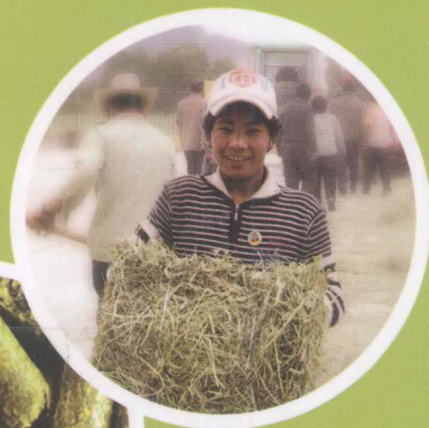


饲草加工

SICAO JIAGONG

何 峰 李向林/主 编
万里强 余成群/副主编



海洋出版社

饲草加工

何 峰 李向林 主编
万里强 余成群 副主编

海洋出版社

2010 年 · 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

饲草加工/何峰, 李向林主编. —北京: 海洋出版社, 2010. 8
ISBN 978 - 7 - 5027 - 7802 - 6

I. ①饲… II. ①何…②李… III. ①饲料加工 IV. ①S816.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 155549 号

责任编辑: 高朝君 杨传霞

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京画中画印刷有限公司印刷

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 13.75

字数: 203 千字 定价: 42.00 元

发行部: 62147016 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

人类利用饲草从事畜牧业的历史经历了狩猎、游牧、半游牧、半舍饲、完全舍饲几个阶段，每个阶段的变革都伴随着饲草利用技术的进步和畜牧业生产水平的提高，而饲草的加工与贮藏在其中发挥了最为关键的作用。

饲草加工是衔接饲草种植和家畜养殖的一个重要纽带。通过饲草加工将饲草生长形成的营养物质供给家畜，形成肉、蛋、奶等畜产品满足人类的需要。长期以来，我国的饲草生产者将饲草的田间产量放在首位，家畜饲养者将日粮中的精料放在首位，而对饲草的收获、加工与贮藏重视不够，严重制约了饲草利用和家畜生产效率的提高，“靠天养畜”的生产方式在草原牧区至今仍占主导地位。因此，本书作者深感有必要撰写一本贴近生产实践、通俗易懂的饲草加工方面的著作，为从事饲草生产、加工和养殖的技术人员和生产者提供参考。

全书共分九章，分别介绍了青干草、草粉、成型饲料、青贮饲料、秸秆饲料、叶蛋白和膳食纤维等饲草产品的生产加工技术及草产品在畜禽养殖中的利用。对每一种草产品，均简要介绍其加工原理、加工方法和作业流程，强调了质量评价和科学贮藏的重要性。全书图文并茂、语言简洁，内容与生产实践紧密结合，对该领域的生产应用和研究工作有一定的参考价值。

本书可供生产部门的技术人员、草业科学专业的科研人员 and 高校师

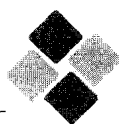
生参考。由于成书时间仓促，加上作者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

本书相关内容的研究以及书稿的出版得到了国家科技支撑项目“青藏高原优质牧草产业化关键技术研究与应用示范”、农业部公益性行业专项“人工草地优质牧草生产技术研究与应用示范”、“948”项目“优质草产品生产加工技术”和国家牧草产业技术体系等项目的资助。此外，何丹、蒙旭辉、陶金山、李春荣、刘树军等在资料整理和图表绘制过程中做了大量工作，在此一并表示感谢。

作者

2010年5月

目次



第一章 饲草的营养价值	1
第一节 植物细胞壁结构	2
第二节 饲草营养评价方法	3
 第二章 青干草	15
第一节 概述	15
第二节 脱水过程	17
第三节 干草调制方法	19
第四节 干草质量评价	37
第五节 干草贮藏	43
 第三章 草粉	48
第一节 概述	48
第二节 草粉粒级与营养	52
第三节 草粉加工工艺	52
第四节 草粉质量评价	61
第五节 草粉贮藏	62

第四章 成型饲料	64
第一节 概述	64
第二节 加工原理	66
第三节 成型饲料加工工艺	73
第四节 质量检测与评价	91
第五节 成型饲料贮藏	93
第五章 青贮饲料	94
第一节 概述	94
第二节 青贮发酵原理	97
第三节 青贮设施	110
第四节 青贮方法	116
第五节 青贮饲料质量评价	122
第六节 青贮饲料的饲喂	126
第六章 秸秆饲料	130
第一节 概述	130
第二节 秸秆饲料加工原理	133
第三节 秸秆饲料加工方法	142
第四节 秸秆质量评定	149
第五节 秸秆饲料贮藏	151
第七章 深加工草产品	153
第一节 叶蛋白	153
第二节 膳食纤维	164
第三节 天然色素	166
第四节 植物添加剂	167
第五节 苜蓿保健品	168

第八章 草产品安全	169
第一节 草产品中有毒物质的无害化处理	169
第二节 添加剂的安全使用	182
第九章 草产品利用	184
第一节 牛的草产品利用	184
第二节 羊的草产品利用	190
第三节 马的草产品利用	194
第四节 鹅的草产品利用	195
第五节 兔的草产品利用	196
第六节 猪的草产品利用	198
第七节 家禽的草产品利用	200
第八节 畜产品品质	202
附录 1 缩写符号含义	204
附录 2 紫花苜蓿 RFV 检索表	205
附录 3 干草品质评分卡	207
参考文献	208

第一章

饲草的营养价值

加工草产品的目的是为了满足不同家畜生产对饲料营养物质的需要。通过调制干草、制作青贮和成型饲料等草产品，可将田间饲草生长积累的能量、蛋白质、维生素和矿物质等营养物质保存起来供给家畜全年使用，家畜则为人类提供肉、蛋、奶等畜产品，满足人类的生产生活需求。即使是单纯的草产品生产者，不涉及家畜饲养和畜产品生产，为了收获、保存更多的饲草营养物质，仍需将草产品质量放在第一位。长期以来，饲草生产者喜欢将饲草产量放在首位，在一定程度上忽视了饲草的品质。尤其是畜牧业生产水平较低的地区，生产者将粗劣秸秆和枯枝落叶作为家畜的主要粗饲料，导致家畜生产性能低下。更为危险的是，这种方法会造成家畜生理机能紊乱，危害家畜的健康。实践表明，利用低品质饲料来饲养家畜是一种得不偿失的方法。每个家畜的消化系统都有一定容积限制，胃中装满丰美饲草的家畜生产性能显著高于每天只能采食枯枝落叶和粗劣秸秆饲料的家畜。高品质的饲料将给家畜生产者带来更高的收益，因此具有相对较高的价格，从而给饲草生产者带来更多的收益。

家畜最早起源于野生草食动物，在被人类驯化之前，这些家畜摄取的营养物质几乎全部来源于采食的天然草本植物。对于草食动物而言，绿色植物可以满足其生长发育的需要。在漫长的进化过程中，草食动物

形成了非常完善的针对草本植物营养特点的消化系统。反刍动物更是在进化过程中形成了瘤胃，其中含有专门消化粗纤维类物质的微生物，能够提高粗饲料的吸收利用效率。此外，饲草提供的丰富纤维素可以增加日粮中的营养物质在家畜消化系统中停留的时间，提高饲料的消化率。饲料费用是家畜养殖过程中最大一笔支出。相对于精料来说，优质饲草具有价格上的明显优势，在日粮中利用优质饲草替代部分精料可以显著降低养殖成本。总而言之，无论是饲草生产者还是家畜生产者，对饲草品质重视越多，获得的收益就越大。

第一节 植物细胞壁结构

了解饲草的细胞壁结构是全面认识饲草营养的第一步。饲草在家畜日粮中属于粗饲料。粗饲料泛指体积大、粗纤维含量高而可消化养分含量低的一类饲料。现行的饲料分类学中，凡粗纤维含量占干物质 18% 以上，消化能在 10.45 MJ/kg 以下的饲料，统称为“粗饲料”。饲草有别于精料的主要特征在于其含有大量的粗纤维，也就是其细胞壁结构物质（见图1-1）。细胞壁由初生壁和次生壁组成，主要成分是一些复杂的碳水化合物——纤维素和半纤维素。饲草中细胞壁占干物质重量的比例一般为 40% ~ 80%，是非常重要的干物质组成部分，也是植物所含的重要营养成分。人类由于消化系统的限制不能消化吸收这部分营养物质，而草食动物可以利用其消化系统中的细菌和其他微生物种群将其中的绝大部分分解成自己可以利用的营养成分。随着饲草的老化，在初生壁和次生壁之间填充了木质素（一类苯丙基衍生物的聚合物）。木质素进一步提高了细胞的硬度和韧性，使植株可以生长得更为高大挺拔，同时也使细胞壁更不容易消化吸收。有一个形象的比喻：初生壁像一道砖墙，次生壁类似于石墙，木质素就是灰浆，将二者紧密黏合在一起，使细胞壁变得更为坚实。随着饲草成熟度的增加，木质素的积累就会越来越多，细胞壁也就更不容易被家畜消化吸收。因此，饲草加工过程中应尽可能减少木质素的含量，最简单有效的方法是控制好饲草收获的时期，避免

收获时期过分延迟。

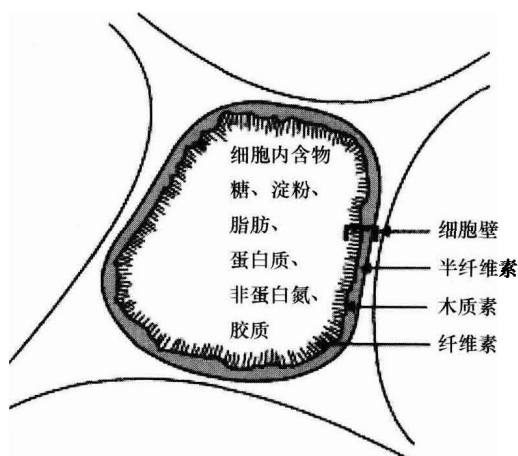


图 1-1 植物细胞的细胞壁示意

第二节 饲草营养评价方法

一、表观评价

表观评价是指仅仅依靠对饲草的颜色、气味和手感而对饲草品质进行的直观估计。表观评价具有明显的局限性，尤其是在加工原料本身就不同的时候。但是，有经验的生产者依然能够通过色泽、叶片比例、茎秆质地、收获时饲草成熟度、病、虫、杂草情况做出有意义的评价。从外观来看，优质饲草具有色泽明亮、叶片比例高、茎秆柔软、初花期或抽穗期前收获、没有明显的病虫害和杂草等特点。

二、常规化学分析

当前应用最为普遍的饲草营养评价方法依然是化学分析方法。常规化学分析是指依据化学和生物化学原理，按照统一的标准和技术规程，将饲草中的各营养成分分离、提取出来，确定各化学成分在干物质中所占的百分比。此种方法可以对不同草产品的营养价值做出统一的评价。常规化学分析的测定项目一般包括干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、

粗灰分 5 个指标，并利用这几个指标计算出无氮浸出物等指标。

1. 干物质（dry matter，DM）

干物质（DM）指饲草中减去水分后剩余的重量占原来重量的百分比。DM 是一个比例的概念，通常采用烘箱烘干的方法测定。具体步骤为：选取有代表性的饲草样本 200 g 左右（W1），在 105℃ 下杀青 30 min，然后以 85℃ 烘干至恒重，此时的重量为 W2，则 $DM = W2/W1 \times 100\%$ 。DM 非常重要，因为家畜的养分需要量都是以 DM 为基础计算的。同时，不同饲草之间进行营养物质含量多少的比较也是以干物质为依据计算的。根据干物质含量可以计算含水量（water content，WC），即： $WC = 100\% - DM$ 。在调制干草、制作青贮饲料、成型饲料中，原料含水量是关系到加工能够成功的重要因素。如图 1-2 所示，生产者根据原料的含水量来决定适宜加工草产品的种类以及加工设备的选择。一般而言，原料含水量在 50% 以上适宜加工青贮饲料，30% 以下的适宜调制干草。此外，很多加工作业都要以含水量的多少为依据。例如，紫花苜蓿在干草调制过程中，打捆作业要求含水量在 18% 左右。水分过高会造成贮藏过程中干草捆发霉，过低则造成叶片的大量脱落。

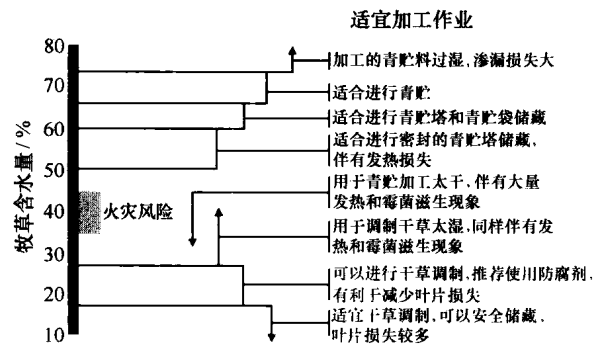


图 1-2 不同含水量原料适宜加工草产品的种类

2. 粗蛋白（crude protein，CP）

由于一般饲草蛋白质中含氮量约为 16%，故在概略养分分析中，常用凯氏定氮法测出总氮量，用总氮除以 16% 即可估算出样品粗蛋白含

量。为了便于计算，常采用总氮量乘以系数 6.25 ($100 \div 16 = 6.25$) 来推算。实际上，CP 是饲草中含氮化合物的总称，既包括真蛋白又包括非蛋白含氮化合物 (non-protein nitrogen, NPN)，后者又可能包括游离氨基酸、嘌呤和吡啶等。在新鲜的饲草中真蛋白占 CP 的 70% 左右，干草中占 60%，发酵饲草中低于 60%。反刍动物可以利用非蛋白氮，因此用青贮饲料饲喂反刍家畜并不会造成蛋白质的过量损失。

3. 粗纤维 (crude fibre, CF)

粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分，包括纤维素、半纤维素、木质素及角质等成分。常规饲料分析方法测定的粗纤维，是将饲料样品经浓度为 1.25% 的稀酸、稀碱各煮沸 30 min 后，所剩余的不溶解的碳水化合物。其中纤维素是由 β -1,4-葡萄糖聚合而成的同质多糖；半纤维素是葡萄糖、果糖、木糖、甘露糖和阿拉伯糖等聚合而成的异质多糖；木质素则是一种苯丙基衍生物的聚合物，它是动物利用各种养分的主要限制因子。在常规分析过程中，有部分半纤维素、纤维素和木质素溶解于酸、碱中，使测定的粗纤维含量偏低，同时又增加了无氮浸出物量。直接导致的结果是低估了高品质饲草，高估了低品质饲草。

为了改进粗纤维分析的局限性，Van Soest (1964) 提出了用中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF)、酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF)、酸性洗涤木质素 (acid detergent lignin, ADL) 作为评定饲草中纤维类物质的指标。同时将饲料粗纤维中的半纤维素、纤维素和木质素全部分离出来，能更好地评定饲料粗纤维的营养价值。分离步骤以及所含有的主要成分如图 1-3 所示。

4. 中性洗涤纤维 (NDF)

NDF 是将饲料样品在中性洗涤剂 ($\text{pH} = 7$) 中煮沸后不溶解的部分，主要是纤维素、半纤维素、木质素和硅石等，通常认为这就是细胞壁的全部成分，用于代表细胞壁成分。溶解部分包括单糖、淀粉、胶质、脂肪、可溶性碳水化合物、蛋白质、非蛋白氮、水溶性维生素和矿物质等，通常认为是细胞内含物成分。NDF 的含量与家畜干物质采食量成负相

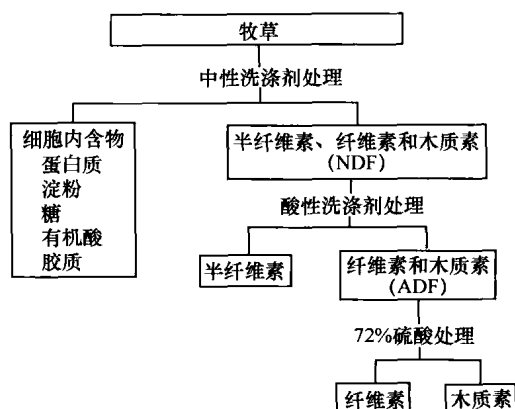


图 1-3 NDF 与 ADF 分离方法

关。也就是说，饲料中 NDF 含量越高，家畜采食的饲料就越少。家畜的生产性能与采食量成正相关，采食量的减少将会造成家畜增重和产奶量的降低，这也是很多生产者喜欢使用 NDF 含量少的精料的原因。毫无疑问，我们作为饲草生产者需要将饲草中 NDF 的含量控制在合理的范围之内。

5. 酸性洗涤纤维（ADF）

ADF 是饲料样品在酸性洗涤剂中煮沸后不溶解的部分，主要是纤维素、木质素和硅石。溶解部分是半纤维素。ADF 与饲草的消化率成负相关，ADF 越高饲草的营养越不容易被家畜消化。

6. 木质素（ADL）

ADL 并不是碳水化合物，需要在强酸条件下才能够分离出来。它的累积减少了纤维素和半纤维的消化吸收。

图 1-4 对比了两种分析方法测定组分对应的化学成分。

由表 1-1 可以看出反刍动物与非反刍动物（单胃动物）对不同营养物质的消化吸收存在差异。Van Soest 体系较粗纤维体系更有益于反刍动物饲料的评定，传统的粗纤维体系比较适用于非反刍动物。美国国家科学研究委员会（2001）在评定奶牛的纤维需要时就使用了 NDF 指标，指

常规分析组分	化学成分	Van Soest 组分
灰分 1 (Ash)	溶于洗涤剂灰分	细胞内含物
粗脂肪 (EE)	三酸甘油酯 天然色素	
粗蛋白 (CP)	蛋白质 非蛋白氮	
无氮浸出物 (NFE)	糖 淀粉 胶质	
	半纤维素	中性洗涤纤维 (NDF) (细胞壁)
	OH 可溶物	
粗纤维 (CF)	木质素 OH 不可溶物	
	纤维素	
灰分 2 (Ash)	不溶于洗涤剂灰分	

图 1-4 常规分析方法与 Van Soest 分析方法化学成分比较

出在以玉米青贮或苜蓿青贮为主要粗饲料、干玉米为主要淀粉来源的奶牛日粮中 NDF 的建议量为 25%，且有 19% 应该来自粗饲料。目前 Van Soest 洗涤纤维体系已得到世界公认。

表 1-1 Van Soest 方法分离的饲草各组分的消化吸收情况

	组分	反刍动物	非反刍动物
细胞内含物	单糖、淀粉、胶质	完全	完全
	可溶性碳水化合物	完全	完全
	蛋白质、NPN	高	高
	脂肪	高	高
	其他可溶物	高	高
细胞壁	半纤维素	部分	低
	纤维素	部分	低
	木质素	不能	不能
	硅石	不能	不能

饲草生长后期，不论是 NDF、ADF、CF 还是 ADL 的比例都呈现增加趋势，细胞内含物比例呈现下降的趋势（表 1-2）。相对于豆科饲草，禾本科饲草的 NDF 含量较高，但 ADL 的含量较低，由此可见禾本科饲草的纤维利用率高于豆科饲草。豆科饲草后期 ADL 会大量积累，从而限制纤维素的吸收，因此非常不适宜推迟收获。

表 1-2 常见饲草细胞内含物和细胞壁的干物质基础组分/%

饲草	细胞内含物	NDF	ADF	CF	ADL
紫花苜蓿					
营养后期	60	40	29	22	7
初花期	58	42	31	23	8
中花期	54	46	35	26	9
盛花期	50	50	37	29	10
红三叶	44	56	41	9	10
百脉根	53	47	36	31	9
雀麦					
营养后期	35	65	35	30	4
花后期	32	68	43	37	8
鸭茅					
中花期	32	68	41	33	6
花后期	28	72	45	37	9
高丹草	32	68	42	36	6
猫尾草					
营养后期	45	55	29	27	3
中花期	33	67	36	31	5
花后期	32	68	55	31	7
青贮玉米					
玉米秸	32	68	55	31	7
蜡熟期适时收获	49	51	28	24	4
果穗稀少	47	53	30	32	5

来源于 Cominittee on Animal Nutrition, National keseach Council, 1982。

7. 粗脂肪 (ether extract, EE)

粗脂肪是饲草中脂溶性物质的总称。常规饲料分析中,粗脂肪是指利用乙醚溶液浸提饲草样品后得到的浸出物。粗脂肪中除真脂肪外,还含有其他溶于乙醚的有机物质,如叶绿素、胡萝卜素、有机酸、树脂、脂溶性维生素等物质,故称“粗脂肪”或“乙醚浸出物”。

8. 粗灰分 (ash)

粗灰分是饲草样品在 550 ~ 600℃ 高温炉中将所有有机物质全部氧化后剩余的残渣。主要为矿物质氧化物或盐类等无机物质,有时还含有少量泥沙,故称“粗灰分”。

由于饲草的组分不同,灼烧条件不同,残留物也各不相同,致使同样品的残留物与饲草中原有的无机物并不相同。有的可能比原无机物多些(例如碳元素,并不是全部都变为 CO_2 散失掉,有一部分转变为碳酸盐的形式保存了下来),有的可能比原无机物少些(例如饲草中易挥发的成分,可能在加热过程中会散失掉)。所以,测得的灰分与样品中的灰分并不完全一致,故只能称为“粗灰分”。

9. 无氮浸出物 (nitrogen free extract, NFE)

无氮浸出物是非常复杂的一组物质,包括淀粉、可溶性单糖、双糖,一部分果胶、木质素、有机酸、单宁、色素等。在植物性精料(籽实饲料)中,无氮浸出物以淀粉为主,在青饲料中以戊聚糖为最多。淀粉和可溶性糖容易被各类动物消化吸收。

常规饲料分析不能直接分析饲料中无氮浸出物含量,而是通过计算求得:无氮浸出物 = $100\% - (\text{水分} + \text{灰分} + \text{粗蛋白质} + \text{粗脂肪} + \text{粗纤维})\%$ 。

10. 饲草的总能 (gross energy, GE)

饲草的总能是饲料完全燃烧后所释放的能量。由于饲料中各种有机物质的燃烧热比较稳定,可以利用无氮浸出物(NFE)、粗纤维(CF)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)四个指标计算求得(单位为 MJ/kg):

$$\text{GE} = 23.93 \times \text{CP} + 39.75 \times \text{EE} + 20.04 \times \text{CF} + 16.86 \times \text{NFE}$$