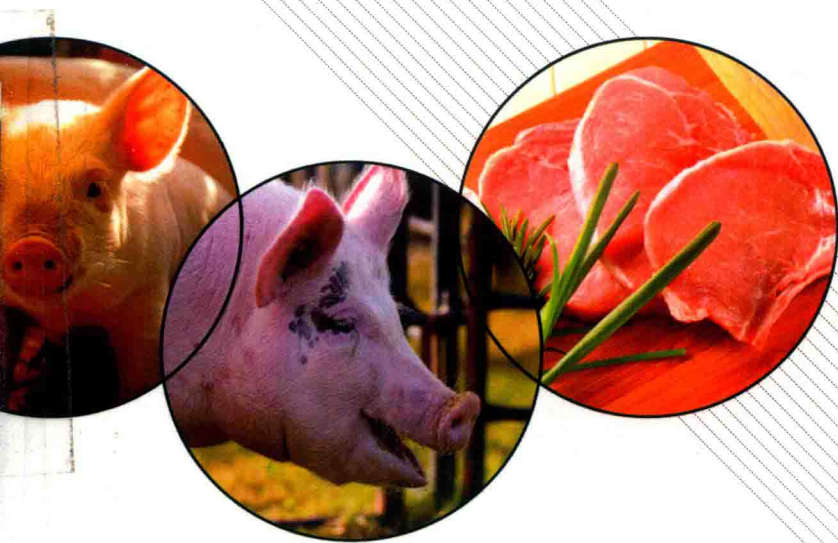


Sustainable Swine Nutrition

猪的可持续营养

【美】Lee I. Chiba 编著
尹靖东 主译



猪的可持续营养

[美]Lee I. Chiba 编著

尹靖东 主译

中国农业出版社

Sustainable Swine Nutrition

By Lee I. Chiba

ISBN: 978-0-8138-0534-4

©2013 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons 公司授权中国农业出版社独家出版发行。本书内容的任何部分，事先未经出版者书面许可，不得以任何方式或手段复制或刊载。

北京市版权局著作权合同登记号：图字 01-2014-2633 号

图书在版编目 (CIP) 数据

猪的可持续营养 / (美) 李千叶 (Chiba, L. I.) 编著;
尹靖东主译. —北京: 中国农业出版社, 2015. 10
ISBN 978-7-109-20721-9

I. ①猪… II. ①李… ②尹… III. ①猪—家畜营养学 IV. ① S828. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 172940 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区麦子店街18号楼)

(邮政编码100125)

策划编辑 邱利伟

责任编辑 周晓艳

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2015年10月第1版 2015年10月北京第1次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 42.75

字数: 528千字

定价: 195.00元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

参译人员名单

主 译：尹靖东（中国农业大学）

副主译：刘玉兰（武汉轻工大学）

孔祥峰（中国科学院亚热带农业生态研究所）

杨飞云（重庆市畜牧科学院）

参译人员：黄金秀（重庆市畜牧科学院）

易 丹（武汉轻工大学）

李振田（河南农业大学）

王金荣（河南工业大学）

晏向华（华中农业大学）

游金明（江西农业大学）

王自蕊（江西农业大学）

张桂杰（宁夏大学）

乔家运（天津市畜牧兽医研究所）

Lee I. Chiba博士简介

美国奥本大学动物科学系动物科学教授，先后于美国内布拉斯加大学获动物科学专业学士、硕士和博士学位。Chiba博士给本科生讲授动物营养、养猪生产课程，给研究生讲授单胃动物营养学和矿物质代谢课程。他的研究领域为生长猪瘦肉率、生产效率和猪肉感官品质的日粮调控，以及改善母猪繁殖性能的营养管理。Chiba博士曾是《动物科学》(*Journal of Animal Science*)杂志3个任期的编委、2个任期的副主编。现在他正在担任《动物科学》(*Journal of Animal Science*)第二任期栏目副主编和《家畜科学》(*Livestock Science*)的栏目副编辑。

序

我国有着悠久的养猪历史，很久以来一直是世界养猪规模最大的国家。养猪业在我国具有重要的经济地位，目前年产值已超过1.2万亿，占我国农业总产值的20%，是农业领域中单项产值最大的行业。养猪业为我国提供人均超过40kg的猪肉，为保障我国居民肉类供应发挥着重要作用；同时，养猪业及其相关产业吸纳了大量的劳动力就业。

随着畜牧业和现代生物技术的发展，养猪业也发生着巨大的变化，正逐渐成为一个技术密集和资金密集的行业。尽管我国养猪业取得了较大的发展，但也遇到了疫病流行、环境污染、人畜争粮、猪肉安全和猪肉品质下降等问题，这给养猪业的健康发展带来了很大隐患。因此，养好猪不只需要提高养猪生产效率，还要减少环境污染、控制疫病风险，并且最终实现提供优质猪肉的目标。国际上养猪业发达国家在提高生产效率和保障养猪业可持续性发展方面正发生着深刻的变化，深入了解这些国家在猪营养和饲养策略中取得的进展和努力方向，对于我国养猪业的健康发展有着重要的借鉴意义。

在本书翻译前期我参与了组织和安排，并阅读了2013年出版的Sustainable Swine Nutrition，感觉该书可为我们提供了解欧美养猪业可持续发展的思路 and 营养学策略。该书主编美国奥本大学的Lee I. Chiba博士，组织欧美猪营养学领域的35名科学家参与书稿撰写。全书分为“猪的营养学基础理论”和“可持续养猪的营养学”两部分，系统介绍了养猪业可持续发展的营养学策略的最新研究进展，以便使猪的饲养管理更符合其行为学和生理特点。

该书详细地介绍了利用饲料中的碳水化合物类型、添加剂及日粮配制技术，改善猪健康的营养策略。为了解决饲料资源紧缺问题和有效利用农副产品、生物柴油副产物以及非常规饲料原料，书中介绍了这些替代性原料在猪饲粮中的应用。满足各阶段猪营养需要是实现精确配制日粮、高效养猪的基础，为此书中阐述了如何准确估测饲料原料营养成分的有效利用率，并提出采用酶制剂、微生

态制剂以及利用效率更高的微量元素添加剂，来提高猪对营养物质的利用效率；同时，作者也用很大的篇幅讨论环境对猪健康和营养物质利用效率的影响，介绍了欧美国家利用营养调控措施生产优质猪肉的进展。在书的最后，作者针对后备猪和种猪的营养和饲养策略，总结了当前最新的研究进展。

该书是在中国农业出版社组织下和我的托付下，尹靖东教授与刘玉兰教授结合研究方向，邀请了从事猪营养学研究的一线中青年专家，历时一年半翻译完成。尹靖东教授、刘玉兰教授、孔祥峰研究员和黄金秀研究员利用参加学术会议的机会，多次讨论译稿的修改工作。为保证译稿的准确和流畅，尹靖东教授、刘玉兰教授、孔祥峰研究员、杨飞云研究员和黄金秀研究员分头对照原书，对译稿进行了逐章逐句的校阅，并与译者反复研讨修改方式，尹靖东教授最后还对全书进行了审校和统稿。负责出版该书的中国农业出版社相关责任编辑为保证本书的质量和顺利出版，也付出了大量的努力和心血，经常在深夜还与译者讨论书稿的内容。

欧盟和美国业已或正在制定猪饲料中不添加抗生素添加剂的相关法律规定，预计随着食品安全意识的升级，饲料中禁用抗生素将成为养猪业的趋势，后抗生素时代如何饲养猪也已成为我国养猪业关注的焦点问题。该书的出版将有助于我国养猪业从业人员了解国际养猪科学前沿动态，在推动我国养猪业的健康发展方面发挥积极的促进作用。

虽然各位译者为该书的翻译付出很大努力，但由于书中内容涉及多个学科，并且是由多位不同背景的学者撰写，囿于译者的水平和精力所限，对原文的理解难免有不当之处，还需要读者指正，以期重印或再版时予以更正。



前言

猪的营养学是一门快速发展的科学。新的研究成果层出不穷，大大丰富了猪营养的基础理论体系。这些研究成果对养猪业的可持续发展具有极其重要的作用。由于这些成果纷繁复杂，因此为了更有效地利用这些信息，将目前的研究成果梳理并编辑成书就显得尤为重要。尽管我们有许多书籍覆盖了猪营养的诸多领域，但遗憾的是，很少有书籍专门针对如何实现养猪业的可持续发展这个问题。我希望这本书能够填补这方面的空白，为发展环境友好型的饲养措施，最终为养猪业的可持续发展奠定基础。

在商业化养猪生产中，采用饲料配方和饲养措施的主要目的是获得最大的经济效益，而不一定是使动物获得最佳的生产性能。为了获得最大的经济效益，给猪提供的能量和必需营养素应尽可能满足而不是超过其需要量。这种“最优”饲养措施对能量和营养素的高效利用起着非常重要的作用。一方面，可以确保在未来的养猪业中，优质能量与营养素能持续供应；另一方面，可通过减少营养素的排泄，进而对建设环境友好型社会产生积极作用。采用这种饲养措施要考虑诸多因素，如猪遗传背景的不同，饲料营养成分的变异、利用率和稳定性，营养成分和非营养成分之间的互作，自由采食量，自然和社会环境等。系统全面地考虑这些因素是非常必要的。

随着世界人口的增长，以及新型工业化国家和经济发达程度较低的国家经济的发展，在未来，人和动物对优质能量和营养素资源的竞争将会更加激烈。因此，为养猪业寻找提供能量和营养素的非常规饲料原料显得非常重要。非常规饲料的饲养价值差异较大，其原因包括营养成分含量的差异及其他因素（如营养成分的利用率和稳定性、抗营养因子、营养成分之间及营养成分和非营养成分之间的互作、适口性等）。为了有效利用非常规饲料原料，我们需要整合所有营养学的基础理论和应用技术。此外，满足消费者对健康营养食品的需求，减少公众对环境问题的担忧，也是养猪业可持续发展不可缺少的一部分。因此，我们不仅要

关注与获得最佳生产性能、最高能量和营养利用率相关的营养问题，还要关注猪胴体和肉品质、养猪生产对环境的影响等方面的问题。

作为一本猪营养方面的综合性书籍，《猪的可持续营养》包括了一些营养学的基本理论知识，如水、蛋白质或氨基酸、脂类、碳水化合物、能量代谢、维生素、矿物质及营养与免疫，本书的重点集中于上述领域目前的最新研究进展或相关问题。因此，《猪的可持续营养》会对一些基本理论知识进行简要回顾，重点是介绍最新的研究成果。此外，本书在各个相关研究领域，对如何实现养猪业的成功、可持续发展的问题，进行了系统的阐述和讨论。

Dr. David H. Baker是本书的编者之一，我们对他的去世表示深切的哀悼。Dr. Baker是伊利诺伊大学香槟分校营养科学和动物科学的名誉教授。他于2005年入选为美国国家科学院院士，而美国国家科学院院士对每一位科学家而言，是最高的、最有声望的学术荣誉。Dr. Baker从美国动物科学协会获得过六个重要的奖项，从美国家禽科学协会获得过五个重要奖项，从美国营养协会获得过两个重要奖项。此外，Dr. Baker还获得过美国农业部的杰出服务奖，以及农业科学和技术委员会的Charles A. Black奖。Dr. Baker发表了约600篇期刊论文，该记录在本领域至今没有被打破。Dr. Baker也是美国动物科学协会、家禽科学协会、美国营养协会的成员。他的事迹和成就必定激励着单胃动物营养研究领域及其他行业的同仁们的继续努力。

这本书的付梓与我同事的帮助是无法分开的，在此我对他们无私的帮助表示感谢。我真诚地感谢他们在这本书的编写过程中所付出的时间与汗水。我也要感谢我的研究生Sean D. Brotzge 和 Chhabi K. Adhikari，感谢他们在每一章的校正和参考文献格式的书写方面所做出的努力。

目录

序

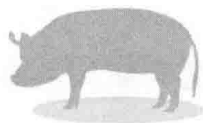
前言

第 1 章	001
猪营养中的水	
第 2 章	029
猪的能量和能量代谢	
第 3 章	077
脂类及猪对脂类的利用	
第 4 章	109
氨基酸及猪对氨基酸的利用	
第 5 章	149
碳水化合物及其在猪上的应用	
第 6 章	189
维生素及猪对维生素的利用	
第 7 章	241
矿物元素及其在猪饲料中的应用	
第 8 章	277
猪的营养与消化道健康	
第 9 章	305
饲料配方和饲喂程序	

第 10 章	321
猪饲料中的非常规原料	
第 11 章	359
猪的纤维素营养	
第 12 章	389
酶制剂及其在猪饲料中的应用	
第 13 章	417
猪饲料添加剂	
第 14 章	451
饲料中氨基酸、脂肪、碳水化合物的生物学利用率	
第 15 章	485
饲料中矿物质和维生素的生物学利用率	
第 16 章	523
猪营养与环境	
第 17 章	595
猪营养与肉品质	
第 18 章	633
生长猪和种猪的饲养	

第 1 章

猪营养中的水



1 导 语

水是猪日常饮食的一个关键组成，然而与此不相称的是，不管是科普书籍还是科学文献均很少关注水，只有出现问题时才会引起关注，因此水被称为“被遗忘的营养物质”。关于水对机体的重要性，Maynard（1979）给出了经典描述：“机体损失所有的脂肪和一半以上的蛋白质时仍能存活，但是失去10%的水分就会导致死亡。”

世界上大多数的猪肉主产区，水既充足又便宜，而且不会用于商业贸易，因此较少关注水（Fraser等，1990）。这也是相对于很多其他营养物质，人们对水的重要性缺乏了解的原因。此外，水还是一种特别难于研究的营养物质，对于著名的研究机构也是如此。因为那些用于能量、氨基酸、矿物质和维生素研究的传统方法，都很难应用在水上，甚至根本不适用。

而且，在实验室很难准确地测定水分含量。因为饲料、粪便、尿液或者猪肉样品中的水会与周围空气中的水不断交换，因此随着时间的推移，样品可能会增加或者丢失大量的水分。此外，样品中干物质含量的测定方法不仅去除了水

分,也可能去除了氨气和短链脂肪酸等挥发性成分,从而产生另一种误差。干物质含量的测定虽然只需要最简单的试验设备,但要准确测定并不容易。尽管是这样的简单分子,水的研究却非常困难。

2 机体水含量

水分子是猪体内含量最为丰富的物质,一些组织液的水分含量可高达99% (Shields等,1983)。机体水分含量会随体重变化而不断改变,出生时约占体重的82.5%,到上市时降到体重的53%,这是由胴体瘦肉减少而脂肪增加引起的 (Shields等,1983)。机体内的水主要分为三部分:细胞内的水(约占总水量的69%)、细胞间的水(约占总水量的22%)和其他存在于血管系统中的水(Mroz等,1995)。对于陆生生物,维持机体、组织和细胞内适宜的水平衡至关重要。水平衡与细胞、器官内以及细胞与器官之间的电解质平衡密切相关。电解质平衡是体内另外一种重要的稳态过程(Patience等,1989)。

关于猪饮水的调控机制目前还不是很明确,可能与血容量减少和渗透压升高有关,也受调控采食量的信号分子的影响(Mroz等,1995)。此外,猪的行为刺激还会影响饮水量,如在无聊、饥饿和其他应激时,猪都会大量饮水(Fraseret等,1990)。

除胃外,各段的肠道既可以吸收水,也可以分泌水。水可以通过主动和被动吸收方式被吸收(Argenzio,1984)。当食糜逐步经过小肠和大肠时,渗透压梯度不断增加,使得大部分水被结肠末端吸收。当肠道内存在大量渗透性的活性离子时,会导致渗透压平衡紊乱,进而引起腹泻(Fraser等,1990)。

3 水的营养

因为水几乎直接或间接参与了体内所有的代谢过程,所以它无疑是所有生物体赖以生存的关键物质。水特殊的化学结构决定了其在机体内发挥着重要的生理、生化和营养功能。

水的比热高,使它成为热动态平衡中理想的热传导物质。例如,水的汽

化热为2 258 J/g, 是酒精等其他液体的2倍多, 是正己烷和苯等有机溶剂的5倍 (Lehninger, 1982), 是体内干物质的2.5倍。热应激时, 水比其他液体或固体吸收的热量要高得多, 从而体温变化更小。所以, 水能有效维持机体体温的稳定。水的汽化热高还使它在机体肺蒸发散热过程中发挥着必不可少的作用。

水在维持酸碱平衡中也发挥着关键作用。水的pH是7, 与大部分组织理想的生理pH非常接近。此外, 水是碳酸氢盐缓冲体系的主要组成成分, 通过生成 CO_2 和 H_2O 可以保持 H^+ 和 HCO_3^- 的平衡。



机体通过生成 H_2O 和 CO_2 , 可排泄体内正常代谢产生的大量的酸, 而水在其中发挥了极其重要的作用。血液中与血红蛋白有关的碳酸氢盐缓冲体系, 也能清除 CO_2 等其他有毒分子, 不会引起组织损伤和静脉pH变化。水在其中发挥着两个作用: 一是化学作用, 这已在前面进行了阐述; 另一个作用是作为溶剂, 将各种分子运送到全身。

作为一种溶剂, 水是细胞间和器官间进行营养物质、化学能、代谢产物、废弃物交换的主要运输介质, 同时还能将激素从产生或释放部位运送至靶细胞或靶器官。水特殊的化学结构——两极特性使它成为理想溶剂。例如, 简单的盐易溶于水, 但几乎不溶于苯和氯仿等其他液体 (Lehninger, 1982)。

水是机体内氧化和水解等化学反应的基础。氧化反应主要是降解饲料中没有合成蛋白质的氨基酸及没有直接在体内沉积的碳水化合物和脂质。因为饲料中约有2/3的蛋白质不能在体内沉积, 且大部分碳水化合物会被氧化, 这意味着它们在猪体内会产生大量的代谢水, 据估计, 生长猪体内产生的代谢水约占每日水平衡总量的12% (表1-1)。而饲料中脂质被氧化的比例主要取决于猪不同生长阶段的生理状况及营养状态。因此, 水不仅是动物体内的主要组成部分, 还是许多生命活动所必不可少的物质。

表1-1 估算45 kg生长猪的水平衡

项目	摄入量 (mL/d)	项目	排泄量 (mL/d)
饮水量 ¹	5 552	粪便中的水量 ⁴	672
代谢水量 ²	788	尿中的水量 ⁴	2 839
饲料中的水量 ²	252	消化过程损失的水量 ⁵	185
组织合成的水量 ³	74	其他损失的水量 ⁶	2 335
		排出的总水量	6 031
		体增重存留的水量 ⁷	6 35
摄入的总水量	6 666	排出水和存留水的总量	6 666

¹猪的体重为45 kg，日采食量为2.1 kg，日增重为0.98 kg，日饮水量为5.55 kg（Shaw等，2006）。推测的蛋白沉积量为160 g/d，灰分的沉积量为35 g/d，脂肪的沉积量为150 g/d（均不是实测值）（Oresanya等，2008）。

²该饲料含有12%的水、5%的乙醚提取物（其中有85%的乙醚提取物或脂肪被消化，且可消化的乙醚提取物或脂肪转化成体脂的沉积效率为90%）、18%的粗蛋白（其中80%被消化，且80%是真蛋白质、20%是非蛋白氮；35%的可消化蛋白质在体内沉积，其余的均被分解代谢）。因而每天大概有9 g脂肪、157 g蛋白质和1 260 g碳水化合物被氧化代谢，每千克脂肪、蛋白质、碳水化合物产生的代谢水分别为1 190 mL、450 mL和560 mL（NRC，1981）。

³资料来源于Schiavon和Emmans，2000。

⁴假设饲料消化率为82%，粪便含水量为64%。

⁵资料来源于Schiavon和Emmans，2000。

⁶其他原因引起的水损失，其中大部分是由蒸发而损失的。

⁷组织沉积速度：每天的沉积总量为345 g，其中150 g脂肪、35 g灰分、160 g蛋白质；日增重980 g，日饮水量635 g。

4 水的平衡

◆ 4.1 水的摄入

饮水是猪获得水的最重要方式，但并不是唯一的来源。因为饲料中含有一定的自由水，所以猪在采食饲料后必然会摄入饲料中的自由水。氨基酸、碳水化合物和脂类氧化生成的代谢水也提供了猪每日需要水量的重要部分。弄清猪的饮水行为是非常困难的，因为猪的需水量受很多因素的影响（Fraser等，1990）。

那些影响猪的生理、生化和营养需要的因素都会改变饮水量，而这些因素本身又受到外界环境、健康状况、饲料和饮水质量的影响。在自由饮水的情况下，猪饮用的水能满足各种活动需求。

Schiavon和Emmans（2000）曾提出一个简化模型来预测生长猪的饮水量。在这个模型中，水的摄入量会随着消化过程需要的水、粪和尿排出的水及生长沉积的水的增加而增加。反之亦然，水的摄入量会随着饲料水、氧化过程产生的代谢水、蛋白质和脂质合成过程释放的水的增加而减少。然而，他们指出，为了更准确地预测生长猪的饮水量，还需要进行更多的试验，如排泄体内多余的氮和电解质所需要的水量、通过尿液和粪便排泄矿物质所需要的水量、调节渗透压所需要的水量或其他诸多影响因子都需要进一步研究加以细化。

4.1.1 总的饮水量

猪每日摄入水量的最主要来源是饮水。出版文献指出，供水的唯一要求就是确保水供应充足且质量好。大家普遍认为，在水供应充足且质量好的情况下，猪能根据自身需求正常调节饮水量。但有些情况并非如此，有时猪也会大量饮水（Fraser等，1990），甚至超过其正常的生理需要（Vermeer等，2009）。影响饮水量的主要因素包括体重、采食量和温度（Mroz等，1995）。

严格控制水平衡对机体来说至关重要，因为机体脱水或饮水过多都可以致命。大脑的下丘脑是渴感和饮水行为的调控枢纽（Koeppen和Stanton，2001），下丘脑的渗透压感受器能感受细胞外液的渗透压变化，血浆渗透压只要升高10 mOsm/kg就能使机体产生渴感，进而导致饮水（Anderson和Houpt，1990）。血容量降低是引起渴感的另一个信号，因为血容量下降6%~7%也会产生渴感（Anderson和Houpt，1990）。但根据饮水启动机制的不同，其他信号也会参与饮水调节。Mroz等（1995）发现，黏膜血流量、血管弹性及口腔干燥程度等信号都可能引起饮水。

关于猪饮水量的研究，多数都是在自由采食状态下进行估测的。在没有估算被浪费的水量的情况下，这些估测值指的就是与摄入量不同的“耗水量”。饮水浪费会带来巨大的经济损失，主要是因为它会增加粪污量，从而增加每年的粪污处理费用。因此，应该重视饮水器的设计及其安装位置的选择，最大程度地减少水的浪费（Brumm，2010）。

4.1.2 影响饮水量的因素

体重、环境温度和采食量是影响猪饮水量的主要因素。与所有的营养物质一样,随着猪的生长,每日需水量也会不断增加。但是,目前还缺乏足够的证据来阐明体重与需水量之间的确切关系。Schiavon和Emmans(2000)报道,在严格控制的条件下,体重与饮水量的 R^2 只有0.45;同时他们还推测在商业化生产条件下,体重与饮水量之间的关系可能并不是很紧密。因为猪的自由饮水量还受其他许多因素的影响。

从直观上讲,环境温度升高会导致猪的饮水量增加。Schiavon和Emmans(2000)研究表明,气温每升高1℃,猪的饮水量就会增加0.12 L/d。然而,与此不一致的是,vandenheede和Nicks(1991)发现,温度从10℃升高到25℃时,育肥猪的饮水量由2.2 L/d增加到4.2 L/d。Mount等(1971)研究表明,当温度从12~15℃升高到30~35℃时,体重为33.5 kg的猪饮水量提高了57%。而Straub等(1976)研究表明,在同样条件下,体重为90 kg的猪饮水量提高了63%。Yang等(1981)发现,猪体内的总水量是保持稳定的,但当温度从27℃升高到35℃时,水的周转速率就会提高。

值得注意的是,热应激期间猪会增加与饮水器咬玩的时间,从而增加了水的浪费,这可能导致对热应激期间需水量的估测偏大。

目前文献报道的水/饲料摄入比估算值变异非常大,低至1.5:1,高至5:1以上。造成以上差异的部分原因可能是环境条件、饲料特性或行为影响的不同。同时,各试验方法的迥然不同也可能是造成以上差异的重要原因。当生长猪饲养在适宜环境中、饲喂典型的商业化饲料且不考虑行为因素的影响时,其水/饲料摄入比为2.5:1(Shaw等,2008);在同样的条件下,育肥猪的水/饲料摄入比要低些,约为2:1。

有时因为无法准确计算浪费的水量,会导致表观饮水量增加,所以应特别注意各种不同科学术语的差别。摄水量指的是猪实际摄入的水量,而耗水量表示的是供水系统减少的水量。例如,由壁挂式乳头饮水器浪费的水量一般为25%~50%,甚至更高(Li等,2005)。

大家普遍认为,饮水量会随饲料蛋白质水平的增加而增加。该观点在诸多试验上得到证实(Suzuki等,1998;Pfeiffer等,1995),且从生理学上也很好理