

Alimentation des bovins, ovins et caprins

Besoins des animaux - Valeurs des aliments
Tables Inra 2007

牛、绵羊和山羊饲养精要

动物营养需要与饲料成分表

法国 INRA 2007 年营养成分表 / 2010 年修订

主译 黄亚宇 司 如 陈晓波

审校 孟庆翔 贾敬敬 田 亮



中國農業大學出版社
CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

éditions
Quæ

Alimentation des bovins, ovins et caprins
Besoins des animaux - Valeurs des aliments
Tables Inra 2007/mise à jour 2010

牛、绵羊和山羊饲养精要

动物营养需要与饲料成分表
法国 INRA 2007 年营养成分表/2010 年修订

主译 黄亚宇 司 如 陈晓波
审校 孟庆翔 贾敬敬 田 亮

中国农业大学出版社
• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

牛、绵羊和山羊饲养精要:动物营养需要与饲料成分表/(法)詹克斯·安哥布瑞尔(Jacques AGABRIEL),等编著;黄亚宇,等主译;孟庆翔,等审校. —北京:中国农业大学出版社,2013.10
ISBN 978-7-5655-0829-5

I. ①牛… II. ①詹…②黄…③孟… III. ①养牛学②绵羊-饲养管理③山羊-饲养管理
IV. ①S823②S826③S827

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 241583 号

书 名 牛、绵羊和山羊饲养精要:动物营养需要与饲料成分表

作 者 黄亚宇 司 如 陈晓波 主译 孟庆翔 贾敬敬 田 亮 审校

策划编辑 刘耀华 宋俊果

责任编辑 刘耀华 宋俊果

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

规 格 889×1 194 16 开本 19.25 印张 566 千字

定 价 78.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

本书是法文版图书

Alimentation des bovins, ovins et caprins
Besoins des animaux - Valeurs des aliments
Tables Inra 2007/mise à jour 2010

的中文翻译版本。

由原始版权所有者 Editions Quae 授予中国农业大学出版社专有权利,负责中文版本的出版发行。

著作权合同登记图字:01-2013-6455

译校者名单

章次	翻译	审校
第 1 章	陈晓波 黄亚宇	孟庆翔 贾敬敬 田 亮
第 2 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 霍云龙 贾敬敬
第 3 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 耿春银 田 亮
第 4 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 崔振亮 贾敬敬
第 5 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 吴 浩 张元庆
第 6 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 贾敬敬 解祥学
第 7 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 石风华 丁耿芝
第 8 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 方 雷 李 蕊
第 9 章	黄亚宇 司 如	孟庆翔 孟 杰 李德勇
第 10 章	黄亚宇	孟庆翔 常 影 白元生
第 11 章	黄亚宇	孟庆翔 赵丽萍 丁 健
第 12 章	黄亚宇	孟庆翔 任丽萍 高书文
第 13 章	黄亚宇	孟庆翔 周振明 刘 萍
附录	陈晓波	孟庆翔 张心壮 刘晓妮
名词术语解释	黄亚宇	孟庆翔 任丽萍 鲁 琳
软件使用说明	黄亚宇	孟庆翔 王 菲 王自清

中文版前言

由法国农业科学研究院(INRA)专家所著的《牛、绵羊、山羊饲养精要》(简称“红书”)的中文版付梓在即。红书中文版综合了法国关于肉牛、奶牛、绵羊和山羊的营养需要量、常用饲料的营养成分和饲养技术的最新科研成果,针对性和实用性都很强。为了便于中国科研、教学和生产单位的读者对法国牛、羊饲养中普遍采用的能量(饲料单位)体系、小肠可消化蛋白质(PDI)体系和采食量(充盈度单位)体系的理解,红书中文版在原书9章的基础上增加了另外4章关于上述体系基础知识的介绍。考虑到第9章所涉及的饲料原料种类繁多,红书还特别附加了一张包括1450种饲料原料营养成分的光盘(INRAlim软件),可以满足50个不同种类饲养标准的查询要求。

随着中国经济的快速发展和城乡居民食品安全意识的提高,牛、羊肉和奶制品等反刍动物产品的需求与日俱增。改革开放30多年来,中国牛、羊养殖业得到了快速发展,牛、羊营养需要和饲料科学的基础及应用研究实力不断增强。为了适应牛、羊产业快速发展的需要,中国奶牛、肉牛、羊的标准化养殖体系和饲养标准基本建立起来。但是,中国牛、羊营养需要和饲料科学研究的基础与世界畜牧业发达国家相比还比较薄弱,已经建立的牛、羊营养需要标准还不能完全满足畜牧养殖标准化的需求。

法国在肉牛、奶牛、绵羊、山羊的营养需要和饲料营养评价方面居于世界前列,其最大特点是理论与实际的紧密结合。由中法肉牛研究与发展中心组织翻译的这本书,原汁原味地将法国近年来的最新科研成果呈现给大家。红书中文版的出版,不仅对于完善中国牛、羊营养需要和饲料评价体系以及促进牛、羊标准化养殖技术水平的提升具有重要的参考价值,而且也为中国广大畜牧从业人员、在校大学生和研究生提供了一个不可多得的实用工具。

红书中文版的翻译出版,得到了中华人民共和国农业部国际合作司与畜牧业司、法国农业食品与林业部国际合作司、法国驻华大使馆、法国农业科学研究院(INRA)和法国畜牧研究院(Institut de l'Élevage)等单位的大力支持,法国馥蒂公司(Laboratoires PHODE)提供了出版经费资助,在此我们谨代表译者和审校者一并表示诚挚的谢意!

在红书中文版翻译出版过程中,法国农业科学研究院草食动物研究中心(Unité de Recherches sur les Herbivores, INRA Centre de Clermont Ferrand-Theix) Jean-François Hocquette 教授和 Jacques Agabriel 教授为法文的正确翻译提供了巨大的帮助;中国农业部国际合作司王锦标先生,法国农业食品与林业部 Dominique GIGAN 先生,法国驻华大使馆 Carole LY 女士和 Thomas PAVIE 先生以及中国农业大学吴海芹女士等,对红书中文版的出版给予了宝贵的支持;中国农业大学出版社宋俊果女士和刘耀华女士在红书中文版出版方面做了大量卓有成效的工作。没有他们的努力,在这么短时间内出版这本书是根本不可能的。

最后,还要特别感谢中国农业大学动物科技学院的领导、同行和同学们对本书翻译出版给予的宝贵支持,特别是杨元龙、赵永峰、赵禹臣、何翠、和立文等研究生同学为红书中文版的数据录入和文字校对付出了大量辛勤的劳动。

由于翻译和审校时间有限,红书中文版谬误之处在所难免,敬希广大读者给予指正。

中法肉牛研究与发展中心主任

孟庆翔 Jean-louis PORRY

2013年10月于北京和巴黎

中文版致谢

法语原著的简体中文翻译工作在孟庆翔教授的组织下,由黄亚宇、司如、陈晓波主译,孟庆翔、贾敬敬、田亮审校。

本书由法国馥蒂公司 (Laboratoires PHODE)



资助出版。

原版前言

由 R. Jarrige 教授主编的 INRA“红书”《牛、绵羊和山羊饲养精要》第 1 版问世已经近 20 年时间。如今有必要基于饲料学和家畜营养学最新科研成果对反刍动物饲料配方系统的基本原则和方法进行修订,以适应畜牧产业快速发展的需要。

近年来,各种类型的家畜和饲料生产都取得了长足的发展,畜牧养殖的经济环境和养殖业者的地位也发生了根本性变化。随着农业机械化、养殖规模化和畜牧生产水平的持续发展,要求畜牧学研究在生物学、畜牧学和经济学三个方面为不同生产条件下的养殖企业实现最佳养殖效益提供理论技术支撑。

鉴于家畜饲养环节所占的经济权重高且工作量大,它被视为整个养殖业的关键环节。每年数以万计的养殖企业和技术人员都试图优化他们的饲料配方。然而,配方中饲料的营养价值千差万别,给配方的计算带来了难度。

为了在不断变化的条件下改善反刍动物的饲养效益,法国农业科学研究院(INRA)在克莱蒙费朗(Clermont-Ferrand-Theix)、雷恩(Rennes-Saint-Gilles)、蒙彼利埃(Montpellier)和巴黎(Paris-Grignon)各科研中心的科研人员,这些年在饲料特性分析、家畜营养需要预测以及饲料养分推荐量的制订等方面,取得了突出的进展。除了制订满足不同类型家畜动态营养需要量和饲料养分供应推荐量外,我们还给出了不同饲养方法所产生的预期饲养效果,以更好地适应不同生产条件的需要。

信息科学的快速发展推动了饲料配方技术的进步。列表计算技术的普及使用户可以快速地计算饲料配方和轻易地调整出简单的饲料配方。为了使这些方法更加简单化,我们介绍了一种适用于各种不同生产类型的饲料配方计算方法,提出了各种可用的计算公式,以便在已知数个变量的条件下快速估算出饲料的营养价值、家畜营养需要量以及推荐的饲料供应量。

本书在借鉴旧版内容的基础上加入了我们认为充分成立的最新内容,并针对所有生产类型的反刍动物制订了完整的饲料营养价值表和 INRA 饲料养分供应推荐量。由于出版社难以同时列出决定饲料营养价值的 50 个指标,因而本书附带的光盘便派上了用场。本书是老一辈科学家业已建立的功能强大的饲料配方系统的延续,而我们本身的数据整合过程并没有“革命性的突破”。

与本书相配套,我们还选择提供了计算饲料配方的参考软件——银河星(INRAtion)软件。新版本的软件附带了可以预测饲料价值的波利夫利姆(PrévAlim)软件。它将使我们在制订饲料配方时能更好地评估各个饲料配方的使用效果,以详尽展示各种配方的功能。另外,本套软件还附带了一系列辅助分析工具,如:边际效益分析、畜群饲料配方分析、氮排放分析、放牧期补充饲料配方的制订等。

J. Agabriel

原版致谢

如果没有下列合作者所做的杰出工作,本著作是不可能完成的。作者在此对他们致以崇高的谢意。

首先,要感谢法国 Le Pin au Haras, Marcenat, Les Monts Dore, La Fage, Méjusseaume-Le Rheu, Grignon, Montpellier, Theix, Lusignan 等各个综合试验站,以及参与奶牛、肉牛、绵羊、山羊和育肥家畜试验的全体一线工作人员和负责试验数据处理的技术人员。

其次,要感谢参与本书原稿校对并参与终稿审定的下列专家:

第 1 章:J.-B. Coulon, C. Agabriel 和 C. Sibra;

第 2 章:C. Agabriel, N. Bareille, J.-B. Coulon, J. Flament, J.-L. Peyraud, C. Philippeau 和 B. Rémond;

第 3 章:F. Blanc 和 A. Lamadon;

第 4 章:J.-Y. Porhiel 和 C. Sibra;

第 5 章:R. Dumont 和 M.-P. Oury;

第 6 章:F. Blanc, C. Buisson, B. Drux 和 C. Vacaresse;

第 7 章:Y. Lefrileux, P. Morand-Fehr 和 A. Pommaret;

第 8 章:L. Delaby 和 J.-B. Coulon。

最后,我们还要特别感谢 M.-H. Farce 在本书编写过程中提出的建设性意见,M.-O. Nozières 对项目筹备期的工作贡献,以及 D. Bollot, J. Veltz 和 V. Mary 对本书终稿排版工作所做的贡献。

目 录

第 1 章 饲料配方:基本原则与计算方法	1
1.1 从手工计算到计算机运用	1
1.2 饲料配方的手工计算	1
1.3 利用计算机计算饲料配方——银河星(INRAtion)软件和波利夫利姆(PrévAlim)软件应用介绍	7
第 2 章 奶牛的饲养	18
2.1 奶牛日粮配方计算的基础	18
2.2 基于贮存饲料的奶牛饲喂策略	24
第 3 章 肉用母牛的饲养	48
3.1 饲料需要	48
3.2 采食能力	50
3.3 饲料养分供应推荐量	50
3.4 未断奶犊牛的饲养	53
3.5 肉用母牛的放牧饲养	53
第 4 章 犊牛和后备母牛的饲养	62
4.1 犊牛的饲养	62
4.2 后备母牛的饲养	63
第 5 章 生长育肥牛的饲养	74
5.1 牛肉生产的主要类型	74
5.2 生长期和育肥期肉牛的营养需要	75
5.3 采食能力和采食量	78
5.4 饲料养分供应推荐量	79
5.5 舍饲青年牛日粮配方的计算	81
5.6 放牧期的饲养	81
第 6 章 绵羊的饲养	104
6.1 营养物质需要量和供应量	104
6.2 日粮配方计算示例	107
第 7 章 山羊的饲养	118
7.1 乳用山羊的营养需要量	118
7.2 采食量	122
7.3 精饲料供给的边际反应	123
7.4 分群饲养	123
7.5 在人工和公共草地上放牧	124
7.6 其他山羊	124

7.7 产奶山羊日粮配方的计算	124
第8章 饲料和饲料原料的价值:营养成分表和预测值	130
8.1 饲料有机物及其消化率	131
8.2 有机物消化率的测定	133
8.3 饲料净能值的确定	134
8.4 饲料蛋白质价值的确定	135
8.5 粗饲料充盈度值的确定	138
8.6 磷和钙等主要矿物元素及其真吸收率	139
第9章 饲料营养成分表	155
9.1 饲料分类	155
9.2 缩略语释义	156
9.3 植物性饲料生长阶段的定义	157
9.4 饲料营养成分表	157
第10章 能量:饲料单位体系	244
10.1 饲料单位体系的基本概念	244
10.2 两个饲料单位	245
10.3 UF体系的深入介绍:饲料及日粮的能量价值	246
第11章 蛋白质需要:小肠可消化蛋白质(PDI)体系	251
11.1 饲料PDI的定义及其评价原理	251
11.2 饲料PDI值的衡量	253
11.3 饲料PDI体系中各组成部分的来源	253
11.4 家畜对蛋白质的需要量和耐受程度	256
第12章 饲料采食量:充盈度单位(UE)体系	258
12.1 充盈度单位体系的基本概念	258
12.2 充盈度单位的定义	260
12.3 粗饲料充盈度值的估测	261
12.4 精饲料充盈度值的估测	261
12.5 家畜的采食能力	262
第13章 饲料矿物质营养价值	263
13.1 基本原理	263
13.2 推荐的日供给量	263
附录	267
缩略语对照表	278
名词术语解释	281
作者名录	290
随书附赠光盘 INRAlim 软件使用说明	292

第1章 饲料配方:基本原则与计算方法

作者:J. Agabriel, D. Pomiès, M. -O. Nozières, P. Faverdin

1.1 从手工计算到计算机运用

饲料配方的制订要尽量使营养物质的供应和家畜的营养需要相一致。饲料配方用于准确计算喂给家畜的饲料量,以确保满足一头或一群家畜用于机体维持和生产所需的能量、含氮物、常量矿物元素、微量矿物元素以及维生素等。在实际生产中,粗饲料通常由家畜自由采食,而饲料配方主要用来计算精饲料的组成和比例。当然,我们必须理解饲料配方的基本原则,以防止家畜由于饲料配方不当而造成机能障碍,甚至发生疾病。

1.2 饲粮配方的手工计算

这里介绍的饲粮配方方法是针对各种反刍动物,而且与银河星(INRAtion)软件中应用的方法相一致。饲料配方方法可通过手工计算,也可以借助计算机或表格程序来实现。饲料配方的目的是力求在最大限度利用粗饲料的情况下制订针对特定动物生产目的(产肉、产奶)的日粮配方,而不仅仅考虑饲粮的整体成本。为了给出合理的日粮饲喂量,必须首先了解目标家畜的特征;其次还需要了解饲粮中各饲料原料和其他营养物质的种类及其特性。在这里,我们默认提供给家畜的饮水品质良好并且数量足量。

在某些情况下,饲料配方不可能也没有必要完全满足动物的生长和生产需要:动物可以暂时利用机体内储存的营养物质来满足其营养需要。本书饲料配方所采用的营养需要量数据来自于法国农业科学研究院(INRA)的建议,同时考虑到了家畜可以承受的营养缺乏程度以及后期恢复体况的需要。

1.2.1 家畜的畜牧学特征和营养需要类型

1.2.1.1 家畜特征

饲料配方的第1步需要输入和分析目标家畜的畜牧学特征,如家畜种类(牛、绵羊、山羊)、生产类型(产肉、产奶、畜群更新)、品种、性别、年龄、体重、生长速度以及膘度状态等。对于产奶家畜,还需要考虑原产奶性能有关的指标,如泌乳阶段、产奶潜力、产奶量和乳成分(如乳脂率和乳蛋白率)等。

这些信息可用于评估家畜的能量需要[以“饲料单位(UF)”表示]、蛋白质需要[以“小肠可消化蛋白质(PDI)”表示]、矿物质需要[以“可吸收钙、可吸收磷的克数”表示]以及动物的采食能力[以“充盈度单

位(UE)”表示](参考其他对应章节)。

示例 1

已知一头处于产奶中期(16周)的经产奶牛,40月龄,体重700 kg,膘度等级评分2.5(译者注:评分1为最低膘度等级,评分5为最高膘度等级),当前日产奶量34 kg(泌乳高峰期产奶潜力41 kg),乳脂率40 g/kg,乳蛋白率32 g/kg。按照第2章列出的公式,可以计算出该产奶牛的采食能力和饲料营养需要量:

● 采食能力(CI)	19.8 UEL/d	(据公式 2.3)
● 能量需要	20.7 UFL/d	(据公式 2.7)
● 含氮物需要	2 146 g PDI/d	(据公式 2.8)
● 可吸收钙需要	63 g/d	(据公式 2.16)
● 可吸收磷需要	51 g/d	(据公式 2.17)

1.2.1.2 营养需要类型

家畜的生理需要(包括能量、含氮物和矿物元素等)是指用于满足机体维持和生产所必需的营养物质需要。在以后各章节中,将对不同种类及不同生产类型家畜的营养需要进行详细介绍。

(1)维持需要 包含家畜维持基础代谢所消耗的能量(机体组织维持和热增耗)和成年家畜保持其机体质量(组织成分和化学物质成分)恒定所需要的能量。对于生长家畜,机体维持作为家畜零生长所消耗能量的估计值。机体维持需要还包括家畜采食和随后消化饲料所消耗的能量,以及家畜在放牧时的物理活动所消耗的能量。此能量需要与家畜体表面积密切相关,可以通过其代谢体重[即活重的 0.75 次方($P^{0.75}$)]来表述。

(2)生产需要 是指家畜在整个生产过程中体重增加(对于产肉家畜而言)、妊娠、胚胎发育以及泌乳(对于生产母畜而言)所必须消耗的营养需要。这些需要通常直接决定饲料的供给量。但对于一些生产性能较低的成年家畜来说,饲料供给水平可能低于其需要量,但这并不影响家畜的健康和生产能力。因此,我们只需要考虑维持动物生理机能所需要的饲料参考供给量即可。

1.2.2 精饲料和粗饲料的特性

饲料配方的第2步,需要提供饲粮配方中各种备选粗饲料和精饲料(如谷物、饼粕、农副产品和商品化饲料等)的特征性成分分析值。

根据 INRA 制订的法国饲料配方系统,每种饲料的特征性指标包括:

(1)消化道充盈度值 以“充盈度单位(UE)”表示。绵羊、山羊和产奶牛、其他生产类型牛的饲料充盈度值分别表示为:UEM(绵羊)、UEL(山羊和产奶牛)、UEB(其他生产类型牛)^[1]。由于各种精饲料的消化道充盈度值差别很大,我们无法设定其固定的充盈度值。精饲料的充盈度值取决于它在日粮中所占的比例,以及日粮中粗饲料的充盈度值。

(2)能量价值 用“饲料单位(UF)”表示。UFL 用于产奶母畜或其他具有相似能量需要的反刍动物,UFV 用于快速发育和增重的反刍动物。

(3)蛋白质价值 以“小肠可消化蛋白质(PDI)”表示。PDI 价值又分为 PDIE 和 PDIN 2 个数值,表示饲料当能量和可降解蛋白质分别限制瘤胃微生物蛋白质合成时供应给反刍动物的小肠可消化蛋白质数量。

(4)可吸收矿物质 可吸收钙和可吸收磷(Ca_{abs} , P_{abs} ;单位:g/kg 干物质)。

上述特征信息可以参考饲料营养成分表(包括不同时期收割的各种牧草)和家畜营养成分表^[2]。如果对饲料进行化学成分分析,其营养价值可以通过一些专业性软件[如波利夫利姆(PréAlim)软件]进行精确的计算。表 1.1 列出了一些用于日粮配方所需的基本信息。

示例 2

首次刈割(结穗前1周)的鸭茅草青贮饲料,矮秆,添加防腐剂,该饲料编号 FE3550(第9章),饲料价值(每千克干物质)如下:

• 充盈度值	1.22 UEM	1.05 UEL	1.06 UEB
• 能量价值	0.94 UFL	0.88 UFV	
• 蛋白质价值	112 g PDIN	75 g PDIE	
• 矿物质价值	1.6 g P_{abs}	1.3 g Ca_{abs}	

1.2.3 日粮配方的手动计算

正如前面所说,日粮配方的计算旨在满足动物在某一特定生产目标前提下的营养需要,即满足动物的最大生产性能需要,并通过最大限度地利用粗饲料来降低饲料成本。在实践中,这种日粮配方的成本不一定最低。这里介绍的日粮配方手动计算方法(框 1.1、框 1.2)是以1种(或多种)粗饲料按固定比例与2种精饲料原料混合,以满足动物营养需要。该方法简化了银河星(INRAtion)软件使用的计算公式。如果饲料种类超过3种,或希望快速模拟运算多种饲料组合模型,配方的计算将会变得异常复杂。在这种情况下,最好采用软件来计算。另外,还有一些简单的计算方法,它们或是只适用于特殊的家畜品种,或是只有通过实践应用才能确定其可行性。

在本章中,所有的饲料(粗饲料和精饲料)价值都以干物质(kg 干物质)为基础进行计算。

1.2.3.1 能量需要的满足

能量采食量主要取决于每种饲料的采食量和其能量含量。

(1)粗饲料给量计算 首先,需要检测单一粗饲料(或多种粗饲料组合)是否可以满足家畜的能量需要。因此,需要比较日粮中最低能量浓度需求(DER_m)和粗饲料可提供的能量数量(DEF)。

如果使用一定配比的混合粗饲料(如70%玉米青贮+30%干草),混合粗饲料的价值指标为各种饲草价值指标之和。

$$DER_m = \text{能量需要(UFL 或 UFV)} / \text{动物采食能力(UEM、UEL 或 UEB)}$$

$$DEF = \text{粗饲料能量含量(UFL 或 UFV)} / \text{粗饲料充盈度值(UEM、UEL 或 UEB)}$$

如果粗饲料能量浓度大于或等于日粮最低能量浓度要求,那么粗饲料可以完全满足动物的能量需要。粗饲料(或粗饲料混合物)的供给量 QI_F 的计算公式如下:

$$QI_F = \text{动物能量需要} / \text{粗饲料的饲料单位值}$$

这个公式也可以直接用于蛋白质供给量的计算,参见“蛋白质供给量计算”。

如果粗饲料能量浓度低于日粮最低能量浓度需求,那么即便让动物自由采食粗饲料,也不能满足动物的能量需要,这时需要补充精饲料。

示例 3

- 以示例 1 中的产奶母牛为例: $DER_m = 1.05$ (即 $20.7 \text{ UFL}/19.8 \text{ UEL}$);
- 以示例 2 中青贮饲料为例: $DEF = 0.90$ (即 $0.94 \text{ UFL}/1.05 \text{ UEL}$)。这样, 单独饲喂青贮饲料不能满足动物的能量需要。

(2) 精饲料给量计算 充盈度单位体系可用于饲料采食量的计算。当某种饲料被动物自由采食后, 各种饲料的充盈度值总和应该与该动物的采食能力相等。动物的粗饲料采食量 (QI_F)、精饲料采食量 (QI_C) 的计算公式如下:

$$CI = (QI_F \times VE_F) + (QI_C \times VE_C) \quad (1.1)$$

式中, CI 为动物采食能力; VE_F 为粗饲料充盈度值 (表示为 UEM 、 UEL 或 UEB , 单位: $/\text{kg}$ 干物质); VE_C 为精饲料充盈度值。

精饲料的充盈度值随饲料原料替代的不同而变化, 可用以下公式表示:

$$VE_C = S_g \times VE_F \quad (1.2)$$

式中, S_g 为精饲料替代粗饲料的比例。

事实上, 随饲料中精饲料量的增加, 动物对粗饲料的采食量减少, 两者是替代关系。替代关系很容易在试验中得到验证, 并用于观察和计算。因此, 通常此关系被用于每种动物的饲料配比建模。在实际条件下, 可以观察到粗饲料和精饲料之间的替代关系不是恒定不变的, 而是取决于粗饲料的充盈度值、精饲料所占比例等因素。对于产奶母牛来说, 替代关系还需考虑其能量需要。替代比例的数值介于 $0 \sim 1$ 。通常在计算机中采用逐次迭代的方法计算其替代比例, 并满足关于充盈度值和能量的二元方程 (粗饲料和精饲料的量为 2 个未知数) (参见框 1.1)。在手动计算过程中, 对于某种动物通常采用一种饲料替代另一种饲料的平均替代率。表 1.2 列出了牛的替代率, 其他畜种的替代率在后面相关章节还会有详细介绍。因此, 首次计算粗饲料采食量和精饲料采食量的数值均为近似数值。

为了寻求日粮能量配比的平衡, 要求能量供给总量与动物的需要量相等:

$$[(QI_F \times UF_F) + (QI_C \times UF_C)] - E = \text{Bes}UF \quad (1.3)$$

式中, E 为能量供给量的校正系数。此校正系数将因消化和代谢的组合效应程度影响而降低的日粮整体能量值也列入其中计算。消化和代谢的组合效应通常发生在动物摄入水平较高, 并且饲料中精饲料比例较高的情况下。这样的情况常见于产奶牛饲养, 表 2.6 显示了校正系数的重要性和必要性。校正系数很少超过 2.0 UFL , 而且最大不超过 2.5 UFL 。对于产奶山羊, 该校正系数直接列于能量需要表中。

为了计算反刍动物精饲料和粗饲料的供给量, 这里可以将上面所述公式 1.1、公式 1.2 和公式 1.3 转换为以下公式:

$$QI_C = [(BesUF + E) - (CI \times DEF)] / [UF_C - (S_g \times VE_F \times DEF)] \quad (1.4)$$

$$QI_F = [CI - (QI_C \times S_g \times VE_F)] / VE_F \quad (1.5)$$

对于育肥牛的饲料配方来说, 检验最初的饲料替代比例值的设定非常重要 (具体内容请参阅不同种类动物饲养的相应章节)。通过计算粗饲料充盈度值、精饲料供给量或精饲料比例近似值, 可以得出关于每种动物类型较为精确的 (精饲料和粗饲料) 替代比例。如果所得结果与表 1.2 中给出的平均值不吻合, 则需要在上述公式中输入新的 S_g 值, 重新计算动物可以采食的粗饲料和精饲料量。

1.2.3.2 蛋白质供给量计算

在计算了日粮能量之后, 还要考虑计算蛋白质的供给水平。正如前文所说, 每种日粮的蛋白质价值

都有2种表现形式,即由含氮物供给量决定的可供小肠消化吸收的蛋白质数量(PDIN)和由能量供给量所决定的可供小肠消化吸收的蛋白质数量(PDIE)。这2种含氮物的价值给出了反刍动物含氮饲料的特殊性,反映出日粮蛋白质供给量相对于能量供给量的平衡关系,同时也提示生产者必须重视由瘤胃微生物发酵提供给动物的蛋白质的重要性。

蛋白质平衡的日粮所含的PDIE量应该等于小肠可消化蛋白质的需要量;PDIN含量应该大于或者等于PDIE含量。因此,日粮中能量和蛋白质含量应该满足以下关系式:

$$(QI_F \times PDIE_F) + (QI_C \times PDIE_C) = \text{BesPDI (小肠可消化蛋白质需要量)} \quad (1.6)$$

如果PDIN值小于PDIE值,则表现为饲料提供给微生物的可利用降解氮缺乏。当这个差值较大时,需要补充饲料含氮物。在某些情况下,较小的差值是可以忽略不计的。这将在后面的章节详细介绍。

(1)以PDIE含量来满足动物的蛋白质需要

①当粗饲料本身可以满足动物的能量需要时:我们应该检查粗饲料或粗饲料混合物中PDIE含量($QI_F \times PDIE$)是否超过动物所需的蛋白质量。如果是,则只需要核对瘤胃微生物发酵所需要的蛋白质数量是否满足即可。如果PDIE含量不足,则必须在粗饲料或混合粗饲料中添加一种或多种富含含氮物的精饲料(PDIE或PDIN价值高的饲料)以补充差值。在大多数情况下,精饲料可以满足,甚至超过动物本身的能量需要,因为精饲料比粗饲料更加富含能量价值。

精饲料供给量可通过以下公式计算:

$$QI_C = [\text{BesPDI} - (QI_F \times PDIE_F)] / [PDIE_C - (Sg \times PDIE_F)] \quad (1.7)$$

通常采用表1.2中的Sg值作为默认值。

②当粗饲料本身不能满足动物个体的能量需要时:通过计算上文提到的粗饲料干物质质量 QI_F 和精饲料干物质质量 QI_C ,添加一种或多种精饲料来满足动物的蛋白质需要。如果仅仅考虑添加一种精饲料,此精饲料的最佳PDIE值的计算可由动物的蛋白质总需要值减去粗饲料的PDIE值,再除以所需的精饲料量得到:

$$PDIE_C = [\text{BesPDI} - (Q_F \times PDIE_F)] / Q_C \quad (1.8)$$

在得出最佳值之后,通过一些商品饲料表格所列出的各种饲料中查找符合或接近最佳PDIE值的精饲料即可。

如果我们可以添加第2种富含蛋白质的精饲料(C2)用以补充第1种能量精料(C1),此饲料的供给量(QI_{C2})的计算可由添加第1种精饲料未能满足的蛋白质需要差值除以2种精饲料的PDIE差值得到:

$$QI_{C2} = [\text{BesPDI} - (QI_F \times PDIE_F) - (QI_C \times PDIE_{C1})] / (PDIE_{C2} - PDIE_{C1}) \quad (1.9)$$

由于各种精饲料的能量含量值都很接近(约1 UF/kg),第2种富含蛋白质的精饲料通常可以取代第1种能量精饲料的能量供给,即:

$$QI_{C1} = QI_C - QI_{C2}$$

如果精饲料间能量价值差别很大,那么最好根据粗饲料的供给量及其能量和蛋白质的缺乏量重新精确计算2种不同精饲料的供给量,详细计算公式见框1.1。

在计算了用于满足动物蛋白质代谢的PDIE需要量后,还应该利用PDIN值来确保反刍动物瘤胃的正常代谢功能。

(2)PDIN和PDIE平衡:瘤胃正常代谢功能检验 为了获得最优的微生物蛋白合成效率,以及实现令人满意的日粮消化率,瘤胃微生物应该同时满足最低的可发酵能量和可消化氮源需要。也就是说,要使PDIE值与PDIN值相等。这一目的在实际生产中很难实现,但我们应力求做到两者相近。因此,需

要计算日粮中瘤胃微生物功能指数 $[R_{mic} = (PDIN - PDIE) / UF]$ ，并按照动物品种的不同，检验该指数是否大于阈值。有时允许日粮的 PDIN 值适当偏低，即 R_{mic} 为负值，因为瘤胃微生物可以利用一定量的唾液中的尿素循环氮。然而，动物的生产水平越高，对含氮物供给的变化就越敏感，可接受的瘤胃微生物功能指数阈值就越接近于零（即不能接受 PDIN 值的任何偏低）。例如，处于妊娠期的肉用母牛的阈值为 -22 g，而育肥初期的公犊需要沉积更多的肌肉蛋白质，其阈值为 -6 g。其他类型动物的可接受阈值参见表 1.3。如果计算出的日粮不能满足这一平衡，则需要调整用于校正含氮物比例的精饲料种类。

如果 $(PDIN - PDIE) / UF$ 大于或等于 PDI 阈值，则指定的饲料配方可以接受，即便最终的计算结果可能为负值。

如果 $(PDIN - PDIE) / UF$ 小于 PDI 阈值，饲料配方可通过以下 3 种情况完成：

——增加富含可发酵氮的饲料以平衡 PDIN 和 PDIE 值，例如尿素。对于成年产奶母牛，70 g 尿素（每天饲喂尿素量不超过 250 g）可以平衡 100 g 的 PDIN 与 PDIE 差值（通常使用青贮玉米饲料更适合于添加尿素，而干草饲料则不然）。

——改变精饲料配比，使用 PDIN/PDIE 比值高的精饲料，重新计算精饲料配比用量（例如，使用葵花粕替代菜籽粕）。

——增加 PDIN 值高的粗饲料，如用青贮玉米秸平衡饲料配比时，不需要另外添加精饲料。

最后，如果 $(PDIN - PDIE) / UF$ 远大于 PDI 阈值，则大量含氮物会通过尿液排出体外，从而造成含氮物的浪费。这样不仅会影响环境，而且会造成经济损失。这时最好的方法是改变精饲料配比，选用 PDIN/PDIE 比值低的精饲料，如压榨法生产的豆饼等。

1.2.3.3 矿物质饲料给量计算

为了避免矿物元素缺乏及其造成的影响，有必要对日粮矿物元素含量水平（供给和摄入关系）进行分析，来了解可能的矿物质含量是否偏低，并通过补充适宜的矿物质饲料进行纠正。这类饲料可以由动物自由采食，或者按照一定比例添入日粮中。这里我们仅计算钙和磷的供给量。当然，其他微量元素和维生素供给量的计算也很有必要，具体的营养价值表请参见书中所附光盘（CD-ROM）的内容。矿物元素供给量的计算是根据不同矿物质占饲料成分比例的线性代数方法计算得来的，其供给量单位与需要量单位相一致，为 kg 干物质中的克数。

根据 INRA^[3] 最新建议，需要量和供给量均以可吸收矿物质的量（g）来表示，即可吸收磷（ P_{abs} ）和可吸收钙（ Ca_{abs} ）。应当补充的矿物质是该矿物质摄入量 and 需要量间的差值，同时保持不同矿物元素间的摄入平衡也很重要。因此，在分别计算了 P_{abs} 和 Ca_{abs} 的差值后，还应该平衡两者之间的比例关系，即 Ca_{abs} / P_{abs} 。

根据一般的商业习惯和规则，在选择矿物质饲料时，往往根据某种饲料的钙、磷吸收率和 Ca_{abs} / P_{abs} 来推算饲粮的钙磷比（Ca/P）。饲粮总钙和总磷需要量可以通过以下公式转换：

$$P = P_{abs} / 0.65, Ca = Ca_{abs} / 0.40$$

从而得出

$$\text{饲料钙磷比的缺乏量} = 1.63 \times (Ca_{abs} / P_{abs}) \text{缺乏量} \quad (1.10)$$

矿物质饲料的钙磷比应该尽可能得到满足。饲料中的钙磷比一旦确定，参配的含钙饲料量就可以通过首先满足磷的需要量差值后所需的含磷饲料再选择适宜的含钙饲料来实现。事实上，磷元素是饲粮中经常缺乏的元素之一，特别是富含粗饲料的饲粮。

在满足钙、磷需要后，还需要查验饲粮中其他矿物质和维生素的需要，或者添加另一种矿物质饲料以确保饲料配方可以满足所有矿物元素的需要量，但不造成浪费。银河星（INRAtion）软件已经列出了以钙磷比为基础的多种矿物质补充饲料配方的建议，供用户在实践中选用。