

SHEEP
NUTRITION

绵羊营养

[澳] M. Freer and H. Dove 编著

周道玮 孙 哲等 译



 中国农业出版社

绵羊营养

[澳] M.Freer and H.Dove 编著

周道玮 孙 哲等 译

中国农业出版社



CABI Publishing

www. cabi - publishing. org

Original Title:

Sheep Nutrition

Copyright © 2002 CABI Publishing

Copyright © 本书中文版由 CABI Publishing 授权中国农业出版社独家出版发行, 本书图片和文字的任何部分, 事先未经出版者书面许可, 不得以任何方式或手段刊载。

著作权合同登记号: 图字 01-2003-8688 号

图书在版编目 (CIP) 数据

绵羊营养 / (澳) 弗里尔 (Freer, M.), (澳) 达夫 (Dove, H.) 编著; 周道玮等译. —北京: 中国农业出版社, 2004. 8

ISBN 7-109-09211-9

I. 绵... II. ①弗... ②达... ③周... III. 绵羊-家畜营养学 IV. S826.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085127 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 上海兴 刘兆光

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 14.75

字数: 460 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 45.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

序 言

全世界的绵羊超过 10 亿只，其中差不多 1/3 在中国、澳大利亚、新西兰和英国。全球羊毛产量（230 万 t）和羊肉产量（760 万 t）趋向于集聚在这些国家。然而，发展中国家也有相当的绵羊种群，这些绵羊向世界贡献了大量的绵羊奶（820 万 t）。

无论哪一国家或哪个生产系统，世界绝大多数绵羊的一个共同特征是常常大量地依赖于草地——人工的或天然的，作为它们的食物来源。

20 世纪后半期，营养科学的进展帮助我们进一步了解了反刍动物的消化和绵羊的营养需要。我们知道了短链（挥发性）脂肪酸，而不是葡萄糖，是反刍动物消化碳水化合物的产物，并且我们已能量化所包含的过程。随着现代细胞遗传学的快速发展，我们逐渐有能力知道哪种瘤胃微生物对哪一过程起作用。我们已经量化了瘤胃中许多蛋白质的降解过程以及氨转化合成微生物蛋白的过程。纤维素的消化过程和微生物蛋白的生产过程，是保证反刍动物依赖低质粗饲料的活命过程。我们面临的挑战是量化这些过程在放牧条件下同步性的重要程度，以及确定怎样培育饲草，以更好地获得同步性。

绵羊依赖草场作为食物资源限制了我们量化其每日养分摄取状况也许是更大的挑战，特别是在粗放经营的放牧系统，进而又限制了我们预测其营养吸收、体内储备营养的相互作用，以及养分在放牧绵羊维持、生产和繁殖之间的最终分配方式。对草场的依赖也意味着放牧绵羊需要忍受食物短缺、有毒物质和影响健康

与生产的寄生物。

这些不只是科学主题，也具有经济重要性。发达国家的绵羊生产商逐渐需要面对减少的“贸易条款”（term of trade），即面对成本增加而回报减少。全世界对此的反应一直是致力于探索生产更高价值的羊毛、肉和奶制品，同时又降低绵羊生产体系的成本和环境风险。在发达国家，特别是在发展中国家，增加单位羊只的收入已经增加了对更多更好的肉和纤维产品的需要。在发展中国家，对肉和高质量肉的需要也在增加，在发达国家，消费者对满足健康饮食的肉产品的需求在增加。

无疑，这需要发展新的绵羊基因型，以更好地匹配新的生产体系，这可以通过引进新的基因型或在现存基因型中培育。同样，营养科学无疑也存在挑战，例如，在放牧系统中，确定绵羊实际消耗的营养十分困难。我们怎样利用营养组分，特别是脂类含量和组成，结合对营养供应和细胞水平生长机理的进一步理解生产羊肉，以便满足人类饮食目标？我们怎样调控放牧绵羊的日粮，以便廉价地生产更多的细纤维毛，增加羊毛生产商的收入？

本文集的主要读者是动物科学专业高年级本科生或研究生，它们作为动物营养职业的特定人群，将来必须面对绵羊的生产系统，面对绵羊生产商，并且需要给出绵羊营养的挑战性建议。作为编者，我们也在挑战自己，挑战放牧绵羊营养需要的知识，从不同侧面写就这16章。感谢所有作者令人钦佩的成就，希望本文集能对学生和世界范围内的羊营养工作者有所激励。

目 录

序言

第一章 饲草的营养价值	1
第二章 放牧绵羊饲料摄入限制	34
第三章 食物选择	62
第四章 绵羊瘤胃的微生物生态	85
第五章 消化与代谢	115
第六章 放牧系统中的补饲原则	144
第七章 维持的营养	174
第八章 营养与羊毛生长	201
第九章 配种与妊娠期的营养	229
第十章 泌乳期的营养	257
第十一章 肉生产的营养	287
第十二章 放牧场条件下的营养	318
第十三章 放牧绵羊的微量元素和维生素营养	347
第十四章 胃肠寄生虫与营养物的相互作用	383
第十五章 放牧场的有害物质	408
第十六章 放牧绵羊的营养管理	440
译后记	464

第一章

饲草的营养价值

S. W. COLEMAN¹ AND D. A. HENRY²

¹ USDA-ARS, Subtropical Agricultural Research
Station, Brooksville, Florida, USA;

² CSIRO, Livestock Industries, Wembley,
Western Australia, Australia

前 言

饲草是绵羊的主要饲料来源，属于粗饲料。与精料相比，粗饲料主要来源于牧草和作物的茎叶，其干物质（DM）中含有大量的纤维素（ $>180\text{g/kg}$ ）。随着成熟和再生的饲草被采食或刈割，饲草组成及其提供给动物养分的能力不断发生变化。例如，生长旺盛的放牧地可以保证幼年羔羊日增重大于 300g，而成熟的放牧场却不能满足成年绵羊体重维持的需求。因此，在草地研究领域，建立以动物生产性能来评价饲草价值的完善系统，明确营养价值随饲草生长和动物需要的变化，并建立快速预测饲草营养价值变化的方法显得尤为重要。

什么是营养价值

营养价值 (NV) 是定量评价饲料所含动物所需养分及其可利用性, 并预测饲喂后动物生产性能表现的术语, 它决定于以下几方面:

1. 饲料中养分的浓度。
2. 饲料中养分对动物的可利用性。
3. 动物对吸收养分的利用效率。
4. 饲料组成对动物自由采食量的影响。

营养价值一定要用标准单位进行描述, 最好与饲养标准所用的单位一致。目前, 最常用的饲养标准是根据干物质中蛋白质的含量 (g/kg) 及澳大利亚和英国标准中的 (SCA, 1990; AFRC, 1993) 代谢能 (ME/DM 或 M/D) (MJ/kg) 或美国应用的净能 (NE/DM) (MJ/kg) (NRC, 1985) 等指标来说明几种主要的养分。

饲草的养分含量

饲草干物质中脂类和蛋白质含量通常分别不到 30g/kg 和 250g/kg, 所以饲草干物质中的总能 (GE, 燃烧释放的热量) 主要反应了碳水化合物所含的能量: 碳水化合物能值一般在 18.4MJ/kg 左右。分布在相对易溶的细胞内容物 (单糖、果聚糖和淀粉) 和细胞壁 (纤维素和半纤维素) 中的碳水化合物能够被瘤胃降解纤维素的微生物作用而缓慢利用, 与蛋白质一样, 它们的信息只有通过化学分析才可获得。

化学分析过程非常困难, 也需要很多时间, 各种快速提取代表其成分的方案已经逐步建立起来。19 世纪的 Weende 体系主要分析饲料中常规组分: 粗蛋白 (CP)、粗纤维 (CF)、乙醚浸提物 (脂肪)、灰分和无氮浸出物。现在粗纤维已经完全被中性

和酸性洗涤纤维所取代 (Van Soest, 1967)。这套方案把细胞内容物 (中性洗涤可溶物, NDS) 从细胞壁物质中分离出来, 剩下的半纤维素、纤维素和木质素一起定义为中性洗涤纤维 (NDF), 或把纤维素和木质素定义为酸性洗涤纤维 (ADF)。木质素是细胞壁中一类多酚化合物, 它是抗动物消化的一个重要指标, 目前, 因为缺少一个公认的标准分析方法, 所以它通常不在常规分析之中。

在常规分析中, 常用粗蛋白来表示饲草中蛋白质浓度, 它等于氮的浓度乘以 6.25, 因为蛋白质平均含氮 16%。粗蛋白不仅包括真蛋白, 也包括一些简单的含氮化合物, 如尿素和氨类, 它们虽然不能被动物直接利用, 但增加了瘤胃微生物可利用氮的供应。

营养物质的可利用性

量化动物排泄物损失的能量和营养物质, 从而确定剩余营养物质用于生产的量, 对于评价一种饲料的营养价值非常必要。粪 (F) 中的损失和变化最大, 例如, 没有排出的干物质占摄入干物质的比例被定义为消化率 (D)。即使同一种饲草, 其消化率也是变化的。例如, 鲜嫩的牧草每千克干物质损失不到 200g ($D > 0.8$), 而老化的带茎牧草损失大于 600g ($D < 0.4$)。NRC (1985) 参考数据表中的值非常有限, 所以每一种牧草都需要测定和评价。根据测定, 消化的部分可以计算为可消化的干物质 (DDM)、干物质中可消化的有机物质 (DOMD) 或消化能 (DE) (图 1.1)。干物质中纤维或蛋白在瘤胃中的消化率数据十分有用, 获得这些数据的方法将在以后讨论。

与粪能相比, 尿能和瘤胃发酵产生的甲烷 (CH_4) 能的比例不大, 且变化较小, 大约合计占消化能的 19%。总能减去粪能、尿能和甲烷能之后的饲料能值, 称为代谢能 (ME)。根据许多动物饲养试验结果, NRC (1985) 和 SCA (1990) 给出了根据

DE、DDM 或 DOMD 预测 ME 的公式。饲草的 ME/DE 值范围一般为鲜嫩草大于 12MJ/kg，枯死的牧草残余物大约为 5MJ/kg。

绵羊吸收的代谢能用于维持或生产的效率直接与饲草 ME/DE 比值相关 (Annison 等, 第五章)。因为代谢能用于维持、泌乳和增重的效率不同, 所以针对不同生产目的, 饲草干物质的净能 (NE) 值不同 (图 1.1)。不同饲养标准 (如 SCA, 1990) 根据 ME/DE 分别预测了 k_m , k_l 和 k_g 的效率值, 表 1.1 列举了一些典型数值。

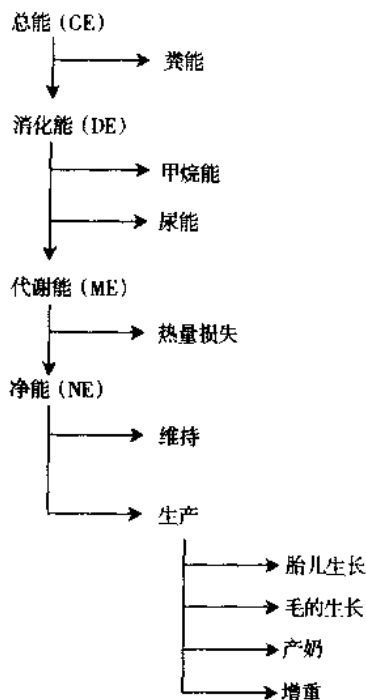


图 1.1 饲料的能量分配

饲草中蛋白质利用率不仅取决于其在整个消化道的表观消化

率，更取决于其在瘤胃中被降解成简单含氮化合物的比例。鲜嫩饲草中细胞内容物中的蛋白易溶，且在绵羊最初咀嚼过程中容易释放，所以鲜嫩饲草中可降解蛋白比例较高。这一部分蛋白，是瘤胃降解蛋白（RDP），是瘤胃微生物合成菌体蛋白（MCP）的氮源（Annison 等，第五章），没有被微生物利用的 RDP 几乎完全以尿素形式从尿中损失。真蛋白是由部分菌体蛋白和相对少量的从皱胃流入的过瘤胃蛋白（UDP）组成，它们被消化成氨基酸被小肠吸收，可消化真蛋白（60%~80%的微生物蛋白，超过 85%的瘤胃未降解蛋白）构成了动物可利用蛋白，一般称之为代谢蛋白（MP）。成熟饲草由于瘤胃降解蛋白供应短缺，限制了瘤胃的功能，而鲜嫩饲草的过瘤胃蛋白较少，同样也限制了动物的生产性能。

代谢蛋白中单个氨基酸满足绵羊需要的程度，决定了吸收蛋白质的质量和效率。来源于饲草的代谢蛋白大多数是以菌体蛋白形式出现，它对于毛的生长和体增重来说蛋氨酸和赖氨酸均未达到最佳比例，如果不改变过瘤胃蛋白的比例，仅改变植物的蛋白质组成，则对生产性能发挥影响较小。目前，通过引入中等含量缩合单宁（condensed tannins）减少豆科牧草蛋白质降解（Waghorn 等，1999），或通过基因操纵而增加特定氨基酸且降解缓慢蛋白浓度的方法（Tabe 等，1993），已引起人们关注。

饲草的自由采食量

大多数放牧系统的共同特征是，无论是受饲料供应还是受旨在最大效率利用饲料资源的放牧策略影响，绵羊一年中的采食量大多受到限制，如一些产毛体系。然而，当饲草充分供应时，也会存在动物生产效率与饲草采食量直接相关的情况，如羔羊增重。影响自由采食的一些因素，如细胞壁物质对消化降解作用的抵抗，构成了决定营养价值的重要组成

部分 (Weston, 第二章)。这些因素与饲草养分的消化率和利用率密切相关。也就是说, 在自由采食条件下, 随饲草消化率增加, 绵羊自由采食量也会增加, 每口含有的营养价值增加, 口数也增加。相反, 消化率降低, 不但可以导致单位采食量的可利用能和养分下降, 还引起采食量的降低。尽管许多种饲草采食量和消化率相关曲线斜率相似, 但截距变化较大 (Freer 和 Jones, 1984)。

什么影响营养价值

不同植物品种繁殖发育速度存在差异。这不仅导致化学和解剖学特性不同, 也改变了植物各部分比例, 如叶、茎、假茎、叶柄、花序, 因而改变了它们的质量特征。管理和环境因素通过直接改变其化学和解剖学特性或影响植物物候变化的时间, 从而对牧草营养价值也产生重要影响。

植物成熟

植物的成熟与营养价值的降低有关, 这是因为在植物成熟过程中, 叶片逐渐减少, 茎叶比增加, 细胞壁成分发生变化 (Akin 等, 1997), 细胞内容物随成熟而不断损失 (Ballard 等, 1990)。成熟饲草的典型营养价值列于表 1.1。

成熟过程中细胞内容物损失是引起饲草营养价值下降的主要因素。这类物质包括水溶性碳水化合物 (WSC)、蛋白和脂类, 通常认为能被反刍动物完全消化。而且作为细胞内容物指标的中性洗涤可溶物消化率也会下降。Ballard 等 (1990) 报道, 鲜嫩的一年生燕麦草 (*Lolium rigidum*) 叶片的中性洗涤可溶物消化率为 0.80~0.95, 而衰老的叶片降至 0.45 左右; 相比之下, 茎中中性洗涤可溶物的消化率却在 0.90~0.95 间没有太大变化。

表 1.1 嫩叶期(1期)到成熟多茎开花期(4期)混合饲草干物质中各成分营养价值(数据来源于 MAFF, 1990; 公式引自 SCA, 1990)

	时 期			
	1	2	3	4
粗蛋白 (g/kg)	190	150	120	84
蛋白质降解 ^a (每小时)	0.86	0.81	0.73	0.68
中性洗涤可溶物 (g/kg)	465	418	373	291
中性洗涤纤维 (g/kg)	535	582	627	709
酸性洗涤纤维 (g/kg)	264	301	329	400
乙醚浸提物 (g/kg)	25	21	19	14
干物质消化率 ^a	0.79	0.72	0.65	0.52
ME:DM (MJ/kg)	12.6	11.1	9.5	7.4
代谢能效率:				
维持, k_m	0.75	0.72	0.69	0.65
泌乳, k_l	0.65	0.62	0.59	0.55
增重, k_g	0.51	0.43	0.35	0.23

a 饲喂水平仅在维持状态下的测定值。

$$k_m = 0.02M + 0.5$$

$$k_L = 0.02M + 0.4$$

$$k_g = (0.3L + 0.9) \{0.043M + 0.01 (15.4 - M) [(\lambda/40) \sin (2\pi D/365) - 1.00]\}$$

公式中, M 为 ME/DM; L 为饲草中豆科牧草比例; D 为一年中的天; λ 为纬度 (+ 在北纬; - 在南纬)。 k_g 是在 40°S 的盛夏、 L 值为 0.3 的条件下测得。

水溶性碳水化合物 (WSC) 在某些饲草中可达 25% 以上; 而且其高浓度与瘤胃消化率呈正相关 (Annison 等, 第五章)。经证明, 水溶性碳水化合物对反刍动物嗜好和食性选择也有重要作用 (Ciavarella 等, 2000)。尽管水溶性碳水化合物的浓度随时间变化明显, 但是昼夜间变化没有品种间变化大, 植物育种学家已经发现它是一个可以通过育种而改进的稳定遗传性状 (Hum-

phreys, 1989)。

与细胞的其他组分一样, 牧草蛋白质浓度随植物的成熟而下降。一年生燕麦草 (*L. rigidum*) 叶中蛋白质浓度在花期之前约为 220g/kg, 而过 1 个月后下降到 130g/kg (Ballard 等, 1990)。暖季禾草, 如老须芒草 (*Bothriochloa* spp.) 叶中蛋白质浓度能从 160g/kg 降到 60g/kg, 茎中蛋白浓度也从 11g/kg 降到 3g/kg (Dabo 等, 1988)。对于大多数品种的绵羊来说, 成熟后营养价值降低的牧草不能满足其每日营养需要。

在植物成熟的不同阶段, 干物质中细胞壁成分占 300~800g/kg 左右, 这从测得的中性洗涤纤维值可以反映出来。纤维素、半纤维素和木质素随植物成熟而联结在一起的结构降低了细胞壁消化率。酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维和木质素含量也随着成熟而增加, 如老须芒草 (*Bothriochloa* spp.) 茎中酸性洗涤纤维从 400g/kg 增加到 500g/kg, 中性洗涤纤维从 700g/kg 增加到 840g/kg (Dabo 等, 1988)。随着植物成熟, 纤维素和半纤维素消化率下降, 这与木质化程度密切相关。纤维素是细胞壁中的主要多糖, 在高粱最嫩时期消化率为 0.83, 而在籽粒乳熟期后下降到 0.37 (Goto 等, 1991)。木质素是细胞壁中高度抵抗消化的第二道屏蔽。与叶相比, 茎的木质素含量较高, 在植物成熟过程中, 叶茎比下降, 即木质化组织在整个生物产量中增加。例如, 这反映在整株老须芒草 (*Bothriochloa*) 的消化率下降, 在成熟过程中从 0.65 下降到 0.45 (Dabo 等, 1987)。

牧草在生长季中消化率 (图 1.2) 和蛋白质浓度降低的特征是这些变化总体影响的结果。

遗传差异

植物通过进化逐渐适应特定的自然环境, 适应放牧而发生的进化就是建立某些抵制采食 (无论是被动物还是昆虫) 的保护机

制。这些机制包括木质化、角化、硅化以及一些次级产物，如苯酚、生物碱和萜萜生长等一些结构。

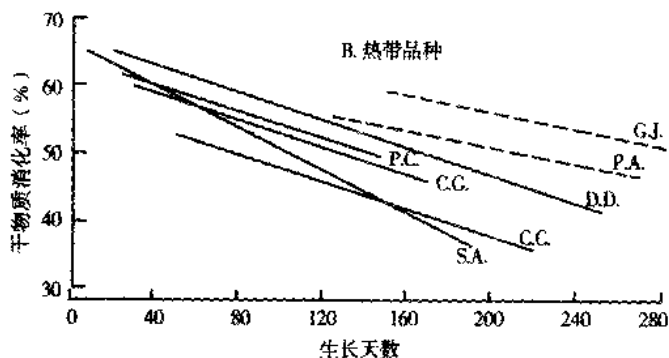
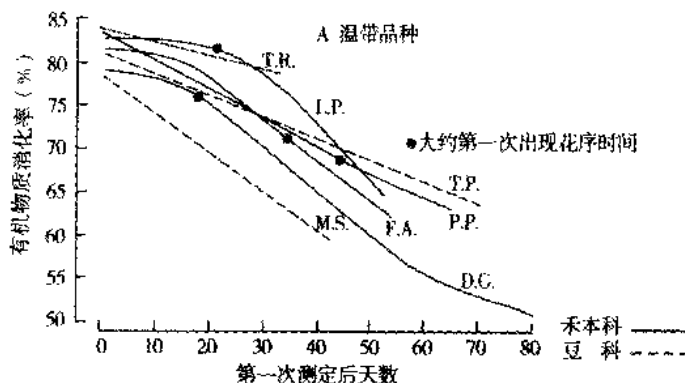


图 1.2 不同成熟期对温带和热带品种牧草消化率的影响 (Corbett, 1969)

温带品种，春季生长；不同品种和不同地方的牧草第一次测定的时间不同。

- I. P. *Lolium perenne* var. S23 (ryegrass)
- P. P. *Phleum pratense* var. S48 (timothy)
- F. A. *Festuca arundinacea* var. S170 (tall fescue)
- D. G. *Dactylis glomerata* var. S37 (cocksfoot or orchard grass)

- T. R. *Trifolium repens* var. S100 (white clover)
 T. P. *Trifolium pratense* var. Ultuna (red clover)
 M. S. *Medicago sativa* var. Dupuits (Lucerne or alfalfa)

热带品种:

- S. A. *Sorghum alnum*
 C. C. *Cenchrus ciliaris* var. Molopo (Buffel grass)
 C. G. *Chloris gayana* var. Callide (Rhodes grass)
 P. C. *Pennisetum clandestinum* (Kikuyu grass)
 D. D. *Digitaria decumbens* (Pangola grass)
 P. A. *Phaseolus atropureus* var. Siratro
 G. J. *Glycine javanica* var. Cooper

庆幸的是, 根据是否利于抵抗病虫害、农学特征及营养价值, 育种家可以在自然发生的变异中选择和培育优良品系。然而一定要注意在选择高产、优质或抗病虫害的同时, 不可疏忽产生抗营养问题。这就促使一些植物育种学家在基因工程 (Taber 等, 1993) 和常规育种方案 (Ehrke 等, 1986) 中更多考虑营养价值。

一种植物的光合作用类型也会影响营养价值。C₃ 和 C₄ 植物品种之所以这样称谓, 是因为它们光合作用产物分别是三碳化合物 (温带禾草类和双子叶植物) 和四碳化合物 (大多数热带禾草类)。C₄ 植物相对 C₃ 植物光合作用效率高, 能积累更多低营养价值的干物质 (Minson, 1990)。C₄ 牧草含有低水平的非结构碳水化合物, 因而降低反刍动物微生物蛋白生产效率 (Poppi 等, 1999)。而且 C₄ 植物叶片中中性洗涤纤维量 (240 ~ 520g/kg) 比 C₃ 植物的 230 ~ 400g/kg 高 (Ford 等, 1979)。

总之, 相对于禾本科牧草, 豆科牧草含有较高蛋白和较低细胞壁物质。然而, 最显著的不同是在消化率固定时, 反刍动物自由采食豆科牧草的量比禾本科高 30% (Freer 和 Jones, 1984), 并且消化的物质对绵羊增重效率更高。表 1.2 列出了豆科牧草和禾本科牧草对动物生产性能产生的差异, 这些是以多年生燕麦草

的值为 100 时进行的相对比较。

表 1.2 不同品种的新西兰牧草对幼龄绵羊的增重效果 (Ulyatt, 1981)

品 种	相对体增重
多年生燕麦草	100
短期轮牧的燕麦草	148
意大利燕麦草	160
猫尾草	129
多枝臂形草 (<i>Agrostis tenuis</i>)	
春季	100
初夏	83
白三叶	186
苜蓿	170
<i>Lotus pedunculatus</i>	143

豆科牧草相对于禾本科牧草的采食量差异部分是由于在瘤胃滞留时间短造成的。滞留时间短是由于牧草迅速降解成瘤胃可以通过的颗粒,使豆科牧草有相对更高比例的未消化有机物质和蛋白供消化道后段消化 (Moseley, 1981)。颗粒比较容易变小反应了它们自身的一些生物学特性。Henry 等 (1997) 报道,禾本科牧草叶片的剪切力是豆科牧草的 38~68 倍。

环境

温度和光照可能是直接或间接影响牧草营养价值的最重要环境因素。植物生长所处的温度对一些化学成分的积累有直接影响,而基因型决定品种间随温度升高而改变多少。高温常会提高结构性物质积累(如细胞壁)和加快代谢活性,这就导致细胞内容物所处的空间变小。如 Ford 等 (1979) 报道,当白天/夜间温度从 21/13℃ 增加到 32/24℃ 时, C3 牧草的细胞内容物增加而 C4 牧草却下降。最近, Henry 等 (2000) 表明,当不同牧草品种生长在 14~34℃ 时,意大利燕麦草 (*Lolium multiflorum*) 的木质素、纤维素和半纤维素随温度升高而显著增加,并伴随干物质体外消化率降低 (DMD) (图 1.3)。然而,在 C4 牧草高冰