



**HAL**  
open science

## Systeme de rationnement français et INRAtion

Yayu Huang

► **To cite this version:**

Yayu Huang. Systeme de rationnement français et INRAtion. 2. Forum franco-chinois sur la production de viande bovine, China Agricultural University (CAU). CHN., Sep 2012, Pékin, China. hal-02748432

**HAL Id: hal-02748432**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02748432v1>**

Submitted on 3 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Alimentation des bovins, ovins et caprins

### 牛、绵羊和山羊饲养学



Ce fichier contient l'avant propos, le sommaire et le premier chapitre de l'ouvrage « Alimentation des bovins, ovins et caprins » rédigé par l'INRA et publié par les éditions QUAE. L'ouvrage complet est en cours de publication dans une version en chinois par CAU Press.

本文件包含著作《牛、绵羊和山羊饲养学》（法语原著由法国农业科学院专家撰写，éditions QUAE 出版）的前言、目录以及第 1 章的中文译本。中文版全书正在出版准备中，将由中国农业大学出版社正式出版。

## **Remerciements**

La traduction de l'ouvrage en français vers la langue chinoise a été assurée par Mr Yayu HUANG et Mme Ru SI et coordonnée par le Prof Qingxiang Meng.

## **致谢**

法语原著的简体中文翻译工作在孟庆翔教授组织下，由黄亚宇和司如完成。

# 前言

法国农业科学院动物生理与畜牧系统研究部 (Département PHASE de l'INRA)

由 R. Jarrige 教授主编的 INRA “红书”《牛、绵羊、山羊饲养学》问世已经近二十年时间。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，以适应畜牧产业发展的需要。

近年来，各种类型的家畜和饲料生产都得到了长足的发展，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，要求畜牧学研究要在生物学、畜牧学 and 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，配方中粗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，法国农业研究院 (INRA) 在克莱蒙费朗 (Clermont-Ferrant-Theix)、雷恩 (Rennes-Saint-Gilles)、蒙彼利埃 (Montpellier) 和巴黎 (Paris-Grignon) 的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，取得了很大的进步。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饲养效果，以更好地适应不同的生产条件。

信息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，提出各种可用的计算公式，以便在数个已知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。

本书在借鉴了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，我们还提供了计算饲料配方的参考软件—银河星 (INRAtion) 软件。新版本软件还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更好地评估各个饲料配方的使用效果，以详细展示各种配方的结果。另外，本套软件还附带了一系列辅助分析工具，如：边缘收益分析、畜群饲料配方分析、氮排污分析、放牧期补充饲料配方制订等。



# 目录

## 第1章 饲料配方：基本原则与计算方法

- 1.1 饲料配方的手工计算
- 1.2 利用计算机计算饲料配方

## 第2章 奶牛饲养

- 2.1 奶牛日粮配方计算的基础
- 2.2 基于储存粗饲料的奶牛饲喂策略
- 2.3 放牧条件下的奶牛饲养策略

## 第3章 肉用母牛饲养

- 3.1 饲料需求
- 3.2 采食能力
- 3.3 饲料养分供应推荐量
- 3.4 未断奶犊牛的饲养
- 3.5 放牧肉用母牛的饲养

## 第4章 犊牛和后备母牛饲养

- 4.1 犊牛饲养
- 4.2 后备母牛饲养
- 4.3 放牧后备母牛饲养

## 第5章 生长期和育肥期牛的饲养

- 5.1 牛肉生产的主要类型
- 5.2 生长期和育肥期牛的营养需要
- 5.3 饲料养分供应推荐量
- 5.4 舍饲牛日粮配方的计算

5.5 放牧牛的饲养

## **第6章 绵羊的饲养**

6.1 需求量和供应量

6.2 饲料配方计算示例

## **第7章 山羊的饲养**

7.1 奶山羊营养需要

7.2 采食量

7.3 与精饲料供应量成倍数的边缘应答

7.4 分组饲养

7.5 草场放牧和共同放牧

7.6 其他山羊的饲养

7.7 饲料配方计算

## **第8章 粗饲料和饲料原料的饲料价值：营养成分表和预测值**

8.1 有机物及消化率

8.2 有机物消化率的测定

8.3 饲料净能含量的测定

8.4 饲料含氮物含量的测定

8.5 粗饲料充盈度值的测定

8.6 主要矿物质、磷、钙以及其真吸收率测定

## **第9章 饲料成分表**

9.1 饲料分类

9.2 缩略语

9.3 植物性粗饲料的生长阶段定义

9.4 饲料成分表

# 第1章：饲料配方：基本原则与计算方法

作者：J. Agabriel, P. Champciaux, A. Lamadon, D. Pomies, P. Faverdin.

翻译：陈晓波 黄亚宇

校对：孟庆翔

## 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需要相一致。饲料配方就是用于计算喂给家畜的饲料量，以确保满足（一头或一群）家畜机体维持和生产所需的能量、含氮物、常量矿物元素、微量元素以及维生素等。在实际生产中，粗饲料通常由家畜自由采食，饲料配方主要计算精饲料成分及其比例。当然，我们必须考虑饲料配方的基本原则，以避免家畜的机能障碍，甚至疾病。

### 1.1 饲料配方的手工计算

这里介绍的饲料配方方法将针对所有反刍动物，与银河星（INRAtion）软件中应用的方法一致。饲料配方方法可通过手工计算，或借助计算机或表格程序来实现。饲料配方的方法力求在最大限度利用粗饲料的情况下制订针对特定生产目的（产肉、产奶）的日粮配方，而不仅仅考虑饲料的整体成本。为了制订合理的日粮饲喂量，首先必须了解目标家畜的特征。其次，还需要了解基础粗饲料和饲料中其他营养成分的种类及其特征。在这里，我们默认提供给家畜质量良好并且足量的饮用水。

在某些情况下，饲料配方不可能也没有必要完全满足家畜的生长和生产需要：家畜可以暂时利用机体内储存的营养物质来适应生产需要。本书由法国农业科学研究院（INRA）制订的日粮配方建议，同时考虑到了家畜可以承受的营养缺失限度，以及后期恢复体况的需要。

#### 1.1.1 家畜特征和营养需要类型

##### 1.1.1.1 家畜特征

饲料配方的第一步需要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、生长速度以及体格状态等。对于产奶家畜，还需要考虑一些产乳方面的指标，如泌乳阶段、产奶潜能、产奶量和奶成分（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（PDI）”表示），矿物质需要（以“可吸收钙、磷的克数”表示），以及家畜的采食能力（以“充盈度单位（UE）”表示）（参考其它对应章节）。

**示例1:** 已知一头处于产乳中期（16周）的经产奶牛，40月龄，体重700 kg，育肥等级评分2.5（等级评分1为最低育肥等级，等级评分5为最高，译者注），当前日产奶量34 kg（泌乳高峰期产奶潜能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，我们可以计算出改产奶牛的采食能力和饲料需要量：

- 采食能力 CI: 19.8 UEL/j（公式2.3）；
- 能量需要 UF: 20.7 UFL/j（公式2.7）；
- 含氮物需要: 2146 g PDI/j（公式2.8）；
- 可吸收钙需要: 63 g/j（公式2.16）；
- 可吸收磷需要: 51 g/j（公式2.17）。

### 1.1.1.2 营养需要类型

家畜的生理需要（包括能量、含氮物和矿物质元素等）是指用于满足机体维持和生产而必需的营养物质需求。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（机体组织维持和热耗能）和成年家畜保持其机体质量（组织成分和化学物质成分）所需要的能量。对于处于生长期的家畜，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摄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家畜生理机能所需要的饲料参考供给量即可。

### 1.1.2 精饲料和粗饲料特性

饲料配方的第二步，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（或代谢饱腹值）：以“充盈度单位（UE）”表示。绵羊、山羊和奶牛、其他生产类型牛的饲料单位充盈度值分别表示为：UEM（绵羊）、UEL（山羊和产奶牛）、UEB（其它生产类型牛）<sup>1</sup>。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单位值。精饲料的单位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单位值。

（2）能量价值：用饲料单位UF表示。UFL针对产奶母畜或其他具有相似能量需要的反刍动物，UFV针对快速发育增重的反刍动物。

(3) 蛋白质价值：以小肠可消化蛋白质（PDI）表示。蛋白质价值又分为PDIE和PDIN，以同时考虑用以满足反刍动物需要的蛋白质供应量和满足瘤胃微生物需要的可降解氮化合物供应量。

(4) 可吸收矿物质：可吸收钙和磷（Caabs, Pabs；单位：g/kg 干物质）。

上述特征信息可以参考饲料营养价值表（包括不同时期收割的各种粗饲料）和家畜营养物质和组成成分表<sup>2</sup>。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软件（如 PreAlim（波利夫利姆）软件）进行更精确的计算。表1.1 列出了一些进行日粮配方所需的基本信息。

**示例2：**首次刈割（结穗前一周）的鸭茅草青贮饲料，短秆，添加防腐剂，

该饲料编号 FE3550（第9章），饲料价值如下（kg 干物质）：

- 充盈度值： 1.22 UEM      1.05 UEL      1.06 UEB；
- 能量价值： 0.94 UFL      0.88 UFV；
- 含氮物价值： 112 g PDIN      75 g PDIE；
- 矿物质价值： 1.6 g 可吸收磷      1.3 g 可吸收钙；

### 1.1.3 饲料配方方法

正如前面所说，日粮配方的计算旨在满足家畜某一特定生产目标前提下的营养需要，即满足家畜的最大生产性能，并通过最大限度地利用粗饲料来降低饲料成本。在实践中，这种料配方的成本不一定最低。这里介绍的饲料配方手动计算方法（附表1.1，附表1.2）以一种（或多种）粗饲料按固定比例与两种精饲料原料混合，以满足家畜营养需要。该方法简化了INRAtion（银河星）软件使用的计算公式。如果饲料种类超过三种，或我们希望快速模拟多种饲料组合模型，配方的计算将会变得非常复杂。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，或是只有通过实践观察才能确定其可行性。

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

#### 1.1.3.1 能量需要的满足：

能量的摄入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（DERm）要求和粗饲料可提供的能量浓度（DEF）。

如果使用一定配比的混合粗饲料（如：70%玉米青贮和30%干草），混合粗饲料的价值指标为各种饲草价值指标的线性组合。

**日粮最低能量浓度要求 DERm= 能量需要（产奶饲料单位或产肉饲料单位） / 家畜采食能力（充盈度单位）**

**粗饲料能量浓度 DEF = 粗饲料能量含量（产奶饲料单位或产肉饲料单位） / 粗饲料充盈度值（充盈度单位）**

如果粗饲料能量浓度大于或等于日粮最低能量浓度要求，那么粗饲料完全可以满足家畜的能量需要；粗饲料(或粗饲料混合物)的供给量 $Q_{IF}$ 的计算公式如下：

$$Q_{IF} = \text{家畜能量需要} / \text{粗饲料的饲料单位值}$$

这个公式也可以直接用于含氮物供给量的计算中（见“1.1.3.2 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要求，那么即便让家畜自由采食粗饲料，也不能满足家畜的能量需要，这时需要补充精饲料。

### 示例3:

- 以示例1中的产奶母牛为例：日粮最低能量浓度要求=1.05（即20.7 UFL/19.8 UEL）；
- 以示例2中青贮饲料为例：粗饲料能量浓度=0.90（即0.94 UFL/1.05 UFL）。因此，单独饲喂青贮饲料不能满足家畜能量需要。

### （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。当某种饲料被家畜自由采食后，各种饲料的充盈度值总和应该与该家畜的采食能力相等。家畜可以采食的粗饲料干物质质量（表示为 $Q_{IF}$ ）、精饲料干物质质量（表示为 $Q_{IC}$ ）的计算公式如下：

$$CI = (Q_{IF} \times VE_F) + (Q_{IC} \times VE_C) \quad (1.1)$$

CI表示家畜采食能力， $VE_F$ 粗饲料充盈度值（表示为UEM、UEL或UEB，单位 kg/干物质）， $VE_C$ 精饲料充盈度值。

精饲料的充盈度值根据其原料的不同而变化。其充盈度值可按照以下公式表示：

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

$S_g$ 为精饲料对粗饲料的替代比例。

事实上，随着饲料中精饲料量的增加，家畜对粗饲料的采食量也随之减少：两者是替代关系。替代关系可以很容易地在试验中验证，并用于观察和计算，因此，通常此关系被用于每种家畜的饲料配比建模。在实验条件下，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。替代比例的值介于0到1之间。通常在计算机中采用逐次迭代的方法计算替代比例，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两个未知数）（附表1.1）。通常在手动计算过程中，我们使用某种家畜对于另一种饲料的平均替代率，表1.2列出牛的替代系数。其它

畜种的替代系数在后面的章节会有详细介绍。因此，首次计算粗饲料采食量和精饲料采食量的值均为近似数。

为了寻求日粮能量配比平衡，要求能量供给总量与家畜的需要相等：

$$\{ (QI_f \times UF_f) \} + \{ (QI_c \times UF_c) \} - E = \text{BesUF} \quad (1.3)$$

其中，E代表能量供给量的校正系数。此校正系数将因消化和代谢的相互作用影响而降低的日粮整体能量值也列入计算。消化和代谢的相互作用通常发生在家畜摄入水平较高，并且饲料中的精饲料比例较高的情况下。这样的情况通常发生在产奶牛的饲养：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，校正系数被直接综合到能量需要中。

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

$$QI_c = \{ (\text{BesUF} + E) - (CI \times DEF) \} / UF_c - (Sg \times VF_f \times DEF) \quad (1.4)$$

$$QI = \{ CI - (QI_c \times Sg \times VF_f) \} / VE_f \quad (1.5)$$

对于育肥牛的饲料配比，对最初设定的饲料替代比例值的检验是非常重要的（具体内容请参阅家畜品种对应章节）。通过考虑粗饲料充盈度值、精饲料供给量或精饲料比例近似值，我们可以得出每种家畜类型的较为精确的（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使用新的Sg值，重新计算家畜可以摄入的粗饲料和精饲料量。

### 1.1.3.2 蛋白质供给量计算

在计算了日粮能量之后，有必要调整蛋白质的供给水平。正如前文所说，每种日粮的含氮物价值都有两种表现形式：即取决于含氮物供给的可被小肠吸收利用的蛋白质含量（PDIN）和取决于能量供给的可被小肠吸收利用的蛋白质含量（PDIE）。这两种含氮物的价值作为反刍动物含氮饲料的特殊性，可以用于了解日粮中蛋白质供给量相对于能量供给量的平衡关系，同时也促使大家关注由微生物发酵提供给家畜的这部分（占重要比例）蛋白质。

蛋白质价值平衡的日粮所含的PDIE量应该等于小肠可消化蛋白的需要量；PDIN含量应该大于或者等于PDIE含量。因此，日粮中能量蛋白含量应该满足以下等式：

$$(QI_f \times PDIE_f) + (QI_c \times PDIE_c) = \text{BesPDI} \quad (\text{小肠可消化蛋白需要量}) \quad (1.6)$$

如果PDIN值小于PDIE值，则表现为微生物可利用的降解氮缺乏。当这个差值较大时，需要补充饲料含氮物的供给。在某些情况下，较小的差值是可以忽略的。我们将在后面的章节详细介绍这种情况。

### (1) 以PDIE含量来满足家畜的蛋白质需要

1) 当粗饲料本身可以满足家畜个体的能量需要时,

我们应该检查粗饲料或粗饲料混合物中PDIE含量 ( $Q_{I_f} \times PDIE_f$ ) 是否超过家畜所需的蛋白量。如果是, 则只需要核对家畜微生物发酵的需要是否满足。

如果PDIE含量不足, 则必须在粗饲料或粗饲料混合物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, 甚至超过家畜本身的能量需要, 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:

$$Q_{I_c} = [BesPDI - (Q_{I_f} \times PDIE_f)] / [PDIE_c - (Sg \times PDIE_f)] \quad (1.7)$$

通常使用表1.2中的Sg值作为默认值。

2) 当粗饲料本身不可以满足家畜个体的能量需要时,

通过计算前文提到过的粗饲料干物质质量 $Q_{I_f}$ 和精饲料干物质质量 $Q_{I_c}$ , 添加一种或多种精饲料来满足家畜个体的蛋白质需要。

如果我们仅仅考虑添加一种精饲料, 此精饲料的最佳PDIE值的计算, 可由家畜个体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:

$$PDIE_c = [BesPDI - (Q_f \times PDIE_f)] / Q_c \quad (1.8)$$

在得出最佳值之后, 通过表格 (或商品饲料) 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二种富含蛋白质的精饲料 (C2), 用以补充第一种能量型精饲料 (C1), 此饲料的供给量 ( $Q_{I_{c2}}$ ) 的计算, 可由添加第一种精饲料未能满足的蛋白质需要差值除以两种精饲料的PDIE差值得到:

$$Q_{I_{c2}} = [BesPDI - (Q_{I_f} \times PDIE_f) - (Q_{I_{c1}} \times PDIE_{c1})] / (PDIE_{c2} - PDIE_{c1}) \quad (1.9)$$

由于各种精饲料的能量含量值都很相近 (约1 UF/kg), 第二种 (富含蛋白质的) 精饲料通常可以取代第一种 (能量型) 精饲料的能量供给, 即:  $Q_{I_{c1}} = Q_{I_c} - Q_{I_{c2}}$

如果精饲料的能量价值差别很大, 那么最好 (基于粗饲料的供给量及其能量和蛋白质缺乏的缺乏量) 重新精确计算两种不同精饲料的供给量, 详细计算公式见附表1.1.

在计算了用于满足家畜蛋白质代谢的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率，以及得到令人满意的日粮消化率，瘤胃微生物应该同时支配最低的可发酵能量和可消化氮源。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，我们需要计算日粮中的瘤胃微生物功能指数（ $R_{mic} = (PDIN - PDIE) / UF$ ），并按照不同家畜品种，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循环利用一定量的唾液中尿素态化合物。然而，家畜的生产水平越高，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  $-22 \text{ g}$ ，而育肥初期的小公牛需要积累更多的肌肉蛋白质，其阈值为  $-6 \text{ g}$ 。其它类型家畜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三种情况完成：

- 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克）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，使用葵花粕替代油菜籽粕）。
- 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。这样不但会影响环境，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，如压榨豆饼。

### 1.1.3.3 矿物饲料给量计算

为了避免矿物元素缺失及其造成的影响，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，并通过适宜的矿物质饲料进行补充。这类饲料可以被家畜自由采食，或者按照一定比例添入日粮中饲喂。这里我们仅计算钙和磷的供给量。当然，一些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。矿物质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，其单位与需要量单位一致： $\text{kg}$  干物质。

根据INRA<sup>[3]</sup>最新建议，需要量和摄入量均表示为可吸收物质的质量（g），即可吸收磷 $P_{abs}$ 和可吸收钙 $Ca_{abs}$ 。矿物质补充饲料配方应该补充摄入量和需要量间的差额，同时保持不同矿物元素间的摄

入平衡。因此，在分别计算了可吸收磷 $P_{abs}$ 和可吸收钙 $Ca_{abs}$ 的差值后，还应该平衡两者之间的比例关系，即 $Ca_{abs}/P_{abs}$ 比。

根据一般的商业习惯和规章制度，我们在选择矿物质饲料时，往往按照可吸收钙：磷比例 $Ca_{abs}/P_{abs}$ 来推算整体的钙：磷比例（Ca/P）。因此，可以通过以下公式进行转换：

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

从而得出：**饲料钙磷比的缺乏量** $=1.63 \times Ca_{abs}/P_{abs}$  (1.10)

矿物质饲料的钙：磷比应该尽可能接近缺乏量。饲料中的钙：磷比一旦确定，参配的饲料量就可以通过磷的差值与矿物质饲料中磷的总量的比值来求得。事实上，磷元素是饲料中经常缺少的元素之一，特别是富含粗饲料的饲料。

在满足钙、磷需要后，还需要检验矿物质饲料是否满足饲料中其它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元素的需要量，而并不造成浪费。INRAtion配方软件可以直接列出以钙：磷比归纳的多种矿物质饲料的配方建议，在实践中已经被广泛使用。

## 1.2 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

银河星软件（INRAtion®）和波利夫利姆（PrévAlim）软件是 INRA 建立的反刍动物饲养体系的计算机辅助工具，它们整合了本书各章节介绍的概念和模型。

- 银河星软件可以很方便并实时计算家畜的饲料配方，其分析工具可为用户提供更详细的饲料配方选择。
- 波利夫利姆软件将根据实验室化学分析结果来评估饲料的各种营养价值，可以为那些希望开发独有饲料资源的用户建立个性化的饲料营养价值表。

这两个软件工具均以建模为基础，由一个人机界面（INRAtion/PrévAlim）和一个积分函数库（IWI.DLL）构成，由 Windev (Ed: PC SOFT) 和 DELPHI (Ed: PC SOFT) 两个面向对象应用的生成程序开发，支持（XP 版本以后的）Windows®系统运行。

### 1.2.1 银河星软件

银河星软件 INRAtion 及其功能性可以概括为：怎样在遵守饲料配方制订原则的情况下，根据家畜采食能力最大化地利用粗饲料，最优化地利用可支配资源，以达到畜牧生产的目标。更确切地说，银河星 INRAtion 软件在生产实践中可以回答以下三个问题：（1）要制订一个什么样的饲料配

方可以达到特定的生产目标？（2）制订的出饲粮配方可以达到什么级别的生产水平？（3）在粗饲料种类和（作为目标的）生产水平都确定的情况下，必需的精饲料量是多少？其营养价值设定在什么范围内？

根据目标家畜的特点、待选饲料特性和生产目标等要求，银河星软件可以制订出多套饲料配方。当计算过程遇到无解的问题无法进行时，该软件会自动检测问题，并给出一个解决方案报告。这套由 INRA 科研团队建立的软件，业已经历了各种生产类型用户 20 多年的考验。这使我们的计算方法不断完善，也使本书介绍的各种计算模型更加实用和可靠。

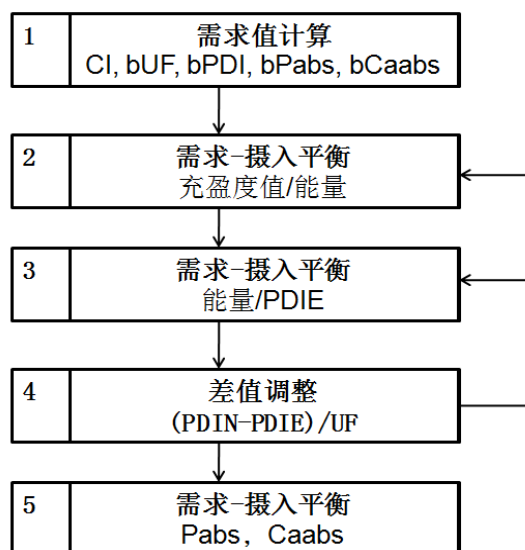
#### 1.2.1.1 在各个饲养体系中的应用

进入软件的定量饲料配方制订，应力求在优化饲料利用率的基础上最大限度地利用粗饲料，以尽量降低饲料成本。对应的模型可以用于：

- 计算不同生产类型的家畜每日所需的能量、蛋白质、主要矿物元素及各种饲料原料的配比。饲料配比随家畜特性和生产目标的不同而变化。
- 在同时考虑家畜采食能力、饲料充盈度值以及替代比例的基础上，对家畜粗饲料和精饲料的采食量进行估算。

饲粮配方的计算将饲料营养物质提供量和家畜需要量值进行对比，以逐步回归和迭代的方法，通过五个步骤，力求达到营养平衡。每个新的计算步骤都比前一计算步骤更接近目标设定值（可以允许一定限度的偏差）。

- 1) 根据家畜特性和生产目标计算其需要量：采食能力（CI）、能量（bUF）、蛋白质（bPDI）、主要矿物元素（可吸收磷 bPabs 和钙 Caabs）。
- 2) 充盈度值与能量供给平衡：充盈度单位与饲料单位的应用。在计算家畜采食能力、饲料充盈度值以及替代比例的基础上，计算粗饲料及精饲料的用量，以达到饲粮能量浓度的平衡。
- 3) 饲粮能量浓度和 PDIE 值的平衡：饲料单位（UF）和 PDI 体系的应用。用 PDIE/UF 比率较高的精饲料（即 PDIE 精饲料，C2），部分或者全部替代第二步选用的精饲料（即能量精饲料，C1）。此步骤在保持前一步骤已有平衡的基础上满足饲粮 PDIE 值的需要（bPDIE）。
- 4) 饲粮(PDIN-PDIE)/UF 差值调整：再用 PDIN/UF 比率高于 C2 的精饲料（C3），部分或者全部替代 C1 和 C2（即能量精料和 PDIE 精饲料）。此步骤再次在保持前一步骤已有平衡的基础上，尽量优化调整(PDIN-PDIE)/UF 的比率。
- 5) 可吸收磷和可吸收钙的平衡：磷和钙体系的应用。只有在用户选择一个矿物调整饲料的前提下，以限定的磷含量为基础进行计算。然而，在缺少此步骤的情况下，人们仍可以获得一种或多种可选的饲料配方。



需要强调的是，这里的饲料配方的计算方法并非是成本最低的线性优化方法，而是如本章前面所述的最大限度利用粗饲料的配方。

### 1.2.1.2 给出饲料配方

软件得出的解决方案的数量取决于可供选择的精饲料数量：

- 如果在计算模型中没有加入任何一种调整用精饲料（即只有  $C_1$  的情况下），银河星软件可以自动生成一个初始汇总表，并描述此“基础配方”对家畜需要的满足情况。这个“基础配方”满足家畜采食能力（CI），可以是自由采食的一种粗饲料，或多种粗饲料的混合配方，或加入精饲料和矿物原料的配方。

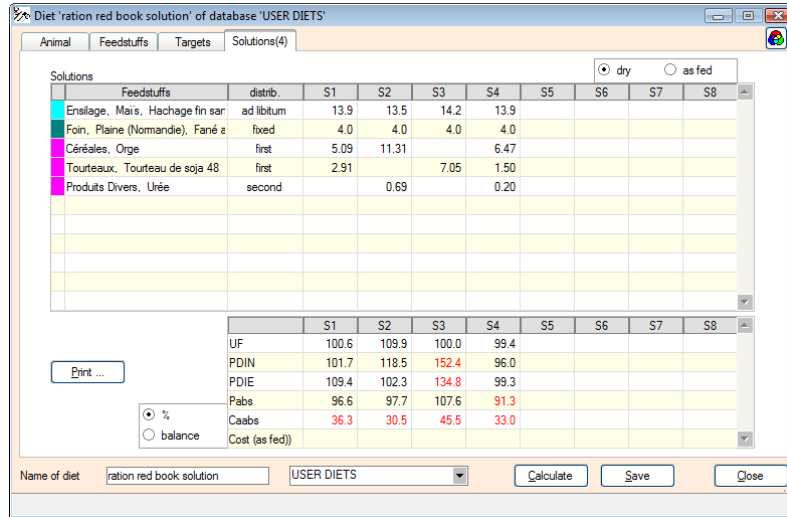
当此“基础配方”不能满足能量需要（ $bUF$ ）时，软件会提出一个补充方案，并估算一个调整用的理论精饲料的用量，以使配方的充盈度值和能量值平衡。这个理论上的精饲料将提供给用户一个  $UF$  参照值。同样，软件也会给出  $PDIE$ ， $PDIN$ ， $Pabs$  和  $Caabs$  的需要值。

- 如果可以选用一种或多种调整用精饲料（ $C_2$ ， $C_3$ ， $C_4$ .....），软件会将精饲料以三种为一组输入程序中进行从第二步到第三步的计算。这些精饲料根据各种原料的计算用量（优先考虑能量，其次是蛋白质）及它们各自的  $PDI/UF$  比率，将产生各种配比组合。表 1.4 为分别使用一种两种或三种调整用精饲料的各组合测试结果。根据不同实际需要，精饲料的可选组合可以为 1 到 5 种。

当计算顺利运行时，每个精饲料组合的各营养价值都应平衡。软件以表格形式提出多个由专家在综合了用户反馈信息后建立的有效解决方案。在对充盈度值、能量和蛋白质价值偏差进行推理的基础上，限定（对应需要量的）供给量不足或过度的容许范围。

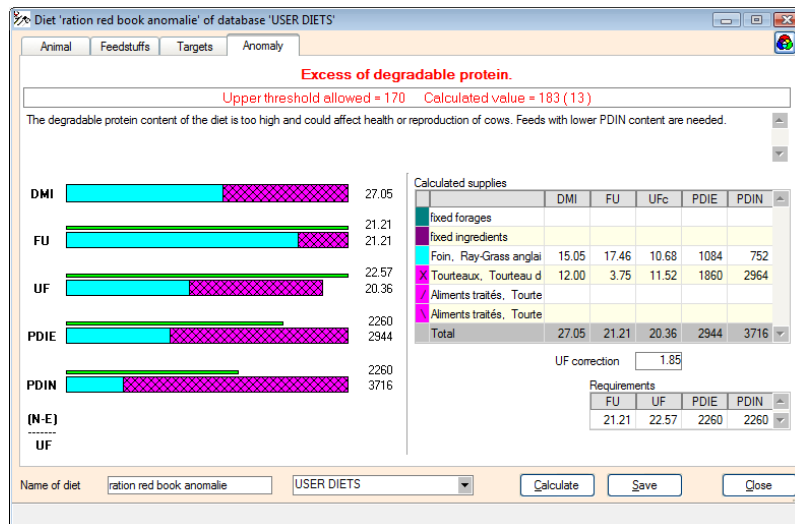
经过计算并最终确立的各饲料配方方案在对比后最终在“方案”标签页被概括出来（见下图）。

屏幕上显示的由大麦、大豆 48 和尿素组成的饲料配方



如果软件无法给出合适的饲料配方，它将提供一个详细的解释（如下图），说明计算运行到哪个步骤停止下来，并给出各种选定的饲料原料的干物质采食量和 UF、PDIE、PDIN 值。

无解饲料配方的屏幕显示举例（精饲料选择：压榨大豆粕）



### 1.2.1.3 软件的功能模块

银河星软件是一个多语言（英语、法语、波兰语）支持的软件，可应用于多种反刍动物（牛、绵羊、山羊）和多种生产类型（如产奶、产肉）且操作简便、界面直观。该软件包括三个窗口：

（1）畜种窗口：用户可以自建、修改和保存目标家畜的特征信息；（2）饲料原料窗口：用户可以自建、修改和保存可选择的每种单一或复合饲料（如粗饲料原料、精饲料原料、矿物质原料）；（3）日粮配方窗口：用户可以结合“家畜”和“饲料”模块给出的信息，制订、修改、分析和保存得出的饲料配方。

#### （1）畜种窗口

用户可以从以下 11 种家畜类型中新建多个家畜信息：产奶母牛（VL）、肉用母牛（VA）、后备母牛（GE）、生长阉牛（BC）、生长公牛（MC）、育肥阉牛（BE）、育肥公牛（TT）、淘汰母牛（VR）、产奶绵羊（BT）、产奶山羊（CT）等。各种类型家畜的特征信息以惯用默认值设定，用户可以结合实际情况在预设信息页面选择。

#### （2）饲料原料窗口

银河星软件提供了完备的饲料信息库，对可选择的饲料原料数量不设限制。用户可以在饲料信息库中自由输入或输出信息，也可以交换不同饲料信息库内饲料信息。

用户可以拥有研究单位（INRA, TEAGQSC）的饲料信息库，同时也可以建立自己的饲料信息库：

- 单一饲料信息库：必须了解新引入饲料原料的营养价值，然后可将此信息和其它（已建立的个性化的，或 INRA 饲料价值表中的）原料信息一同输入计算。
- 复合饲料信息库：由多种混合粗饲料和混合精饲料组成。用户只需简单注明各成分在混合饲料中的比例即可。

#### （3）日粮配方计算窗口

根据家畜特征信息和选定的饲料原料组合，用户在此输入生产目标或草场放牧特征信息（针对产奶母牛在草场的放牧情况）。所有这些信息都通过四个标签页面在同一窗口处理；

**“家畜”**：这里直接显示“畜种窗口”预设的家畜特征信息，有时在某些饲料配方制订过程中也可能要求提供某些补充信息，如针对产奶母牛的泌乳阶段及该阶段的体况评分值等）。这些信息是可以更改的，它们和饲料配方一同保存在这一标签页。但在“畜种窗口”输入的初始信息在这一页面下不能更改。

这一标签页面还可以针对产奶信息对产奶绵羊和产奶山羊进行畜群分组（以便分组饲喂）。

**“饲料原料”**：从饲料信息库中选出用于配制日粮的饲料原料可以和饲料供应方式联系起来，如“自由采食”（粗饲料）、“定量喂给”（粗饲料、精饲料、矿物饲料）、“首先喂给饲料”（或能量调整饲料，即 UF 值高的精饲料）、“其次喂给饲料”（或蛋白质调整饲料）、“矿物质”调整饲料、“未定义”等。这些信息同样可以在此标签页下更改，并和饲料配方一同保存。但饲料原料初始信息在这一标签页面不能更改。

另外，对于产奶母牛来说，用户还可以设定饲料供应方式为“分开供应”或“全混合日粮（一次供应）”等。

如上文所述，当“基础配方”不能满足能量需要时，软件会估算出一个理论精饲料配方。然而在某些情况下，我们无法找到与这个理论精饲料完全相符的调整用精饲料。这时，我们就可以在此页面修改理论精饲料的干物质比例、UFL 和 UFV 值，以便找到一种饲料价值相近的精饲料。

**“生产目标”**：生产目标取决于家畜类型，可以是某个产奶水平、生长水平或者育肥状况。对于一些家畜（如肉牛），生产目标设定并不是必要的。这样，计算模型会自动在考虑（和饲料充盈度值平衡以后的）饲料摄入量基础上设定一个生产水平。对于肉用母牛，此标签页面用于设定对不同饲喂阶段（对应于生理或生产阶段）的生产目标的饲喂日程表（译注：根据不同生理或生产阶段，日粮配方应相应变化）。

**“放牧”**：放牧特征需根据不同放牧管理模式来设定，包括“草场连续放牧”（译注：即让家畜在整片未划分的草地上自由采食）、“定量供给放牧”（译注：即通过活动栅栏每天定量供给新的牧草）、“轮牧”（译注：即将草场划分为可供家畜 2-5 天采食的多个分区，以使家畜在每个分区轮换放牧一次后又有足够的新生牧草）。此标签页面只在产奶母牛的家畜特征设定为“放牧”时才会自动显示。

#### 1.2.1.4 配方分析功能

当一个或数个饲料配方计算完毕（见屏幕顶端）后，用户可以用软件自带的分析工具对配方进行优化分析（表 1.5）。

**“日粮配方详细信息”**：列出每个建议配方的营养价值（UE、UF、PDI、Pabs、Caabs 等），一份概括性总结和一些补充参数（如 UF 调整值、替代比例、(PDIN-PDIE)/UF 比例等）。

**“畜群（或组）分析”**：这个分析工具可以显示制订出的饲料配方对低于或高于平均生产潜力家畜的营养需求满足情况。

**“产奶边缘收益分析”**：用于分析在精饲料饲喂不足或过量对日粮营养价值（能量平衡）、家畜（体重）和产奶性能（产奶量和乳品质）的影响程度。

“泌乳初期分析”：指针对奶用母牛从产犊到产后 12 周内饲养方案的分析。除了饲料配方以外，用户还拥有一套关于在此期间家畜机体贮存能量运用（或译调动）情况的信息，以及泌乳前 5 周累积 PDIE 值的缺乏情况。

“矿物质分析”：基于日粮 Caabs/Pabsb 比率改善日粮对矿物质、微量元素和维生素的满足情况，银河星软件提供了一个最优化的矿物配方（%P-%Ca）。根据已得出的初始配方比例，可计算其他矿物质、微量元素和维生素的最佳配比。

“氨基酸分析”：根据日粮的赖氨酸和蛋氨酸含量，软件可对产奶蛋白质含量进行预估。

“氮排泄分析”：根据畜产品（奶、肉、毛、胎儿）的氮利用情况，软件可提供家畜通过排泄物排泄的氮源污染数量，以引起用户的重视。

“放牧分析”：根据家畜对饲槽中鲜草的采食量预测其草场采食量的分析。软件可给出家畜对于牧草利用的一系列指数（如每公顷采食量）和草场管理情况总结，并针对放牧条件的改变（如家畜在每个分区的停留时间、每个分区结束放牧时的剩余牧草量）预测家畜的采食量信息。

## 1.2.2 波利夫利姆软件

波利夫利姆软件用于估算以下两种类型饲料的价值：（1）粗饲料单一原料或混合粗饲料；（2）精饲料单一原料或混合精饲料。

对于新选定的单一精饲料或粗饲料来说，它可以输入到软件中用于计算饲料的价值（如 UF、PDI、UE 等）。一旦提供足够的饲料化学分析结果，软件便可以自动计算，得出的结果可以保存在银河星软件的饲料营养价值资料库中。

### 1.2.2.1 dMO 值预测方程的运用

饲料有机物可消化率（dMO）主要影响 UF、PDI、UE 的估算，它的预测是 INRA 饲料体系的基础。正因为如此，波利夫利姆软件根据不同分析方法来预测 dMO 值：（1）胃蛋白酶-纤维素酶法（dCs 或 dCo）；（2）含氮物总量（MAT）测定结合纤维素总量（CB）测定法；（3）牧草收获期（抽穗情况、生长阶段）。

然而，这些方法并能等同运用，我们需要层次分明的逐级分析。比如，饲料的胃蛋白酶-纤维素酶消化率需要由用户提供，并以此为基础来预测粗饲料的整体营养价值。

### 1.2.2.2 单一粗饲料

饲料营养价值的预测可基于用户对粗饲料的不全面描述（需输入 4 项信息）或者整体描述（需输入 9 项信息）。

针对不全面描述，方程的运用相对概括（都是本书介绍的方程）。



（对于整片草场的特征信息及其牧草种类的描述，需使用的方程式见本书早期（1988）的版本。）

### 粗饲料选择举例（需输入 9 项信息）

The screenshot shows a software window titled "Consult feedstuffs" with a "Feedstuff identification" section. It contains several dropdown menus and text input fields for specifying feedstuff characteristics. Below this section is a table titled "Feedstuff nutrient values" with columns for Name, Feedstuff code, FF code, DM %, SFU, LFU, and CFL. The first row of the table contains the following data:

Name	Feedstuff code	FF code	DM %	SFU	LFU	CFL
fresh forages, Lowlands (Normandy), First growth, 04/25 early grazing	FV0010		15.5	0.80	0.90	0

At the bottom of the window, there are three buttons: "End", "Details...", and "Close".

#### 1.2.2.3 混合粗饲料

我们可以自由选择可能使用的饲料原料，并确定它们在配方中的比例，以建立混合粗饲料配方。此配方的营养价值预测为各个饲料原料对应于其比例的营养价值总和。

#### 1.2.2.4 单一精饲料

饲料营养价值的预测值基于我们对精饲料的总体描述（需输入 3 项信息）。应用的计算方程式参见本书相关章节。

#### 1.2.2.5 混合精饲料

软件不能为这种混合饲料找到一个参考值。应用的计算方程式参见本书相关章节。

某干草营养价值预测举例（基于氮化物 MAT 及纤维素 CB 总量测定结果）

The screenshot shows the 'Fourrages génériques' software interface. It is divided into several sections:

- Simple / Composé / Fiche:** Mode de conservation (Foin), Type de fourrage (Prairie permanente de montagne), Caractéristiques de conservation (Fané au sol par beau temps (3-4)), Cycle (Repousses), Code (GF0100), and Vent (GV0040).
- Type d'analyse:** Composition chimique conservé, Sec, or Brut.
- Analyse du fourrage:** Input fields for MS (86.0), MAT (96), Ca, dMO, MM (70), dC3, DT, NDF (650), and P.
- Valeurs calculées:** A grid of calculated values including dMO (58.7), DT (60.7), dr (75.6), PDIE (78), PDIN (63), PDIA (32), UEM (1.52), UEL (1.10), UEB (1.18), UFL (0.67), UFV (0.58), Caabs, LysDI (6.93), MetDI (1.78), Pabs, MS, MM, MAT, CB, ADF (368), and NDF.
- Choix aliment / Aliment final:** A table listing various nutrients and their values for the selected forage.
- Base aliments:** ALIMENTS UTILISATEUR.

运用的方程式列表如下：

The screenshot shows the 'Equations détaillées' window, which lists the mathematical equations used for the calculations. The equations are as follows:

Paramètre	Valeur	Equation
dMO	58.7	$dMO = 56.5 + (-0.022 \times CB) + (0.104 \times MAT)$
DT	60.7	$DT = 50.8 + (0.120 \times MAT) + (-0.00018 \times MAT \times MAT)$
dr	75.6	$PANDI = 7.9 + (0.08 \times MAT) + (-0.00033 \times MAT \times MAT) + 0 + -2.3 + 0.0$ ; $dr = 100 \times (1.11 \times (1 - (DT / 100)) \times MAT \times$
PDIE	78	$MOD = MD \times (dMO / 100)$ ; $MOF = MOD \cdot (MAT \times (1 - (DT / 100))) \cdot EE$ ; $EE = 13$ ; $PDIME = MOF \times 0.145 \times 0.8 \times 0.8$
PDIN	63	$PDIMN = MAT \times (1 - 1.11 \times (1 - (DT / 100))) \times 0.9 \times 0.8 \times 0.8$ ; $PDIN = PDIA + PDIMN$
PDIA	32	$PDIA = MAT \times (1.11 \times (1 - (DT / 100))) \times (dr / 100)$
UEM	1.52	$QIM = 11.2 + (0.437 \times dMO) + (0.101 \times MAT) + 2.9$ ; $UEM = 75 / QIM$
UEL	1.10	$QIL = 79.8 + (0.524 \times dMO) + (0.117 \times MAT) + 5.5$ ; $UEL = 140 / QIL$
UEB	1.18	$QIB = 27.60 + (0.596 \times dMO) + (0.135 \times MAT) + 5.1$ ; $UEB = 95 / QIB$
UFL	0.67	$q = EM / EB$ ; $ENL = EM \times (0.463 (0.24 \times q))$ ; $UFL = ENL / 1700$
UFV	0.58	$q = EM / EB$ ; $ENEV = EM \times (((0.3358 \times q \times q) + (0.6508 \times q) + 0.0050) / ((0.9235 \times q) + 0.283))$ ; $UFV = ENEV / 1820$
LysDI	6.93	$AADIE = (PDIME \times (8.0 / 100)) + (PDIME \times (5.789 / 100))$ ; $SOM(AADIE) = 91.931$ ; $AADIEP = (AADIE \times 100) / SOM$
MetDI	1.78	$AADIE = (PDIME \times (2.5 / 100)) + (PDIME \times (1.620 / 100))$ ; $SOM(AADIE) = 91.931$ ; $AADIEP = (AADIE \times 100) / SOM$

参考文献:

- 1 Jarrige R. (dir.) ,1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Paris, Inra, 471p;
- 2 Sauvant D., Perez J.-M., Tran G. (eds.), 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. AFZ-Inra Editions, 301p;
- 3 Meschy F., 2002. Rencontres Recherches Ruminants, (9): 279–285 et Meschy F., Corrias R., 2005. Rencontres Recherches Ruminants, (12): 221–224.

## 附表1.1

日粮配比计算公式（以一种粗饲料、一种富含能量的精饲料C1和一种富含氮素的精饲料C2为基础）。

**第一步：计算目标日粮和备选粗饲料的能量浓度：**

$$DER_m = BesUF / CI$$

$$DEF = UF_F / VE_F$$

如果 $DEF = DER_m$ ，则粗饲料本身可以满足能量需要，并且 $Q_{I_F} = BesUF / UF_F$ ，直接进行第三步。

**第二步：补充能量需要，计算精饲料用量：**

$Q_{I_F}$ 和 $Q_{I_{C1}}$ 可通过以下二元二项式计算：

$$CI = (Q_{I_F} \times VE_F) + (Q_{I_{C1}} \times VE_C)$$

$$BesUF = (Q_{I_F} \times UF_F) + (Q_{I_{C1}} \times UF_{C1}) - E$$

$$\text{以及 } VE_C = Sg \times VE_F \text{ 和 } CI = VE_F \times [Q_{I_F} + (Q_{I_{C1}} \times Sg)]$$

公式可表示为：

$$Q_{I_{C1}} = [(BesUF + E) - (CI \times DEF)] / [UF_{C1} - (Sg \times VE_F \times DEF)]$$

$$Q_{I_F} = [CI - (Q_{I_{C1}} \times Sg \times VE_F)] / VE_F$$

**第三步：蛋白质需要的满足，计算必要的精饲料用量：**

$$\text{供给 } PDIE = (Q_{I_F} \times PDIE_F) + (Q_{I_{C1}} \times PDIE_{C1})$$

如果 $PDIE_{\text{供给}} = PDI_{\text{需要}}$ ，直接进行第四部；否则，计算 $Q_{I_{C2}}$

$$\text{如果 } Q_{I_{C1}} = 0, Q_{I_{C2}} = PDI_{\text{需要}} - PDIE_{\text{供给}} / [PDIE_{C2} - (Sg \times PDIE_F)]$$

$$\text{如果 } Q_{I_{C1}} \neq 0, UF_{C1} \text{ 与 } UF_{C2} \text{ 差别不大, } Q_{I_{C2}} = PDI_{\text{需要}} - PDIE_{\text{供给}} / [PDIE_{C2} - PDIE_{C1}], \text{ 即 } Q_{I_{C1}} = Q_{I_C} - Q_{I_{C2}}$$

如果 $Q_{I_{C1}} \neq 0$ ，并且C1与C2的UF不等，则分解两个二元方程，得出 $UF_{\text{cor需要}} = (UF + E)$ 需要

$$\text{需要的 } UF_{\text{cor}} - (Q_{I_F} \times UF_F) = (Q_{I_{C1}} \times UF_{C1}) + (Q_{I_{C2}} \times UF_{C2})$$

$$\text{需要的 } PDI - (Q_{I_F} \times PDIE_F) = (Q_{I_{C1}} \times PDI_{C1}) + (Q_{I_{C2}} \times PDI_{C2})$$

该方程只有一个解。

**第四步：检验瘤胃正常代谢功能指标：**

计算 (PDIN-PDIE) /UF

$$U\text{供给}F=(QI_F \times UF_F)+(QI_{C1} \times UF_{C1})+(QI_{C2} \times UF_{C2})$$

$$PDIE\text{供给}=(QI_F \times PDIE_F)+(QI_{C1} \times PDIE_{C1})+(QI_{C2} \times PDIE_{C2})$$

$$PDIN\text{供给}=(QI_F \times PDIN_F)+(QI_{C1} \times PDIN_{C1})+(QI_{C2} \times PDIN_{C2})$$

$$Rmic=(PDIN\text{供给}-PDIE\text{供给})/U\text{供给}$$

如果Rmic=PDI阈值，保留QI<sub>F</sub>、QI<sub>C1</sub>、QI<sub>C2</sub>

如果Rmic大于或小于PDI阈值，则应该选择其它饲料。

#### 第五步：钙磷饲料

$$P_{abs}\text{供给}=(QI_F \times P_{abs})+(QI_{C1} \times P_{abs\ C1})+(QI_{C2} \times P_{abs\ C2})$$

$$Ca_{abs}\text{供给}=(QI_F \times Ca_{abs})+(QI_{C1} \times Ca_{abs\ C1})+(QI_{C2} \times Ca_{abs\ C2})$$

$$\text{可吸收钙磷差值比例: } R_{\text{minéral}} = (Bes\ Ca_{abs} - Ca_{abs}) / (Bes\ P_{abs} - P_{abs})$$

$$\text{即得: } Ca/P=1.6 \times R_{\text{minéral}}$$

## 附表1.2

### 泌乳期奶牛日粮计算

家畜：以体重700 kg的经产奶牛为例，最高产奶潜能为41升，在产犊后第16周每日产奶水平为34升，其中乳脂肪含量40 g/kg，乳蛋白含量32 g/kg，其每日营养需要为：

- 日采食量CI：19.8 UE
- 能量需要BesUF：20.7 UFL
- 氮化物需要BesPDI：2146 g PDI
- 可吸收磷需要BesP<sub>abs</sub>：51 g
- 可吸收钙需要BesCa<sub>abs</sub>：63 g

粗饲料：以鸡脚草，抽穗前一周放入青贮设施中制成的青贮饲料并加入防腐剂（FE3550）为例，每千克干物质价值指标如下：

- 充盈度值：1.05 UEL
- 能量价值：0.94 UFL
- 氮化物值：112 g PDIN，75 g PDIE
- 矿物质价值：P<sub>abs</sub>=1.6 g，Ca<sub>abs</sub>=1.3 g

精饲料：以杂交黑小麦（CC0100）为例，每千克干物质中营养物质含量如下：

- 能量价值：1.16 UFL
- 氮化物值：72 g PDIN, 96 g PDIE
- 矿物质价值：P<sub>abs</sub>=3.0 g，Ca<sub>abs</sub>=0.5 g

#### 1. 粗饲料是否可以单独提供家畜的能量需要？

$$DERm=20.7UFL/19.8UEL=1.05$$

$$DEF=0.94UFL/1.05UEL=0.90$$

因为DDF<DERm，单一粗饲料不能满足家畜的能量需要，有必要添加精饲料。

#### 2. 饲料摄入量及能量需要的满足：

对于高生产水平奶牛，消化相互作用的能量校正系数E=1.0（见表2.6），这一结果来自于以下公式的推论：

$$CI=19.8=(QI_f \times 1.05) + (QI_c \times Sg \times 1.05) \quad (\text{公式 1.1})$$

$$UF\text{需要}=20.7=[(QI_f \times 0.94) + (QI_c \times 1.16)] - 1.0 \quad (\text{公式 1.3})$$

以Sg=0.38为例（表2.3）：

$$Q_{Ic} = [(20.7+1)-(19.8 \times 0.9)] / [1.16 - (0.38 \times 1.05 \times 0.9)] = 4.8 \text{ kg 干物质} \quad (\text{公式 1.4})$$

$$Q_{If} = 19.8 - (4.8 \times 0.38 \times 1.05) / 1.05 = 17.0 \text{ kg 干物质} \quad (\text{公式 1.5})$$

因此，精饲料比重应为22%。

### 3. 含氮物需要的满足：

家畜对含氮物的需要  $BesPDI=2146g$  PDI

日粮中PDI含量：

$$PDIN = (17.0 \times 112) + (4.8 \times 72) = 2250g$$

$$PDIE = (17.0 \times 75) + (4.8 \times 96) = 1736g, \text{ 即} 410g \text{ 差值。}$$

日粮中的有效含氮物的价值等于PDIE价值。在此日粮中，能量是微生物合成机能的限制因素。因此，这里有必要使用一种富含氮类物质的精饲料来替代一部分黑小麦饲料。

以大豆饼（CX0140）为例，每千克干物质价值指标如下：

- 能量价值：1.21UFL
- 蛋白质价值：377 g PDIN，261 g PDIE

大豆饼的UFL价值与黑小麦饼的UFL价值相近。为了确定其采食量，需要计算其大豆饼PDIN及PDIE差值与大豆饼和黑小麦饼中PDIE价值差值的比例，即：

$$Q_{C2} = 410 / (216 - 96) = 2.5 \text{ kg 干物质}$$

因此，日粮中应该包含17.0kg 干物质的青贮饲料，2.3 kg 干物质的杂交黑小麦和2.5kg的大豆饼。

### 4. 矿物质需要的满足：

$$P_{abs} = (17.0 \times 1.6) + (2.3 \times 3.0) + (2.5 \times 5.0) = 47g, \text{ 即 } 4g \text{ 差值}$$

$$Ca_{abs} = (17.0 \times 1.3) + (2.3 \times 0.5) + (2.5 \times 2.1) = 29g, \text{ 即 } 34g \text{ 差值}$$

$$\text{缺乏的 } Ca_{abs} / P_{abs} \text{ 比例} = 8.5, \text{ Ca/P} = 8.5 \times 1.63 = 13.9 \quad (\text{公式 1.10})$$

因此，需要选择一种矿物质饲料配方，其钙含量是磷含量的13.9倍。在某些情况下，商用矿物饲料不能满足这一要求，所以需要添加碳酸钙（钙质沉积岩，含钙35-38%），用于补充钙元素的缺乏量。

**表1.1: 日粮中各种类型饲料的特征**

饲料类型	饲料特征
青饲料	来源于永久性草场的牧草，具有固定的生产周期和生长阶段
贮存粗饲料	来源于永久性草场的牧草，生产周期和生长阶段、收获和贮存方式以及干物质含量固定
精饲料	来自于天然饲料，富含蛋白质、粗纤维等

**表1.2: 粗饲料与精饲料的平均替代系数Sg:**

经产奶牛:

饲料能量浓度 UFL/UFL	产奶量 kg/日		
	20	30	40
0.60	0.36	0.31	0.29
0.70	0.44	0.37	0.33
0.80	0.50	0.39	0.34
0.90	0.60	0.43	0.35
0.95	0.66	0.46	0.36
1.00	0.66	0.50	0.39

肉牛:

饲料充盈度值 UEB	日粮中精饲料的平均百分比		
	肉用母牛、生长牛 15%	生长后期牛 40%	生长后期牛 60%
0.95	0.52	0.76	
1.00	0.45	0.70	
1.05	0.38	0.64	
1.10	0.31	0.58	
1.15	0.24	0.53	0.70
1.20	0.18	0.48	0.66
1.25	0.11		0.62
1.30	0.05		0.58
1.40 (小麦秸)	-0.07		0.51



表1.3: Rmic阈值,  $Rmic = (PDIN - PDIE) / UF$

产奶母牛	生产水平 kg		
	15-25	25-35	>35
	-8	-4	0
生产后期肉牛	生长阶段		
	初期	中期	后期
公犊牛	-6	-9	-13
去势公牛、母犊	-7	-10	-15
淘汰母牛	-10	-12	-15
生长牛	年龄		
公牛, 母犊	<1年	1-2年	>2年
	-8	-13	-18
肉用母牛	生理阶段		
	妊娠期	泌乳期	
	-22	-17	
肉用母绵羊	哺乳类型		
	单胎哺乳	双胎哺乳	
	-12	-6	
奶用母绵羊	生产水平 kg		
	<1	1-2	>2
	-12	-6	0
奶用母山羊	生产水平 kg		
	<1.5	1.5-3	>3
	-14	-7	0

表 1.4 “计算引擎”根据调整用精饲料种类及其优先性得出的精饲料组合

调整用精饲料		步骤	组合测试结果				
大麦	能量 (优先 1)	2	大麦				
		3	大麦				
		4	大麦				

调整用精饲料		步骤	组合测试结果				
大麦	能量 (优先 1)	2	大麦	大麦	大麦	大麦	
大豆 48	蛋白质(优先 2)	3	大麦	大麦	大豆 48	大豆 48	
尿素	蛋白质(优先 2)	4	大麦	大豆 48	大豆 48	尿素	

调整用精饲料		步骤	组合测试结果				
大麦	能量 (优先 1)	2	大麦	大麦	大麦	大豆 48	大麦
大豆 48	能量 (优先 1)	3	大麦	大麦	大豆 48	大豆 48	大豆 48
尿素	蛋白质(优先 2)	4	大麦	大豆 48	大豆 48	大豆 48	尿素

表 1.5 各类家畜相对应的分析工具

分析	乳用家畜			其他类型家畜
	奶用母牛	奶用山羊	奶用绵羊	
日粮配方成分	√	√	√	√
家畜群体	√	√	√	
边缘收益	√	√		
泌乳初期	√			
矿物元素	√	√	√	√
氨基酸	√	√		
氮排放	√	√	√	√
草场放牧	√			

## 肉牛饲料配方计算示例（节选自第 5 章，附表 5.4）

### 饲喂玉米秸青贮饲料的夏洛来公犊饲料配方计算

#### 家畜特征描述

夏洛来公犊，活重 = 400 kg，增重目标 = 1700 g/d。

每日需要和采食量（表 5.3）：

- UF 需要	7.6 UFV
- PDI 需要	756 g
- 可吸收磷需要	21.5 g
- 可吸收钙需要	26 g
- 采食能力 (CI)	7.2 UEB
- DERm	1.06

#### 粗饲料特征

玉米秸青贮饲料（FE4720），切碎，无防腐剂，干物质含量 35%。每千克干物质饲料价值如下（无限量发放）：

- 充盈度值 (VE <sub>F</sub> )	1.05 UEB
- 能量含量	0.81 UFV
- 含氮量	42 g PDIN, 67g PDIE
- 矿物质含量	可吸收磷 = 1.3 g, 可吸收钙 = 0.8 g

#### 精饲料

• 玉米籽粒（CC0060）。每千克干物质的饲料价值：

- 能量含量	1.23 UFV
- 含氮量	74gPDIN, 97gPDIE
- 矿物质含量	可吸收磷 = 2.2 g, 可吸收钙 = 0.3 g

• 豆饼 48（CX0140）。每千克干物质值饲料价值：

- 能量含量	1.20 UFV
- 含氮量	377 g PDIN, 261g PDIE
- 矿物质含量	可吸收磷 = 5.0 g, 可吸收钙 = 2.1 g

#### 1. 粗饲料是否可以作为单一饲料满足家畜的能量需要？

饲料最低能量浓度要求 (DERm) = 7.6 UFV / 7.2 UEB = 1.06

粗饲料能量浓度 (DEF) = 0.81 UFV / 1.05 UEB = 0.77

得出  $DEF < DER_m$ ，即粗饲料不能作为单一饲料满足家畜的能量需要，必须添加额外的精饲料。

## 2. 采食量和营养需要的满足，其中替代率（Sg）取近似值（表 1.2）

粗饲料 UEB 值 = 1.05，预计饲料精饲料比例约为 40%，即  $S_g = 0.64$ 。此处为计算开始时的预计值。如果在计算饲料的过程中，精饲料比例完全不同，应重新计算符合实际使用比例的  $S_g$  值。

我们将玉米籽粒摄入量表达为  $Q_{I_{C1}}$ ，豆饼的摄入量为  $Q_{I_{C2}}$ （编号参见第 1 章公式）：

$$CI = 7.2 = (Q_{I_F} \times 1.05) + (Q_{I_{C1}} \times 0.64 \times 1.05) \quad (\text{公式 1.1})$$

$$UF \text{ 需要} = 7.6 = (Q_{I_F} \times 0.81) + (Q_{I_{C1}} \times 1.23) \quad (\text{公式 1.3})$$

$$Q_{I_{C1}} = \frac{(7.6 + E) - 7.2 \times DEF}{1.23 - (0.64 \times DEF \times 1.05)} = 2.9 \text{ kg 玉米籽粒干物质} \quad (\text{公式 1.4})$$

$$\text{因 } DEF = \frac{0.81 \text{ UFV}}{1.05 \text{ UEB}} = 0.77 \text{ 及 } E = 0$$

$$Q_{I_F} = \frac{7.2 - (3.4 \times 0.64 \times 1.05)}{1.05} = 5.0 \text{ kg 干物质} \quad (\text{公式 1.5})$$

精饲料所占比例为 37%。与原来估计的 40% 差距不大，不必重新计算。

## 3. 氮量需要的满足

家畜氮的需要：PDI 需要 = 756 g PDI

饲料 PDI 供给量：

$$PDIN = (5.0 \times 42) + (2.9 \times 74) = 425 \text{ g}$$

$$PDIE = (5.0 \times 67) + (2.9 \times 97) = 616 \text{ g}$$

饲料中最低含氮量值为 PDIN。在本饲料中，PDIN 是限制瘤胃微生物合成蛋白质的因素。

出现  $756\text{g} - 425\text{g} = 331\text{g}$  的缺乏量：因此应用豆饼代替一部分玉米籽粒。

此处使用的豆饼 UFV 值和玉米籽粒的 UFV 值略有差异。为了确定供给量，近似的算法是用缺乏量除以豆饼和玉米籽粒 PDIN 的差值：

$$Q_{I_{C2}} = \frac{\text{PDI 需要} - (Q_{I_F} \times \text{PDIN}_F) - (Q_{I_C} \times \text{PDIN}_{C1})}{\text{PDIN}_{C2} - \text{PDIN}_{C1}} \quad (\text{公式 1.9})$$

$Q_{I_{C2}} = 1.1$  kg 豆饼干物质，即  $Q_{I_{C1}} = 1.8$  kg 玉米籽粒干物质。

瘤胃微生物运转（即蛋白质合成）情况检验：

$$\begin{aligned} \text{PDIN 供给} &= (Q_{I_F} \times \text{PDIN}_F) + (Q_{I_{C1}} \times \text{PDIN}_{C1}) + (Q_{I_{C2}} \times \text{PDIN}_{C2}) \\ &= (5.0 \times 42) + (1.8 \times 74) + (1.1 \times 377) \\ &= 758 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PDIE 供给} &= (Q_{I_F} \times \text{PDIN}_F) + (Q_{I_{C1}} \times \text{PDIN}_{C1}) + (Q_{I_{C2}} \times \text{PDIN}_{C2}) \\ &= (5.0 \times 67) + (1.8 \times 97) + (1.1 \times 261) \\ &= 797 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{比例关系} = \frac{\text{PDIN} - \text{PDIE}}{\text{UFV}} = \frac{758 - 797}{7.6} = -5 \text{ g},$$

考虑到生产类型，可以接受此差值。

#### 4. 矿物质需要的满足

饲料提供

$$\begin{aligned} \text{可吸收磷} &= (Q_{I_F} \times \text{可吸收磷}_F) + (Q_{I_{C1}} \times \text{可吸收磷}_{C1}) + (Q_{I_{C2}} \times \text{可吸收磷}_{C2}) \\ &= (5.0 \times 1.3) + (1.8 \times 2.2) + (1.1 \times 5) = 16 \text{ g} \end{aligned}$$

缺乏量为： $21.5 - 16 = 5.5$  g

$$\begin{aligned} \text{可吸收钙} &= (Q_{I_F} \times \text{可吸收钙}_F) + (Q_{I_{C1}} \times \text{可吸收钙}_{C1}) + (Q_{I_{C2}} \times \text{可吸收钙}_{C2}) \\ &= (5.0 \times 0.8) + (1.8 \times 0.3) + (1.1 \times 2.1) = 6.8 \text{ g} \end{aligned}$$

缺乏量为： $26 - 6.8 = 19.2$  g

缺乏量比值  $= 19.2 / 5.5 = 3.5$

钙和磷的总缺乏量比值：

$$1.63 \times (\text{可吸收钙缺乏量} / \text{可吸收磷缺乏量}) = 5.7 \quad (\text{公式 1.10})$$

所以应添加矿物饲料，其含钙量约为磷的 5.7 倍（5-30 类型）每日每头家畜的供应量为 100 g。

因此，饲料配方组成（干物质基础）为：5.0 kg 青贮玉米秸，1.9 kg 玉米籽粒（即 2.2 kg 鲜样重），1.1 kg 48 号豆饼（即 1.25 kg 鲜样重）和 100 g 5-30 类型的矿物-维生素补充饲料。

## 银河星软件首页示例

