青刈谷类作物的适宜刈割期见表 1-11。

表 1-11　几种一年生禾草及谷类作物的刈割期

种类	适时刈割期	备注
扁穗雀麦	孕蕾—抽穗期	第一次刈割可适当提前
青刈燕麦	乳熟—蜡熟期	
青刈谷子	孕蕾—开花期	
青刈大麦	孕穗期	

注：引自张秀芬（1992）。

二、饲料作物的适时收获

（一）青贮饲料作物的适时收获

饲料作物营养价值的下降会影响采食量，因此，刈割晚易引起可消化营养物质采食量的损失。在结实期干物质采食量只保持早期刈割的 75%，而其 TDN 下降为早期的 46%。

根据青贮品质、营养价值、采食量和产量等综合因素的影响，禾本科作物的最适宜刈割期为抽穗期（大概出苗或返青后 50～60 d），而豆科作物开花初期最好。专用青贮玉米（即带穗整株玉米），多在蜡熟期收获，并要选择在当地条件下初霜期来临前能达到蜡熟期的早熟品种。兼用玉米（即籽粒做粮食或精饲料，秸秆做青贮饲料的玉米），目前多选用籽粒成熟时茎秆和叶片大部分呈绿色的杂交品种，在蜡熟末期及时收果穗后，抢收茎秆做青贮。青贮高粱则在乳熟后期刈割。

表 1-12　几种饲料作物调制青贮的适宜收获期

青饲料种类	适宜收割期	收割时含水量 /%	青饲料种类	适宜收割期	收割时含水量 /%
杂交苏丹草	约 90 cm 高	80	燕麦	乳熟期	78
带穗玉米	蜡熟期	65～70	大麦	始穗至蜡熟前期	70～82
整株高粱	蜡熟初期至中期	70	黑麦	始穗至蜡熟前期	75～80

注：引自顾洪如（2002）。

（二）草料兼收饲料作物的适时收获

饲料作物在生长过程中，各个时期的营养物质含量不同，因此，确定适宜的收获期很重要，对于草料兼收的作物更为重要。

草料兼收的作物在考虑产量和品质时，也有所侧重。对于像玉米、高粱、燕麦和大麦等禾谷类籽实饲料作物，其籽实是重要的精饲料，是单胃家畜、家禽的基本饲料成分。此类饲料含大量的碳水化合物，淀粉占 70% 左右，粗蛋白质 6%～10%，粗纤维、粗脂肪、粗灰分各占 3% 左右，所含矿物质中磷较多，钙较少。以收获籽实为目的，一般在籽粒蜡

熟末期或完熟期时收获。对于豆类籽实，如大豆（包括黄豆、黑豆、秣食豆）、豌豆、蚕豆及野豌豆等，此类饲料粗蛋白质含量一般在22%以上，如大豆为33%～45%，是畜禽优良的蛋白质补充饲料，一般其收获期在籽实的完熟期。

（三）青刈饲料作物的适时收获

青饲（刈）作物指利用农田栽培的农作物或饲料作物，在其结实前或结实期收割作为青饲料利用的饲料。常见的有青刈玉米、青刈燕麦、青刈大麦、大豆苗、豌豆苗、蚕豆苗等。

一般青刈作物用于直接饲喂家畜或青贮。青刈饲料柔嫩多汁，适口性好，营养价值比收获籽实后剩余的秸秆高，尤其是青刈禾谷类作物其无氮浸出物含量高，用作青贮效果好。此外，青刈燕麦和青刈大麦也常用来调制青干草。

幼嫩期青刈的高粱和苏丹草中含有氰苷配糖体，家畜采食后会在体内转变为氢氰酸而中毒。为了防止中毒，宜在抽穗期刈割，也可调制成干草或青贮饲料，使毒性减弱或消失。

1. 青饲玉米

玉米是我国的主要粮食作物之一，栽培面积和总产量仅次于水稻和小麦，居于第三位。由于玉米植株高大、生长迅速、含糖量高、产量高，所以作为家畜的青饲料具有重要意义。

青刈玉米的产量和品质与收获期有很大关系。适时刈割的玉米才能达到最高营养价值。青刈玉米柔嫩多汁，口味良好，新鲜饲喂，适于作牛、猪的青饲料。制成干草供冬春饲喂，营养丰富，无氮浸出物含量高，易消化。据报道，鲜玉米植株中粗蛋白质和粗纤维的消化率各为65%和67%，而粗脂肪和无氮浸出物的消化率则分别高达72%和73%。

2. 青饲高粱

高粱植株和玉米一样是优质青饲料。它茎叶青绿，尤其是甜茎种，是猪、牛、马、羊的好饲料。鲜喂、青贮或调制干草均可。但应注意的是，高粱新鲜茎叶中含氢氰配糖体，可在酶的作用产生氢氰酸而起毒害作用。过于幼嫩的茎叶不能直接利用，多量采食易引起中毒。调制青贮饲料或晒制干草后毒性消失。

（四）块根、块茎类饲料作物的适时收获

块根、块茎类饲料作物是指甘薯、胡萝卜、马铃薯等以地下部块根、块茎等营养器官为饲料的饲料作物。这类作物无固定的收获期，但收获期可由外界温度条件确定，通常在早霜前收获。下面以饲用甘薯、胡萝卜为例简单介绍块根的收获过程。

1. 饲用甘薯的收获

饲用甘薯的收获，要兼顾藤叶产量和薯块产量。如果收获合理，则薯块的产量不会显著减少，还可获得大量新鲜的藤叶。一般在草层高度为45 cm时进行第一次收割。在华南和华东地区，甘薯可割藤3～5次，而在华北一带则只割2～3次。在高温多雨季节，每30 d可割1次；在干旱季节，每45 d割1次；温度下降或干旱季节，刈割的间隔日数延长，甚至长达72 d。到下霜以前，可以最后一次齐地刈割。甘薯块根是无性营养体，没有明显的成熟期，只要气候条件适宜，就能继续生长。在适宜的生长条件下，生长期越长，产量

越高。甘薯收获过早，会缩短薯块膨大的时间，使其产量降低；收获过迟，因气温已下降到甘薯生长温度的低限，对提高产量作用不大，而且常常因低温冷害的影响，造成薯块品质下降，不耐贮藏。最好在地温 18℃时开始收获。另外，在此范围内还要注意先收春薯，后收夏薯；先收留种薯，后收食用薯。甘薯收获是一项技术性很强的工作，关系到贮藏工作的成败。因此，从收获开始至入窖结束，应始终做到轻刨、轻装、轻运、轻放，尽量减少搬运次数，严防破皮受伤，避免传染病害。

2. 胡萝卜的收获

胡萝卜肉质根的形成，主要在生长后期。越成熟，肉质根颜色越深，营养价值越高，所以胡萝卜宜在肉质根充分肥大时收获。7—8 月播种的晚熟品种，12 月可以收获，产量可达 30～60 t/hm^2。北方寒冷地区应在霜冻来临前收获，以防受冻，不耐贮藏。每公顷肉质根产量为 37.5 t 左右，叶产量为 15 t。一般采用窖贮。上冻前选向阳避风，排水良好的地方挖窖。窖深、宽各 2～3 m，长度视贮量而定。入窖前晾晒 1 d，选无碰伤、无腐烂的肉质根，削去茎叶，层层摆好，摆至土壤结冻线以下为止。窖里的相对湿度控制在 85%～95%，每隔 30～50 d 倒一次窖，及时剔除烂根。

第四节　饲草原料机械化收获技术

一、牧草收获机械

在茎叶繁茂、生物量最大、单位面积营养物质产量最高时收获青草，可用镰刀等人工割草工具，但为了减少损失，短期收获，提高效率，以便于饲喂和调制，在地面平整、草地面积大时，常采用机械收获法。机械收获时，既有普通的割草机，也有直接在田间进行刈割和粉碎的牧草联合收获机。

（一）割草机

割草机按切割原理，可分为往复切割器式（称往复式）（图 1-1）和旋转切割器式（称旋转式）两种。按动力配套方式不同，又分为牵引式、悬挂式、半悬挂式和自走式（图 1-2）以及割草压扁铺条机。



图 1-1　92GHB-2.1（1.8）型割草机



图 1-2　牧神 9GTZ-3.6 型自走式全液压割草压扁机

1. 往复式割草机

往复式割草机适用于收割天然草地牧草和种植牧草。它割茬低而均匀，铺放整齐，功率消耗小，价格便宜，使用调整方便。但要求草场平坦，障碍物少，在切割高产或湿润牧草时，易发生堵刀。

2. 旋转式割草机

旋转式割草机采用水平或垂直切割器。水平旋转式割草机包括圆盘式和转镰式两种；垂直式割草机包括卧式滚筒式割草机和甩刀式割草机。

3. 割草压扁铺条机

牧草干燥时间的长短，实际上取决于茎秆干燥时间的长短。如豆科牧草及一些杂类草，当叶片含水率降到15%～20%时，茎的水分仍为35%～40%，所以加快茎秆的干燥速度，就能加快牧草的整个干燥过程。

牧草压扁机功能就是能将牧草茎秆压裂，破坏茎的角质层以及维管束，并使之暴露于空气中，茎内水分散失的速度就可大大加快，基本能与叶片的干燥速度一致。这样既缩短了干燥期，又使牧草各部分干燥均匀。

（1）牧草压扁技术要求有如下几点。

① 配套性要求。为了加速干燥由割草机割倒并形成条铺的牧草，近年来，通常将割草机与不同形式的压扁机配套使用，满足现代化的干草生产要求，实现将牧草地收割、茎秆压扁和铺成草垄等作业由机器连续一次完成。

② 压扁性能要求。目前，国内外常用的茎秆压扁机有两种，即圆筒形压扁机和波齿形压扁机。圆筒型压扁机装有捡拾装置，压扁机将草茎纵向压裂；而波齿形压扁机有一定间隔将草茎压裂。一般认为，圆筒形压扁机压裂的牧草，干燥速度较快，但在挤压过程中往往会造成新鲜汁液的外溢，破坏茎叶形状，因此，要合理调整圆筒间的压力，以减少损失。根据现代农业的要求，割下的牧草必须有40%以上应在压辊间通过，失落的草叶和断茎秆的损失，以干物质质量分数表示，不得超过压扁牧草总重量的2%。

（2）牧草压扁机械主要有如下几类。按与动力的连接形式可分牵引式压扁机和自走式压扁机。按切割形式可分往复切割器和旋转切割器形式。割草压扁机辊的材料有橡胶和钢两种。现有的割草压扁机中压辊有两种组合方式，一种是一个光棍和一个槽辊相配合，其作用以压扁为主，成为压扁辊，其中槽辊常由橡胶制；成为碾折辊，由橡胶或钢制，碾折作用较强，适于高秆丰产牧草，当使用钢制碾折辊时，辊棱必须修圆，以免切断牧草茎叶。

压扁机的工作部件由两个水平的、彼此做相反方向转动挤压辊组成。新鲜牧草从这两个压辊间通过。有弹簧压在一根压辊的轴上，使压辊之间产生压力。当割下的牧草以比较均匀的薄层在压辊间通过时，压扁机压辊的工作效率就高。

（二）青饲料收获机

青饲料收获机在田间将青饲料收割、切碎并吹送到拖车上，运回饲养场，现喂或青贮。青饲料收获机按切碎饲料方式可分为直接切碎式和收割切碎式两种。甩刀式青饲料收获机

属直接切碎式，它将直立的青饲料直接切成碎段；有多种收割台的通用型青饲料收获属于收割切碎式。甩刀式青饲料收获机用同一部件进行收割切碎和抛送，因此其结构简单。但它只能用来收获青绿牧草、青绿燕麦及甜菜叶等饲料作物，不适于青（黄）玉米等高秆作物。

二、饲用玉米收获机械

饲用玉米，是指专门用于畜牧业饲料的玉米品种，包括粒用饲料玉米和青贮饲料玉米。粒用饲料玉米主要有优质高蛋白质玉米和高油玉米，青贮玉米包括青贮专用型和粮饲兼用型玉米两种。粒用玉米和青贮玉米对应的收获机械不同。

（一）粒用玉米收获机械

国外的玉米收获机械主要有两种类型：一种是以美国和德国等为代表的、大功率联合收割机配套用的玉米摘穗台（我国称其为玉米割台）；另一种以苏联生产的 KCKY-6 型为代表的玉米联合收割机。美国的玉米摘穗台与联合收割机配套使用，可一次完成玉米摘穗、脱粒和秸秆还田作业。其主要特点是在田间可直接收割玉米籽粒，然后运输到农户。KCKY-6 型自走式玉米收割机能够一次完成玉米摘穗、剥皮和秸秆还田（或青贮作业），其配套动力为 147 kW，适用于大面积作业，生产率为 1.33～2 hm^2/h。

（二）青贮玉米收获机械

青贮玉米收获机械，既有配套中耕作物割台的通用型青饲料收获机（图 1-3），也有专用的青贮玉米收获机（9ZQY-0.6 型）（图 1-4）。



图 1-3　4Q-185 青饲料收获机



图 1-4　4YZ-3 型自走式玉米收获机

1. 配套中耕作物割台的通用型青饲料收获机

一般割幅可为 2 行，大型者可达 3～4 行。割台由切割器和夹持机构组成。工作时，青玉米由切割器割下后，由夹持机构送到主机。机身的主要工作部件是喂入装置和切碎装置。机身和割台组合，可将喂入的各种青饲料和青贮饲料切成碎段，然后抛送入挂在机身后的拖车内。在机身上除上述部件外，还有机架、行走轮、传动部分等。自走式收获机上还装有发动机和操纵部分。

青玉米首先由切割器割断，同时被夹持机构夹住并向中央集中和向上提升，但由于夹持机构上方有一槽梁挡住，故最后玉米秆成为根部向右而平卧，再被喂入装置压紧和卷入，由切碎器切成碎段后抛向拖车。

2. 9ZQY-0.6 型青贮玉米收获机

该机是新疆农业科学院农业机械化研究所根据我国当前农牧业生产规模、农牧区经济、技术条件、配套动力及维修使用条件等实际情况，在引进国外样机，经过试验分析、消化、吸收的基础上研制的一种小型悬挂式新机具。它具有结构简单、切碎质量好、投资少和使用维修方便等特点，主要用于收获青（黄）贮玉米。

作业时，机器前进旋转的剪刀将玉米茎秆割断，两喂入辊相对旋转夹持茎秆送到切碎室，被高速回转的刀盘破茎切碎，并由抛送叶片抛起经抛料筒输送到抛车内。

该机与 40 kW 拖拉机右侧悬挂，三点连接，机组行驶速度 5 km/h。生产率 0.2 hm^2/h 以上。切碎长度小于 25 mm 的切段占 75%～80%，破茎率大于 90%，适应玉米行距为 45 cm 以上，割茬高度不大于 15 cm，收割损失率小于 3%，机重 500 kg。

三、块根块茎类饲料作物收获机械

块根块茎类饲料作物的收获机械是收割、采摘或挖掘块根块茎类饲料作物的食用部分，并附带装运、清理、分级和包装等作业的机械。

（一）块根块茎类饲料作物收获机械的类型

块根块茎类饲料作物收获机械是指收获马铃薯、胡萝卜等的机械，有挖掘式和联合作业式两种类型。

1. 挖掘式收获机械

挖掘式收获机能完成切顶和挖掘作业，并将收获物铺放成条。

2. 联合作业式收获机械

联合作业式收获机械有两种类型：一种是夹住茎叶把收获物从土壤中拔出，然后分离茎叶和土壤；另一种是先切去茎叶，然后将收获物从土壤中挖出，并清除土壤和杂草。

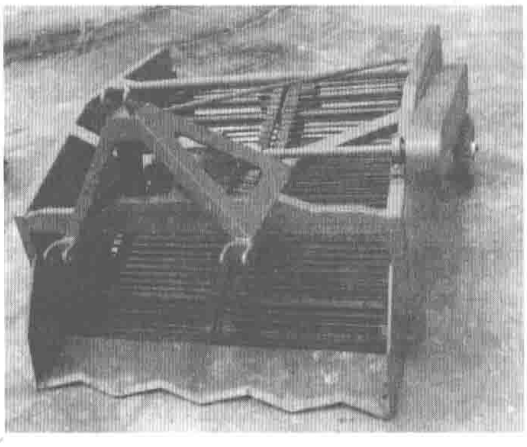


图 1-5 马铃薯收获机

（二）块根块茎类饲料作物收获机械

块根块茎类饲料作物收获机械较多，这里列举马铃薯和胡萝卜收获机械。

1. 马铃薯收获机

一般马铃薯收获机（图 1-5）只用于马铃薯的收获，少数机型也可用于挖收甘薯、胡萝卜等。20 世纪初，出现了能将泥土与薯块分离的升运链式马铃薯收获机和抛掷轮式马铃薯挖掘机，50 年代后发展了能一次完成挖掘、分离土块和茎叶及装箱或装车作业

的马铃薯联合收获机。

2. 胡萝卜收获机

用机械收获胡萝卜等有两种方法：一种是将块根和茎叶从土壤内拔出，然后分离茎叶和土壤，按这种原理工作的机械被称为拔取式收获机（图 1-6）；另一种是在块根从土壤内被拔出之前，先切去茎叶，然后再把块根从土壤内挖出，并清除土壤和其他杂物，按这种方法工作的机械被称为挖掘式收获机。



图 1-6　4HBZ-1 型自走式胡萝卜联合收获机

第五节　牧草及饲料作物原料适时收获的注意事项

1. 通过适时收获技术，实施多次刈割收获，并不等于无节制地频繁刈割

为了保证草地长期高产稳产，必须要严格控制牧草的刈割次数。就紫花苜蓿而言，北京地区一年可刈割 4～5 次，而在东北、内蒙古一般只能刈割 2～3 次，在华北南部，如河南南部、苏北等淮河流域可刈割 5～6 次。另外，最后一次刈割应在冬至停止生长前 2～4 周时进行；多数禾本科牧草第一茬草适宜在抽穗期收获，以后 30～40 d 可刈割一次，在华北中南部地区一年可刈割 4～5 次，东北地区一年可刈割 2～3 次。

2. 不同种类牧草的再生生长点不一致，要根据牧草的种类选择适宜的留茬高度

不同牧草刈割时要求留茬高度不同，豆科牧草中从根茎萌发新枝条的紫花苜蓿一般留茬高度为 4～5 cm。禾本科牧草中的上繁草，如无芒雀麦、黑麦草、猫尾草和冰草等一般留茬高度为 6～8 cm，而一些从茎枝腋芽上萌发新枝的百脉根、柱花草等要求留茬高度为 20～50 cm，以利于其恢复和再生。

3. 制定牧草的刈割期要因种而异，不能生搬硬套

4. 适时收获技术要同科学的种植管理技术和饲草调制技术相结合

生产中如果采用适时刈割期多次刈割利用技术，则每年的 6—8 月需要进行一次或多次牧草收获工作。

思 考 题

1. 牧草及饲料作物适时收获的意义是什么？
2. 确定牧草及饲料作物适时收获期的原则有哪些？
3. 大多数豆科和禾本科牧草的适时收获期分别在生长期的哪个阶段比较合适？
4. 简述饲料作物的适宜收获期。
5. 牧草收获中涉及的机械有哪些？

参 考 文 献

[1] 张秀芬. 饲草饲料加工与贮藏. 北京：农业出版社，1992.
[2] 董宽虎，沈益新. 饲草生产学. 北京：中国农业出版社，2003.
[3] 陈宝书. 牧草饲料作物栽培学. 北京：中国农业出版社，2001.
[4] 徐柱. 中国牧草手册. 北京：化学工业出版社，2004.
[5] 李宝筏. 农业机械学. 北京：中国农业出版社，2003.
[6] 贾玉山，张秀芬，格根图，等. 不同刈割技术对沙打旺草粉质量的影响. 内蒙古草业，1998，2：33-35.
[7] 何玮，张新全，杨春华，等. 刈割次数、施肥量及混播比例对牛鞭草和白三叶混播草地牧草品质的影响. 草业科学，2006，23（4）：39-42.
[8] 杨恒山，曹敏建，郑庆福，等，刈割次数对紫花苜蓿草产量、品质及根的影响. 作物杂志，2004，2：33-35.
[9] 农业部农业机械化管理司主编. 牧草生产与秸秆饲用加工机械化技术. 北京：中国科学技术出版社，2005.

第二章　青贮饲料调制技术

【学习目标】

- 了解青贮饲料调制的意义。
- 熟悉青贮发酵的过程。
- 掌握青贮饲料调制技术。
- 熟悉改善青贮饲料常用的添加剂。

第一节　青贮饲料调制意义

一、青贮概念

青贮饲料是指在青贮容器中厌氧条件下发酵处理得到的饲料产品。将新鲜的或萎蔫的或半干的青绿饲料（牧草、饲料作物、多汁饲料及其他新鲜饲料）在密闭条件下利用青贮原料表面上附着的乳酸菌或者外来添加剂的作用下，抑制不良微生物生长，促进乳酸菌发酵，使青贮原料 pH 下降而保存得到的饲料叫青贮饲料，这一过程称为青贮。乳酸菌是青贮发酵过程中主要的有益微生物，在厌氧条件下它占主导地位，大量繁殖并产生乳酸，而不良微生物的生长繁殖受到抑制，因此青贮原料的营养价值保存下来。青绿饲料经过发酵后调制出的青贮饲料，能保持原料的青绿多汁特性，质地柔软，营养丰富，并有特殊的酸香气味，具有适口性好、采食量高和消化率高等优点。

二、青贮饲料调制的意义

（一）有效保存青绿饲料营养物质

青绿饲料可以调制加工成干草、青贮饲料或成型饲料。青绿饲草饲料在密封厌氧条件下保存，物质的氧化分解作用微弱，可减少营养物质的损失。与青贮原料相比，优良的青贮饲料碳水化合物总量变化不大，可溶性碳水化合物大部分转化为乳酸，蛋白质损耗少，胡萝卜素可保持在 90% 以上，营养价值仅降低 3%～10%（表 2-1）。而青绿饲料晒制干草的过程中，由于植物细胞的呼吸作用、枝叶脱落及机械作用等原因，营养价值损失 30%～50%。例如，将玉米秸分别制成青贮饲料和风干玉米秸后，青贮饲料中粗蛋白质和粗脂肪含量分别是风干玉米秸的 2 倍和 5 倍左右，并且粗纤维和无氮浸出物含量较低。

表 2-1 干草和青贮饲料消化率及营养价值比较

饲草种类	消化率		营养价值（干物质基础）		
	能量 /%	粗蛋白质 /%	可消化粗蛋白质 /%	总可消化养分 /%	消化能 /（MJ/kg）
自然干草	58.2	66.0	10.1	57.3	10.71
人工干草	57.9	65.4	10.1	59.4	10.63
干草饼	53.1	58.6	9.1	53.3	9.75
青贮饲料	59.0	69.3	11.3	60.5	11.59

注：引自玉柱和贾玉山（2010）。

（二）适口性好，利用率高

青贮饲料含水量较高，鲜嫩多汁。在青贮过程中，微生物发酵产生大量乳酸和部分乙酸，气味酸甜清香，家畜乐于采食。有些植物如菊芋、蒿类和向日葵等茎叶经过青贮，原料的特殊气味消失，适口性增加。粗糙干硬的原料，经过青贮调制过程中切短、水分调制、微生物发酵等方法处理后，可提高家畜的采食率。

青贮饲料的能量、蛋白质、粗纤维消化率均高于同类干草，并且青贮饲料干物质中的可消化粗蛋白质（DCP）、总可消化养分（TDN）和消化能（DE）含量也较高（表 2-1）。青贮原料的能量以及营养物质在青贮过程中能够得到很好的保存，制成的青贮饲料具有较高的消化率和利用率（表 2-2 和表 2-3）。青贮过程中机械处理使青贮原料表面积增加，增加了消化液与饲料的接触面积，降低动物采食活动消耗的能量，从而提高了饲料利用率，经济效益明显提高。例如在青贮玉米的收获过程中，有效破碎玉米籽粒可以增加玉米籽粒的利用率。

表 2-2 日粮中使用干草或青贮饲料对阉牛生长率的影响

	干草[①]（5.6 t DM/hm^2）			青贮饲料[①②]（5.0 t DM/hm^2）		
日粮中精饲料（%，活体重）[③]	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	1.5
干物质采食量 /（kg/d）						
饲草料	4.36	3.86	2.82	4.99	4.26	3.58
精饲料	1.39	2.90	4.47	1.45	2.94	4.39
合计	5.75	6.76	7.29	6.44	7.20	7.97
活体重增加[④]						
kg/d	0.33	0.63	0.88	0.81	1.09	1.20
kg/ 每吨饲料 DM	57	93	121	126	151	151

注：① 青贮饲料和干草由一年生黑麦草和地三叶调制。

② 青贮饲料中用酶添加剂处理和未处理，酶添加剂对牲畜生产无影响。

③ 精饲料由 67% 的大麦、30% 的羽扇豆和 3% 的矿物质组成。

④ 混合日粮的活体重增加。

引自 Jacobs 和 Zorilla-Rios (1994)。

表 2-3　苜蓿青贮饲料和干草饲喂奶牛的牛奶产量　kg/d

研究	储存方法	日粮中的精饲料 /%	收获时所处的成熟阶段			
			现蕾初期	现蕾中期	初花期	盛花期
1	干草	45	26.6		25.5	25.5
	青贮饲料	45	27.2		27.0	27.7
2	干草	40		30.7	32.1	
	青贮饲料	40		33.6	33.4	
3	干草	40	35.0		36.0	
	青贮饲料	40	38.1		37.0	

注：引自 Nelson 和 Satter (1990，1992)。

（三）扩大饲料来源，有效利用资源

青贮饲料的来源广泛，原料可以是饲料作物、牧草和工农业副产品，还可以是畜禽不愿采食或不能直接采食的无毒青绿植物。这些原料经过青贮调制加工，都可以变成畜禽喜食的饲料。

禾本科牧草、豆科牧草和饲料作物都是良好的青贮原料，而青绿作物秸秆、块根块茎、小灌木、木本植物饲料、树叶及水生饲料、杂类草、绿肥草、瓜藤菜秧、高水分谷物、糟渣等均可用来制作青贮饲料。青贮可以有效地改善原料的物理性状和质地，消除抗营养因子，消除特殊气味和毒素，改善原料饲用价值，扩大饲草来源，降低畜禽对粮食的消耗。目前，秸秆、甘薯藤、马铃薯茎叶、甜菜渣、胡枝子、柠条、芦苇、果渣、籽粒苋和水葫芦等均有用作青贮原料的研究，有些已经被开发成为青贮饲料。因此，青贮对开发潜在饲草资源与有效利用农业资源方面有重要的作用。

（四）长期保存利用，调节饲草平衡利用

牧草或饲料作物生长成熟有季节性变化，产量和营养物质含量也受到气候条件、田间管理水平的影响。干草在贮藏过程中，受到环境湿度、有害微生物和自身含水量的影响，有可能出现发酵发热、发霉变质和发生火灾，造成营养损失。青贮饲料可以通过适时收获调制，及时保存营养物质，在青贮过程中受外界环境变化干扰小，不易发生火灾，可实现长期安全贮藏。在适宜的保存管理条件下，青贮饲料营养损失小，不易发生品质劣变，保存期可以长达 20～30 年。

因此，青贮饲料可以保证全年家畜对青绿饲草的需求，平衡年度内至年度间的饲草供给。在饲草生长旺季，适时收获后制作成青贮饲料，可以解决在冬季和初春青绿饲料供应不足的问题。在目前的农作物种植方法中，轮作可以起到调节土地使用状况、减轻土传病虫害、改善土壤物理和养分结构的作用。利用青贮饲料可以按照适宜的轮作方案种植饲草，保证青绿饲料的均衡供应，调整干旱风险和洪涝风险，改善土地质量，有利于长期生产。青贮饲料有利于对牲畜产业和土地进行全局管理，实现提高土地生产力、资源利用率和产品管理控制的目的。

（五）减少家畜消化系统疾病和寄生虫病的发生，也可减轻杂草危害

在饲料作物生长过程中可能会出现病虫害，如玉米、高粱的钻心虫和牧草上的一些害虫。将遭受病虫害的作物制作成青贮饲料可以利用青贮过程中产生的酸类物质及青贮过程创造的缺氧环境，使寄生虫及其虫卵或病菌失去活力，故可减少家畜寄生虫病和消化道疾病的发生。青贮原料中掺杂的少量杂草并不会对青贮过程产生影响。如果原料中混入过多的阔叶杂草则会影响青贮饲料的质量，因为阔叶杂草的消化率低，干物质含量低，缓冲能值高。

青贮饲料制作过程能够使杂草种子失去活力，因此在青贮中混入的杂草种子不会传播。在青贮中混入的禾本科牧草种子，如稗草、早雀麦、狗尾草和野燕麦等，种子的发芽率和发芽力都会降低到零。阔叶杂草，如藜、地肤、圆叶锦葵和卷茎蓼等，青贮过程中它们的种子发芽率降低到 2% 以下，发芽力降低到 3%～6%。将杂草及时青贮，不仅为家畜贮备了饲草，而且减少了杂草的危害。

第二节　青贮饲料调制原理

一、青贮原理

青贮是一个复杂的过程，在这个过程中发生着物理、化学和微生物的变化。在密闭的环境中，青贮原料中残存的氧气被植物的酶和好氧微生物消耗殆尽，如果原料的含水量较高，会接着进行厌氧发酵，可溶性糖转化成为酸类物质，饲料中的营养物质被保存下来，成为青贮饲料。青贮过程中涉及氧气、可溶性糖和营养物质含量的变化和微生物生理活动、菌群的变化等。青贮需要在密封的环境中进行，密封的目的在于防止贮存过程中外部空气进入青贮环境内，使青贮尽快进入厌氧发酵过程。青贮初期，牧草饲料中氧气消耗的速度主要决定于原料的压实程度和密封效果。可溶性糖在有氧呼吸作用下变成二氧化碳，在厌氧发酵作用下变成乳酸和乙酸等酸类物质或乙醇和其他发酵产物，产生的酸类物质使青贮饲料 pH 下降，下降到一定程度后使不良微生物尤其是梭状芽孢杆菌和大肠杆菌的活动受到抑制，有利于营养物质的保存。

在乳酸大量存在的环境中，梭状芽孢杆菌和大肠杆菌等有害微生物的生长和代谢受到抑制，能够有效地降低饲草中营养物质的损耗。乳酸菌是兼性厌氧微生物，能够利用可溶性糖类（主要是五碳糖和六碳糖），形成以乳酸为主的有机酸，通过酸类物质的抑菌作用抑制其他微生物的繁殖，而乳酸菌对低湿度的酸性环境有较高的耐受能力，能够在青贮中成为优势菌群。在饲料作物的地上部分也附着着乳酸菌，但数量较少。在牧草植株上，乳酸菌的数量是真菌和肠细菌的 0.1%。

目前主要有两种抑制青贮饲料营养物质降解的方法。第一种是利用乳酸菌制造酸性环境，将可溶性糖转化为以乳酸为主的有机酸，利用青贮中的氢离子和有机酸本身抑制其他细菌的繁殖，这种抑制作用与 pH、水分含量和温度有关。一般情况下，原料干物质含量在 200 g/kg 左右，密闭情况良好，pH 保持在 4.0 或者更低，青贮的质量就能够得到保证。第二种是利用渗透压来抑制微生物生长。在青贮前，将牧草的含水量调节至较低的水平，乳

酸菌在低湿度的环境下依然可以生长繁殖，产生乳酸，而有害菌，如梭状芽孢杆菌则不能生长。

在青贮过程中，乳酸的生成速度是抑制有害菌生长和保存营养物质的关键因素。影响乳酸生成速度的因素有很多，如原料中乳酸菌的初始数量、环境温度、有效底物含量和原料加工程度等。现代青贮饲料收获、加工设备可以把原料切碎、揉丝、籽粒破碎和揉切等，破坏植物细胞壁，释放出汁液，促进乳酸菌生长。这种方式加工的青贮饲料质地柔软，也更易被牲畜采食利用。

二、青贮发酵的基本过程

青贮过程发生着复杂的反应，涉及大量的物理、化学和微生物学变化。现已查明，大约有 47 属 140 种的细菌、酵母菌和霉菌等参与青贮发酵过程。从原料收获开始，营养成分就发生着变化，这种变化随着青贮阶段的进行有着鲜明的特点。从营养物质的变化角度，青贮过程大致分为 4 个阶段。

（一）有氧发酵阶段

在有氧发酵阶段，主要进行植物呼吸作用和好气性微生物的繁殖。

新鲜的饲草在刈割时，虽然植物停止生长，但是植物细胞并没有立即死亡，刈割后 1～3 d 仍能进行呼吸作用，分解营养物质。呼吸作用在萎蔫期及从密封到青贮容器内达到厌氧条件之间发生。饲草组成的变化主要通过植物酶催化反应起作用，在这个阶段，植物酶将复杂的碳水化合物（淀粉、半纤维素和果聚糖）转化为简单的糖类（水溶性碳水化合物）。然后，水溶性碳水化合物与氧气在植物酶的作用下被分解为二氧化碳和水，直到底物逐一被消耗完。植物酶还可以将蛋白质转化为非蛋白氮化合物（多肽、氨基酸、氨基化合物和氨）。

在呼吸作用生成二氧化碳的同时，能量也被释放出来。在这个过程中，温度升高。呼吸作用进行的时间与多种因素相关，如饲草本身特性、萎蔫时间、萎蔫条件、干物质含量、青贮温度、制作青贮的时间以及压实程度。尽管呼吸作用造成的损失不可避免，但可以通过青贮过程尽量降低营养损失。

有氧发酵阶段持续至青贮容器内的氧气被消耗殆尽。在这个阶段，除了植物本身的活动，好氧微生物如霉菌、酵母和其他一些细菌也在生长。它们会影响到可溶性碳水化合物的含量，也会增加干物质和能量的损失。在这期间，腐败微生物会分解原料中的粗蛋白质，并且利用原料中的水溶性碳水化合物，形成少量乙酸、二氧化碳以及吲哚乙酸。

如果在这一阶段，青贮饲料的温度变得很高，还会发生美拉德反应（也称为褐化反应或焦糖化反应），蛋白质和氨基酸与半纤维素成分结合形成难以消化的结合物，虽然青贮饲料适口性提高，但是青贮质量明显下降。

（二）厌氧发酵阶段

随着青贮环境中氧气的消耗，植物呼吸作用和好氧性微生物的活动减弱直至停止，这个过程大约持续 3 d，然后青贮进入厌氧发酵阶段。由于上一阶段植物酶的作用，植物细胞

和组织破碎，释放出细胞内容物，肠细菌、乳酸菌、梭菌、酵母菌和某些杆菌竞争营养物质，微生物种群发生变化，转换的速度与 pH 下降的速度有关。在理想的状态下，乳酸菌支配着发酵过程，将可溶性碳水化合物通过一系列代谢过程转化成乳酸和其他有机酸，造成青贮饲料的 pH 迅速下降，形成酸性环境，抑制腐败细菌和梭状芽孢杆菌等有害菌的活动，甚至能造成有害微生物的死亡。这个阶段能够持续 1 周左右，也可能持续超过 1 个月，这与青贮原料的性质和青贮条件有关。

如果有足够的碳水化合物，青贮饲料的 pH 能降低至 4 左右，而当使用水分含量较低的原料进行青贮时，乳酸菌的活动也会被抑制，最终的 pH 可能会超过 5，这样的青贮也可做出较好的青贮饲料。

如果 pH 下降速度太慢，水分含量较高，青贮密封 30 d 左右，梭菌会成为青贮过程中占优势的微生物。通常情况，梭菌发酵造成青贮 pH 升高至 5.0～7.0，并且导致青贮饲料的干物质和能量损失。大量研究表明，青贮过程中梭菌发酵产生的大量氨、胺和丁酸类等不利代谢产物，造成青贮饲料发臭具有刺鼻性气味，很可能对反刍家畜的自由采食造成不利影响。

（三）稳定阶段

随着 pH 下降和乳酸菌活动的减弱，青贮会进入第三个时期：稳定阶段。进入这个时期后，微生物的活动几乎停止，只有一些耐酸的碳水化合物酶类还能继续发挥作用，将植物组织继续水解，生成少量可溶性碳水化合物，补充发酵底物。此外，还有一些耐酸的蛋白酶将含氮化合物转化成氨。在这种情况下，乳酸菌的活动也被乳酸和低 pH 的环境抑制，不耐酸的杆菌和梭菌形成孢子，耐酸的酵母转化为无活性状态。在这一阶段，营养物质损失较少，青贮饲料质量稳定。

（四）开启使用阶段

当青贮饲料开启使用后，青贮容器打开，氧气可以进入青贮设施表面，甚至达到青贮饲料 1 m 深的内部。大量的有害微生物在氧气存在的环境下从休眠状态转换至生长状态，尤其是酵母菌和霉菌。有害菌的活动会引起青贮饲料有氧变质，发热，乳酸含量下降，pH 升高，降低青贮饲料的饲用价值；同时，有氧腐败变质的青贮饲料中霉菌和霉菌毒素的存在会对牛奶的质量与安全以及人类和动物的健康造成严重的威胁。青贮饲料暴露在空气中后，酵母菌首先开始活动，通过降解乳酸，产生 CO_2 和水，并伴随着发热，酵母菌大量繁殖后，青贮饲料的 pH 升高，然后霉菌（主要包括 *Aspergillus*、*Fusarium* 和 *Pencillium*）和需氧菌（如芽孢杆菌和单增李斯特菌）开始活动并进一步消耗青贮饲料中糖类和蛋白质等营养物质，导致有氧腐败损失。

三、青贮发酵中的微生物

在青贮整个过程存在着复杂的微生物种群交替，这与青贮原料的特性、青贮所处的阶段密切相关。主要的微生物有乳酸菌、酵母菌、霉菌、梭菌和大肠杆菌。每种微生物占优势菌群的时期和在青贮中起到的作用均有不同。

（一）乳酸菌

制作优质青贮饲料主要依赖乳酸菌。乳酸菌是能把糖类物质发酵产生大量乳酸的一类革兰氏阳性、无孢子细菌。青贮密封后，乳酸菌可以在短时间活跃起来，将可溶性碳水化合物转化为乳酸，有利于青贮原料的保存。乳酸菌在自然界中大量存在，它们附着在原料上或收获机械上。

大量研究表明，牧草作物自然附着微生物对牧草青贮发酵很重要，并且影响青贮发酵品质。各种不同种类的牧草作物附着的微生物主要包括 2 大类：乳酸杆菌（*Lactobacillus*）和产乳酸球菌，其中球菌包括明串珠球菌（*Leuconostoc*）、乳酸球菌（*Lactococcus*）、链球菌（*Streptococcus*）、肠球菌（*Enterococcus*）、片球菌（*Pediococcus*）和魏斯氏球菌（*Weissella*）。产乳酸球菌是牧草作物和禾草植株附着的主要乳酸菌，而同型发酵乳杆菌的数量较少。牧草原料附着的乳酸菌种类、数量及其生理生化特性是影响青贮发酵的重要因素，通过研究其特性可确定是否需要使用乳酸菌添加剂。

乳酸菌生长最适宜的 pH 范围为 4.0～6.0，不同属的乳酸菌存在差异。乳杆菌属（*Lactobacillus*）比较耐酸，可以在 pH 3.5 以下生长；魏斯氏菌属（*Weissella*）、明串珠菌属（*Leuconostoc*）和肠球菌属（*Enterococcus*）在 pH 4.5 以下生长受到抑制。不同属乳酸菌的最适生长温度也存在差异，如乳杆菌属（*Lactobacillus*）最适生长温度为 30℃，大多数可在 15℃下生长但是不能在 45℃下生长，但发酵乳杆菌（*L. fermentum*）可在 45℃下生长但不能在 15℃下生长；片球菌属（*Pediococcus*）中啤酒片球菌（*P. damnosus*）、戊糖片球菌（*P. pentosaceus*）和乳酸片球菌（*P. acidilactici*）的最适生长温度分别为 25℃、35℃和 40℃；链球菌属（*Streptococcus*）和肠球菌属（*Enterococcus*）的生长温度范围为 10～45℃，最适生长温度为 37℃；明串珠菌属（*Leuconostoc*）的生长温度范围为 10～37℃，最适生长温度为 25℃。这种对环境耐受能力的差异可能是由乳酸菌的酶和转运蛋白的不同造成的。与青贮有关的肠球菌（*Enterococcus faccalis* 和 *E. faecium*）能在 pH 为 9.6 的条件下开始生长，并且能把 pH 降到 4.0。乳酸杆菌在最初 pH 为 6.4～6.5 的弱酸性基质上生长最好，并且通常把 pH 降到比链球菌更低的水平，一些菌种能使 pH 降低到 3.5。*P. acidilactici* 和 *P. pentosaceus* 有类似的降低 pH 的特性，适宜的 pH 范围是 6.0～6.5，它们通常能降低 pH 到 4.0，而 *P. dainnosus* 的最适宜 pH 要略低些。

另外，有研究表明，只有少量具有渗透压耐受性的乳酸菌可以在低水分条件下生长。不同的乳酸菌对渗透压的适应性也有很大差别，例如，肠球菌属（*Enterococcus*）和链球菌属（*Streptococcus*）的菌种都可在 6.5% 的 NaCl 环境下生长，而乳球菌属（*Lactococcus*）的大多数菌种只能在 4% NaCl 中生长。

根据乳酸菌发酵终产物的不同，主要分为 2 类，一类是同质型发酵乳酸菌，利用糖发酵，终产物主要是乳酸；另一类是异质型发酵乳酸菌，发酵产生乳酸、乙酸、乙醇和二氧化碳。异型发酵乳酸菌又可细分为兼性异型发酵乳酸菌和专性异型发酵乳酸菌两类。同型乳酸发酵的乳酸菌都存在糖酵解（EMP）途径，因此必然存在其中的关键酶——1,6- 二磷酸果糖醛缩酶，它可把 1,6- 二磷酸果糖分解为 3- 磷酸甘油醛；而进行异型乳酸发酵的乳酸菌则缺乏此醛缩酶，但却能经己糖磷酸（HMP）途径把 6- 磷酸葡萄糖氧化为 6- 磷酸葡萄糖酸，然后进一步使其脱羧成磷酸戊糖，再进一步经此途径特有的关键酶——磷酸转

酮酶分解成 3- 磷酸甘油醛和乙酰磷酸。同型发酵乳酸菌只利用六碳糖（葡萄糖）发酵产生乳酸，如乳酸乳球菌（*Lactococcus lactis*）、戊糖片球菌（*Pediococcus pentosaceus*）和粪肠球菌（*Enterococcus faecalis*）等；兼性异型发酵乳酸菌可利用六碳糖或五碳糖（戊糖）产生乳酸、乙酸、CO_2、乙醇等，如植物乳杆菌（*Lactobacillus plantarum*）、干酪乳杆菌（*Lactobacillus casei*）、清酒乳杆菌（*Lactobacillus sake*）和鼠李糖乳杆菌（*Lactobacillus rhamnosus*）等；专性异型发酵乳酸菌只利用五碳糖产生乳酸、乙酸、二氧化碳、乙醇等，如短乳杆菌（*Lactobacillus brevis*）、发酵乳杆菌（*Lactobacillus fermentum*）和布氏乳杆菌（*Lactobacillus buchneri*）等。

由表 2-4 可知，乳酸菌的种类很多，在青贮过程中，乳酸菌种的变化，存在的数量和优势菌群与许多因素有关。发酵初期常见的优势菌种是植物乳杆菌，因为它可以对多种底物进行发酵，竞争力强，产酸速度快，最容易进行生长繁殖。一般发酵 4 d 后，异质发酵型乳酸菌，如 *L. buchneri* 和 *L. brevis*，由于具有更强的乙酸耐受能力，成为主要的乳酸菌种。

表 2-4 乳酸菌类型

发酵类型	乳酸菌种类	糖发酵
同型发酵	嗜酸乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus*	六碳糖→乳酸
	戊糖片球菌 *P. pentosaceus*	
	弯曲乳杆菌 *L. curvatus*	
	粪肠球菌 *Enterococcus faecalis*	
兼性异型发酵	植物乳杆菌 *L. plantarum*	六碳糖或五碳糖→乳酸、乙酸、CO_2、乙醇
	干酪乳杆菌 *L. casei*	
	清酒乳杆菌 *L. sake*	
	鼠李糖乳杆菌 *Lactobacillus rhamnosus*	
专性异型发酵	短乳杆菌 *L. brevis*	五碳糖→乳酸、乙酸、CO_2、乙醇
	布氏乳酸杆菌 *L. buchneri*	
	纤维二糖乳杆菌 *L. cellobiosus*	
	发酵乳杆菌 *L. fermentum*	
	绿色乳杆菌 *L. viridescens*	
	肠系膜明串珠菌 *Leuconostoc mesenteroides*	

（二）醋酸菌

醋酸菌（acetic acid bacteria），严格好氧，不能进行厌氧发酵。醋酸菌可以依靠空气传播，在自然界中广泛存在。它可以将乙醇、甘油和乳酸作为碳源，也能够利用正丙醇、正丁醇和葡萄糖产生乙酸。在糖充足的情况下，优先将葡萄糖变为醋酸；当糖源缺乏的情况下，将乙醇转化为乙醛，再将乙醛转化为乙酸。醋酸菌最适生长温度为 25～30℃，最适 pH 为 5.4～6.3。醋酸菌在发酵初期和开启使用阶段都能够活动。由于醋酸菌能耐受较酸的

环境，在开启使用阶段，醋酸菌常与酵母菌一起消耗乳酸，引起青贮饲料 pH 升高和腐败。

由于醋酸菌严格好氧，在青贮装填过程中尽量减少空气残留将抑制醋酸菌的活动；开启利用阶段保证每天的青贮饲料使用量也能够减少醋酸菌带来的损失。

（三）丙酸杆菌

丙酸杆菌（*Propionibacterium*）属于革兰氏阳性菌，兼性厌氧，大多数丙酸杆菌可以在有一定空气的环境下生长。它属于化能异养菌，能够利用葡萄糖和其他碳水化合物产生丙酸和乙酸。最适生长温度为 30～37℃，最适 pH 为 7 左右。丙酸杆菌还可以利用乳酸生成丙酸，而且与糖类相比，丙酸杆菌优先利用乳酸。虽然丙酸有利于青贮饲料的保存，但是丙酸杆菌对青贮饲料的影响较小，因为丙酸杆菌活性较弱，对青贮饲料的乳酸发酵几乎无影响或只在很小的程度上有影响。有人研究利用丙酸杆菌作为青贮添加剂，利用其生产的丙酸来提高青贮饲料在有氧暴露期间的稳定性，以保存青贮饲料营养物质。

（四）肠杆菌

肠杆菌，兼性厌氧，可以进行呼吸代谢和发酵代谢，通过利用有机化合物、糖、有机酸或多元醇获得能量。肠杆菌适宜生长 pH 约为 7.0。青贮初期较活跃，乳酸菌的繁殖可以抑制肠杆菌的活动。

大多数肠杆菌被认为是没有致病性的，而在青贮饲料中这些细菌由于和乳酸菌竞争可发酵糖分，并能够降解蛋白质，所以被认为是一种不良微生物。蛋白质的降解不但降低了青贮饲料的营养价值，而且会产生一些有毒的化合物，如生物胺和一些支链脂肪酸。生物胺会降低青贮饲料的适口性，同时蛋白质降解形成的氨化物增加了青贮饲料的缓冲能，从而抑制青贮饲料 pH 的降低。青贮饲料中肠杆菌的一个典型特点是它们能够把硝酸盐分解成亚硝酸盐，亚硝酸盐进而可被肠杆菌降解形成氨和 N_2O，同时也可被降解形成 NO。在空气中 NO 被氧化成黄棕色的混合气体（NO_2，N_2O_3，N_2O_4）。而 NO 和 NO_2 对于肺组织具有损害作用，造成急性肺炎。所以为了防止家畜接触这些有害的气体，不应将青贮池设置在离畜舍较近的地方。但青贮饲料中少量的亚硝酸盐对青贮饲料发酵品质有益，因为亚硝酸盐和 NO 对梭菌具有很好的抑制作用。

在饲料原料上附着的肠杆菌较少，如果有萎蔫过程，肠杆菌的数量还要降低。肠杆菌的繁殖速度快，在发酵初期，能够利用可溶碳水化合物等营养物质迅速增殖，产生乙酸、乳酸、乙醇和二氧化碳等。当 pH 下降到 5.0 以下，肠杆菌的生长受到抑制。因此，肠杆菌的作用只在发酵初期显著，如果青贮被延迟，肠杆菌将起主导作用，饲料的干物质和能量损失严重，而且青贮饲料的适口性差。此外，肠杆菌可以分泌毒素，使家畜生病。

（五）酵母菌

酵母菌属于真菌类，兼性厌氧，在厌氧环境中，可以将糖类转化为乙醇。酵母菌能在 pH 为 3.0～7.5 的范围内生长，一些菌株可以耐受 pH 2.0 甚至更低的酸度，最适 pH 为 4.5～5.0。大多数酵母菌在 0～37℃温度范围内生长，仅有少数可在高于 45℃条件下生长，最适生长温度一般为 20～30℃。酵母本身无害，但是对于青贮来说，酵母菌的作用比较

复杂。

酵母菌耐性较强，在富含乙醇、强酸、高渗透压、干燥或高温环境下都有一定的耐受能力。与大多数细菌相比，酵母菌对干燥环境敏感性较低，通常在水分活度低于 0.9 水平下生长，耐渗透压的酵母菌能在水分活度为 0.6 的低水平下生长。干物质含量高的青贮饲料能促进酵母菌繁殖。在青贮饲料中，酵母菌的数量和种群也有变化，原料中以隐球酵母属和红酵母属的无芽孢酵母菌为主，青贮后以酵母属和汉逊酵母属的有芽孢酵母菌为主。

酵母菌可以利用青贮饲料中的可溶性碳水化合物进行代谢，利用营养成分供应自身需要，生产蛋白质，能够增加青贮饲料中的蛋白质含量。在厌氧条件下生成乙醇，增加青贮饲料的酒香味。但是，当酵母菌的活动强烈时，它参与青贮饲料的有氧变质过程。在青贮初期，酵母菌可以利用糖类，与乳酸竞争发酵底物，产生的二氧化碳等代谢物不能有效地促进青贮。在厌氧环境中，酵母菌继续分解糖类，将其转化为乙醇，而乙醇没有保存青贮饲料营养价值的作用。开启青贮饲料后，酵母菌利用青贮中产生的乳酸等有机酸，使 pH 升高，其他微生物也同时活跃起来，使青贮饲料温度升高，容易腐败变质。

（六）霉菌

霉菌不是分类学名称，是对形态细长的丝状真菌的通称。霉菌种类多，分布广，是青贮饲料中导致有氧变质的主要微生物。霉菌能够分泌多种酶，如淀粉酶、果胶酶和纤维素酶等，可以分解原料中的纤维素、淀粉和细胞壁成分，也可以利用糖类和乳酸。绝大多数霉菌的生长需要氧气，所以霉菌通常存在于青贮饲料中有一定空气的部位。霉菌生长仅需要水、氧气和底物，适应的 pH 和温度范围都很宽。

霉菌可以在压实系数较低的青贮中散布，而在压实的青贮中，霉菌被限制在青贮表面。霉菌对青贮饲料的危害在于它与酵母菌共同作用，导致有氧腐败。而且霉菌还能够产生霉菌毒素。目前青贮饲料中常见的霉菌为青霉属（*Penicillium*）、镰刀菌属（*Fusarium*）、曲霉属（*Aspergillus*）、白霉属（*Mucor*）、丝衣霉属（*Byssochlamys*）、犁头霉属（*Absidia*）、节菱孢属（*Arthrinium*）、地丝菌属（*Geotrichum*）、红曲霉（*Monascus*）、帚霉属（*Scopulariopsis*）和木霉属（*Trichoderma*）等。

霉菌的危害在于它会降低青贮饲料的饲喂价值和适口性，而且霉菌分泌的毒素会对人类和家畜健康造成危害。霉菌孢子常常会引起肺部疾病和过敏性反应，同时霉菌毒素也会对健康造成严重危害，如消化紊乱、免疫功能降低、肝肾损伤及流产等。产霉菌毒素的霉菌主要有烟曲霉、娄地青霉、丝衣霉和黄曲霉，其中，黄曲霉是一种对酸具有强耐受性，能在低氧和高浓度 CO_2 条件下生长的霉菌，是青贮饲料中最主要的一种霉菌。已知黄曲霉产生的黄曲霉毒素 B_1 能够从家畜饲料中转移到牛奶当中，从而对人类健康造成威胁。

（七）梭菌

梭菌即梭状芽孢杆菌，是一类能形成内生孢子的厌氧菌，在无氧条件下进行丁酸发酵，大多数梭菌不仅发酵碳水化合物，而且可利用青贮饲料中的各类有机氮化物，产生氨态氮、丁酸和胺等腐败物质，从而造成青贮饲料营养价值下降，并使青贮饲料有一定的臭味。另

外，梭菌对牛奶品质有损害作用。这主要是因为梭菌孢子在通过家畜消化道时仍然存活，进而通过粪便污染奶牛乳房和牛奶。耐酸的酪丁酸梭菌（*Clostridium tyrobutyricum*）是奶牛养殖业中一种最常见的梭菌。除了发酵碳水化合物外，酪丁酸梭菌还能够降解乳酸形成丁酸、H_2 和 CO_2。

$$2\ \text{lactic acid} \longrightarrow 1\ \text{butyric acid} + 2H_2 + 2CO_2$$

饲草青贮时丁酸发酵不但会抑制乳酸发酵，而且一些梭菌能导致严重的健康问题。如一种毒性极强的梭菌是肉毒梭状芽孢杆菌（*Clostridium botulinum*），它能导致中毒，对家畜有致命危害。但幸运的是这种梭菌对酸具有极不耐受性，所以发酵良好的青贮饲料中不容易生长肉毒梭状芽孢杆菌。

典型的梭酸发酵青贮饲料是指青贮饲料中丁酸的含量超过 0.5%（干物质基础），pH 大于 5，青贮饲料中干物质的含量较低且胺化物含量较高。梭菌和肠道菌一样，均会受酸性条件的抑制，所以生产实践中科学的青贮方法能够快速有效降低青贮饲料的 pH，从而可防止梭菌的生长和梭酸发酵。另外，梭菌对低水分条件非常敏感，所以青贮前原料的萎蔫，提高青贮原料的干物质含量也是一种防止青贮饲料产生梭酸发酵的措施。同时，梭菌也会被青贮饲料中的亚硝酸盐和 NO 等含氮化合物所抑制。一般而言，pH 在 7～7.4，青贮原料水分含量在 70% 以上时有利于梭菌生长。青贮饲料中梭菌发酵产生氨态氮和丁酸，丁酸产生较难闻的气味，严重影响了家畜的适口性。一般而言，青贮饲料中氨态氮、丁酸越多，青贮品质越差。

四、青贮发酵过程的养分变化

与青贮原料相比，青贮饲料的营养价值有所下降，干物质和蛋白质含量也含减少。随着时间的延长，营养损失越多。造成营养价值损失的因素包括：制作过程中在田间各种机械作业造成的损失、植物进行呼吸作用、微生物的活动、较高水分青贮流汁损失、有氧变质造成的损失、空气渗入以及密封设施破损造成的损失（表 2-5）。

表 2-5　青贮过程中的能量损失及原因

青贮过程	能否避免	损失量 /%	损失原因
植物呼吸	不可避免	1～2	植物酶
青贮发酵	不可避免	2～4	微生物
汁液渗透	可避免	5～7	原料含水量
田间凋萎	可避免	2～5	天气、管理技术、牧草种类
二次发酵	可避免	0～20	原料、含水量、青贮设施、季节
贮存期好气性变质	不可避免	0～10	装填时间、密度、青贮设施、密封状况、原料

注：引自张秀芬（1992）。

可以通过一些措施减少上述损失。首先，选择优质的饲料作物并在最适收获阶段进行刈割，刈割后通过凋萎或者晾晒调节水分含量，或者通过混合青贮、添加剂来增加青贮饲料品质和控制青贮过程，保持青贮原料、青贮机械、青贮设施的卫生情况，选择适宜的青

贮设施进行青贮以最大限度减少不必要的损失。

（一）田间各种机械作业造成的损失

田间损失包括两部分，一部分是由于机械作业造成的损失，主要包括刈割、翻晒、搂草、运输和切碎过程中的各种损失；另一部分是在田间晾晒过程中植物呼吸和微生物活动造成的损失，主要包括可溶性营养物质含量下降和干物质损失。可以通过刈割后直接青贮降低机械作业造成的损失，在保证原料含水量适宜的前提下，刈割的同时进行切碎和装填作业。现在可以通过捡拾打捆裹包机实现高效率的田间作业，减少损失。如果原料的含水量较高，可以通过田间晾晒的方法调节原料水分。这时，由于植物酶和微生物发酵的作用，造成田间晾晒损失。只要田间晾晒的损失小于直接青贮不良发酵造成的损失，就应该进行田间晾晒，控制青贮过程中总损失。

（二）生化反应过程产生的损失

刚完成装填的青贮饲料中，还残留氧气，植物细胞也没有死亡，有氧微生物还很活跃。在这个时期，植物细胞利用残留的氧气进行呼吸作用，将糖类物质转化成 CO_2 和水，同时释放大量的热能。如果青贮设施内残存空气较多，呼吸作用的强度较大，持续时间也较长，原料中糖分和养分损失也较多。当青贮进入厌氧阶段后，乳酸菌活跃起来，将糖转化为乳酸，降低青贮饲料的 pH，达到一定程度后，乳酸菌的活动也停止。如果青贮原料中的糖分较少或者在前期有氧阶段消耗很多，乳酸菌的生长和繁殖就会受到抑制，乳酸菌不能成为优势菌，产酸量降低，造成养分流失。同时，在蛋白酶等的作用下，蛋白质被降解成肽、氨基酸，继续降解成氨和酰胺等，蛋白质降解率升高，饲草发生腐坏或变质，大量养分被消耗，造成青贮过程失败，牧草品质下降甚至失去饲喂价值。

（三）青贮设施周围和表面损失

在青贮过程中，最理想的环境是保持密封，空气或者水分被隔离在设施外。但实际情况往往很难实现良好的密封，空气从青贮设施顶部、边缘或破损处进入内部，造成干物质损失。在青贮饲料表层和贴近墙壁约 10 cm 或者更厚一层的青贮饲料往往因为发生霉变或者被污染而不能利用。如果青贮的制作和管理环节没有控制好，这种好气性变质造成的损失可能占干物质含量的 15%～20%。为减少这种损失，需要从原料、青贮技术、青贮设施、管理和使用方法上综合控制。青贮设施需要清洁，可以在青贮设施墙壁铺上塑料；收获时选择合适的收获期并调节含水量；装填工作要迅速，保证装填密度；封盖设施顶部时，可以铺垫塑料膜并压好；日常管理过程中，经常检查青贮设施，发现破损及时修补，尽量减少损失。

（四）渗流液损失

在青贮早期，由于压实、植物酶和微生物的作用，植物细胞被破坏，汁液从细胞内部释放出来。如果青贮原料的水含量过高或者含水量较高且切得过碎，或者由于雨水、饲草中带有露水，过剩的水分会聚集，在青贮过程中就会形成渗流液。渗流液中不仅有水，还

有一部分可溶性碳水化合物、有机酸、可溶性含氮化合物、矿物质等容易消化吸收的营养物质。出现渗流液不仅使养分流失，还可能引起环境污染。

为减少渗流液损失，需要控制青贮原料的含水量。当干物质含量为25%～30%时，一般青贮设施都不会产生渗流液，在压力较高的青贮塔中很有可能有渗溶液出现。将青贮原料进行萎蔫，调节水分是减少渗流液损失的有效措施。

（五）有氧变质造成的损失

开启使用后，空气与发酵好的青贮饲料接触，饲料中的好氧性细菌、霉菌大量生长繁殖，使通气部分的青贮饲料发生霉变、窖内温度上升，导致青贮饲料的品质败坏。青贮饲料的有氧变质大体上分为3个类型（表2-6）。

表2-6　有氧变质类型

类型	温度变化规律	pH变化规律	青贮饲料状态
快速败坏型	开窖后第1天温度达到峰值	开窖后，pH随时间的增加而上升。当青贮料的缓冲能力达到极限时，pH急速上升，经过中性到微碱性阶段	彻底腐烂，呈堆肥状
亚快速败坏型	开窖后第2～3天开始出现第一个升温高峰，随着温度下降到接近气温，到第4～5天时又出现第二个升温高峰	pH在出现第一个温度高峰后持续上升	好氧性微生物增殖，蛋白质、氨基酸分解，温度达到最高峰之后开始下降，青贮饲料腐烂变质
缓慢升温型	开窖后第6～8天以后温度才开始逐渐上升		随着温度的上升，青贮饲料慢慢腐烂

青贮饲料有氧变质的发生受到多种因素的影响，有几种情况容易增加有氧变质的概率，例如，刈割时期较迟，青贮原料遇到早霜；原料切短长度不合适，切得过长，装填密度小；装填后没有压实；开启后，每天的取用量不够，暴露在空气中的青贮饲料没有及时覆盖或覆盖不严等。

第三节　青贮饲料调制技术

一、青贮发酵的关键因素

影响青贮饲料发酵的关键因素有：作物或牧草类型和收获期、干物质含量和调制方法。其中，作物或牧草原料的质量是青贮的限制因素，收获期影响饲草的产量和质量，干物质含量和处理措施影响到成功制作青贮饲料的概率。

（一）作物或牧草类型和收获期

作物或牧草类型和收获期影响原料含糖量、干物质含量、初始状态的营养成分含量等。理想的青贮饲料原料应该具有一定的可溶性糖含量，且缓冲能值较低，物理结构理想，易

于压实。青贮原料上面附着的乳酸菌在 1×10^5 CFU/mL 以上。

受到作物或牧草类型和收获期的影响，饲草中非结构性碳水化合物的含量、组成不同，但其是青贮过程中主要的底物，影响着酸类物质浓度。饲草中结构性碳水化合物对青贮过程影响较小。

缓冲能值是饲草对抗 pH 变化的能力，对青贮过程而言，一般衡量方法是 pH 从 6.0 降低至 4.0 所需要消耗的乳酸的量或将 pH 从 4.0 升高至 6.0 所消耗的 NaOH 的量。缓冲能值与非结构性碳水化合物的含量在衡量饲草的青贮难易程度方面作用非常重要。

不同饲草品种，饲草不同部位、生境和田间管理措施影响了饲草表面附着的微生物种群、数量，进而影响青贮过程。

饲草本身含有的有机酸、含氮化合物、抗营养因子等也对青贮有一定的影响。

（二）干物质含量

理想的青贮饲料原料的干物质含量应该在一定范围内，适宜的干物质含量为 30%～35%，水分过高，容易产生渗出液，营养直接流失，而且梭菌容易繁殖，影响营养价值和发酵品质；水分过低，原料难以压实，也不利于乳酸菌的繁殖。

饲草本身的水分含量受作物或牧草类型、品种、生长时期和生境的影响；饲草体表水分含量主要受天气条件、产量、植株形态、生长习性的影响。

（三）调制方法

调制方法，如切短、揉切、装填、压实、密封等，也是影响青贮饲料发酵的关键因素之一。原料的切碎方法应根据饲喂的牲畜、原料特性而定。原料装填时需要尽量压实，尽量减少残存的空气，青贮过程必须保持良好的气密性。装填速度越快越好，装填速度越快，植物的呼吸作用和好氧微生物的活动越容易受到抑制，从而保存更多的营养物质。

二、青贮容器

青贮过程中用于保存青贮饲料的容器称为青贮容器。青贮容器的种类繁多，大体上可分为实验室青贮容器和生产用青贮容器两大类。

生产用青贮容器主要有堆积式青贮、青贮塔、青贮窖、青贮壕和拉伸膜裹包青贮等几种类型。

（一）堆积式青贮

堆积式青贮没有固定的地点，一般选取平坦干燥的地面，铺一层塑料膜，然后在上面堆放青贮原料并逐层堆积压实，形成 2～3 m 高的草堆，然后用塑料膜覆盖，并覆盖上另一层塑料膜，将其四周与堆底铺垫的塑料重叠黏合，用密封带或其他方法密封起来，然后在垛顶和草堆周围压上旧轮胎或者重物，隔绝空气，形成密闭环境以促进发酵，降低氧化损失（图 2-1）。为加速形成厌氧环境，可以采用真空泵抽出堆内空气。为防止塑料膜因天气原因造成破损和漏气，可以在草堆周围放置沙袋。

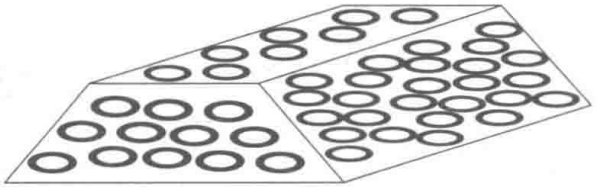


图 2-1　堆积青贮示意图

塑料膜一般使用农用塑料薄膜，但其使用年限短，也可使用特制的红色或黑色专用青贮塑料薄膜。如果青贮堆密封得好，大约 30 d 可以制成优质的青贮饲料。

（二）青贮塔

青贮塔对建造质量要求高，相对来说需要专业技术人员进行设计和施工，适合在具有一定饲养规模的、机械化水平较高而且具有较好的经济条件的饲养场中使用。青贮塔可分为全塔式和半塔式两种，全塔式整体位于地上，半塔式由地上和地下两部分组成。青贮塔一般为筒状，高度 7～10 m，甚至更高（图 2-2）。国外一般使用水泥预制件制作塔内部，塔外使用金属或其他不透气材料，如果敷以气密材料，还可以做成限氧青贮塔。国内大多使用砖、石、水泥建造青贮塔，在塔身的一侧，间隔 2 m 建造正方形（60 cm × 60 cm）小窗，可以在取料和空闲时打开。青贮塔在装填完成后，可以使用真空泵抽尽塔内空气，制造良好的缺氧环境，最大限度保存养分。青贮过程中，由于受到自身挤压，青贮料将汁液排向塔底，底部需要装有排液装置，塔顶安装呼吸装置，使塔内保持常压状态。

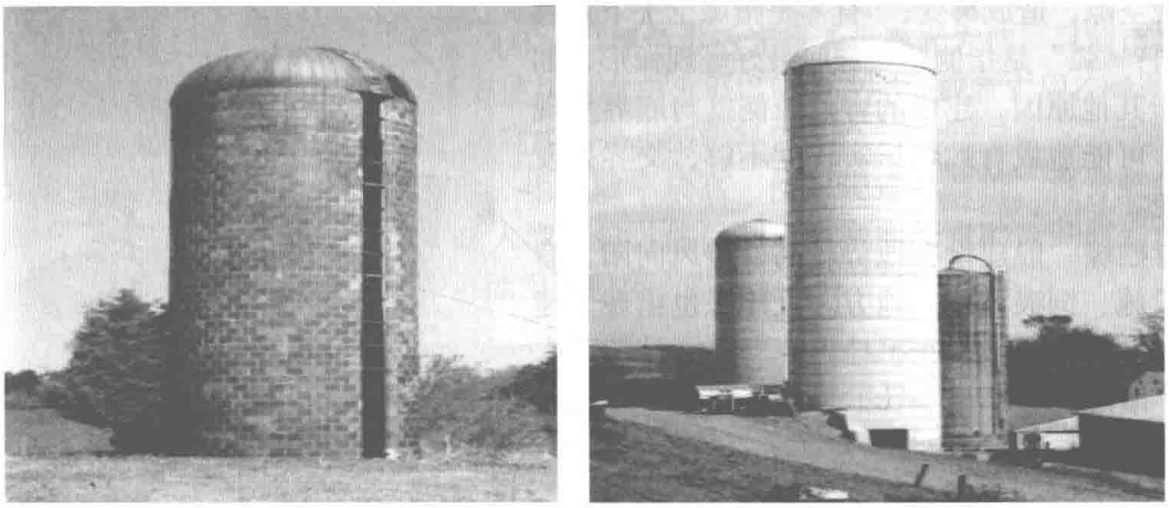


图 2-2　塔式青贮示意图

青贮塔青贮是目前保存青贮饲料的最有效的方法之一，适合在任何环境条件下进行青贮饲料的制作，经久耐用，但是单位容积造价高。

（三）青贮窖

青贮窖是我国最普遍使用的青贮容器，形状有圆形、长方形、马蹄形等，修建方式有地下式和半地下式（图 2-3）。青贮窖造价较低，规格灵活，作业方便，可以由混凝土或者泥土制成，但是贮存损失较大。圆形青贮窖占地面积小，容积大，但是使用过程比较麻烦。圆

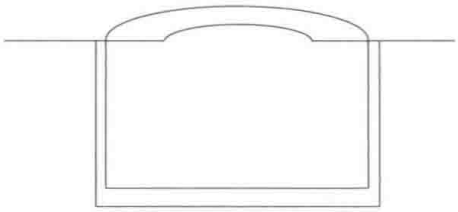


图 2-3 窖式青贮示意图

形窖使用时需要将窖顶泥土揭开，一层层取用，由于窖口较大，如果取用量小，冬季青贮料容易冻结，而夏季容易发生霉变。

在装填青贮料前，土质青贮窖四周要铺上塑料，第二年使用时注意消毒、清除残留的饲料和泥土，铲掉旧土层，防止污染。

如果长期使用，可以建造砖混青贮窖，青贮窖内部用水泥抹匀，形成较光滑的内壁，使青贮料分布均匀，利于压实。青贮窖底部不用水泥，仅用砖石铺满，有利于青贮料汁液渗漏。有条件的话，还可以在青贮窖上方建一个顶棚，防止日光和雨水造成损失。

长方形青贮窖的青贮原料装填过程和堆式青贮类似，以楔形块状填入青贮原料，逐层压实，青贮窖填满之后在顶部覆盖塑料进行密封，并在塑料薄膜表面压上重物，如沙袋、旧轮胎或成捆的稻草，防止空气进入。

（四）青贮壕

青贮壕是利用长条状的壕沟进行青贮，一般分为地下式和半地下式。壕沟两端呈坡状，逐渐升高至地面。青贮壕造价低，对建筑材料要求低，也便于机具进行装填和取用。青贮壕的缺点是密封面积大，贮存的营养损失率高，冬季青贮饲料形成冻块，夏季又容易有氧变质，在恶劣的天气条件下，不容易取用。

青贮壕的建造追求“平”“直”“弧”。“平”是指青贮壕的壕壁平整，防止填入青贮料后出现空隙，造成霉变；“直”是指壕壁上下垂直不倾斜；“弧”是指侧壁与壕底最好呈现弧形，如果由于其他原因，建成的青贮壕侧壁与底界呈现直角，可能造成青贮料压实程度不够，交界处发生霉变。

青贮壕一般建设在地势较高、避风向阳、有排水设施、饲喂方便的地方。近年来也出现了建造在地上的青贮壕，在平地上建起平行的两面水泥墙，墙之间就形成了青贮壕，这种地上式的青贮壕便于机械化作业，也便于排水（图 2-4）。

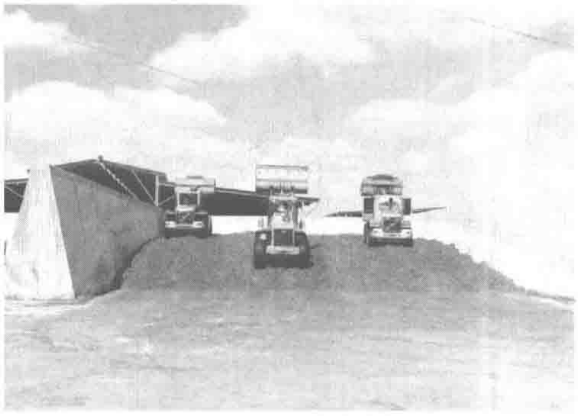


图 2-4 青贮壕示意图

（五）拉伸膜裹包青贮

拉伸膜裹包青贮是将青贮原料打捆，采用青贮专用塑料拉伸膜进行包裹密封形成厌氧环境发酵制成的优质草料。拉伸膜裹包青贮不需要固定的青贮设施，但是对包装材料和作业机械有一定要求。拉伸膜裹包青贮需要使用塑料拉伸膜，它是一种专门为裹包青贮研制的塑料拉伸回缩膜，厚度很小，具有黏性，在进行裹包草捆时，拉伸膜回缩包裹在草捆上，还能隔绝空气和水分。

近几年来以拉伸膜裹包形式贮存的饲料量大量增加，这种制作青贮饲料的方法在英国等许多国家广泛应用。目前，世界上有两种类型的拉伸膜裹包青贮：小型拉伸膜裹包青贮和大型缠绕式青贮。小型拉伸膜裹包青贮是指将收获的新鲜牧草，如玉米秸秆、紫花苜蓿、

稻草、地瓜藤、芦苇等各种青绿植物揉切后，用打包机高密度压实打成方捆或圆捆，然后用专用青贮塑料拉伸膜裹包起来，造成密闭的发酵环境，牧草自行发酵，抑制腐败变质，保存新鲜草料的营养成分。大型缠绕式青贮是指将压制的方捆或圆捆，采用特制的机械，紧紧排列在一起，外面缠以拉伸膜，制成大型成条状的青贮饲料（图 2-5）。

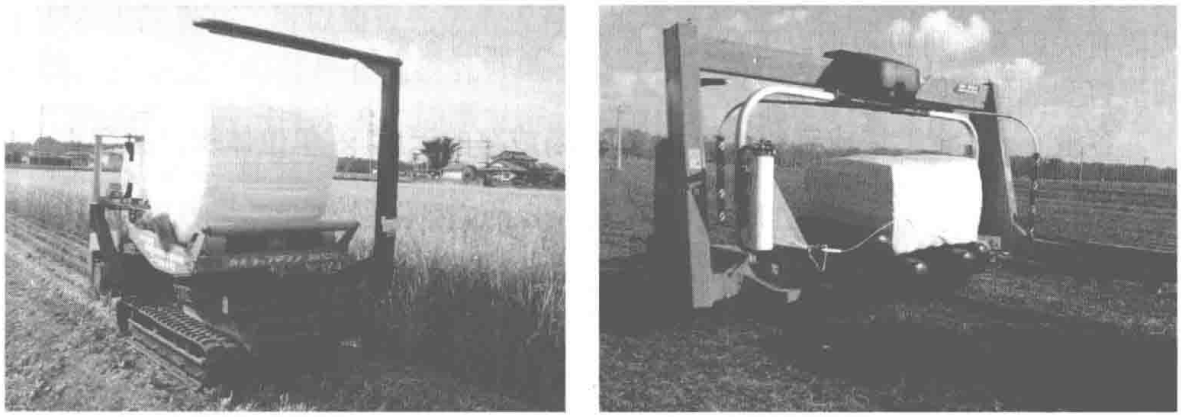


图 2-5　拉伸膜裹包青贮

（六）塑料袋青贮

塑料袋青贮是将含水量为 60% 左右的青贮原料，装入厚质塑料薄膜，压实装满，并排除袋内空气，扎紧袋口完成密封，进行青贮。根据塑料袋的容积大小，可将青贮用塑料袋分为小型和大型两类。

青贮用塑料袋应无毒无害，不易损坏，以黑色不透光或者半透光为佳。目前市场上也有专用的青贮袋，不易老化，可以重复使用。农户也可以使用化肥袋或者农用乙烯薄膜袋，或者将二者套起使用。这种类型青贮袋制成的是小型塑料袋青贮。

大型塑料袋青贮适合大批量青贮，生产效率较高，使用袋式灌装机，将青贮袋套在灌装口上，用输送器将切碎的牧草送入灌装口，然后制成高密度的青贮，完成发酵过程（图 2-6）。塑料青贮袋在存放过程中可能发生损坏，需要及时用黏结剂修补。

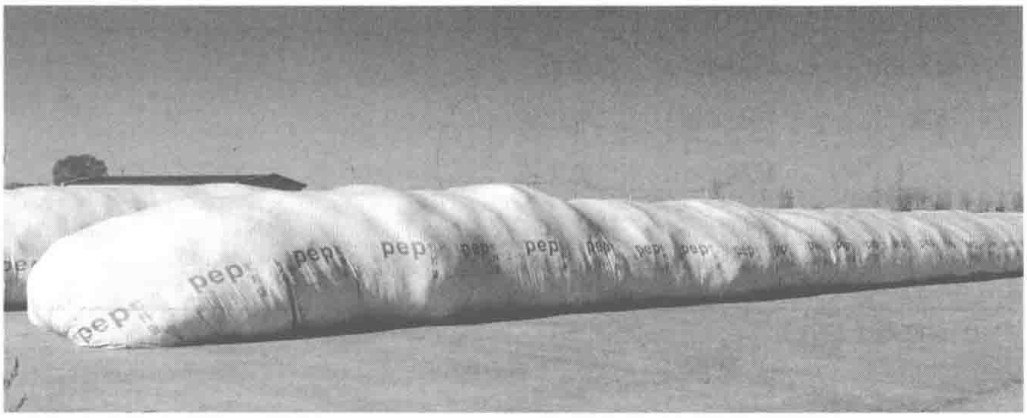


图 2-6　袋式灌装青贮饲料示意图

（七）青贮容器的要求及容量估测

一般来说，需要根据实际饲喂或生产的需要设计青贮容器的位置、样式和规格。

青贮容器一般建造在土质坚实、地势较高、地下水位较低、距离牲畜棚舍较近、制作和取用方便的地方。可根据需要建成不同类型、不同形状的容器。建造和使用时，需要保证青贮容器的壁面光滑，且便于装填和压实。在多雨地区，还可以搭棚，降低雨淋在青贮过程带来的损失。

设计青贮容器时，需要考虑青贮原料的种类、水分含量、切碎压实程度以及青贮容器的种类等有关因素。可以根据以下公式计算青贮容器的容量。

圆形窖和圆形青贮塔容量为：

容量 = π × 青贮塔或窖的半径 × 青贮塔或窖的深度 × 单位体积内的容重

长形青贮窖的容量为：

容量 = 窖长 × 窖深 × 窖宽 × 单位体积内的容重

一般来说，为了避免青贮饲料腐败变质，需要保证每天青贮饲料的取用量。

三、青贮添加剂

在青贮中适当地使用添加剂可以降低发生不良发酵、营养损失和营养价值下降的可能性，添加的添加剂能够起到改善发酵质量、减少青贮损失、改善营养价值或降低好氧腐败的作用，还有可能提高动物生产性能。根据青贮添加剂的作用效果，可将其分为 5 类：①发酵促进剂；②发酵抑制剂；③好气性变质抑制剂；④营养性添加剂；⑤吸收剂（表 2-7）。

表 2-7 青贮添加剂

发酵促进剂		发酵抑制剂		好气性变质抑制剂	营养性添加剂	吸收剂
细菌培养剂	碳水化合物	酸	其他			
乳酸菌	葡萄糖	无机酸	甲醛	乳酸菌	尿素	大麦
	蔗糖	甲酸	多聚甲醛	丙酸	氨	秸秆
	糖蜜	乙酸	亚硝酸钠	己酸	双缩脲	稻草
	谷类	乳酸	二氧化硫	山梨酸	矿物质	聚合物
	乳清	安息香酸	硫代硫酸钠	氨		甜菜粕
	甜菜粕	丙烯酸	氯化钠			斑脱土
	橘渣	羟基乙酸	二氧化碳			
		硫酸	二硫化碳			
		柠檬酸	抗生素			
		山梨酸	氢氧化钠			

注：引自 McDonald 等（1991）。

（一）发酵促进剂

发酵促进剂主要从两个方面改善乳酸发酵条件：增加青贮原料中乳酸菌数量，调整乳酸菌种类，增加产乳酸能力强的菌株；改善乳酸菌发酵条件，增加乳酸产生所需底物，促进乳酸菌的发酵速度。发酵促进剂主要包括乳酸菌制剂、酶制剂、绿汁发酵液、糖类及含

糖量高的饲料。

1. 乳酸菌制剂

自然状态下，青贮原料上附着的乳酸菌数量较低，为提高青贮早期乳酸菌繁殖速度，促使青贮快速进入乳酸发酵阶段，可以在青贮原料中添加乳酸菌制剂。近年来随着乳酸菌制剂生产水平的提高，可以通过先进的保存技术将乳酸菌活性长期保持在较高水平。

目前，主要使用的菌种有植物乳杆菌、肠球菌、布氏乳杆菌、戊糖片球菌及干酪乳杆菌。从干物质保存的角度来说，同型发酵乳酸菌优于异型发酵乳酸菌，因为后者在发酵过程中除了产生乳酸，还会产生乙酸、甘油、CO_2，而乳酸降低 pH 的能力优于乙酸。

乳酸菌添加效果与原料中可溶性糖含量有关，同时也受原料缓冲能力、干物质含量和细胞壁成分的影响，所以乳酸菌添加量也要考虑乳酸菌制剂种类及上述影响因素。对于猫尾草、鸭茅和意大利黑麦草等禾本科牧草，乳酸菌制剂在各种水分条件下均有效，最适宜的水分范围为轻度到中等含水量；苜蓿等豆科牧草的适应范围则比较窄，一般在含水量中等以下的萎蔫原料中利用，不能在高水分原料中利用。调制青贮的专用乳酸菌添加剂应具备如下特点：①生长旺盛，在与其他微生物的竞争中占主导地位；②具有同型发酵途径，以便使六碳糖产生最多的乳酸；③具有耐酸性，尽快使 pH 降至 4.0 以下；④能利用葡萄糖、果糖、蔗糖和果聚糖发酵，可以利用戊糖发酵则更好；⑤生长繁殖温度范围广；⑥在低水分条件下也能生长繁殖。

2. 酶制剂

添加的酶制剂主要用来分解饲草中复杂的碳水化合物，主要是细胞壁分解酶，产生被乳酸菌可利用的可溶性糖类。添加酶制剂对于含糖量低的成熟牧草不仅可以缓解乳酸菌发酵底物不足的问题，还可以改善青贮饲料的有机物消化率，这是因为酶制剂能够水解植物细胞壁，降低纤维含量。研究发现，在青贮饲料中添加纤维素酶、半纤维素酶、木聚糖酶、果胶酶、淀粉酶等可以改善发酵效果（表 2-8）。

表 2-8　奶牛对一种添加酶制剂的禾草 / 三叶草青贮的反应（青贮占日粮组成的 50%）

	未处理对照	酶处理
青贮组成		
干物质含量 /%	30.7	28.1
pH	4.25	4.04
乳酸 /% DM	9.7	7.4
乙酸 /% DM	1.9	2.6
氨基酸 /% 总氮	8.7	10.1
动物生产		
干物质摄入量 /（kg/d）	20.9	22.9
产奶量 /（kg/d）	30.6	31.4
脂肪 /（kg/d）	1.05	1.07
蛋白质 /（kg/d）	0.90	0.93
产奶效率 /（kg 奶 /kg DM 摄入量）	1.47	1.38

目前酶制剂通常是商业化酶制剂，可以与乳酸菌一起使用。作为青贮添加剂的酶制剂应当使青贮早期产生足够的糖分，并提高青贮饲料营养价值和消化率，不应存在蛋白质分解功能。遗憾的是，目前商业酶制剂主要是来源于真菌等浅层培养物的浓缩物，不同公司采用不同的菌种，生产的酶制剂酶活力和组成有所不同，而且缺乏测定活力的标准方法，当使用酶制剂时，添加的比例很重要。添加比例太低，在青贮发酵开始时不能有效地释放可溶性碳水化合物；添加比例太高，会造成生产成本增加。近年的生物技术发展为青贮提供了更多可选择的酶制剂，降低了成本。

3. 糖类和富含糖分的饲料

通过乳酸菌发酵，如果产生 1.0%～1.5% 的乳酸，就可以使青贮饲料 pH 降至 4.2 以下。为了达到此目的，牧草原料中的可溶性含糖量一般需要在 2% 以上。当牧草体内可溶性糖含量不足时（如豆科牧草、含氮较高的牧草、狼尾草及热带牧草），添加糖类物质和富含糖分的添加剂可明显改善发酵效果。这类添加剂包括糖蜜、葡萄糖、蔗糖、糖蜜饲料、水果渣、谷类、米糠类等。糖蜜是制糖工业的副产品，黏度较高，一般将其与水混合使用。除了改善发酵以外，糖蜜中所含的养分也是家畜营养源，还能提高青贮消化率。

一些食品行业副产品，如柑橘渣、苹果渣或菠萝渣，可以添加到青贮原料中增加糖含量，但是它们是季节性产品，混匀也比较困难，干物质含量低，在使用时可能增加青贮饲料营养成分流失的风险。

4. 绿汁发酵液

绿汁发酵液是近年来研制的一种青贮添加剂，具有绿色、安全和有效的特点。将新鲜的牧草榨汁并过滤，然后在滤液中加入适量的糖，经过厌氧发酵，就得到了绿汁发酵液。它的制作成本低廉，工艺流程简单经济，也不会造成污染。绿汁发酵液的功能与乳酸菌添加剂类似，能够促进乳酸发酵并降低 pH，使乳酸菌成为饲料发酵过程中的优势菌种，抑制有害微生物的繁殖。绿汁发酵液可以显著改善苜蓿青贮饲料的发酵品质和营养品质，可以降低丁酸含量，减少非蛋白氮含量，还可以提高干物质回收率和粗蛋白质含量。

（二）发酵抑制剂

1. 无机酸

由于无机酸对青贮设备、家畜和环境不利，目前使用不多。

2. 甲酸和甲酸盐

从 20 世纪 60 年代末开始，国外广泛使用添加甲酸进行青贮。甲酸有直接降低 pH 的效果，并有抗菌功能。添加甲酸能抑制植物的呼吸作用，甲酸也是一种抑菌剂，可以减弱不良微生物的活动，把营养物质的降解限制在最低水平，保证饲料品质。添加甲酸能明显降低丁酸和氨态氮的生成，从而改善发酵品质。添加甲酸对于乳酸的生成也会产生影响。甲酸会抑制乳酸菌的发酵，减少乳酸的含量，总酸含量也会降低。添加甲酸能减少青贮发酵过程中蛋白质的降解，提高蛋白质的利用率。添加浓度为 85% 的甲酸，禾本科牧草添加量为湿重的 0.3%，豆科牧草为 0.5%，混播牧草为 0.4%。与乳酸、乙酸、丙酸相比，甲酸降低 pH 的效果更显著，而且能抑制乳酸菌的活动，适合在含糖量低或者蛋白质含量高的

牧草青贮中使用。当调制条件不利时，如雨淋情况下，可以添加甲酸进行青贮。表 2-9 中是在遭受雨淋的高水分苜蓿中使用甲酸进行青贮的效果。

表 2-9　甲酸添加紫花苜蓿青贮的发酵品质和成分组成

项目	无添加	添加 0.3% 甲酸
pH	4.74	3.96
水分 /%	80.9	80.0
粗蛋白质 /% 有机物	21.5	20.7
蛋白氮 /% 全氮	37.1	50.5
氨态氮 /% 全氮	12.9	4.2
可溶性糖 /% 有机物	0.6	3.5
有机酸 /% 有机物		
乳酸	4.2	3.9
乙酸	9.2	2.9
丙酸	0.7	0.1
丁酸	0.1	0.0

注：引自玉柱和孙启忠（2011）。

青贮中还可以使用甲酸钙和四甲酸铵。甲酸盐的酸化效果较差，但是能够有效地抑制梭菌，而且腐蚀性更低。

（三）好气性变质抑制剂

好气性变质抑制剂有乳酸菌制剂、丙酸、己酸、山梨酸和氨等。在牧草或玉米中添加丙酸调制青贮饲料时，单位鲜重添加 0.3%～0.5% 时有效，而增加到 1.0% 时效果更明显。在美国，玉米青贮中也广泛采用氨。表 2-10 列举了添加好气性变质抑制剂对有氧稳定性的改善效果。

表 2-10　添加剂对有氧稳定性的改善效果

作物	添加剂（活性成分）	使用比例（以鲜重计）	试验数	对稳定性改善 /d*
禾草	异型发酵乳酸菌	10^5 CFU/g**	1	2.9
玉米	异型发酵乳酸菌	10^5 CFU/g	5	3.7
	苯甲酸盐 / 丙酸盐	4 kg/t	2	5.9
	甲酸盐 / 丙酸盐	4 kg/t	1	4.7
	尿素	2 kg/t	2	4.2
全株谷物	异型发酵乳酸菌	10^5 CFU/g	1	2.1
	尿素	2 kg/t	1	6.6

注：* 腐败开始之前的天数。

**CFU= 菌落形成单位。

引自 Honig 等（1999）。

（四）营养性添加剂

营养性添加剂主要用于改善青贮饲料营养价值，某些营养性添加剂还对青贮发酵有促进作用。营养性添加剂中的尿素、氨等非蛋白氮在青贮的过程中可以通过微生物的作用，形成菌体蛋白质，提高粗蛋白质含量。添加非蛋白氮的青贮中要保证含糖量较高，这样能为菌体生长提供充足的碳源和氮源。

目前此类添加剂中应用最广的是尿素。尿素能够在含糖量较高而粗蛋白质含量较低的原料中使用，均可获得理想的青贮效果。饲喂结果表明，添加尿素获得的优良青贮饲料对动物的生长起到促进作用，不会对动物健康造成影响。

乙酸尿素、硝酸尿素、盐酸联氨、甲酸联氨、氯化铵等也是很好的营养添加剂，还有防腐作用。

（五）吸收剂

吸收剂主要是用来吸收青贮发酵时产生的流汁，吸收的效果受青贮饲料作物的物理结构、应用方法、青贮容器构造的影响。用作吸收剂的材料一般有稻草秆、甜菜渣、丙烯酰胺和斑脱土。

在欧洲，干燥的甜菜渣、脱水酒糟和秸秆都被用作吸收剂。在澳大利亚，破碎的大麦籽粒、整粒燕麦被用作吸收剂。在我国主要利用粉碎的稻秸、玉米秸秆、豆荚和麸皮等作为吸收剂。

四、青贮调制方法

青贮饲料的分类方法有几种：根据青贮原料不同，分为单一青贮、混合青贮和配合青贮；根据加工方法不同，分为切碎青贮、揉碎青贮、整株青贮；根据青贮原料含水量不同，可将青贮饲料划分为常规青贮、半干青贮以及高水分青贮。在这里，主要讲述常规青贮，半干青贮、高水分青贮、混合青贮、揉碎青贮和整株青贮的调制方法。

（一）常规青贮及调制技术

常规青贮是将含水量为 60%～70% 的青贮原料进行调制，是目前应用最广泛的青贮形式。常规青贮利用乳酸菌发酵制造的酸性环境抑制腐败菌繁殖，保存营养物质。

1. 适时刈割

青贮原料的刈割时期影响青贮饲料的发酵品质和营养价值。青贮饲料的营养价值，除了与青贮原料的种类和品种有关外，还与刈割时期有关。一般早期刈割能够保证原料具有较高的营养价值，但刈割过早，单位种植面积的营养物质总量较低，同时调制的青贮饲料较难获得良好的发酵品质；刈割过迟，不仅会造成青贮原料营养价值下降，牲畜采食量也会降低。因此，选择适宜的刈割时期，可以获得单位种植面积上最高产量的总可消化营养物质，同时可溶性碳水化合物含量、含水量、蛋白质含量和纤维素含量也较为合适，有利于收获后青贮调制。

一般情况下，为了获得较好的营养价值、采食量、总产量和青贮品质的牧草，禾本科

牧草需要在抽穗期刈割；豆科牧草需要在现蕾期至初花期刈割；青贮高粱在乳熟期带穗刈割；青贮玉米在乳熟期至蜡熟期整株刈割。进行青贮调制的目的是获得高质量的青贮，在实际进行原料收获时需要综合考虑原料的种类和品种，从实际情况出发，确定最佳刈割时期。

2. 水分调节

青贮原料的水分含量是决定青贮饲料发酵品质的主要因素之一。如果收获的原料含水量较高，达到 75%～80% 或以上，即使原料的可溶性碳水化合物含量高也不能保证调制成优质青贮饲料。青贮时如果水分过高，会产生“酸性”发酵或梭菌发酵，青贮饲料酸味刺鼻，无酸香味，营养物质损失大；水分过低，青贮原料不易压实，则青贮发酵程度低，导致发霉变质。水分过多的原料，可通过晾晒凋萎的方法，使其水分含量降低，达到要求后再行青贮，也可添加秸秆粉、糠麸类饲料或者其他含水量低的饲料调节整体含水量，混合青贮；水分过低的原料，可以加水将青贮原料预先处理再进行青贮调制。

全株玉米青贮时最适宜的水分含量为 65%，苜蓿等豆科牧草适宜的青贮的水分含量为 55%～65%，禾本科牧草适宜青贮的水分含量为 60%～70%。

3. 原料的切碎

原料的切短和压裂是促进青贮发酵的重要措施。适宜的切碎长度可有效地释放细胞渗出液，降低青贮原料空隙中空气含量，有利于青贮时压实，有效地利用青贮设施，增加青贮装填密度，有效促进乳酸菌繁殖，增加获得高品质青贮饲料的可能性。切碎的青贮饲料还有利于家畜采食，提高青贮饲料的利用率。一般要求青贮原料的切碎长度为 1～2 cm，其中 15% 的草段应大于 2 cm，以确保给反刍家畜提供足量的有效纤维含量。

对于难以消化吸收的玉米籽实，籽粒破碎能够提高籽粒中淀粉的消化率，提高青贮饲料中能量。对于全株玉米青贮而言，切碎的同时还应该破碎玉米籽粒，并且破碎率需达到 90% 以上，以提高淀粉的利用率。对于将整株原料运至青贮加工点进行青贮制作时，揉丝切碎是一种很好的切碎方式，并能增加青贮原料压实密度，确保发酵效果。

4. 装填压实

为避免青贮过程中发生腐败变质，切碎的原料在青贮设施中都要装匀和压实，而且装填速度越快，压实程度越好，营养损失越小，青贮饲料的品质越好。装填过程中要一层一层装匀，压实一层之后再继续装填，直到完成整个容器的装填压实。

在青贮容器靠近壁和角的地方不能留有空隙，压不到的边角可人力踩压，以减少空气残留，促进乳酸菌的繁殖并抑制好氧性微生物的活力。青贮原料压得越实，装填密度越大，青贮饲料发酵效果越好。一般要求青贮饲料的装填密度应达鲜草 500 kg/m^3。青贮时原料装填密度越大，青贮后青贮饲料干物质的损失也越小。用拖拉机压实要注意不要带进泥土、油垢、金属制品等污染物，以免造成青贮饲料腐败，或者造成牲畜食用过程中发生危险，损害健康。

5. 密封

原料装填压实之后，需要立即密封和覆盖，其目的是将空气与青贮原料隔离开来，并

防止雨水进入。青贮容器不同，其密封和覆盖方法也有所差异。以青贮窖为例，在原料的上面盖一层 10～20 cm 切短的秸秆或青干草，草上覆盖双层塑料薄膜，底层为无害的塑料，顶层为密封性较好的塑料，再压上旧轮胎或者用土覆盖，窖顶呈弧线，以利于及时排雨水，窖四周挖排水沟，便于雨水或者渗出液的排出。密封后，需经常检查，发现下陷、裂缝或空隙时，用湿土抹好，以保证高度密封。

（二）半干青贮

1. 半干青贮概念

半干青贮又称低水分青贮，是将青贮原料含水量降低至 45%～60%，细胞质渗透压 55～60 Pa 时，切碎，装填至青贮窖内。此时含水量使细胞处于接近于生理干燥状态，某些腐败菌和霉菌，甚至乳酸菌活动和微生物活性都因水分限制而被抑制，这样营养成分就被保存下来，虽然青贮饲料中最终 pH 较高，而且形成的有机酸浓度不高，但半干青贮的品质也没有太大的影响，依然能够保持较好的水平。因此，任何一种牧草或饲料作物，不论其含糖量高低，都可制作半干青贮，即使是难以青贮的豆科牧草，也可调制成半干青贮。

半干青贮调制技术是研究较丰富的饲草贮藏方式和技术之一，当前在美国、加拿大、欧洲和日本等畜牧业发达国家应用广泛，我国从 20 世纪 80 年代开始尝试，在苜蓿、沙打旺等牧草的半干青贮技术方面也有成功的报道，但生产实践中普及程度与发达国家还有差距。

从青贮原料选取角度来讲，半干青贮原料主要选择可溶性糖含量低且不易青贮的豆科牧草，所以半干青贮一般指的是苜蓿等豆科牧草青贮。

2. 半干青贮的基本原理

半干青贮是在青绿饲草刈割后进行晾晒萎蔫，使原料水分含量降至 45%～60%，此时植物细胞汁液渗透压增加，接近于生理干旱状态。在密闭的青贮窖中形成的厌氧环境中，由于预干，发酵作用受到抑制，尤其是丁酸菌、腐生菌等有害微生物区系的繁殖受到抑制，从而使青贮料中的丁酸含量显著减少，同时避免高水分青贮由于渗液而造成的营养损失。因此，在青贮过程中，微生物活性较弱，蛋白质分解少，有机酸产生量较少。

尽管在半干青贮过程中，乳酸菌发酵受到了一定的限制，但与其他微生物活动相比，乳酸菌受到的抑制作用相对较轻，乳酸菌发酵仍能在一定程度上进行，青贮达到稳定时乳酸在总酸的比例中表现绝对优势。由于整个半干青贮过程产生的酸较少，pH 很难降至常规青贮的水平，与常规青贮相比，半干青贮发酵品质评定指标中 pH 的要求较低，还需要参考其他因素综合评价。与常规青贮类似，半干青贮在调制过程中选择适宜的刈割时期，保证一定的装填密度，高效地进行装填和密封，能够制作出高品质的青贮饲料。

半干青贮过程中产生的乳酸含量、酸碱度的变化及原料中的含糖量重要性降低，从而较一般青贮法扩大了原料的范围，在一般青贮法中被认为不易青贮的原料也都可以通过半干青贮法获得较好的贮存。尽管半干青贮法可一定程度对微生物造成生理干燥状态，限制其生长繁殖，但是保证高度厌氧的条件仍然十分必要。

3. 半干青贮的优点

（1）适用范围广。半干青贮含水量低，干物质含量高，利用渗透压抑制有害微生物生长。这种调制方法为难以用常规青贮方法调制的含糖量低、蛋白质含量高的饲料作物提供了一种青贮调制技术。在收获时遇到不利于干草调制的地区可以利用这种调制方法解决饲料作物调制的问题，也保证了饲料品质。尤其是缓冲能高的牧草，如苜蓿的青贮，虽然使用青贮添加剂也能进行此类饲料作物的调制，但是成本大大增加。

（2）发酵品质良好。在对青贮饲料的发酵品质进行分析时，优质青贮饲料的标准之一是乳酸含量占总酸的比例大，而丁酸和氨态氮生成量少。由于半干青贮调制过程中非常不利于梭菌的繁殖，半干青贮饲料中几乎不存在丁酸（表 2-11），并且氨态氮占总氮比例极少。因此半干青贮可避免直接进行高水分牧草青贮调制时发生的腐败现象，能获得品质优良的青贮饲料。

表 2-11　水分对发酵品质的影响　%

窖号		含水量	有机酸占总酸的比例		
			乳酸	乙酸	丁酸
中型窖	1	54.1	95.7	13.4	0.9
	2	53.6	80.7	19.3	0
	3	70.6	62.6	13.2	24.2
小型窖	4	82.1	61.4	28.4	10.2
	5	72.6	79.8	13.1	7.1
	6	60.7	85.9	13.8	0.3

注：引自高野信雄（1970）。

（3）可消化养分含量高。在调制干草的过程中，因落叶、光照、氧化等作用，饲料中的叶片，尤其是柔嫩的叶片和花序损失较多，很难保留，养分损失可高达 35%～40%，胡萝卜素损失更达 90%。常规青贮过程较长，在有氧呼吸阶段、厌氧阶段均有营养损失。与这两种调制方式相比，半干青贮能保存更多的养分。首先，半干青贮饲料几乎完整保存了青饲料的叶片和花序，胡萝卜素和维生素的损失也较低。其次，由于半干青贮发酵过程慢，同时有高渗压，抑制了蛋白质水解和丁酸的形成，因而养分损失较少；并且干物质含量高，采食量高。以青贮饲料为主要饲料饲养乳牛时，半干青贮饲料的养分供给量明显高于普通青贮饲料。多数试验表明，半干青贮的增重效果比普通青贮要好，产奶量也较高。

（4）家畜干物质摄取量大，饲喂效果好。半干青贮水分较低，牲畜采食量显著高于同样原料调制的高水分青贮的采食量。在有些国家，养殖户用半干青贮代替牲畜日粮中的干草、块茎饲料和青贮饲料，可以简化饲喂流程，降低管理费用，也取得了良好的经济效果。

（5）营养损失少，利用效率高。水分含量高的饲草原料在调制青贮过程中容易出现渗流液，流出的干物质损失超过 10%，当原料水分降低至 60% 左右时，几乎不存在流出损失。所以半干青贮避免了渗流液损失，营养损失少，尤其是极易被家畜消化的成分保存较好，饲喂后利用率高。

（6）运输效率高。由于半干青贮含水量低，干物质含量高，所以在原料从田间到青贮设施进行装填或直接进行田间晾晒、捡拾切碎、裹包青贮，以及把完成青贮过程的饲料从青贮设施或贮存地点运送到饲喂地点或养殖场的整个过程中，工作效率比普通青贮高。

从水分含量与采食量、利用效率、饲喂效果和作业效率等的关系中可推出含水量在60%左右的半干青贮效果最佳（表2-12）。

表2-12 半干青贮的效果

项目	水分含量	效果
利用效率	70%以下	与高水分相比，提高30%
流汁损失	60%	可避免
装填量	60%	单位体积内多贮藏50%的原料
臭酸	60%以下	因不含酪酸而不危害家畜
臭味	65%以下	无腐败味，具芳香酸气味
可消化养分	60%以下	可消化粗蛋白质比高水分青贮多2倍
采食量	60%以下	乳牛适口性强，多采食50%～70%
作业效率	70%以下	由于无效水分的搬运大大减少，可成倍增加作业效率
饲喂效果	60%以下	可以不利用干草，单一饲喂泌乳效果比高水分青贮好
低水分目标	45%～65%	

注：引自高野信雄（1970）。

4. 半干青贮的缺点

调制半干青贮料的关键是调节水含量，青绿饲料刈割后需要晾晒萎蔫，为了降低养分损失，晾晒萎蔫的时间越短越好。在调制青贮时，如果遇到阴雨天、空气湿度高的天气，青贮原料的水分较难降低，尤其是在南方的梅雨季节，进行半干青贮调制几乎是不可能的。因此，半干青贮的调制需要一定的气候条件。

5. 半干青贮的发酵过程

（1）好氧性发酵期。半干青贮的调制需要经过较长的好氧性发酵期。通过凋萎使其含水量降至45%～65%时，原料呼吸强度要明显弱于新鲜原料，因此，好氧性细菌需要经过较长时间的生长繁殖，才能在青贮设施内形成厌氧状态。好氧性细菌的长时间活动导致青贮窖内温度升高。发酵初期，半干青贮发酵温度通常高于高水分青贮。

调制半干青贮，需要控制晾晒程度。如果晾晒过度，那么好氧性细菌由于活跃度不够，耗尽青贮窖内氧气需要更长的时间，影响快速进入厌氧状态的速度，导致好氧性发酵期延长，并且也降低青贮窖内的最终CO_2的浓度。在晾晒过程中应避免原料含水量降至50%以下。

（2）乳酸发酵期。青贮设施密封后，经过3～7 d的好氧性发酵期，青贮设施内氧气被消耗完毕，进入厌氧状态，乳酸菌进入繁殖阶段。原料中可溶性碳水化合物被乳酸菌利用，产生乳酸等有机酸，pH下降。由于萎蔫的作用，原料上本就不多的乳酸菌会死掉一部分，在发酵过程中，乳酸菌也受到低水分、高渗透压等因素影响，生长繁殖受到一定程度的抑

制。与常规青贮相比，乳酸菌繁殖缓慢，乳酸生成量也较低。乳酸发酵期可持续到装填原料之后 7～20 d。

通常发酵良好的青贮饲料 pH 下降迅速，10 d 之内就可降至 4.2 左右；而半干青贮的 pH 下降缓慢，在 pH 的较高水平下（4.4～4.6）就已达到稳定状态。

（3）发酵稳定期。半干青贮 pH 难以下降到 4.2 或更低的水平。对于半干青贮而言，乳酸对安全贮藏的意义并不大，只要降低原料水分，创造和保持高渗透压的酸性厌氧条件，抑制梭菌等腐败微生物繁殖，就能达到安全贮藏的目的。

6. 半干青贮调制技术

（1）天气预测。牧草收获季节，天气状况的预测对于牧草刈割时期的确定和制作青贮饲料非常重要。牧草刈割前，需要查看一周内甚至更长时间的天气预报，以根据天气情况选择和安排适宜的牧草刈割时期，尽量避开阴雨天气，防止雨淋对牧草生产造成的损失，特别是豆科牧草雨淋后会对青贮饲料的发酵品质造成严重的影响。

（2）收获。牧草特别是紫花苜蓿收割时，收割机带压扁功能为好，以缩短田间晾晒时间。不同牧草适宜刈割的时期见表 2-13。第一年建植的苜蓿，初花期刈割；往年建植的苜蓿第一茬刈割时期在现蕾中期到初花期之间为宜，第一茬以后茬次的刈割时期为现蕾后期至初花期。多年生禾本科牧草第一茬刈割的适宜时期为抽穗期，而豆科牧草的刈割时期需根据豆科牧草的成熟期来确定。牧草刈割时，豆科牧草留茬高度 8 cm 左右，禾本科牧草 5 cm 左右。晾晒草幅要宽，至少占割幅的 70%，以使刈割后的牧草被割茬顶起，有助于加快水分散失；同时，可防止牧草被土壤污染，提高牧草青贮饲料品质。

表 2-13　牧草种类及适宜刈割时期

牧草种类	刈割时期
苜蓿第一年建植第一茬	初花期
苜蓿往年建植第一茬	现蕾中期至初花期
苜蓿往年建植第一茬以后茬次	现蕾后期至初花期
红三叶第一茬	1/4～1/2 开花期
红三叶第一茬以后茬次	1/4 开花期
多年生禾本科牧草第一茬	抽穗期
多年生禾本科牧草第一茬以后茬次	第一茬刈割后的 5～6 周
小谷物类牧草	抽穗早期
禾本科 - 豆科混播牧草	根据豆科牧草的成熟期定

表 2-13 所述不同种类牧草的刈割时期是综合考虑牧草刈割时的产量和营养价值以及确保安全越冬等因素而确定的。牧草越成熟，虽然产量高，但可溶性碳水化合物含量低，则青贮饲料发酵品质越低。如表 2-14 所示，紫花苜蓿最适宜的刈割时期——现蕾期的粗蛋白质含量最高。到盛花期时，粗蛋白质含量降低了 7%，纤维含量增加了 6%，相对饲喂价值相应地降低了近 30。

表 2-14 不同刈割时期苜蓿营养价值变化情况

刈割时期	CP/%	NDF/%	ADF/%	相对饲喂价值（RVF）	体外干物质消化率 /%
现蕾	22.4	38	33.3	151	73.8
初花	19.6	41	36.4	135	70.9
盛花	15.3	44.3	39.1	122	67.3
结荚	13.9	49.0	43.2	104	63.56

注：RFV（relative feeding value），粗饲料相对饲喂价值。

（3）水分调节。牧草青贮前的水分含量是调制优质青贮饲料和确保青贮饲料发酵品质的最关键环节。半干青贮一般指青贮原料含水量为 45%～55% 时进行青贮饲料的调制。一般情况下，调节牧草的水分含量有两种措施。第一种常用的措施是牧草刈割后，在田间进行晾晒萎蔫，使青贮原料的水分达到最适宜青贮的含量。原料收获后，田间晾晒的时间应根据牧草刈割时期的含水量和当地的天气条件而定，晾晒时间越短牧草营养损失越少。要达到低水分青贮含水量的要求，一般需在田间晾晒 24～36 h。另外一种水分调节的方法就是在牧草刈割的时候使用干燥剂。生产中常用的干燥剂主要有碳酸钠和碳酸钾，使用这两种干燥剂可提高牧草茎秆中水分的散失速度，但由于成本的问题，生产中很少使用干燥剂。就裹包青贮而言，苜蓿最理想的打捆水分含量为 45%～55%。打捆时水分含量高于 65%，易产生“酸型”梭菌发酵，进而使牧草青贮饲料积累大量丁酸；水分含量为 55%～65%，会产生过度发酵，草捆表面和塑料膜之间会凝结水汽；水分含量为 45%～55%，青贮料发酵品质最好；水分含量为 35%～45%，发酵不彻底，裹包时需要加厚拉伸膜裹包层数；水分含量为 25%～35%，只有微量发酵，应尽快饲喂家畜；水分含量小于 25%，适宜制作裹包干草。有机酸及其盐溶液可缓解或抑制高水分裹包青贮饲料的不良发酵。若裹包青贮饲料用于商品化生产，则打捆时牧草水分含量以 45%～55% 为宜。

青贮原料的干物质（DM）含量与青贮饲料发酵品质息息相关。在一定范围内，青贮原料的 DM 含量与青贮饲料中总有机酸的含量为负相关的关系。而就青贮饲料中乳酸含量而言，其随青贮饲料的 DM 含量增加呈现先增加后降低的趋势，且 DM 含量在 40% 左右时，乳酸的含量最高，发酵品质也最好。

（4）捡拾切碎。田间晾晒达到适宜打捆的水分后，用搂草机集成草条，便于捡拾。同时，避免集拢时过多的尘土被带入草条。牧草切碎可在田间用捡拾切碎机边捡拾边切碎，或者将晾晒好的牧草收集后在固定场所用粉碎机切碎。牧草切得越碎，青贮时的青贮密度越大，可提高青贮饲料的紧实度，减少颗粒间 O_2 含量，发酵品质也就越好。同时，对紫花苜蓿而言，切得越碎，可充分释放苜蓿中的可溶性碳水化合物（WSC），有利于乳酸菌快速利用紫花苜蓿中有限的糖原，提高发酵品质。但考虑到反刍家畜的瘤胃功能正常和反刍消化生理，牧草在切碎时需要保证有一定量的长草段，也称有效纤维。理论上牧草适宜的切碎长度为 1～2.5 cm，最好在 1 cm 左右，同时要求有 15% 的草段大于 2.5 cm，以确保给反刍家畜提供足量的有效纤维含量。对于全株玉米青贮而言，切碎的同时还应该破碎玉米籽粒，并且破碎率需达到 90% 以上，以提高淀粉的消化率。

（5）装填压实密封。切碎的原料在青贮设施中都要装匀和压实，尽量压实，尤其是靠近壁和角的地方不能留有空隙，以减少空气，利于乳酸菌的繁殖和抑制好氧性微生物的活

力。青贮原料压得越实，装填密度越大，青贮饲料发酵效果越好。一般要求低水分青贮饲料的鲜草装填密度应达 450 kg/m^3 左右。实践中判断较好的压实程度为青贮原料装填压实表面能明显看到拖拉机的轮胎印迹。青贮时原料装填密度越大，青贮后青贮饲料干物质的损失也越小。用拖拉机压实要注意不要带进泥土、油垢、金属等污染物，压不到的边角可人力踩压。

原料装填压实之后，应立即密封和覆盖。其目的是隔绝空气与原料接触，并防止雨水进入。青贮容器不同，其密封和覆盖方法也有所差异。以青贮窖为例，在原料的上面盖一层 10～20 cm 切短的秸秆或青干草，草上盖塑料薄膜，再压 50 cm 的土，窖顶呈馒头状以利于排水，窖四周挖排水沟。密封后，需经常检查，发现裂缝和空隙时用湿土抹好，以保证高度密封。

（6）工艺流程。半干青贮制作的主要环节有原料的适时收获，青贮原料水分调控，田间捡拾切碎，添加剂的使用，青贮原料的装填压实或打捆裹包，青贮原料的密封等（图 2-7）。

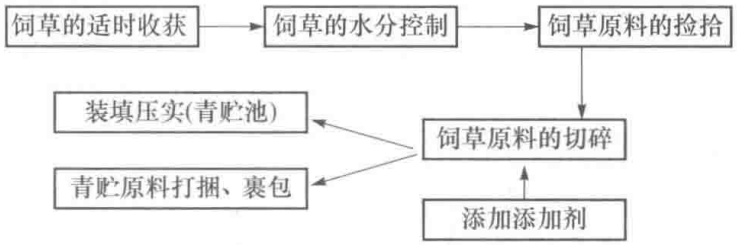


图 2-7　半干青贮工艺流程

（7）产品质量。由于半干青贮主要是苜蓿等豆科牧草青贮，其质量判定标准与常规的玉米青贮或禾草青贮不完全一样。目前，还没有专门针对苜蓿青贮的质量评价标准。但由于苜蓿等豆科牧草半干青贮可溶性糖含量低，所以其发酵程度不如常规的全株玉米等谷物类作物青贮饲料。从感官上看，优质苜蓿半干青贮的色泽为深绿色或黄绿色，气味酸香。半干青贮饲料的 pH 为 4.3～5.0，乳酸含量为 4%～8%，丙酸的含量小于 0.5%，丁酸的含量小于 0.1%。

（8）利用。苜蓿等豆科牧草在半干青贮过程中由于苜蓿自身蛋白酶的作用使苜蓿中大部分真蛋白质被分解而产生非蛋白氮（nonprotein nitrogen，NPN）。据研究，青贮后苜蓿中的 NPN 可以达到苜蓿总 N 的 44%～87%。半干青贮时蛋白质的降解不仅使青贮饲料的缓冲能增加，产生的胺化物影响家畜的采食量，而且还会造成高蛋白质青贮饲料中蛋白质的损失。通常 NPN 不能被家畜有效地利用，大部分以尿氮的形式排出，并会造成环境污染。所以饲喂苜蓿半干青贮饲料时，需增加日粮中碳水化合物的比例，同时需增加日粮中过瘤胃蛋白质的使用量，从而更有效地利用半干青贮饲料中的粗蛋白质。

（三）高水分青贮

高水分青贮是把收获的原料直接青贮。由于不经过晾晒和水分调节环节，能够减少天气情况影响和田间管理损失，而且作业简单，效率高。

高水分青贮在田间管理损失较小，但是由于原料含水量较高，可能在青贮过程中产生

渗出液，带走一部分干物质，增加营养物质的损失；而且在高水分的环境下，梭菌发酵很难得到抑制，甚至发生腐败，降低青贮饲料的发酵品质。为了保证发酵品质，有必要使用添加剂等调制措施。

高水分青贮与其他青贮形式相比，具有以下优点：调制环节少，作业时间短；降低天气变化的影响，有效应对不利条件，能够及时收获和保存牧草。

（四）混合青贮

混合青贮是指将两种或两种以上青贮原料混合调制的青贮饲料。制作混合青贮要满足青贮的基本要求，一般情况下，混合青贮比单一青贮饲料营养全面，适口性好。

调制混合青贮饲料有以下 3 种方式。

（1）通过混合，调节干物质含量。如果青贮原料的水分含量高，干物质含量低，可以与干物质含量高的原料混合，如将蔬菜废弃物或副产品、水生饲料、瓜类和块根块茎类与农作物秸秆或糠麸等含水量低的饲料混合青贮，不仅提高青贮成功的可能性，还可以减少渗流液损失。

（2）通过混合，调节可溶性碳水化合物含量。如果青贮原料可溶性碳水化合物太少，那么乳酸发酵程度差，青贮难以成功，可将其与可溶性碳水化合物含量高的原料一起混合青贮，如豆科牧草与禾本科牧草混合青贮。

（3）通过混合，提高青贮饲料营养价值。

此外，还可以在土地上进行混播，如将禾本科牧草与豆科牧草混播，这样在收获的过程中直接收获两种牧草，进行混合青贮，不仅实现了混合青贮的目的，还节省了劳动力。

（五）揉碎青贮

揉碎是利用揉碎机对牧草和饲料作物进行处理，从横向进行切断，从纵向进行揉搓。通过揉搓，青贮原料变成丝状，原料的物理结构被充分破坏，更有利于青贮发酵和营养物质的利用。揉碎处理有利于植物汁液流出，促进乳酸菌发酵。揉碎处理将原料茎节、尖刺等不利采食和消化的结构消除，提高饲料的适口性和家畜的采食率。揉碎处理可以破坏植物的纤维结构，增加木质素、纤维素和半纤维素与微生物及酶的接触面积，有利于提高家畜对粗饲料的消化率。这种青贮方式对于木质化程度高的原料、作物秸秆、木本饲料作用效果明显，有利于增加青贮饲料原料资源。

表 2-15　不同加工方法对柠条消化率的影响

项目	切碎	揉碎	粉碎
有机物表观消化率 /%	64.3	67.8	60.2
粗蛋白质表观消化率 /%	62.7	65.5	59.4
中性洗涤纤维表观消化率 /%	67.4	73.4	64.9
酸性洗涤纤维表观消化率 /%	57.2	62.4	55.8

注：* 柠条为当年生开花期。

引自刘强（2005）。

（六）整株青贮

整株青贮是指牧草或饲料作物收获后不经物理加工处理，整株装填进行青贮的调制方式。

整株青贮省去了切碎等处理环节，为了保证青贮品质，对原料的要求比较高，一般选择质地柔软的牧草或作物进行青贮。为降低有氧呼吸阶段的营养损失，需要尽量排除间隙中的氧气，整株青贮在收获过程中可以用刈割压扁机对牧草进行压扁、压裂，将茎秆部位的空气排出，还有利于植物汁液的流出，有利于乳酸发酵。

近年来，由于机械的发展，草捆青贮方式在我国得到了迅速推广普及。在实施牧草草捆青贮时，可采用捡拾打捆机将整株牧草打成高密度草捆，草捆外缠上拉伸膜或装入袋中调制成青贮饲料。这种整株青贮形式机械化程度高，产品品质好，逐渐成为调制整株青贮的主要方法。

为了保证全株青贮饲料的发酵品质，有必要使用青贮添加剂。可以将添加剂喷洒在整株原料表面，然后进行青贮。

整株青贮在使用时，可根据需要进行切碎或揉碎处理，提高动物的采食量和消化率。将整株青贮饲料与精饲料调制 TMR 混合日粮时，可通过搅拌车进行切碎混合。

五、青贮饲料质量

青贮饲料质量的优劣受到多个因素影响，如原料的种类与品种、收获时期及原料品质、青贮技术及保存条件等。

青贮饲料发酵品质能够在一定程度上反映贮藏过程中的养分损失和青贮饲料产品的营养价值，高质量的青贮饲料不会损害家畜正常的生理功能和优良的生产性能。对青贮饲料品质进行完整的评价需要通过感官和实验室两方面评价，分析青贮饲料的品质并评价其作为饲料的利用价值。

（一）感官评定

感官鉴定是根据青贮饲料的气味、色泽和质地等指标，评定青贮品质。评价者对青贮饲料从气味、颜色、手感等感官评价的基础上，根据经验及青贮饲料的评价标准判断饲料对应的等级。从评判方法来说，感官鉴定受到一定的主观影响，所以对评价者要求经验丰富，通常情况下需要综合多个评价者的意见，较为客观地进行青贮饲料的评价。

1. 观察色泽

打开密封的青贮饲料后，可以首先观察饲料的颜色，从颜色上首先判断是否能够饲喂，还可以通过颜色判断收获时期是否合适（表 2-16）。

表 2-16　青贮品质与其对应的饲料颜色

品质	颜色	说明
良好	青绿色或黄绿色	原料适时刈割
中等	黄褐色或暗褐色	原料刈割时已有黄色
低劣	暗色、褐色、墨绿色或黑色	与青贮原料的原来颜色有显著的差异，这种青贮饲料不宜喂饲家畜

2. 辨别气味

品质优良的青贮饲料，闻上去给人以舒适感，主要以乳酸发酵为主；品质中等的青贮饲料可能在青贮过程中醋酸菌或酵母较活跃，产生了一定量的乙酸或者乙醇；低劣的青贮饲料闻上去刺鼻，而且饲料品质低下，不能饲喂（表 2-17）。

表 2-17 青贮品质与其对应的气味

品质	气味	说明
良好	具较浓的酸味、果实味或芳香味，气味柔和，不刺鼻	乳酸含量高，发酵品质较高
中等	稍有酒精味或醋味，芳香味较弱	发酵品质一般
低劣	堆肥味、腐败味、氨臭味	饲料已变质，不能饲用

3. 检查质地

品质良好的青贮饲料在装填时压得非常紧密，抓在手中却能散开，略微湿润，质地柔软，能清晰地看出原料的茎、叶、花瓣在收获时期的状态，叶片、茎的叶脉和绒毛也能够看出。品质较差的青贮饲料质地松散，粗糙发硬，较为干燥，或者黏成团状，说明青贮由于水分过低或者过高的原因没有形成良好的青贮饲料。腐败变质的青贮饲料不能使用。

可根据德国农业协会的青贮质量感官评分标准来指导青贮饲料的感官评定（表 2-18）。

表 2-18 青贮饲料感官评定标准

项目	评分标准			分数
气味	无丁酸嗅味，有芳香果味或明显的面包香味			14
	有微弱的丁酸臭味，或较强的酸味、芳香味弱			10
	丁酸味颇重，或有刺鼻的焦糊臭或霉味			4
	有很强的丁酸臭或氨味，或几乎无酸味			2
质地	茎叶结构保持良好			4
	叶子结构保持较差			2
	茎叶结构保存极差或发现有轻度霉菌或轻度污染			1
	茎叶腐烂或污染严重			0
色泽	与原料相似，烘干后呈淡褐色			2
	略有变色，呈淡黄色或带褐色			1
	变色严重，墨绿色或褪色呈黄色，呈较强的霉味			0
总分	10～20	10～15	5～9	0～4
等级	1 级 优良	2 级 尚好	3 级 中等	4 级 腐败

注：引自玉柱和贾玉山（2010）。

（二）实验室鉴定

为了获得更精确的青贮品质评价，需要进行实验室鉴定，主要通过对青贮样品进行化学分析来判断发酵情况，包括测定 pH、有机酸（乙酸、丙酸、丁酸、乳酸）的总量和构