text{NE}_m}$$

$$K_m(\text{维持净能的效率})=0.1875 \times \text{DE/GE} + 0.4579$$

$$K_r(\text{增重净能的效率})=0.5230 \times \text{DE/GE} + 0.00589$$

(注: * —— 引用 NRC (1989) 发表的公式, 原作者系以 Mcal 为计量单位推导的公式。式中系数不能以 MJ 换算, 但计算结果可以与 MJ 换算, 即乘上 4.184)

$$\begin{aligned} \text{总能(MJ/kg)} = & \{ \text{粗蛋白质含量(g/kg)} \times 23.85 + \text{粗脂肪含量(g/kg)} \times 39.33 + \\ & [\text{干物质含量(g/kg)} - \text{粗蛋白质含量(g/kg)} - \text{粗脂肪含量(g/kg)} \\ & - \text{粗灰分含量(g/kg)}] \times 17.57 \} \div 1000 \end{aligned}$$

(三) 维生素效价的互换公式

1. 胡萝卜素转化为维生素 A 的效价换算:

- (1) 1mg β 胡萝卜素=1667IU (猪、鸡) 维生素 A
- (2) 0.6 μ g β 胡萝卜素=1IU (猪、鸡) 维生素 A
- (3) 1mg β 胡萝卜素=400IU (乳牛、肉牛) 维生素 A
- (4) 1mg β 胡萝卜素=400~550IU (绵羊) 维生素 A
- (5) 1mg β 胡萝卜素=500IU (猪) 维生素 A
- (6) 1 分子 β 胡萝卜素可生成 2 分子维生素 A
1 分子 α 胡萝卜素可生成 1 分子维生素 A
1 分子 γ 胡萝卜素可生成 1 分子维生素 A

2. 不同形态的维生素 A (VA) 的效价换算:

- (1) 1IU 维生素 A=1USP (美国药典单位) 维生素 A
- (2) 1IU 维生素 A=1IU 维生素 A₂ (3 脱氢视黄醇, 仅存于淡水鱼类中, 大鼠效价 40%)
- (3) 维生素 A 醛=视黄醛 (retinene), 分子量=284.5
- (4) 维生素 A 酸 (retinoic acid), 分子量=300.44
- (5) 1IU 维生素 A=0.300 μ g 维生素 A 醇 (视黄醇 retinol)
- (6) 1IU 维生素 A=0.344 μ g 维生素 A 醋酸酯 (VA-acetate)
- (7) 1IU 维生素 A=0.556 μ g 维生素 A 棕榈酸酯 (VA-palmitate)
- (8) 1IU 维生素 A=358 μ g 维生素 A 丙酸酯 (VA-propionate)

3. 维生素 D (VD) 的效价换算

- (1) 1ICU (国际鸡单位) 维生素 D=1 (IU) 维生素 D
- (2) 1IU 维生素 D=0.025 μ g 结晶维生素 D₃
- (3) 1g 维生素 D₃=4 $\times$ 10⁷IU 维生素 D₃

4. 维生素 E (VE) 的效价换算

- (1) 1IU 维生素 E=1USP 维生素 E
- (2) 1IU 维生素 E=1mg 维生素 E (DL- α 生育酚醋酸酯)
- (3) 1mgDL- α 生育酚=1.1IU 维生素 E
- (4) 1mgD- α 生育酚=1.49IU 维生素 E
- (5) 1mgD- α 生育酚醋酸酯=1.36IU 维生素 E

5. 维生素 K (VK) 的效价

- (1) 1mg 维生素 K₃ (甲萘醌)=2mg 亚硫酸氢钠甲萘醌 (meandione sodium bisulfite)

- (2) 1mg 维生素 K_3 = 4mg 亚硫酸氢钠甲萘醌复合物 (m. s. b. complex)
- (3) 1mg 维生素 K_3 = 4.3mg 亚硫酸嘧啶甲萘醌 (menadione pyrimidinol bisulfite)
- (4) 维生素 K_3 = 维生素 $K_1 \times 2$
- (5) 维生素 K_3 = 维生素 $K_2 \times 3$
6. 维生素 B_1 (硫氨酸)
- (1) 1IU 维生素 B_1 = $3\mu\text{g}$ 盐酸硫胺素
- (2) 维生素 B_1 一般直接用 mg/kg 表示
7. 维生素 B_2 (核黄素)
- (1) 1IU 维生素 B_2 = $2.5\mu\text{g}$
- (2) 维生素 B_2 一般用 mg/kg 表示
8. 胆碱
- (1) 1mg 氯化胆碱 = 0.87mg 胆碱
- (2) 1.15mg 氯化胆碱 = 1mg 胆碱

(四) 文献报道的经验公式及数学模型

1. 通过常规化学成分计算鸡饲料代谢能的公式 (单位: kcal/kg; 饲料中养分均以百分含量表示)

一般谷物以及副产品:		发表者:
玉米	$\text{ME}_n = 36.21 \times \text{CP} + 85.44 \times \text{EE} + 37.26 \times \text{NFE}$	Janssen, 1989
玉米	$\text{AME} = 4.219 - 0.116\text{CF}/\text{DM}$	张子仪, 1981
玉米	$\text{AME} = 4.513 - 0.107\text{ADF}/\text{DM}$	张子仪, 1981
高粱 (单宁 < 0.4%)	$\text{ME}_n = 31.02 \times \text{CP} + 77.03 \times \text{EE} + 37.67 \times \text{NFE}$	Janssen, 1989
高粱 (单宁 > 1.0%)	$\text{ME}_n = 21.98 \times \text{CP} + 54.75 \times \text{EE} + 35.18 \times \text{NFE}$	Janssen, 1989
高粱	$\text{ME} = 3152 - 357.79 \times \text{单宁酸}$	Gous et al. 1982
高粱	$\text{ME}_n = 38.55 \times \text{DM} - 394.59 \times \text{单宁酸}$	Janssen, 1989
高粱	$\text{ME} = 3062 + 887 \times \text{CF} - 202.5 \times (\text{CF})^2$	Moir and Connor, 1977
高粱	$\text{ME} = 4412 - 90.34 \times \text{ADF}$	Moir and Connor, 1977
高粱	$\text{ME} = 3773 + 65.73 \times \text{APF} - 3.272 \times (\text{APF})^2$	Moir and Connor, 1977
小黑麦	$\text{ME}_n = 34.49 \times \text{CP} + 62.16 \times \text{EE} + 35.61 \times \text{NFE}$	Janssen, 1989
小麦	$\text{ME}_n = 34.92 \times \text{CP} + 63.1 \times \text{EE} + 36.42 \times \text{NFE}$	Janssen, 1989
精米	$\text{ME}_n = 46.7 \times \text{DM} - 46.7 \times \text{ASH} - 69.55 \times \text{CP}$ $+ 42.95 \times \text{EE} - 81.95 \times \text{CF}$	Janssen, 1989
脱脂米糠	$\text{ME}_n = 46.7 \times \text{DM} - 46.7 \times \text{ASH} - 69.54 \times$ $\text{CP} + 42.95 \times \text{EE} - 81.95 \times \text{CF}$	Janssen, 1989
大米产品	$\text{ME}_n = 4759 - 88.6 \times \text{CP} - 127.7 \times \text{CF} + 52.1 \times \text{EE}$	Janssen, et al, 1989
小麦次粉	$\text{ME}_n = 40.1 \times \text{DM} - 40.1 \times \text{ASH} - 165.39 \times \text{CF}$	Janssen, 1989
小麦和小麦产品	$\text{ME}_n = 3985 - 205 \times \text{CF}$	Janssen et al., 1979
小麦和小麦产品	$\text{ME}_n = 3926 - 181 \times \text{CF}$	Janssen et al., 1979
麸皮	$\text{AME} = 3.940 - 0.209\text{CF}/\text{DM}$	张子仪, 1981
麸皮	$\text{AME} = 4.094 - 0.149\text{ADF}/\text{DM}$	张子仪, 1981

(续)

大麦和大麦产品	$ME_n = 3078 - 90.4 \times CF + 9.2 \times STA$	Janssen et al., 1979
燕麦和燕麦副产品	$ME_n = 2970 - 59.7 \times CF + 116.9 \times EE$	Janssen et al., 1979
淀粉工业副产品:		
玉米湿磨副产品	$ME_n = 4240 - 34.4 \times CP - 159.6 \times CF + 13.5 \times EE$	Janssen et al., 1979
玉米蛋白粉(CP=65%)	$ME_n = 40.94 \times CP + 88.17 \times EE + 33.13 \times NFE$	Janssen, 1989
玉米蛋白粉(CP=40%)	$ME_n = 36.64 \times CP + 73.30 \times EE + 25.67 \times NFE$	Janssen, 1989
玉米蛋白饲料(CP=20%)	$ME_n = 42.35 \times DM - 42.35 \times ASH - 23.74 \times CP + 28.03 \times EE - 165.72 \times CF$	Janssen, 1989
糖业副产品:		
甜菜或甘蔗糖蜜	$ME_n = 40.01 \times SUG$	Janssen, 1989
白糖	$ME_n = 38.96 \times SUG$	Janssen, 1989
酒精副产品:		
啤酒干糟(玉米 DDG)	$ME_n = 39.15 \times DM - 39.15 \times ASH - 9.72 \times CP - 63.81 \times CF$	Janssen, 1989
干酒精糟水(DDS)		
玉米 DDGS	$ME_n = 34.06 \times CP + 40.82 \times EE + 26.91 \times NFE$	Janssen, 1989
块根类(干):		
甘薯(干)	$ME_n = 8.62 \times CP + 50.12 \times EE + 37.67 \times NFE$	Janssen, 1989
木薯粉	$ME_n = 39.14 \times DM - 39.14 \times ASH - 82.78 \times CF$	Janssen, 1989
木薯粉	$ME_n = 4054 - 43.4 \times ASH - 103 \times CF$	Janssen et al., 1979
油籽及其加工产品:		
花生饼	$AME = 3.903 - 0.110CF/DM$	陈雪秀, 1983
花生饼	$AME = 3.327 + 0.048EE/DM - 0.073CF/DM$	陈雪秀, 1983
棉籽饼(粕)	$ME_n = 21.26 \times DM + 47.13 \times EE - 30.85 \times CF$	Janssen, 1989
棉籽产品	$ME_n = 2153 - 31.8 \times CF + 43.5 \times EE$	Janssen et al., 1979
花生饼(粕)	$ME_n = 29.68 \times DM + 60.95 \times EE - 60.87 \times CF$	Janssen, 1989
花生副产品	$ME_n = 3072 - 39.1 \times ASH - 47.6 \times CF + 63.7 \times EE$	Janssen, et al., 1979
菜籽饼	$ME_n = 29.73 \times CP + 46.39 \times EE + 7.87 \times NFE$	Janssen, 1989
菜籽饼	$ME_n = 32.67 \times CP + 64.96 \times EE + 13.24 \times NFE$	Janssen, 1989
大豆饼	$ME_n = 37.5 \times CP + 70.52 \times EE + 14.9 \times NFE$	Janssen, 1989
大豆饼	$ME_n = 37.5 \times CP + 46.39 \times EE + 14.9 \times NFE$	Janssen, 1989
大豆饼粕	$ME_n = 2702 - 57.4 \times CF + 72.0 \times EE$	Janssen et al., 1979
大豆饼(热榨)	$ME_n = 36.63 \times CP + 77.96 \times EE + 19.87 \times NFE$	Janssen et al., 1979
大豆饼(热榨,颗粒)	$ME_n = 38.79 \times CP + 87.24 \times EE + 18.22 \times NFE$	Janssen, 1989
全脂大豆(粉状)	$ME_n = 2769 - 59.1 \times CF + 62.1 \times EE$	Janssen et al., 1979
大豆	$AME = 4.830 - 0.234CF/DM$	张子仪, 1981

(续)

大豆	$AME=6.684-0.272ADF/DM$	张子仪,1981
豌豆	$AME=5.499-0.303CF/DM$	张子仪,1981
豌豆	$AME=5.122-0.174ADF/DM$	张子仪,1981
全脂大豆(颗粒状)	$ME_n=2636-55.7\times CF+82.5\times EE$	Janssen et al.,1979
向日葵仁饼(非浸出)	$ME_n=36.64\times CP+89.07\times EE$ $+4.97\times NFE$	Janssen,1989
向日葵产品	$ME_n=3999-189\times ASH-58.5$ $\times CF+59.5\times EE$	Janssen et al.,1979
向日葵饼(机榨带壳)	$ME_n=26.7\times DM+77.2\times EE-51.22\times CF$	Janssen,1989
向日葵粕(去壳)	$ME_n=6.28\times DM-6.28\times ASH+25.38$ $\times CP+62.62\times EE$	Janssen,1989
树叶:		
槐叶	$AME=3.697-0.191CF/DM$	张子仪,1981
槐叶	$AME=3.605-0.126ADF/DM$	张子仪,1981
动物副产品:		
脱脂奶粉	$ME_n=40.94\times CP+77.96\times EE+19.04\times NFE$	Janssen,1989
乳清粉(低乳糖)	$ME_n=38.79\times CP+77.96\times EE+19.04\times NFE$	Janssen,1989
肉骨粉	$ME_n=33.94\times DM-45.77$ $\times ASH+59.99\times EE$	Janssen,1989
鱼粉(CP=60%,65%,67%)	$ME_n=35.87\times DM-34.08\times ASH$ $+42.90\times EE$	Janssen,1989
鱼粉(鲱鱼)	$ME_n=35.87\times DM-34.08\times ASH$ $+42.90\times EE$	Janssen,1989
血粉(喷雾干燥法)	$ME_n=34.49\times CP+64.96\times EE$	Janssen,1989
血粉(滚筒干燥法)	$ME_n=31.88\times CP+60.32\times EE$	Janssen,1989
羽毛粉		
(胃蛋白酶消化率 $\geq 80\%$)	$ME_n=33.2\times CP+57.53\times EE$	Janssen,1989
家禽下脚料粉	$ME_n=31.02\times CP+74.23\times EE$	Janssen,1989
家禽下脚料粉(高脂肪)	$ME_n=31.02\times CP+78.87\times EE$	Janssen,1989
家禽下脚料	$TME_n=-725+0.841\times GE$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=4070-142\times Ca$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=4330-61\times ASH$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=5060-263\times ASH+491\times Ca$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=479+89\times CP-1094\times P$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=11340-103\times CP-327\times Ca$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=934-69\times CP-110\times ASH$	Pesti et al.,1986
家禽下脚料	$TME_n=561-154\times Ca-622\times P$	Pesti et al.,1986