成、氨态氮占总氮的比例等。取样时，要根据青贮设施选取取样点，用取样器或者用利刀切取正方体的青贮饲料样块。如果青贮设施较大，样品量较多，可以用四分法缩减样品量。

1. pH

进行 pH 测定时，需要使用新鲜的青贮样品，可以使用 pH 计或者比色法测定。青贮饲料的乳酸发酵程度高，pH 较低；发生不良发酵程度高则 pH 较高。一般对常规青贮饲料来说，pH 4.2 以下为优；pH 4.2～4.5 为良；pH 4.6～4.8 为可利用；pH 4.8 以上不能利用。但对半干青贮饲料不能单纯通过 pH 进行判断，还需根据营养价值来判断。

2. 有机酸

有机酸总量及其构成能够在一定程度上反映青贮发酵品质及青贮饲料品质的优劣，主要测定的有机酸一般包括：乳酸、乙酸、丙酸、丁酸。

随着仪器分析技术的发展，多采用气相色谱和高效液相色谱等分析手段来进行多种有机酸的测定，这些分析手段效率高，而且具有精确度高、检出限低、能够同时进行多种有机酸定量等优点。根据青贮饲料中有机酸的含量并计算组成可判定青贮饲料的发酵品质。目前，世界上普遍采用弗氏评分法评定青贮饲料的等级（表 2-19）。

表 2-19　弗氏评分（修订版，1966）

重量比 /%	得分	重量比 /%	得分	重量比 /%	得分	重量比 /%	得分
乳酸							
0.0～25.0	0	40.1～42.0	8	56.1～58.0	16	69.1～70.0	24
25.1～27.5	1	42.1～44.0	9	58.1～60.0	17	70.1～71.2	25
27.6～30.0	2	44.1～46.0	10	60.1～62.0	18	71.3～72.4	26
30.1～32.0	3	46.1～48.0	11	62.1～64.0	19	72.5～73.7	27
32.1～34.0	4	48.1～50.0	12	64.1～66.0	20	73.8～75.0	28
34.1～36.0	5	50.1～52.0	13	66.1～67.0	21	75.0～	30
36.1～38.0	6	52.1～54.0	14	67.1～68.0	22		
38.1～40.0	7	54.1～56.0	15	68.1～69.0	23		
乙酸							
0.0～15.0	20	24.1～25.4	15	30.8～32.0	10	37.5～38.7	5
15.1～17.5	19	25.5～26.7	14	32.1～33.4	9	38.8～40.0	4
17.6～20.0	18	26.8～28.0	13	33.5～34.7	8	40.1～42.5	3
20.1～22.0	17	28.1～29.4	12	34.8～36.0	7	42.6～45.0	2
22.1～24.0	16	29.5～30.7	11	36.1～37.4	6	45.0～	0
丁酸							
0.0～1.0	50	8.1～10.0	9	17.1～18.0	4	32.1～34.0	–2
1.6～3.0	30	10.1～12.0	8	18.1～19.0	3	34.1～36.0	–3
3.1～4.0	20	12.1～14.0	7	19.1～20.0	2	36.1～38.0	–4

续表 2-19

重量比 /%	得分	重量比 /%	得分	重量比 /%	得分	重量比 /%	得分
4.1～6.0	15	14.1～16.0	6	20.1～30.0	1	38.1～40.0	–5
6.1～8.0	10	16.1～17.0	5	30.1～32.0	–1	40.0～	–10

注：引自自给饲料品质评价研究会（2001）。

弗氏评分法主要应用于评价高水分的青贮饲料，而且在青贮过程中乳酸发酵旺盛。在评价低水分青贮饲料如半干青贮或者乳酸发酵受抑制的青贮饲料时，往往评价品质过低。因此在实际应用中应注意评价范围。

3. 氨态氮

氨态氮占总氮的比例可以反映出青贮饲料发酵过程中蛋白质的降解情况，也是衡量青贮饲料发酵品质的重要指标之一。氨态氮的比例越高，表明青贮过程中蛋白质的降解越多。为获得比例数据，需要用新鲜的青贮样品，加入碱性物质使氨挥发，通过比色法或者用酸液吸收氨气来测定氨的含量。总氮可用凯氏定氮法测定。

第四节　青贮饲料管理

一、青贮饲料的管理

青贮饲料是饲喂牲畜的优质粗饲料。青贮饲料品质与青贮原料、青贮技术和管理措施密切相关。在青贮贮存过程中，产生的渗出物、呼吸作用、发酵、空气渗入都会造成干物质和营养物质的损失。良好的管理措施是降低青贮过程中营养物质损失的重要手段。

一般青贮窖贮存的青贮饲料贮量大，开窖取用后短时间内不可能饲喂完，开启之前和开启之后的妥善管理可以使青贮饲料保持良好的品质，降低损失。

（一）开启前的管理

1. 及时检查，防止漏气

装填封盖后的青贮原料进入乳酸发酵阶段，开始萎缩下沉，形成缝隙或空洞，空气和水汽有可能进入设施内，造成损失。青贮封闭后，从第 3 天开始，每天进行窖顶的检查，如果出现窖顶下沉或空洞，补上新土并踩实。经过 10 d 左右，窖内青贮进行到乳酸发酵的中后期就不会萎缩下沉，这时用泥土覆盖，将窖顶做成弧形或球形，并高出窖口 30 cm，踩实并覆盖防水的塑料，然后再覆盖泥土或者旧轮胎，防止塑料被掀开。

2. 发现破损及时修补

封好的青贮窖要防止家畜、鸟类破坏。可以在窖的四周设置障碍，防止家畜踩踏青贮窖。要定期检查塑料布，如果出现漏洞，应及时用青贮专用的胶带修补，避免空气和雨水进入窖内，影响饲料的青贮品质。

3. 做好防雨和排水设施

封好的青贮窖内不能进水，如果雨水进入青贮窖，可能影响适口性，甚至引起青贮饲料腐烂变质。在青贮窖的顶部应该光滑，有一定弧度，确保雨水及时流下，青贮窖窖口应高于地面，防止雨水倒灌。青贮窖的四周应当建造排水沟，防止雨水积存，进入青贮窖。

4. 增加覆盖物，防止盖层受冻

青贮饲料在保存过程中一般都要经过冬季，在冬末春初开启使用。在北方调制的青贮饲料还需要防止青贮饲料冻结。为了防冻，在冬季上冻前，可以在窖顶上盖上一层干玉米秸秆、麦秸、稻秸等进行保温。取料的窖口也应该盖上较厚的干草，每次取料后也要注意盖好窖口。

5. 防治鼠害，减少损失

青贮饲料散发的香味，易招引老鼠咬食或打洞。如果青贮窖被老鼠打洞，气密性会受到破坏，影响青贮品质。因此，要经常检查青贮窖，如果发现了鼠洞，要及时修补。如果投放鼠药防止鼠害，要记录鼠药的投放地点，防止混入饲料中被家畜食用。

（二）开启后的管理

青贮饲料发酵完全后可以开窖取用，但需要注意开窖时间和开窖方法。

1. 开窖时间

青贮饲料进入稳定阶段的时间因青贮原料的不同而有所差异。一般来说，含糖量较高，含水量适宜，容易青贮的饲草，如玉米、苏丹草及高粱等禾本科牧草发酵 30～35 d 就可以开启使用，质地较硬的玉米秸秆需要推迟到 50 d 左右；豆科牧草，如苜蓿及其他含蛋白质丰富的饲草，由于含糖量较低，缓冲能较高，属于不易青贮的饲料，达到青贮稳定阶段过程约需 50 d 以上。

2. 开窖方法

开窖前，应清除窖顶覆盖的泥土、干草等，以防止杂物混入青贮饲料引起变质。长方形窖自一端开口，分段取用。圆形青贮窖自上而下分层取用。青贮窖取用时尽量保持饲料表面平整，不要挖洞取料。有条件的大型牧场可以用取料机自上而下垂直取料。每天按照饲喂量计算取料量，保证每天较均匀地取用。取料后把青贮窖踏实，并用塑料布盖严，尽量减少饲料暴露在空气中的时间。取料口用木棍、草捆覆盖，防止家畜踩踏或掉入泥土，保持青贮饲料环境卫生。

（三）避免有氧变质

1. 有氧变质的不利影响

青贮饲料发生有氧变质，不仅造成青贮饲料的干物质和营养物质的损失，还增加了青贮饲料加工成本。有氧变质与青贮饲料调制技术、青贮窖环境的变化有关，而外界气温、装填密度以及青贮原料的水分含量、刈割时期、每日取用方法都会影响有氧变质程度。青

贮饲料发生有氧腐败时，适口性下降，家畜采食量受到影响，能量和蛋白质利用率降低。有氧变质过程中也容易产生霉菌毒素，家畜采食劣质青贮饲料会产生泌乳量下降、中毒、下痢、流产、繁殖障碍等现象，而且使泌乳期的奶牛乳房炎发病率明显上升。

有氧变质使青贮饲料质量下降，而且给采食这种青贮饲料的家畜带来危害，损害养殖户的经济利益。因此，应采取相应措施尽量避免青贮饲料的有氧变质。

2. 避免有氧变质

（1）微生物方法。为防止有氧变质，在青贮时可采取合适的调制技术，抑制引起二次发酵的酵母菌及霉菌的活动。具体方法如下：①控制原料水分含量，使之为 60%～70%；②切短长度为 1.0～2.0 cm，切段均匀整齐；③添加有效的乳酸菌，促进乳酸菌发酵，使青贮饲料的 pH 快速下降，从而抑制酵母菌、霉菌等微生物不良发酵；④充分压实，使装填密度达到 700 kg/m^3 以上；⑤迅速密封；⑥熟化 1～2 个月。

（2）物理方法。有氧变质是因青贮饲料接触空气而发生的，所以可以用物理的方法阻止空气进入青贮饲料，这是防止有氧变质的基本措施。在青贮整个过程中，都需要注意避免空气与青贮饲料接触。

青贮前，清洁整理青贮设施，检查青贮窖的壁面是否平整，有无裂纹或破损，及时修补。铁皮气密式塔的呼吸袋有无破损，做到密闭无漏气。为防止鼠虫害引起的青贮设施破损，可在塑料布上覆土 20 cm，也可撒杀虫剂等。

适时刈割，太迟则作物含水量较低，质地较粗硬，不利于压实，青贮密度较低；此外，原料要尽量切短，充分压实，提高青贮密度。这样开封后空气不易进入青贮饲料内部，可有效防止有氧变质。

青贮窖容积与青贮饲料的取出量相适应。即使增加青贮密度，开启后也很难做到密封，饲料中留有空隙，空气从青贮饲料表面进入，浅处较多，深处渐少，如果每日取料量较少，空气则会进入青贮饲料的深处，引起好氧菌的增殖。所以，必须在好氧菌明显增殖前取出青贮饲料投饲。为此需要根据养殖规模和饲喂量设计青贮设施，保证每日取料厚度在 15～20 cm 及以上。青贮设施也可以分格取用，青贮塔可使用有氧变质防止板。

（3）利用化学方法。在青贮饲料中添加一些化学添加剂可以有效地防止有氧变质。添加 0.3%～0.5% 的丙酸，可相当程度地抑制好氧菌的繁殖，添加量为 0.5%～1.0% 时，大部分好氧菌被抑制。也可添加甲酸钙复合剂（主要成分为甲酸钙），可选择性地抑制酵母及霉菌的繁殖，添加量为 2.0%～0.5%。其他添加剂如尿素、山梨酸、丙烯酸也可防止二次发酵。

（4）合理取料，需要做到以下两方面。

① 正确取料。大型青贮窖要做到迅速取料，按顺序、分层次从窖中取料。竖窖从上到下，长形窖由一端向里。取料时开口要小，动作要快，取完料后立即封闭窖口，并用重物压上，防止空气进入，防止青贮饲料因表面暴露造成不必要的损失。

如果因天气或其他原因导致青贮饲料表层发霉或变质，应及时取出扔掉，不能饲喂给家畜。

② 准确取料。要根据家畜每天青贮饲料的用量，合理安排每天青贮饲料的取用量，要做到每天需要喂多少取多少；取料以当日喂完为准，以保持青贮饲料的新鲜。另外，取出

的青贮饲料应放在通风、阴凉、干净处，防止污染。

二、青贮饲料的饲喂

青贮饲料在使用初期需要进行驯饲，帮助家畜采食。驯饲方法有 4 种：①在家畜空腹饥饿时先饲喂少量青贮饲料，再喂其他饲料；②将青贮饲料与精饲料混合后饲喂，再喂其他饲料；③将青贮饲料放在饲草底层，上层放常喂的草料，使家畜适应青贮饲料的气味；④将青贮饲料与常用草料混合均匀后饲喂。青贮饲料的比例可以逐渐增加，完成驯饲。

青贮饲料在饲喂时需要和其他饲料合理搭配使用。青贮饲料由于含水量较多，不能满足家畜，尤其是产奶母畜、种公畜和生长育肥家畜的营养需要。另外，长期单一饲喂青贮饲料，家畜会发生厌食或拒食现象。为满足家畜的营养需要，青贮饲料需要与干草、青草、精饲料和其他饲料搭配使用。

在饲喂初期，青贮饲料投喂量应当少一些，逐渐增加到足量。饲喂过程中不能间断，以免青贮饲料因取用不及时造成有氧变质或牲畜因频繁更换饲料造成消化不良和生产不稳定。有条件的养殖户可以将精饲料、青贮饲料、干草搅拌均匀，制成“全混合日粮”饲喂，效果会更好。在饲喂过程中，如果家畜有拉稀现象，应减少青贮饲料的比例或停止饲喂，待恢复正常再继续饲喂。对于患肠胃疾病、拉稀、临产母畜要控制饲喂量，尽可能少喂甚至不喂，以免加重病情或引起孕畜流产。

实际饲喂过程量可以参考表 2-20。

表 2-20　不同家畜青贮饲料的饲喂量

家畜种类	适宜喂量 /(kg/ 头)	家畜种类	适宜喂量 /(kg/ 头)
产奶牛	15.0～20.0	犊牛（初期）	5.0～9.0
育成牛	6.0～20.0	犊牛（后期）	4.0～5.0
役牛	10.0～20.0	羔羊	0.5～1.0
肉牛	10.0～20.0	羊	5.0～8.0
育肥牛（初期）	12.0～14.0	仔猪（1.5 月龄）	开始驯饲
育肥牛（后期）	5.0～7.0	妊娠猪	3.0～6.0
马、驴、骡	5.0～10.0	初产母猪	2.0～5.0
兔	0.2～0.5	哺乳猪	2.0～3.0
鹿	6.5～7.5	育成猪	1.0～3.0

注：引自玉柱（2003）。

新鲜取出的青贮饲料气味芳香，营养丰富，家畜喜食。把青贮饲料从贮存容器中取出时，青贮饲料暴露在空气中会发热，发生有氧变质。为保证饲喂效果，每天取出数量以当天喂完为宜，保证每天取料，既可以保证青贮设施内青贮饲料品质稳定，也能给家畜提供新鲜的青贮饲料。在饲喂时也可以加入添加剂抑制有氧变质。

表 2-21 TMR 混合日粮中添加亚硫酸盐对青贮饲料好氧稳定性和家畜产奶量的影响

	未处理	处理
青贮饲料温度 /℃	22.2	13.0
干物质采食量 /(kg/d)	20.4	21.4
产奶量 /(kg/d)	26.9	28.0
奶中蛋白质含量 /%	3.56	3.68
奶中脂肪含量 /%	4.56	4.83

注：TMR（干物质成分）玉米青贮饲料 50%、牧草青贮饲料 13%、碎小麦 21%、糖蜜 5%、精饲料 21%。
以上数据引自 R.H.Phipps 的试验数据。

在冬季，需要避免青贮饲料冻结，可以在青贮饲料外部盖上干草或毛毡。饲喂冻结的青贮饲料后，反刍动物的瘤胃温度下降，少量摄食影响不大，但大量摄食会消耗家畜大量的体热，对家畜的呼吸、循环等系统造成不良影响。

有些青贮饲料酸度过大，在饲喂前需要进行处理。可以使用石灰水处理或者在精饲料里添加小苏打，降低瘤胃酸中毒的可能性。也可以在饲喂时掺入一定量的干草或玉米秸秆，起到降低酸度和提高干物质采食量的作用。青贮饲料不能单独饲喂，每次饲喂的青贮饲料应与干草、精饲料、矿物质预混料混合好，均衡家畜摄入的营养，提高日粮利用率。

饲喂时还应该做好饲喂管理工作，使用饲槽进行饲喂可以降低饲喂成本。在地面上饲喂，由于雨水天气、家畜践踏、卧息或排泄的影响，浪费较大。在每天饲喂前要清洁饲槽，及时移去腐败变质的饲草。

思 考 题

1. 饲料青贮的原理是什么？
2. 青贮饲料一般有哪些发酵过程？
3. 常规青贮饲料调制的技术要点有哪些？
4. 青贮饲料中有哪些常见的乳酸菌？
5. 青贮添加剂有哪几类？
6. 什么是半干青贮？
7. 什么是裹包青贮？

参 考 文 献

[1] 玉柱，贾玉山．牧草饲料加工与贮藏．北京：中国农业科技出版社，2010.
[2] 玉柱，孙启忠．饲草青贮技术．北京：中国农业大学出版社，2011.
[3] 张以芳，罗富成，刘旭川．微贮饲料发酵剂及微贮饲料技术．草业科学，2000，6：67-70.
[4] 曹致中．草产品学．北京：中国农业出版社，2005.
[5] 鲜秀梅，马文涛．秸秆饲料加酶处理技术．中国畜牧杂志，2005，7：63.
[6] 龙忠富．EM 秸秆饲料研究与应用概况．贵州畜牧兽医，1999，3：11-13.

[7] 董宽虎，沈益新．饲草生产学．北京：中国农业出版社，2003．
[8] 徐春城．现代青贮理论与技术．北京：科学出版社，2013．
[9] 白春生，玉柱，薛艳林，等．裹包层数对苜蓿拉伸膜裹包青贮品质的影响．草地学报，2007，15：39-42．
[10] 玉柱，白春生，韩建国，等．苜蓿拉伸膜裹包青贮饲料品质的影响．草业科学（增刊），2007：377-380．
[11] Nonaka K．Studies on stable method for making of low-moisture round bale silage and evaluation of its quality．Res Bull Nati Agric Res Cent for Hokkaido Reg，2002，176：1-55．
[12] Kaiser A G，Peltz J W，Bornes H W．顶级刍秣：成功的青贮．周道玮，陈玉香，王明玖，等译．北京：中国农业出版社，2008．



第三章　干草加工与贮藏技术



【学习目标】

- 了解干草调制的意义和干草的种类。
- 掌握干草的营养特征和产业技术特点。
- 了解调制干草的原理和工艺，掌握干草调制的方法。
- 掌握干草贮藏的方法。
- 了解干草的利用。
- 了解干草调制过程中的机械。

第一节　概　　述

干草在实际生产中有广义和狭义之分。广义上的干草包括所有可饲用的干制植物性原料，基本上涵盖了哈里斯国际饲料分类体系中的第一类饲料——粗饲料，即所有干物质中粗纤维含量大于等于18%，以风干状态存在的饲料和原料。如干制的牧草、饲料作物和农作物秸秆、藤、蔓、秧、秕壳以及可饲用的灌木、树叶等。而狭义的干草特指牧草或饲料作物在质量兼优时期刈割，并经过一定的干燥方法制成的粗饲料，良好的干草仍保持青绿色，故也称为青干草。青干草可以看成是青饲料的加工产品，是为了保存青饲料的营养价值而制成的贮藏产品。本章重点论述狭义干草的加工和贮藏。

优质的干草具有颜色青绿、叶量丰富、质地柔软、气味芳香、适口性好、易消化等特点，是草食家畜的日粮组成中必不可少的重要组成部分。特别是在当前草食家畜饲养规模化、集约化趋势下，干草的作用越来越被畜牧业生产者所重视。新鲜饲草通过调制干草，可实现长时间保存和商品化流通，保证草料的异地异季利用，调制干草可以缓解饲草饲料在一年四季中供应的不均衡性，也是制作草粉、草颗粒和草块等其他草产品的原料。调制干草的方法和所需设备因地制宜，既可利用太阳能自然晒制，也可采用大型的专用设备进行人工干燥调制，调制技术较易掌握，制作后取用方便，是目前常用的加工保存饲草的方法。

一、干草调制的目的意义

调制干草是解决年度内不同时期饲草供应不均衡的有效方法之一，众所周知，无论冷季型饲草还是暖季型饲草都不可能在一年中的每个时期都旺盛生长，而家畜对饲草的需求却保持相对均衡，变化较小，因此每一个牧场都面临着如何将生长旺盛时期多余的饲草保存下来，待到饲草料短缺的时候再使用的问题，而调制优质干草可以很好地解决

这一问题。

调制干草是解决区域间饲草料供应不平衡的有效方法之一，区域间家畜的需求与饲草料的供给之间存在不平衡。以奶牛场为例，大型奶牛场一般选择建在大城市的周围，其所需饲草料需要从其他区域调入，优质干草是调入的首选。

（一）保障饲草饲料的均衡供应，缓解饲草生产季节性不平衡引发的生产矛盾

我国的饲草饲料作物的生产具有明显的季节性，表现为夏、秋季牧草生长旺盛，饲草饲料盈余，冬、春两季则出现饲草饲料的短缺，给畜牧业的生产带来严重的不稳定性。由于冷季牧草停止生长，放牧家畜只能采食到残留于草地上的枯草，而枯草的营养价值只有夏、秋牧草的30%～40%，特别是在“白灾”的时候，牧民根本无法放牧，畜牧业将遭受严重的打击，畜牧业生产始终徘徊在“夏壮、秋肥、冬瘦、春死”的循环中。为此，在植物生长季节，调制和贮备优质干草，为家畜均衡提供饲草，对于减少冬、春季家畜死亡，保障畜牧业的健康发展具有重要的意义。

（二）优质干草饲用价值高，可以节约精饲料

优质干草含有家畜所必需的营养物质，是钙、磷、维生素等营养物质的重要来源。优质的牧草经过科学的调制，粗蛋白质含量可达10%～20%，可消化碳水化合物达40%～60%，另外还富含脂肪、矿物质和维生素，能基本上满足日产奶5 kg以下的奶牛营养需要。我国奶牛平均每个泌乳期产奶量为4 000 kg，而畜牧业发达国家均在8 000～10 000 kg，差距较大。其主要原因是我国缺乏优质蛋白质饲草的支撑，饲养奶牛仅靠秸秆、精饲料和青贮玉米不能发挥优良奶牛品种的产奶性能。只有蛋白质饲草供应充足，才能提高产奶量。上海、广东、福建大型奶牛场改变饲料结构，增加高蛋白质饲草，大幅度地提高了牛奶的产量和质量，并降低了成本。随着我国现代化畜牧业的发展，以奶业为龙头的草食家畜饲养业将在我国畜牧业乃至农业结构中占有重要的位置，在草食家畜饲养业高效发展中起支撑作用的高蛋白质饲草的生产将进入一个新的发展时期。

（三）加工后的干草或草产品便于运输，可作为商品来销售

鲜草不利于运输，而加工后的优质干草产品便于运输，其已经成为国际贸易中的热门产品，全世界每年的贸易额高达50亿美元。随着我国经济的发展和对外贸易的开放，干草和草产品已逐渐商品化。我国地域辽阔，尤其是东北、华北和西北地区适宜发展牧草生产。目前，国际市场对草产品尤其是对苜蓿草产品的需求急剧递增，日本、韩国及东南亚一些国家每年均需要大量的苜蓿草产品。我国是日本的近邻，干草运输成本要比美国和加拿大等国的运输成本低60%左右。因此，借助我国的地域优势，如果能抓住这个市场，可使干草及草制品成为我国重要的出口创汇商品。

（四）调制干草方法简便，原料丰富，有利于我国养殖业的发展

我国是畜牧业大国，近些年，随着我国经济的发展和人们生活水平的提高，畜产品的

需求量进一步增加，从而大大刺激了我国草食畜禽养殖业的发展。干草的调制方法简便，农牧民方便操作，且原料有禾本科牧草、豆科牧草及其他优质牧草，来源丰富，干草的数量和质量直接影响我国畜牧业，是当今我国畜牧业能否稳定发展的关键因素之一。

（五）干草的加工可带动其他行业的发展

伴随着农业现代化的发展，干草的调制逐步采用机械化干燥的方法，同时就要求有配套的收获、搂草、运输和烘干等机械，最终带动了运输和机械加工等相关产业的发展。

二、干草的种类

关于干草的种类，目前没有统一的分类方法。根据不同的分类方法，干草可形成许多种类，现简要介绍如下。

（一）按照牧草的植物学分类划分

常见的可将干草分为禾本科、豆科、菊科、莎草科、十字花科等，在每个科里面，可根据饲草品种的名称命名干草名。如苜蓿干草为豆科干草，黑麦草干草为禾本科干草等。

1. 豆科干草

豆科干草包括苜蓿、沙打旺、三叶草、草木樨等。这类干草富含蛋白质、钙和胡萝卜素等，营养价值较高，饲喂草食家畜可以补充饲料中的蛋白质。

2. 禾本科干草

禾本科干草包括羊草、冰草、披碱草、黑麦草、无芒雀麦、鸡脚草及苏丹草等。这类干草来源广、数量大、适口性好。天然草地绝大多数是禾本科牧草，是牧区、半农半牧区的主要饲草。

3. 谷类干草

谷类干草为栽培的饲用谷物在抽穗—乳熟或蜡熟期刈割调制成的干草，包括青玉米秸、青大麦秸、燕麦秸、谷子秸等。这一类干草虽然含粗纤维较多，但却是农区草食家畜的主要饲草。

4. 混合干草

从天然草地或混播人工草地收获并调制干燥的混合牧草干草为混合干草。

5. 其他干草

以根茎瓜类的茎叶、蔬菜及野草、野菜等调制的干草。

（二）按照栽培方式划分

根据调制干草所用的鲜草栽培方式和来源，可将干草分为天然草地干草和人工草地干草。其中，人工草地干草又可以根据栽培模式划分为单一品种干草和混播草地干草。例如，

苜蓿干草为单一品种干草，白三叶＋黑麦草干草为混播草地干草，而草原上收获的干草为天然牧草干草。

（三）按照干燥方法划分

根据调制干草时的干燥方法，可将干草分为晒制干草和烘干干草两类。一般而言，烘干干草质量优于晒制干草。

（四）按加工调制的产品类型划分

根据最终加工调制的产品类型可将干草划分为散干草和干草捆。

散干草通常露天垛藏。含水量降至15%～18%时即可进行堆垛。常见垛形有长方形和圆形两种。通常长方形垛宽4～5 m，高6～7 m，长8 m以上；圆形垛直径4～5 m，高6～7 m。

干草捆是目前应用最广泛的草产品，其他草产品基本上都是在草捆的基础上进一步加工而来的，干草捆主要是通过自然晾晒使牧草脱水干燥并打捆而得的。与其他草产品相比，干草捆具有加工成本低、工艺简便、贮藏时间长、营养保存完好、饲喂时取用方便等优点。干草打捆后贮藏，草捆紧实，密度大，相对体积小，便于贮藏、运输和取用，是饲草产品商品化生产的一个重要环节。干草捆加工是牧草商品化生产的主导技术，在国外早已得到广泛应用。美国出口的草产品中80%以上都是干草捆。干草捆又可以根据草捆的形状分为圆草捆（图3-1）和方草捆（图3-2）；根据草捆的加工密度分为高密度捆（200～350 kg/m^3）、中密度捆（100～200 kg/m^3）和低密度捆（＜100 kg/m^3）。目前国内外打捆机的种类较多，主要有捡拾打捆机（图3-3）和固定式高密度二次打捆机（图3-4）。捡拾打捆机在田间捡拾干草条，边捡拾边压制成草捆。按照草捆性状又可分为方草捆机和圆草捆机。固定式高密度打捆机固定作业，人工或机械从入口喂草，将饲草或作物秸秆压制成高密度草捆。目前的机械化作业多采用捡拾打捆机进行田间作业。各种打捆机由于成捆原理、构造等不同，压成草捆的性状、密度、大小等都不一样（表3-1）。



图3-1　圆形草捆



图3-2　方形草捆

打捆机喂入量、压缩力及压缩密度是打捆机最主要的技术参数，它们三者之间关系的协调直接影响着草捆的质量。打捆时饲草由捡拾器、输送喂入装置、压缩室草捆密度装置、草捆长度控制装置、打捆机构等自动地将饲草压缩捆绑后推出压缩室，经放捆板落地等一



图 3-3 压捆机



图 3-4 二次压捆机

表 3-1 常见的草捆参数

项目	圆捆		方捆	
	小圆捆	大圆捆	小方捆	大方捆
密度	150 kg/m^3	205 kg/m^3	150 kg/m^3	205 kg/m^3
最大截面	直径 90 cm	直径 125 cm	36 cm × 46 cm	90 cm × 120 cm
可调长度	120 cm	120 cm	40～110 cm	60～300 cm
通用长度	120 cm	120 cm	80 cm	180 cm
单捆重量	95 kg	300 kg	20 kg	400 kg

系列的工艺过程来完成打捆作业。大量的试验证明，喂入量对饲草压缩过程有很大的影响，喂入量不同，所得到的压缩力和压缩密度也不同，在相同的压缩密度下，不同喂入量所对应的压缩力也不同。随着喂入量的增加，压缩力增加，当喂入量增加到一定程度后压缩力开始下降。当喂入量一定时，压缩密度取决于压缩力的大小，它们之间有一个临界值。

打捆时压缩的过程分为松散与压紧两个阶段。在松散阶段，压缩力随压缩密度的增加而很快上升；在压紧阶段，压缩力随压缩密度的增加而下降，压缩力和压缩密度之间也有一个临界值。

1. 二次压缩打捆

草捆在仓库里贮存 20～30 d 后，当含水量降到 12% 以下时，即可进行二次压缩打捆，规格一般为 30 cm × 40 cm × 55 cm，单捆质量为 32 kg 左右，高密度打捆的目的主要是为了降低运输成本。二次打捆的草捆在生产中存在一定的问题，因为密度太大，家畜采食时比较费力，造成家畜能量的消耗。

2. 打捆时注意的问题

（1）在干草打成草捆前，要求其必须干燥均匀而无湿块，含水量在 20% 以下，对于捡拾打捆机，要求搂集成规则的草条，无乱团，以防止湿块和乱团发霉，产生热量而自燃。

（2）对干草尤其是豆科青干草进行打捆时，应选择在早晚反潮或有露水时进行，以减少叶片及营养物质的损失。降低打捆时叶片损失的一个方法，就是向干草表面喷洒有机酸（最常用的是丙酸），这样能使打捆时干草的含水量达到30%，而不是安全防腐所要求的15%～20%。

（3）打捆时，打捆机的前进方向应与刈割和摊晒的方向一致。打捆的前进速度要足够慢，以使干草被干净、整齐地送进打捆机。

（4）打捆作业时对机具的要求较高，必须认真检修和调试，打捆缠线机构要准确，以防穿线针对孔不正和散捆故障的发生，同时牵引速度要均匀适当，否则会造成打捆失败和断针损失。

三、干草的营养特征

天然草地调制的干草因草地类型、自然气候和收割调制方法等不同，其品质和特性存在较大差异。如果收割时调制方法得当，干燥过程中未发生雨淋和霉变现象，营养物质比较全面，尤其维生素、微量元素较丰富，是草食家畜不可缺少的粗饲料。人工栽培牧草往往品种较单一，如禾本科牧草无氮浸出物含量较高，茎叶柔软，适口性好，是能量饲料的主要来源。豆科牧草以富含蛋白质和钙为特点，是提供蛋白质的主要饲料。而禾本科与豆科牧草建立的混播草地，则具有以上两类牧草的共同特点。

（一）优质干草营养丰富

干草的营养和饲用价值受牧草品种、收割时期、调制方法等因素的影响，差异很大，优质干草营养完善，一般粗蛋白质含量为10%～20%；无氮浸出物含量为40%～54%；干物质含量为85%～90%。

干草是奶牛、绵羊、马的重要能量来源，表3-2可反映这些动物采食的干草和其他饲料在总能采食量中的比例。

表3-2　由干草和其他饲料所提供的能量的比例　%

动物	精饲料	干草	其他饲草	放牧地牧草
泌乳牛	37.9	23.1	19.4	19.6
其他奶牛	19.4	29.0	5.9	45.7
肥育肉牛	69.8	16.3	8.7	5.2
其他肉牛	8.7	15.5	4.1	71.7
绵羊、山羊	10.4	4.7	3.1	81.8
马和骡	20.6	18.3	10.2	50.9

对奶牛、绵羊、马来说，从干草中获得的能量占总能的1/4～1/3。从干草本身含的有效能来看，虽然比能量饲料差，但高于青贮饲料。优质豆科青干草的粗蛋白质含量比玉米籽实和青贮都高得多，见表3-3。

表 3-3 玉米籽实、玉米青贮和 3 种质量的苜蓿干草的总可消化养分（TDN）和粗蛋白质（CP）的价值比较

指标	玉米籽实	玉米青贮	苜蓿干草		
			高质量	中等质量	低质量
TDN/%	94.7	67.7	58.9	57.6	54.7
CP/%	10.2	8.2	16.1	14.1	11.9
与玉米籽实的价值比较 /%	100	83.0	83	77.7	70.4

优质干草，其原料植物中的矿物元素保存良好，一般含钙都比较丰富，含磷略差。矿物质和维生素含量较丰富，豆科青干草含有丰富的钙、磷、胡萝卜素、维生素 K、维生素 E、维生素 B 等多种矿物质和维生素。

干草是动物维生素 D 的主要来源，一般晒制干草维生素 D 含量为 100～1 000 IU/kg。青饲料在晒制过程中，其他维生素损失都比较严重，唯有维生素 D 含量增加，而其他植物性饲料维生素 D 的含量都比较低或没有，所以干草中的维生素 D 对动物有特别重要的意义。

干草与其原料青草相比，粗纤维含量增高，各种营养物质的消化率降低，所以就干物质来说，干草的营养价值降低。地上晒制干草的淀粉价比鲜草降低 50%，见表 3-4。

表 3-4 多年生黑麦草与其干草的成分和营养价值比较

成分	化学成分 /% DM			干物质消化率 /%			可消化有机营养物质比例 /% DM		
	鲜草	地面晒干的干草	架上干燥的干草	鲜草	地上晒干的干草	架上干燥的干草	鲜草	地上晒干的干草	架上干燥的干草
有机物	93.2	92.5	90.8	76.3	59.1	67.6	71.1	54.7	61.4
粗蛋白质	12.8	9.9	12.1	63.6	47.3	59.3	8.1	4.7	7.2
粗脂肪	2.2	1.4	1.6	43.5	10.9	27.9	1.0	0.2	0.4
粗纤维	26.9	36.2	32.4	76.8	69.4	75.9	20.6	25.1	24.6
无氮浸出物	51.3	45.0	44.7	79.6	54.9	65.2	41.0	26.6	29.1
淀粉价	—	—	—	—	—	—	62.0	35.4	42.5

（二）干草具有较高的饲用价值

优质干草呈青绿色，柔软，气味芳香，适口性好。干草中的有机物消化率为 46%～70%，纤维素消化率达 70%～80%，蛋白质具有较高的生物学效价。因此，青干草是草食家畜营养价值较平衡的粗饲料，是日粮中能量、蛋白质、维生素的主要来源。除了供给草食家畜营养物质外，干草在家畜生理上起着平衡和促进胃肠蠕动作用，是草食家畜日粮中的重要组成部分。

（三）干草是形成乳脂肪的重要原料

草食家畜在利用瘤胃微生物分解干草纤维的过程中，能产生挥发性的脂肪酸，即乙酸、

丙酸、丁酸等物质，是草食家畜合成乳脂肪的重要原料。减少干草饲喂量，可导致乳脂率降低。

（四）干草是加工其他草产品的原料

晒制或烘干成的干草，可以进一步制成草饼、草粉、草颗粒，其中草粉可作为配合饲料中的原料，为各种家畜所利用。

四、干草的消化率

干草品质的高低不仅要看营养物质含量的多少，更主要的是要看消化率的高低。晒制成的干草的营养物质的消化率，均低于原来的青绿饲料。

首先，牧草干燥时纤维素的消化率下降。这可能是因为果胶类物质中的部分胶体转变为不溶解状态，并沉积到纤维质细胞壁上，使细胞壁加厚。

其次，牧草干燥时可溶性碳水化合物与含氮物质的损失，在总损失量中占较大比重，影响干草中营养物质的消化率。草堆、草垛中干草发热时有机物质消化率下降较多。如红三叶鲜草，气温为35℃时，一天内营养物质的消化率变化不大；当升高到45～50℃时，蛋白质消化率降低14%；在压制成的干草捆中如温度升到53℃时，蛋白质的消化率降低约18%。人工干燥时几秒钟或几分钟就可以干燥完毕，则牧草的消化率变化不大。

五、干草调制原理

青饲料水分含量高，细菌和霉菌容易生长繁殖使青饲料发生霉烂腐败，所以，在自然或人工条件下，使青饲料迅速脱水干燥，至水分含量为14%～17%时，所有细菌、霉菌均不能在其中生长繁殖，从而达到长期保存的目的。

也就是说，通过自然或人工干燥方法使刈割后的新鲜饲草迅速处于生理干燥状态，细胞呼吸和酶的作用逐渐减弱直至停止，饲草的养分分解很少。饲草的这种干燥状态防止了其他有害微生物对其所含养分的分解而产生霉败变质，达到长期保存饲草的目的。

干草调制过程一般可分为两个阶段。第一阶段，从饲草刈割到水分降至40%左右。这个阶段的特点是：细胞尚未死亡，呼吸作用继续进行，此时养分的变化是分解作用大于同化作用。为了减少此阶段的养分损失，必须尽快使水分降至40%以下，促使细胞及早萎亡，这个阶段养分的损失量一般为5%～10%。第二阶段，饲草水分从40%降至17%以下。这个阶段的特点是：饲草细胞的生理作用停止，多数细胞已经死亡，呼吸作用停止，但仍有一些酶参与一些微弱的生化活动，养分受细胞内酶的作用而被分解。此时，微生物已处于生理干燥状态，繁殖活动也已趋于停止。

六、影响干草品质的主要因素

影响干草品质的因素很多，其主要因素是牧草种类、收获时间、加工方法及贮藏方法等。

（一）牧草的种类

由于牧草种类的不同及同一种类的不同品种在营养价值上有较大的差异，导致干草成品营养成分含量不同。一般来说，豆科植物干草的品质好于禾本科植物干草。

（二）收获时间

牧草的收获期对草产品的质量影响很大。收获期越早，草产品中粗蛋白质等可消化营养成分比重就越大，粗纤维等含量较少，但植株含水量高，晾晒时间长，营养损失增加；收获期越晚，粗纤维含量增加，蛋白质含量比重小，干草质量下降。一般来说，豆科牧草的最佳刈割期在现蕾期到初花期，禾本科牧草的最佳刈割期在抽穗期到开花期。刈割时间是影响干草质量的第一要素。

（三）加工方法

不同的加工方法对干草品质有很大的影响。在自然干燥中，由于牧草各部分干燥速度不一致，叶片特别容易折断，特别是豆科牧草在晾晒、打捆、搬运时，由于叶子、叶柄容易干燥，而茎、秆的干燥速度较慢，叶极易脱落。而叶正是营养含量最丰富的部分，致使干草质量下降。人工干燥的方法脱水速度快，干燥时间短，营养损失少，牧草品质好。

（四）贮藏方法

贮藏条件的不同也是引起干草品质好坏的主要因素之一。遮阳、避雨、地面干燥的贮藏条件有利于干草的长时间保存。一般垛藏的干草要使水分在 18% 以下，还要注意保持良好通风。

（五）自然条件

在调制加工和贮藏干草过程中，干草所处的自然环境条件也对干草品质产生一定的影响。例如，雨淋不仅会使牧草遭受腐败微生物的侵蚀而导致腐烂破坏，而且还会使牧草中的可溶性成分流失，造成营养损失。另外，鲜草若经长时间晒制，会使植物中的胡萝卜素、叶绿素和维生素 C 等大量损失，尤其是维生素类损失严重，所以，晒制干草时应尽量避免牧草长时间在强光下暴晒。

七、国内外干草产业发展进程及现状

（一）国外干草产业发展现状

世界各国草地农业发展现状按照其所具有的自然禀赋和生产经营方式不同，大体可以分为 3 类。

第一类主要以美国、澳大利亚、加拿大为代表，这些国家草地资源禀赋比较丰富，面积广阔，一般是天然草场与人工草场相结合，采用轮牧的形式，粗放经营，农场规模比较大，生产力水平比较高。以美国为例，美国具有发展畜牧业的先天优势，面积广阔，降水

丰沛且均匀，美国的畜牧业占农业总产值的 50% 左右，是典型的资金和技术密集型产业，牛肉总产量和牛肉人均产量均居世界首位。整个草原畜牧业生产体系呈现明显的集约化和规模化特征，将小牧场逐渐合并为大牧场，应用新技术，提高生产力水平，其生产经营以市场为导向，自由化程度高，政府对生产经营仅仅起引导和辅助作用；具有完善的疫病防治机构，行业协会在产业发展中起到承前启后的衔接作用；此外，草原畜牧业相关法律比较完善，尤其是针对产品质量和安全方面的法律，由专门的监督员来负责产品安全的检测。农牧业研究机构遍布各处，利用行业协会可以将最新的研究成果推广到生产实践中。

第二类以西欧、北欧和新西兰为代表，这些地区和国家原始资源不够丰富，草原面积没有第一类广阔，主要以人工草场为主，其高水平的生产效率主要依靠高度的集约化经营以及新技术的应用。以新西兰为例，新西兰的草原畜牧业在其经济中占有举足轻重的地位，其羊肉和奶制品的出口量居世界第 1 位，羊毛出口居世界第 2 位。新西兰山地丘陵面积占国土面积的 75%，属温带海洋性气候，植物生长旺盛，天然牧场或农场占国土面积 50% 以上。新西兰的畜产品生产主要依靠提高单产，重视草地的改良和人工草场的建设，全部牧区都实行划区轮牧，生产力水平很高，每平方米的羊毛产量居世界首位；新西兰非常重视草原的集约化经营，虽然草原规模不大，但生产力水平很高，尤其是生产中机械化、电气化的应用，大大地节约了劳动力，其劳动生产率远远高于世界其他国家；在提高生产力的同时，新西兰也非常重视对草原的保护和建设，严格遵守“草畜平衡”的原则，在对国家的气候和草原生长状况进行详细分析的基础上，控制和调整家畜数量和结构，使家畜对牧草的消耗与牧草的生长时期相适应；此外，严格甄选牧草草种，选择蛋白质含量高，具有固氮特性的豆科牧草作为主要品种，在满足家畜营养需求的同时，尽量减少对环境的破坏。

第三类为中亚、西南亚和非洲的一些国家，这些国家经营方式大部分都比较落后，依靠天然草地，草地改良及草地保护都比较滞后，虽然可以取得一定的经济效益，但是往往以牺牲生态效益作为代价，不能获取长期可持续的发展。以中亚地区为例，一方面这些国家畜牧业历史悠久，国内产业以农牧业、石油开采业等第一产业为主，产业结构比较简单；虽光热资源丰富，但水资源短缺，农业劳动力所占劳动力比重比较大，中亚五国中农业人口占总人口的 1/4；另一方面，这些国家的农业技术水平比较落后，农业机械化程度低，经营粗放，农业投入严重不足，几乎占不到全部 GDP 的 1%；农牧业出口比例占世界市场的比例很小，且出口品种单一，主要以初级产品中的棉花、蚕丝等为主，产业化程度很低。

（二）国外干草产品研究开发进展

1. 牧草刈割与田间快速干燥技术

牧草茎秆压扁、茎叶分离、人工脱水干燥、防腐储运、高密度干草捆加工以及牧草叶蛋白质提取等技术日臻完善。晴天刈割是获得优质干草的重要前提条件，为此常采用避开阴天和雨天，选择连续 3～5 d 晴天刈割作业的方法。阴天牧草干燥速度慢，营养物质损失大，如遭雨淋，干草质量则下降极快。为加快豆科牧草的田间干燥速度，研发了茎秆压扁技术。压扁可加快茎秆的干燥速度，使茎秆和叶片的干燥进程趋于同步，这样将有效地减

少因叶片过干而造成的落叶损失。为了进一步加快牧草的水分散失速度，各种干燥剂应运而生，如碳酸钾、碳酸钾＋长链脂肪酸的混合液、碳酸钾＋长链脂肪酸甲基酯的乳化液等制剂是常用的苜蓿干燥剂。

2. 草捆加工技术

草捆加工是牧草商品化生产的主导技术，国外草捆加工主要有田间捡拾行走作业和固定作业两种方式，田间捡拾行走作业多用于大面积的天然草地及人工草地的干草收获，固定作业常用于分散小地块草场的集中打捆及农作物秸秆和散干草的常年打捆。草捆的形状主要有方形和圆形，而每种草捆又有大小不同的规格。在各种形状的草捆中，以小方草捆的生产最为广泛。加工小方草捆的技术关键是牧草打捆时的含水量，通常在牧草含水量为17%～22%时开始打捆，打出的草捆密度在200 kg/m^{3}左右，这样的草捆无须田间干燥，可以立即装车运走，在贮存期间会逐渐干燥到15%以下的安全含水量。有时为了减少落叶损失，可在含水量较高（22%～25%）的条件下开始捡拾打捆，在这种情况下，要求操作者将草捆密度控制在130 kg/m^{3}以下，且大型草捆在天气允许的情况下应该留在田间继续干燥，这种低密度草捆的后续干燥速度较快，待草捆含水量降至安全标准范围内，再运回堆垛贮存。为了减少捡拾压捆时干草的落叶损失，捡拾压捆作业一般在早晨和傍晚空气湿度较大时进行。在安全含水量以上打捆时，再用喷洒装置在草条上喷洒防霉剂，使高水分干草草捆能安全贮藏。另外，将牧草作为商品干草生产时，在第一次捡拾打捆的基础上用高密度打捆机二次加压，使密度进一步增加，这不仅节省贮藏空间，而且降低运输成本。

3. 干草粉加工技术

近年来，国外饲草粉碎技术发展较快，在传统的饲草粉碎和铡切的工艺基础上，形成了揉碎和揉切新技术。常见的有“先切后粉”“粗粉再加工”及“一次成粉”3种工艺，在含水量为17%左右时可采用前两种方法，当含水量为15%时则可经过800～1 000℃的高温后“一次成粉”作为混合饲料或畜禽配合饲料使用。揉碎工艺是在揉碎机械的作用下，将牧草揉切成丝状，茎节被完全破坏。而揉切是综合铡切和揉碎两种方式的切碎工艺，兼有两种工艺的优点。这些工艺的研发不仅提高了牧草粉碎效率，同时大大改善了牧草产品的营养成分。

4. 牧草产品质量安全检测体系

由于二噁英污染和疯牛病、口蹄疫等传染病的出现，饲草饲料安全和质量监控越来越受到人们的重视，许多国家研发了草产品快速检测装置，开展了收获、加工、贮藏和运输过程中的安全检验，并建立了草产品标准化体系。

（三）国内干草产业发展现状

1. 我国干草产业发展历程

我国干草产业的发展历史悠久，早在汉元时期就有史书记载，但是由于长期受到自给自足模式的束缚，改革开放之后，我国干草产业才开始快速发展。进入21世纪，我国干草产业在国家西部开发、退耕还草、退牧还草的政策支持下，取得了较快的发展。大型的牧草加工企业不断兴起。2001年首届苜蓿大会的召开更是推动了我国干草产业的发展。2005

年之后由于受粮食补贴、退耕还林等国家政策、市场价格以及其他因素的影响，干草产业发展起伏波动很大，严重制约了干草产业的健康、稳定、持续发展。近几年来，随着全国生态建设的全面开展，我国农业产业结构调整和退耕还草力度的加大，干草产业开始逐步恢复发展。干草加工技术已经成为草地生态建设关键技术。

2. 国内干草发展现状

近几年来，我国的干草产业蓬勃发展，畜牧业逐步向现代化发展，为实现国家现代化迈出了新的一步，干草产业在推进现代化畜牧业进程中至关重要。

目前，国内青干草及成型草产品加工技术正趋于成熟。成型草产品加工也逐渐向产业化方向发展，对草颗粒、草块的加工技术及混合型草颗粒加工技术研究取得了一定进展，尤其是对作物秸秆、非常规饲草等资源的开发利用，正深入研究和重点开发混合草颗粒加工技术。该技术主要基于营养系统组合原理，将不同饲草原料按照不同配比加工成颗粒，提高牧草利用效率和饲用价值。

第二节　干草的调制技术

一、干草调制过程中的成分变化

（一）水分的变化

饲草饲料作物的干燥是牧草生产过程中的关键环节，能否把大量的饲草变成可利用的优质的干草商品就取决于这一环节的成败。

刚刚收获的新鲜牧草，含水量在 50%～80%，而干草的安全贮藏含水量最多不能超过 20%。为了获得含水量较低的干草，必须使植物从体内散失大量的水分。

牧草收获后，起初植物体内的水分散失速度很快，这一阶段从植物体内部散发掉的水分是贮藏于细胞和组织间隙的游离态的水，在天气良好的晴天，经过 5～8 h 的晾晒，禾本科牧草含水量下降到 40%～45%，豆科牧草下降到 50%～55%。此后，植物体散水的速度越来越慢，这一阶段散失的主要是植物体内的结合水。

影响牧草及饲料作物水分散失速度的主要因素有以下几种。

1. 外界气候条件

牧草及饲料作物水分散失的速度受空气湿度、空气流动速度和空气温度等多方面气候因素的影响。当空气湿度较小，空气温度较高和空气流动速度较大时，可加速水分的散失。

2. 植物保蓄水分能力的大小

植物因其种类不同，保蓄水分的能力也不同。在外界气候条件相同的条件下，植物保蓄水分能力越大，水分散失速度越慢。豆科牧草一般比禾本科牧草保蓄水分能力强，所以，其水分散失速度比禾本科慢。例如，豆科植物在现蕾期刈割需要 75 h 才能晒干，而在抽穗期刈割的禾本科牧草仅需 27～47 h 就能晒干。这主要是因为豆科牧草含碳水化合物少，胶体物质含量多，所以持水能力强，水分散失速度较慢。

3. 植物体各部分散水速度

植物体的各个部分含水量不同，散水速度也不同，所以植物体各个部分的干燥速度也是不一致的（表 3-5）。叶的表面积大，水分从内层细胞向外层移动的距离要比茎短，所以叶比茎的干燥速度要快得多。试验证明叶片干燥速度比茎快 5 倍左右。当叶片已完全干燥时，茎的水分还很高。由于茎秆干燥慢导致整个植物体干燥时间延长，牧草的营养成分因生理生化过程造成的损失增加，叶片和花序等幼嫩部分脱落损失。所以应采取合理方法如压扁茎秆等，尽量使植物体各部分的水分的均匀散失，以缩短干燥时间，减少损失。

表 3-5 紫花苜蓿各部分水的散失速度

植物各部分	新割植物水分 /%	植物收割后					
		30 h		75 h		126 h	
		水分 /%	水分下降 /%	水分 /%	水分下降 /%	水分 /%	水分下降 /%
整株	75.7	60.4	20.2	45.9	39.2	29.2	61.4
茎	71.5	59.1	17.3	48.9	31.6	35.6	50.2
叶	73.2	49.5	33.2	39.8	45.6	16.8	77.0
花序	79.2	68.9	13.0	54.3	31.4	32.3	59.2

注：引自贾慎修（1982）。

（二）其他成分的变化

干草调制过程中，随着水分的散失，其他营养物质也发生变化。特别是牧草和饲料作物在刈割初期，植物细胞还具有一定的活性，细胞中的水解酶和分解酶继续将大分子的营养物质降解为小分子的营养物质。例如，可溶性碳水化合物被降解为寡聚糖、双糖和单糖；蛋白质被降解为氨类小分子含氮化合物。小分子营养物质一部分被细胞的生理生化反应消耗，一部分水溶性的随着水分的散失流失，所以整体上在干草调制过程中可溶性营养物质含量下降。除了干草中的酶含量和活性影响干草的营养物质外，宿存于干草表层的微生物和环境条件也会对营养物质含量有一定的影响。例如，在调制成干草的过程中，饲草中麦角固醇经日光中的紫外线作用后，转化为维生素 D，可使牧草中维生素 D 的含量大大增加。牧草干燥过程中的养分变化状况见表 3-6。

另外，牧草干燥后期或贮藏的过程中，由于酶的作用产生醛类如丁烯醛、戊烯醛和酸类如乙醇烯，使干草有一种特殊的芳香气味，这是干草品质优劣的一项重要指标。

表 3-6 牧草干燥过程中养分变化

阶段	第一阶段		第二阶段
特点	1. 在活细胞中进行 2. 以异化作用为主导的生理过程		1. 在死细胞中进行 2. 在酶参与下以分解为主导的生化过程
养分变化	糖	1. 呼吸作用消耗单糖，使糖降低 2. 将淀粉转化为双糖、单糖	1. 单双糖在酶的作用下变化很大，其损失随水分减少、酶活动减弱而减少 2. 大分子的碳水化合物（淀粉、纤维素）几乎不变

续表 3-6

阶段		第一阶段	第二阶段
养分变化	蛋白质	1. 部分蛋白质转化为水溶性氮化物 2. 在降低少量酪氨酸、精氨酸的情况下，增加赖氨酸和色氨酸含量	1. 短期干燥时不发生显著变化 2. 长期干燥时，酶活性加剧使氨基酸分解为有机酸进而形成氨，尤其当水分高时（50%～55%），拖延干燥时间，蛋白质损失很大
	胡萝卜素	1. 初期损失极小 2. 在细胞死亡时大量破坏，为损失总量的 50%	1. 牧草干燥后损失逐渐减少 2. 干草被雨淋氧化加强，损失增大 3. 干草发热时含量下降

注：引自张秀芬（1992）。

二、干燥调制过程中的损失

牧草及饲料作物在干燥过程中营养成分有不同程度的损失。一般情况下牧草在干燥过程中总营养损失 20%～30%，饲料单位损失 30%～40%，可消化蛋白质损失 30% 左右。在牧草干燥过程中的总损失量里，以机械作用造成的损失最大，可达 15%～20%，尤其是豆科干草叶片脱落造成的损失；其次是呼吸作用消耗造成的损失，为 10%～15%；由于酶的作用造成的损失为 5%～10%；由于雨露等淋洗溶解作用等造成的损失则为 5% 左右，见表 3-7。

表 3-7　良好天气调制干草的损失　%

损失种类	干物质	可消化干物质	损失种类	干物质	可消化干物质
呼吸作用	10 以下	5～15	酶的作用	5～10	5～10
机械作用	5～10	5～10	总计	10～30	15～35

（一）刈割后生理生化变化造成的损失

牧草及饲料作物收获之后，伴随着体内水分的散失，营养物质的变化要先后经过两个复杂的过程。首先是牧草凋萎期，其特点是一切变化均在活细胞中进行，然后是牧草干燥后期，这一阶段的一切变化均在死细胞中发生。

1. 牧草凋萎期（饥饿代谢阶段）

牧草被刈割以后，植物的细胞并未立刻死亡，短时间内同化作用仍在微弱进行。因刈割后的牧草与根分离，营养物质的供应中断，由同化作用转向分解作用，而且只能分解植物体内的营养物质，导致饥饿代谢。这一时期植物体内总糖含量下降，少量蛋白质被分解成以氨基酸为主的氨化物，部分氨可转化为水溶性氨化物，而且降低了酪氨酸、精氨酸含量，增加了赖氨酸和色氨酸含量。

2. 牧草干燥后期（自体溶解过程）

植物细胞死亡以后，在植物体内酶的参与下进行生化的过程，一般把这种在死细胞中进行的物质转化过程称为自体溶解。这一时期碳水化合物几乎不变，但蛋白质的损失和氨基酸的破坏随这一时期的延长而加大，特别是在牧草水分较高时。另外，在植物体内氧化

酶的破坏和阳光的漂白作用下，一些色素因氧化而被破坏。为了避免或减轻植物体内养分因呼吸和氧化作用的破坏而受到严重的损失，应该采取有效措施，使水分降低到 17% 以下，并尽可能减少阳光的直接暴晒。

（二）机械作用引起的损失

调制干草过程中（主要指晒制干草），由于牧草各部分干燥速度（尤其是豆科牧草）不一致，因此在搂草、翻草、堆垛等一系列作业中，叶片、嫩茎和花序等细嫩部分易折断、脱落而损失。一般禾本科牧草损失 2%～5%，豆科牧草损失最大，为 15%～35%。例如当损失叶片占苜蓿全重的 12% 时，其蛋白质的损失约占总蛋白质含量的 40%，因为叶片中所含的蛋白质远远超过茎中的含量。

机械作用造成损失的多少与植物种类、刈割时期及干燥技术有关。为减少机械损失，应适时刈割，在牧草细嫩部不易脱落时及时集成各种草垄或小草堆进行干燥。干燥的干草进行压捆，应在早晨或傍晚进行。国外有些牧草加工企业则在牧草水分降到 45% 左右时就打捆或直接放进干燥棚内，进行人工通风干燥，这样可大大减少营养物质的损失。

（三）光化学作用造成的损失

晒制干草时，阳光直射的结果是植物体内所含的胡萝卜素、叶绿素及维生素 C 等，均因光化学作用的破坏而损失很多，其损失程度与日晒时间长短和调制方法有关。据试验，不同的调制方法，干草中保留的胡萝卜素含量不同，刚割下的鲜草含 163 mg/kg；人工干燥的干草含 135 mg/kg；避光干燥的干草含 91 mg/kg；在散射光（阴干）下干燥的干草含 50 mg/kg；草垄中干燥的干草含 38 mg/kg；平摊地面上干燥的干草仅含 22 mg/kg。

（四）雨淋损失

晒制干草时，最忌雨淋。雨淋会增大牧草的湿度，延长干燥时间，从而由于呼吸作用的消耗而造成营养物质的损失（表 3-8）。雨淋对干草造成的破坏作用，主要发生在干草水分下降到 50% 以下，细胞死亡以后，这时原生质的渗透性提高，植物体内酶的活动将各种复杂的养分水解成较简单的可溶性养分，它们能自由地通过死亡的原生质膜而流失，而且这些营养物质的损失主要发生在叶片上，这是因为叶片上的易溶性营养物质接近叶片表面。由于雨淋导致的营养物质损失，远比机械损失大得多。

表 3-8 毛苕子晒干过程与雨淋后养分变化 %

处理	色泽	水分	粗蛋白质	粗脂肪	粗纤维	无氮浸出物	粗灰分
淋过 1 次雨	黄褐	13.40	15.99	1.19	35.11	29.54	5.03
未淋过雨	青绿	13.52	22.52	1.91	27.93	27.34	6.85

注：引自四川农学院（1979）。

（五）微生物作用引起的损失

微生物一直宿存于植物体的表面，但只有在细胞死亡之后才能繁殖起来。死亡的植物

体是微生物生长的良好培养基。微生物在干草上生长需要一定的条件，比如干草的含水量、气温与大气湿度。细菌活动的最低需水量约为植物体含水量的25%以上；气温要求在25～30℃，而当空气湿度在85%～90%及以上时，即可能导致干草发霉。这种情况多在连阴雨天发生。

发霉的干草品质降低，水溶性糖和淀粉含量显著下降。发霉严重时，脂肪含量下降，含氮物质总量也显著下降，蛋白质被分解成一些非蛋白质化合物，如氯、硫化氢、吲哚等气体和一些有机酸，因此发霉的干草不能饲喂家畜，因其易使家畜患肠胃病或者流产等，尤其对马危害更大。

三、干草调制原则

根据干草调制的基本原理，在牧草调制过程中，必须掌握以下基本原则。

（1）尽量加速牧草的脱水，缩短干燥时间，以减少由于生理、生化作用和氧化作用造成的营养物质损失。尤其要避免雨水淋湿。

（2）在干燥末期应力求牧草各部分的含水量均匀。

（3）牧草在干燥过程中，应防止雨露的淋湿，并尽量避免在阳光下长期暴晒。应当先在草场上使牧草凋萎，然后及时搂成草垄或小草堆进行干燥。干旱地区，干草产量较低，刈割后直接将草搂成草垄进行干燥。

（4）搂草、聚垄、压捆等作业，应在植物细嫩部分尚不易折断时进行。

四、干草调制工艺流程

目前，生产中常用的干草调制工艺流程可以分为自然干燥工艺、人工快速干燥工艺和高水分牧草调制工艺。

（一）自然干燥法调制干草工艺

1. 前期处理阶段

对豆科类牧草调制干草，在刈割前，最好进行选择干燥剂进行前处理。选择合适的干燥剂，按要求配制成溶液喷洒到牧草上。试验证明，干燥剂有助于缩短新鲜饲草调制成干草的时间，降低营养物质损失。但是对于禾本科牧草，干燥剂效果不太明显。

2. 中期处理阶段

根据场地条件，对刚刈割的牧草采取压扁、切短等措施，主要的目的是加快牧草的干燥速度。如利用机械收割，有些收割机就包含有压扁的工序。自然干燥法中压扁干燥比普通干燥的牧草干物质损失减少2～3倍，碳水化合物损失减少2～3倍，粗蛋白质损失减少3～5倍。

3. 干燥晒制阶段

为了使植物细胞迅速死亡，停止呼吸，减少营养物质的损失，选晴朗的天气，将刚收割的牧草在原地或附近干燥地铺成薄长条暴晒，先进行薄层平铺暴晒4～5 h，使鲜草中的

水分迅速蒸发，由原来的75%以上减少到40%左右。饲草水分由40%减少到14%～17%是一个缓慢蒸发的过程。如果此时仍采用平铺暴晒法，不仅会因阳光照射过久使胡萝卜素大量损失，而且一旦遭到雨淋后养分损失会更多。当水分降到40%左右时，可利用晚间或早晨的时间进行一次翻晒，可以减少苜蓿叶片的脱落，同时将两行草垄并成一行，以保证打捆机打捆速度。或改为小堆晒制，将平铺地面的半干青草堆成小堆，堆高约1 m，直径约1.5 m，重约50 kg，继续晾晒4～5 d，等全干后收贮。

4. 原地打捆

在晴天阳光下晾晒2～3 d，当苜蓿草的含水量在18%以下时，可在晚间或早晨进行打捆，以减少苜蓿叶片的损失及破碎。在打捆过程中，应该特别注意的是不能将田间的土块、杂草和腐草打进草捆里。调制好的干草应具有深绿色或绿色，并有芳香的气味。

5. 草捆贮存

草捆打好后，应尽快将其运输到仓库里或贮草坪上码垛贮存。码垛时草捆之间要留有通风间隙，以便草捆能迅速散发水分。底层草捆不能与地面直接接触，以避免水浸。在贮草坪上码垛时垛顶要用塑料布或其他防雨设施封严。

6. 二次压缩打捆

草捆在仓库里或贮草坪上贮存20～30 d后，当其含水量降到12%～14%时即可进行二次压缩打捆，两捆压缩为一捆，其密度可达350 kg/m^{3}左右。以此密度打捆后，体积减小一半，便于贮存和降低运输成本。

干草的自然干燥法调制加工作业内容为刈割、压扁、摊晒（散草）、翻草、搂草、捡拾打捆。饲草在收获或干燥后，还涉及及时的运输和库区贮藏过程。

1. 刈割作业

将豆科类牧草调制成干草时，在刈割前，最好进行干燥剂处理。选择合适的干燥剂，按要求配制成溶液喷洒到牧草上。试验证明，干燥剂有助于缩短新鲜饲草调制成干草的时间，降低营养物质损失。对于禾本科牧草，干燥剂效果不是很明显。生产中应根据苜蓿的产量、茎叶比、总可消化营养物质含量、对后茬草的影响及单产面积获得的总营养物质的量来确定适宜的刈割期、刈割茬次和刈割留茬高度。

（1）影响因素。

① 刈割期的选择。就单一因素来讲，刈割期对干草最终品质的影响最为重要。在确定刈割期时，生产者需要同时考虑和权衡植物生长阶段和近期天气情况两个因素。虽然不同饲草调制干草的最佳刈割期存在差异，但是都要兼顾饲草产量和品质两个方面。需要注意的是，饲草的产量和品质是负相关的，即产量高时品质较差，品质高时产量较低。因此，在生产中要权衡二者的关系，使单位面积获得的总的营养物质最大化。

一般情况下，处于营养生长阶段的饲草体内淀粉、蛋白质含量高，纤维素含量较低，饲草品质较好，总可消化养分（TDN）高，但是单位面积产量较低。饲草进入生殖生长阶段后，植物茎秆木质化程度增加，虽然饲草产量进一步提高，但是蛋白质含量和总消化养分却降低了。如表3-9所示，随着紫花苜蓿生育时期的推迟，粗蛋白质的含量明显降低，而纤维素的含量不断增加，导致干物质消化率降低。D.M. 鲍尔等总结了常用饲草的适宜刈

割时期，并得到了大多数生产者的认可（表 3-10），这些适宜刈割期的确定同时考虑了饲草产量和饲草品质两方面因素，具有很好的借鉴和指导作用。

表 3-9　不同生育期苜蓿的养分变化情况

生育时期	粗蛋白质 /%	粗纤维 /%	干物质消化率 /%
孕蕾期	20.3	23.11	60.74
初花期	18.4	31.87	59.36
盛花期	17.5	42.85	46.65
结实期	15.1	52.49	38.21

表 3-10　不同饲草的适宜刈割时期

草种	刈割时期
紫花苜蓿	首次刈割为现蕾期，以后每年在 10% 植物开花时刈割；春季播种的当年，首次刈割为中花期或盛花期
鸭茅、猫尾草和高羊茅	首次刈割为孕穗至抽穗初期，再生草每隔 4～6 周刈割 1 次
红三叶、箭三叶、绛三叶	初花期
截叶胡枝子	40～45 cm
燕麦、大麦、黑麦草、小麦	孕穗至抽穗初期
一年生胡枝子	初花期，且在下层叶片脱落之前
白三叶	伴生禾草适宜刈割的时间
杂种狗牙根	首次刈割高度为 40～50 cm，之后每隔 4～5 周刈割，如果每隔 3 周刈割品质更高
百脉草	伴生禾草适宜刈割的时间
苏丹草、高丹草	75～100 cm

② 刈割茬次。留茬高时，苜蓿的营养层和叶层还留在地面上，既影响草产量也影响干草的营养价值。留茬过低，虽然当年或当茬可获得较多干草，但是由于割去全部茎叶，减弱了生命力，连续低茬割草会引起草地急剧衰退。适宜留茬高度应结合其生物学特性和管理水平而确定，一般来讲，低留茬的刈割能够刺激根颈而多发枝条。在长期的研究中，我们总结了一部分草原的优势种和伴生种植物的刈割收获情况（表 3-11）。

表 3-11　草原的优势种和伴生种植物的刈割茬次

草种类型	刈割频次
针茅、羊草、披碱草、老芒麦、冰草、羊茅	年刈割 1 次或 2 次
拂子茅、无芒雀麦	年刈割 2 次
芨芨草	年刈割 1 次
芦苇	年刈割 2 次或 3 次

③ 留茬高度。留茬高度对饲草的再生非常重要。经营饲草生产与谷物的一个重要区别

就是饲草收获对象是营养体且全年刈割多次，因此再生速度对全年的产量非常重要。植物通过光合作用固定二氧化碳，并通过体内各种机制，将其转化成能量物质贮存在不同部位以便再生或度过各种危机。一般情况下，植物将贮藏部分存在地下根或茎。例如，紫花苜蓿将营养物质贮藏在地下根部，因此刈割高度对其影响较小；狗牙根和白三叶将营养物质贮藏在地面匍匐茎内，因此也耐低茬刈割。许多冷季型饲草，如无芒雀麦、鸭茅，尤其是高羊茅，将营养物质贮藏在根基部，如果留茬高度过低就会破坏这部分区域，严重影响其再生长，建议此类草的留茬高度为 5～8 cm。

苏丹草、高粱－苏丹草杂种和珍珠粟的留茬高度需要为 15～20 cm，过低的留茬高度将限制其再生，反而会降低全年的产量。此外，较高的留茬高度还会避免家畜酸中毒，因为上述饲草在逆境情况下会在茎基部积累硝酸盐，家畜食用过多硝酸盐将会酸中毒。在长期的研究中，我们总结了一部分草原的优势种和伴生种植物的刈割收获情况（表 3-12）。

表 3-12 草原的优势种和伴生种植物的刈割留茬高度

草种类型	刈割留茬高度
针茅、羊草、披碱草、老芒麦、冰草	6～8 cm
拂子茅、羊茅	4～6 cm
芨芨草	12～14 cm
芦苇	8～10 cm
无芒雀麦	5～8 cm

④ 天气情况。需要考虑的因素还有短期的天气情况，如果出现阴雨天气，刈割时间可适当灵活选择。严格按照不同的时期在雨天进行割草作业对牧草质量影响很大，因为雨水将延长饲草的干燥时间，造成粗白质、消化率和非结构性碳水化合物显著降低，酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维和木质素含量显著增加，干草品质下降（表 3-13）。因此，应结合天气情况适当调整刈割时间，避开雨水。

表 3-13 雨淋对苜蓿营养品质的影响 %DM

生长阶段	没有雨淋	调制过程中 5 mm 降水	调制过程中 10 mm 降水
水分	$6.25a^{Bc}$	7.33^{Ba}	8.47^{Aa}
粗蛋白（CP）	18.43^{Aa}	17.97^{aB}	16.85^{Aa}
中性洗涤纤维（NDF）	51.15^{abC}	53.42^{aB}	54.25^{Aa}
酸性洗涤纤维（ADF）	32.06^{aB}	33.74^{Aa}	33.94^{Aa}
粗灰分（CA）	8.17^{Aa}	8.06^{Aa}	8.04^{Aa}
相对饲用价值（RFV）	116.27^{Aa}	109.04^{aBb}	107.10^{aBc}

注：同列数据标注不同字母表示有显著性差异。

由表 3-13 可知，随着降雨量的增加，苜蓿的水分含量增加，即苜蓿的干物质含量减少，对照组中苜蓿的水分含量为 6.25%，而降雨量为 10 mm 时，其值增加到 8.47%，酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量也随降雨量的增加而增加，而粗蛋白质含量和相对饲喂价值

下降，其中相对饲喂价值下降了 8%；粗灰分含量变化值几乎不受降雨量的影响。

对于需要越冬的多年生饲草，应在饲草完全停止生长（霜冻来临）前 1 个月完成全部收获作业。在这段时间内，饲草生长与根系非碳水化合物的累积息息相关，留下充足的生长时间，让根系积累更多的营养物质，有利于饲草安全越冬和来年春季的返青，同时也会提高多年生饲草的利用年限。再生草可以在植物完全停止生长之后的冬春季供家畜自由采食。

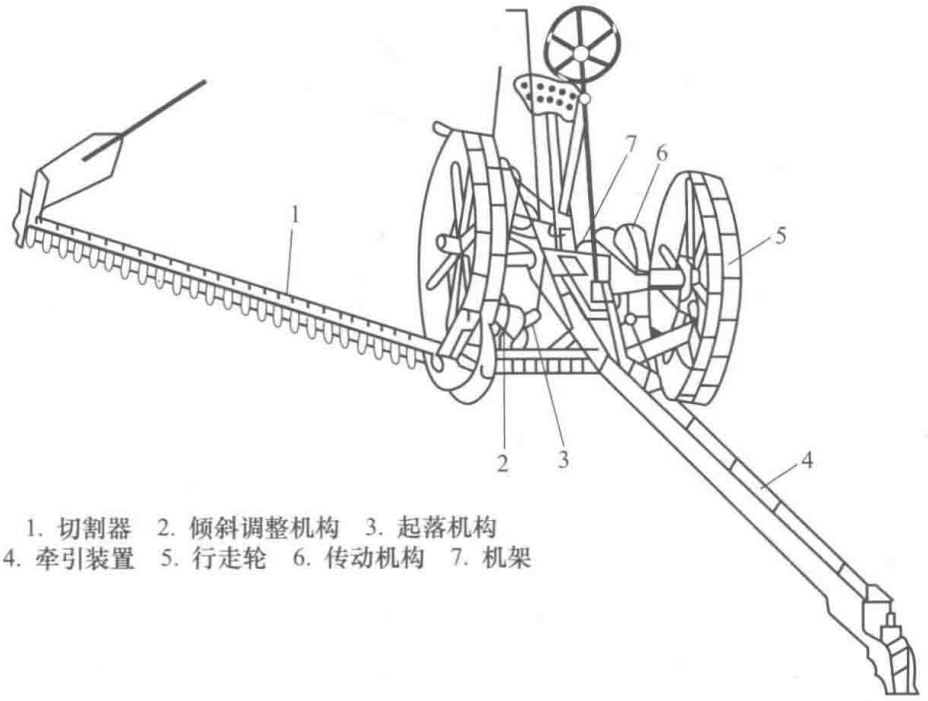
（2）牧草收获机械。在茎叶繁茂、生物量最大、单位面积营养物质产量最高时收获青草，可用镰刀等人工割草工具，但为了减少损失、短期收获、提高效率，以便于饲喂和调制，在地面平整、草地面积大时，常采用机械收获法。机械收获时，既有普通的割草机，也有直接在田间进行刈割和粉碎的牧草联合收获机。割草机按切割原理，可分为往复式切割机（称往复式）和旋转式切割机（称旋转式）两种。按动力配套方式不同又分为牵引式、悬挂式、半悬挂式和自走式以及割草压扁铺条机。

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。但往复式割草机存在的问题是其要求草场平坦，障碍物少，因此切割高产或湿润牧草时，易发生堵刀。另外，往复式割草机也不能灵活地调整草行宽度。

A. 牵引往复式割草机。以 9GJ-2.1 型机引单刀割草机为例，该机适于收割产草量不高的天然牧草和种植牧草。配套动力为 11～22 kW 拖拉机。工作时可同时连接 1～3 台，该机灵活性较高，挂接方便，并能较好地适应地形。

该机主要由机架、切割器、传动机构、起落机构、倾斜调节机构、牵引及转向机构等组成。9GJ-2.1 型割草机见图 3-5。

割草机工作时，地轮驱动传动机构，然后传动曲柄连杆机构，带动割刀作往复运动切割牧草，并将割下的牧草均匀地铺放在地上。

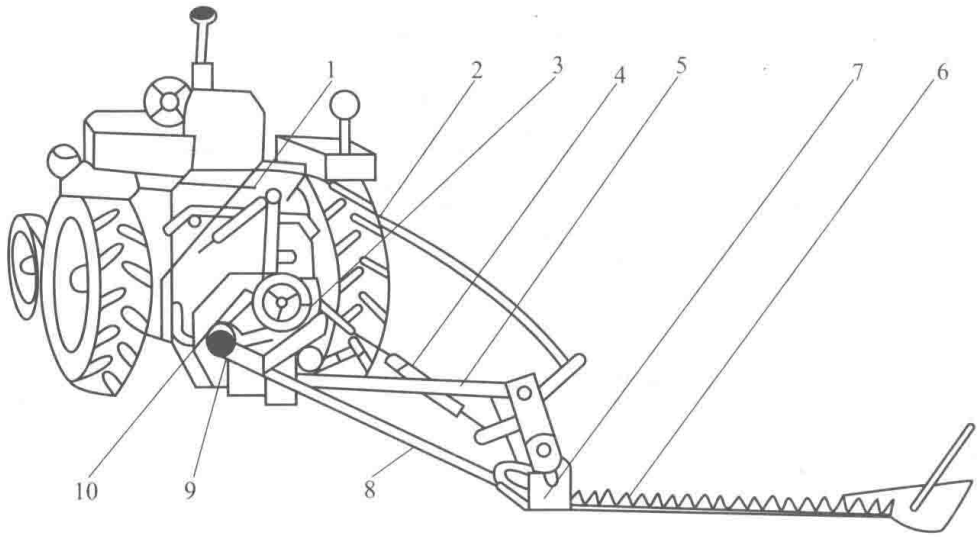


1. 切割器　2. 倾斜调整机构　3. 起落机构
4. 牵引装置　5. 行走轮　6. 传动机构　7. 机架

图 3-5　9GJ-2.1 型割草机

B. 悬挂往复式割草机。悬挂往复式割草机本身没有行走轮，直接通过悬挂装置连接在拖拉机上。它的切割器由拖拉机动力输出轴驱动，由液压系统控制升降。它比牵引往复式割草机构造简单，操纵灵活机动，生产率高。但对不同型号拖拉机适应性较差，挂接较麻烦。

以 9GH-2.1 型单刀后悬挂割草机为例，该机由悬挂架、传动机构、切割器和升降机构等组成。9GH-2.1 型割草机见图 3-6。



1. 提升转臂 2. 提升钢丝绳 3. 大皮带轮 4. 前拉杆 5. 后拉杆
6. 切割器 7. 挂刀架 8. 连杆 9. 曲柄及小皮带轮 10. 悬挂机架

图 3-6 9GH-2.1 型割草机

国内外常用的部分往复式割草机的技术性能见表 3-14。

表 3-14 国内外常用的部分往复式割草机的技术规格

机型	型式	工作幅 /m	切割器数	曲柄转速 /(r/min)	割刀驱动机构形式	工作速度 /(km/h)	配套动力
9G-1.4	畜力	1.37	1	640	地轮驱动	3.6	双马
9GSH-4.0	牵引	4.0	2	920	动力输出轴	10	
美国约翰迪尔公司 450	机引	2.13	1	900	驱动 / 曲柄连杆机构	8～10	
		2.74	1	900	动力输出轴驱动		
9GWH-1.6	机引	1.6			全平衡摆环机构	6～8	
9GX-1.6	后悬挂				偏置式曲柄连杆机构	6～8	15～20 kW 拖拉机

注：引自农业部农业机械化管理司（2005）。

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。旋转式割草机切割速度快，工作效率高，可以通过增加刀盘个数调节刈割草行宽度。另外，旋转式割草机更安全耐用，不易损坏，且维修成本低，如当刀片高速运转时遇到阻力过大或障碍物，刀

片可回摆，从而避免损坏。刀片一边刃口磨损后，可以换边使用，更换刀片也较往复式割草机方便。在旋转式割草机，除装有往复式割草机相似的安全装置外，在切割器上还有防护罩，以保证人身安全。

A. 圆盘式割草机。圆盘式割草机分上、下传动两种，上传动圆盘式割草机有旋转滚筒，而且相邻两个滚筒与机架形成一个框形空档，所以也称立式滚筒式割草机或龙门式滚筒机。它通常由挂接部分、机架（切割器梁）、切割器和转动装置等构成，接挂部分一般用型钢焊接而成，用来连接拖拉机的三点悬挂系统和割草机的机架或刀梁。由于几个旋转切割器都装在机架上，皮带或齿轮传动装置都装在机架或空心机梁内，所以机架必须牢固，用钢板焊成。切割器包括刀盘、刀盘上方的圆柱形滚筒、刀盘下方的滑盘等。刀盘用于安装割刀，刀盘上的割刀一般为不刚性连接，要有一定的摆动量。滚筒主要用于传递动力，它和刀盘成钢体，一起旋转。此外，旋转的滚筒对已割倒的牧草起成条作用，使相邻滚筒间被割下的牧草铺放成整条的草条，它可以满足低茬刈割，但缺点是结构不够紧凑。刀盘下面的滑盘不旋转，它的主要作用是支撑割草机和调节割茬高度。该机通常有 2～3 或 4～6 个旋转切割器，割幅达 2.7 m。下传动圆盘式割草机的切割器是一个刀盘组件，没有滚筒和滑盘。刀梁直接由传动箱或滑掌支撑。刀盘成缺口螺旋形，其下有长槽孔刀架，供安装割刀用。相邻的旋转切割器割刀的配置或所割范围都有一定的重叠量，但割刀不能相互撞击（用刀盘的配置或刀盘的缺口控制，只要切割器保证同步旋转，切刀就不会撞击）。该机一般有 4～6 个刀盘，割幅可达 2.7 m 左右。最外侧的刀盘上有一个锥柱旋转体，配合挡草板分离已割牧草，使割倒的牧草相隔铺放，以免下一行程作业时压草。下传动割草机结构紧凑，传动平稳、可靠，但切割器下方传动装置位置太高，通常采用将切割器向前倾斜一定的角度的方法来进行低茬刈割。

B. 转镰式割草机。转镰式割草机切割器在垂直轴上安装若干长割刀（镰刀）构成。割刀和立轴为钢性连接，其长度一般为 280～450 mm，切割器直径一般为 0.6～1.0 m。由于切割器直径大，在转速不太高时，割刀外端也可达到很高的圆周线速度。例如，直径为 0.6 m 的切割器转速为 300 r/min 时，其割刀圆周前沿或直线速度可达 90 m/s。转镰式割草机由于纵向尺寸较大，一般多采用半悬挂式，靠拖拉机悬挂系统和地轮调节割茬高度。这种割草机在牧草收获中已不多用，主要用于草坪修整。

C. 甩刀式割草机。甩刀式割草机是一种工作部件垂直旋转的割草机械，基本工作原理和工作过程是靠机罩前沿或专门的部件将未割的牧草堆成倒装状态，随后被旋转的甩刀击断。牧草在机罩内受一定程度的压缩和弯折后，从机器尾部排出。甩刀式切割器的圆周线速度一般在 25～30 m/s 范围内，以防草被打击过碎。经压缩和折弯后的牧草可缩短风干时间。这类机器适合于收割茂密、植株粗壮和倒伏的牧草。根据资料统计，用甩刀式割草机收获不倒伏牧草时，收获量要比传统的割草机减少 5%～10%；收获倒伏牧草时，其收获量与传统的割草机相当或稍有提高。把甩刀式切割器换成切碎收获工作部件，再配以装载机具，可用于收获切碎联合收割机排出的草秸、玉米秆、绿肥、块根、茎叶和其他多叶牧草。

D. 卧式滚筒割草机。卧式滚筒割草机切割器由滚筒和装在其上的螺旋式割刀结构组成。切割支撑可以调节。当滚筒旋转时，螺旋式割刀利用滑切的原理切割牧草。它适用于收获细小质轻的牧草。多数采用地轮驱动，割幅较宽时用动力输出轴或液压马达驱动。

2. 压扁作业

利用自然干燥方法进行干草调制时经常遇到茎叶干燥速度不一致的问题。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，当叶片含水率低到15%～20%时，茎的含水率为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。

牧草压扁的过程就是将牧草茎秆压裂，破坏茎的角质层以及维管束，并使之暴露在空气中，茎内水分散失的速度就可大大加快，基本能跟上叶片的干燥速度。这样既缩短了干燥时间，又使牧草各部分均匀干燥。自然干燥法中压扁干燥比普通干燥的牧草干物质损失减少2～3倍，碳水化合物损失减少2～3倍，粗蛋白质损失减少3～5倍。

（1）牧草压扁技术要求。

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，实现将牧草从收割、茎秆压扁到铺成草垄等作业，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，即圆筒形和波齿形。圆筒形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（以干物质含量百分率表示）不得超过压扁牧草总重量的2%。

（2）牧草压扁机械。按与动力的连接形式可分牵引式和自走式。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，一种是一个光辊和一个槽辊相配合，其作用以压扁为主，称为压扁辊，其中槽辊常由橡胶制成。另一种称为碾折辊，由橡胶或钢制成，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的挤压辊组成。新鲜牧草就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通过压辊时，压扁机压辊的工作效率就高。

① 9GQX-137型前悬挂割草压扁机。9GQX-137型前悬挂割草压扁机与13.25 kW拖拉机配套，主要有分草装置、拔禾轮、切割器、导草装置、压扁输送机构、束草装置、地轮仿形机构等部分组成。该机可一次完成分草、拔草、切割、导草、压扁输送、束草等作业。9GQX-137型前悬挂割草压扁机可广泛用于农牧区草场和丘陵地草场收割作业。主要技术参数；外形尺寸1 568 mm×1 362 mm×980 mm（长×宽×高）；割茬高度≤ 80 mm；工作幅度1 370 mm；重割率≤3%；割茎率≥97%；生产率0.26 hm^2/h；作业速度5.47 km/h；整机质量230 kg。

② 牧神M苜蓿压扁机收获机。牧神M-5000型和M-3000型苜蓿压扁收获机由我国新疆机械研究院自主研制生产。该机型由拔禾装置、切割装置、传动系统等主要部件组成。其特点是可一次性完成苜蓿类饲草的切割、压扁和铺条工作，其独特的设计能最大限度保护牧草的营养成分，使茎叶同步干燥，减少土壤压实，加快下茬作物的生长，而且效率高、可靠性好、割茬高度好、切割角度调整方便。主要适用于苜蓿类饲料的收获集条作业。该

系列机型的基本技术参数见表 3-15。

表 3-15　牧神M系列苜蓿压扁收获机主要性能参数

机型	牧神 M-5000 型	牧神 M-3000 型
作业幅度 /m	5	3
作业方式	自走式	牵引式
作业速度 /(km/h)	10～18	≤13
生产率（苜蓿)/(t/h)	80～120	40～100
配套动力 /kW	150（自带动力）	≥30
外形尺寸（长 × 宽 × 高)/mm	7 260 × 3 050 × 4 200	4 900 × 4 530 × 1 400
整机重量 /kg	8 000	1 750
牧草铺放宽度 /mm	1 000～1 900（可调）	1 000～1 900（可调）
割茬高度 /mm	≤120	40～150

注：引自农业部农业机械化管理司（2005）。

③ 法国 KUHN 公司 FC202 割草压扁机。KUHN 公司 FC202 割草压扁机割幅宽度 2 m，割盘 4 个，刀片 8 个，压扁处理幅度 1.3 m，草铺幅宽 0.7～1.3 m；使用动力 40～55 马力（1 马力=735 W），三点后悬挂，折叠运输，横向展开工作；生产率每小时收割 1.5～2 hm^2（22.5～30 亩）；收割后，通过压扁装置，破坏茎秆的天然蜡质层，并有 3～5 cm 折边，加快牧草干燥时间，使茎秆和叶片干燥速度保持一致。

3. 摊晒作业（散草）

为了使植物细胞迅速死亡，停止呼吸，减少营养物质的损失，选择晴朗的天气，将刚收获的饲草在原地或附近干燥地铺成薄长条暴晒，先进行薄层平铺暴晒 4～5 h，使鲜草中的水分迅速蒸发，由原来的 75% 以上减少到 40% 左右。

4. 翻晒作业

饲草水分由 40% 减少到 14%～17%，是一个缓慢蒸发的过程。如果此时仍采用平铺暴晒法，不仅会因阳光照射过久损失大量胡萝卜素，而且一旦遭到雨淋，营养物质损失会更多。当水分降到 40% 左右时，可利用晚间或早晨的时间进行一次翻晒，可以减少牧草叶片的脱落，同时将两行草垄并成一行，以保证打捆机饲喂速度。或改为小堆晒制，将平铺地面的半干青草堆成小堆，堆高约 1 m，直径 1.5 m，重约 50 kg，继续晾晒 4～5 d，等全干后收贮。有试验表明，在紫花苜蓿含水量为 30% 的时候进行翻晒作业，将损失 10% 的含量，主要是叶片损失，从而造成干草品质明显下降。如果早上进行刈割操作，天晴时下午可以进行第一次翻晒，晾晒时间没有严格的要求，只要草行上层的饲草干了就可以进行翻晒作业。

翻晒作业可用摊晒机完成，要求对饲草翻动均匀，草条蓬松以利于水分的散失，尽量减少泥土污染饲草。大多数情况下，无须单独配置摊晒机，搂草机稍加改动就可以具

有摊晒机的功能。多转子水平旋转摊搂草机就是集摊晒机和搂草机特点于一身的干草调制机械。

5. 搂草作业

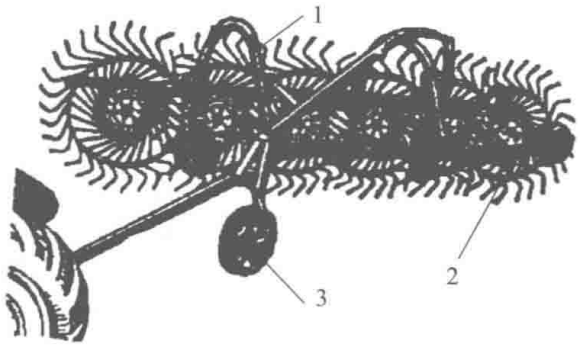
为了增加牧草干燥速率，刈割后的草行往往较宽，加上翻晒处理后草行非常松散，不利于打捆机进行打捆作业。在草行准备打捆前，需要通过搂草作业将草行收窄，并适当压紧，以便打捆机进行打捆。此外，搂草作业也提供了一次将底部干燥略差的饲草翻到草行表面的机会，可以进一步提高整个草行的干燥速度和干燥均匀度。

搂草作业通常采用搂草机完成，对搂草机的作业要求是搂集干净，漏搂率低；形成的草条连续、密度均匀，便于后续的捡拾打捆作业；草条蓬松，便于干燥；机具调节适当，饲草受泥土污染轻。横向搂草机在作业时饲草移动距离大，草条连续性差。另外，由于搂齿接触地面，草条容易受到泥土和其他异物污染，因此已逐渐被侧向搂草机所取代。侧向搂草机按照结构可分为滚筒式、指轮式、水平旋转式和传送带式 4 种类型。

下面以指盘式摊搂草机、多转子水平旋转摊搂草机、横向搂草机为例分别说明。

（1）指盘式摊搂草机。指盘式摊搂草机还可以分为牵引式和悬挂式。现以牵引式为例简要说明其构造。

牵引式指盘摊搂草机由机架、指盘、地轮等部分构成（图 3-7）。机架一般用钢管、角钢或其他型钢焊接，它的形状和尺寸取决于指盘的布置方式和指盘数，每台机具通常有 4～6 个指盘。指盘是摊搂草工作部件，由圆盘、弹齿和轴套孔构成，通过曲拐轴与机梁连接。曲拐轴的一头装在指盘的轴套孔内，另一端装在机梁上的轴承孔内。这样，指盘既能绕自身中心旋转，又能绕机梁上的轴承摆动，在地面呈浮动状态。当机器前进时，指盘平面与前进方向间有一定的夹角，由于弹齿尖与地面接触，所以在指盘平面内产生一个分力，驱动指盘旋转。前一个指盘把草拨向下一个指盘的作用范围内，依次拨向最后一个指盘，在最后一个指盘的内侧形成草条。改变指盘与前进方向的夹角，使上一个指盘拨动的草不能到达下一个指盘的作用范围，机器便处于摊草工作状态。



1．机架　2．指盘　3．地轮

图 3-7　牵引式指盘摊搂草机

引自农业部农业机械化管理司（2005）

（2）多转子水平旋转摊搂草机。它是集水平旋转摊晒机和搂草机特点于一身的干草调制机械。动力输出轴通过中央锥齿轮传动机构驱动空心机架内的万向传动轴，万向传动轴再通过每个转子的锥齿轮传动机构驱动转子旋转。机架可绕万向节弯曲，使转子成搂草、摊晒或运输状态（图 3-8）。搂草时最外侧的两个转子都向内旋转，把草拨向中间两个也向内旋转的转子，在两个挡草屏间形成草条。摊晒时各转子排列成直线，相邻的转子反方向旋转，去掉挡草板。运输时两外侧的转子向前或向后折回。转子由圆盘、弹齿臂和弹齿构成。每个转子有 4～6 个弹齿臂，每个弹齿臂的外端安装一副弹齿。

多转子水平旋转摊搂草机作业速度为 15 km/h 左右，幅宽约 6 m。搂草时草条从两侧向

中央集中，草移动距离短，破碎损失少，沾污轻。每个转子的工作幅有一定重叠，弹齿臂交错，草受到一定程度的弯折，有利于加速干燥。适用于各种类型的草地。

（3）横向搂草机。横向搂草机草条与机器的作业行驶方向垂直而得名。相互平行的弧形搂齿在整个搂幅内构成一个弧形的曲面。作业时，搂草机前进，草进到搂齿的前段，然后沿曲面上升，当达到极限高度后，在后续牧草的推动下而降落，先落下的草向中心卷入，后续草依次卷在外层（图 3-9）。机器行驶到放草位置时搂草器升起，放草成条。

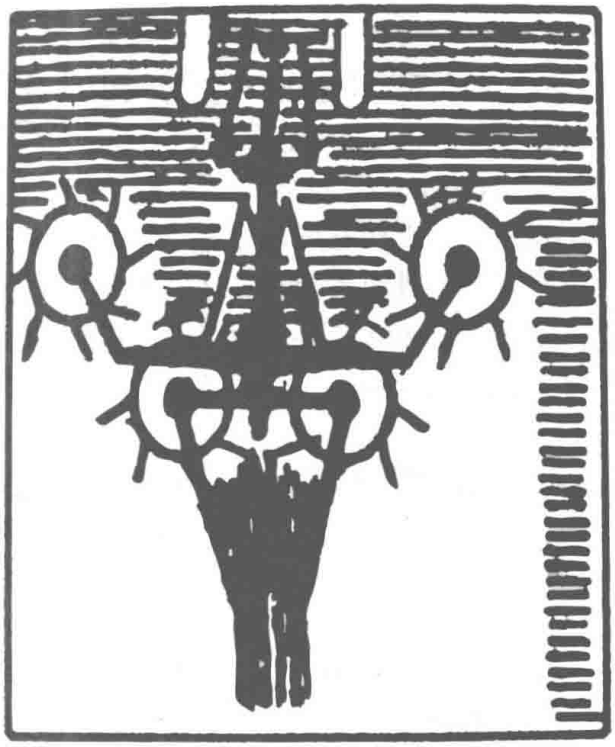
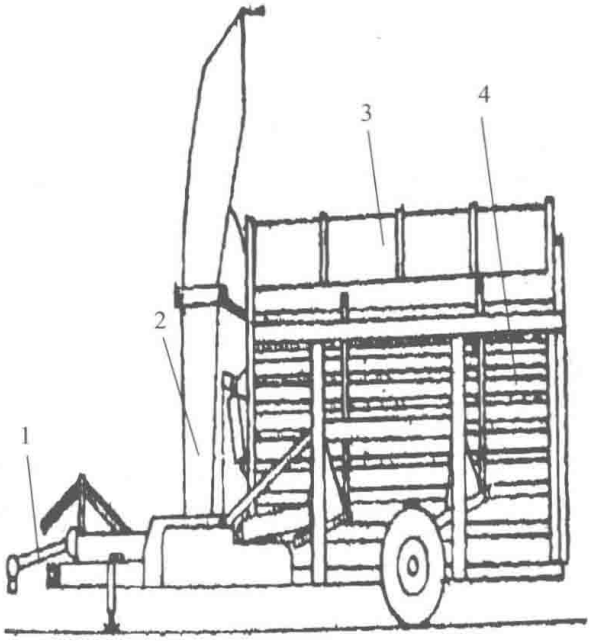


图 3-8　多转子水平旋转摊搂草机

引自农业部农业机械化管理司（2005）



1. 动力传动轴　2. 捡拾输送装置　3. 压缩罩　4. 车体

图 3-9　9JD-3.6 型捡拾压垛机

引自农业部农业机械化管理司（2005）

（4）传带式摊搂草机。该类机械的特点是纵向尺寸小，机动性强，能摊晒和搂不规则地块的边角饲草，漏草率低，适合小面积草地应用。

（5）滚筒式摊搂草机。能够调节滚筒转速、倾斜度和变换旋转方向，完成田间干草调制的多项作业。作业时弹齿不触地，草不易污染，草条蓬松，适用于高产草地。但在低产天然草地作业时，由于弹齿不触地，会造成细碎茎叶漏草率高。

6. 打捆作业

打捆时间的确定和饲草含水量密切相关。含水量过高时进行打捆作业将使过多的水分带进草捆，造成草捆局部霉变，严重时由于局部发热，热量在不易散失的情况下进行累积，达到燃点后一旦遇到空气将会起火，引起火灾。含水量过低时，和翻晒、搂草作业类似，打捆作业将会造成大量的叶片破碎、脱落，造成收获指数下降，同时饲草品质也会降低，科学合理的建议是：在草捆含水量为 15%～18% 时进行打捆作业，大草捆和高密度草捆的含水量还要低些。

干草调制过程中能否进行合理的贮藏和运输，是关系到饲草质量的重要环节。应该选择适宜的贮运方式，各项作业密切配合和相互衔接，以达到贮运的目的。田间打捆作业由

捡拾压捆机完成，对捡拾压捆机的技术要求包括：捡拾草条要干净，饲草遗漏率低；压捆密度均匀适中，不易发生霉变；草捆成层压缩，开捆后易散开；捆结牢固，运输途中不易散开。

（1）集垛机。

① 集草机。集草机的主要用途是把搂草机集成的草条堆集成草堆，并送往堆垛地点，也可直接用来堆集比较厚实的草条及摊晒于地面的作物茎秆。集草机有畜力和动力两类。动力集草机有前悬挂式和后悬挂式两种。前悬挂式集草机具有操作人员观察方便、减轻劳动强度等优点。

② 垛草机。集草机集成的小草堆松散占地面积大，不利于长期贮存。为减少养分损失，便于贮存管理，集草机集成的小草堆还需要垛成大草堆。垛草机是用来完成垛草作业项目的作业机具。

③ 捡拾压垛机。捡拾压垛机是20世纪60年代末70年代初发展起来的一种高效、大型饲草收获机械，现已在美国、加拿大等国家推广使用。这种机器可以由一人操作，半小时左右即可捡拾集压6～7 t的干草垛。草垛密度在70～120 kg/m^{3}范围内，相当于低压草捆的密度。垛堆码整齐，顶呈拱形，防雨性强，适用于田间或场院贮存。草不易变质，养分保持良好。

以国产9JD-3.6型捡拾压垛机为例（图3-9），由传动装置、捡拾输送装置、压实机械和车体组成。主要用于捡拾牧草草条，并压缩成垛。也适用于稻麦茎秆的捡拾成垛。车厢容积33 m^3，捡拾宽度1.98 m，所成的草垛长3 m，宽2.6 m，高3 m，重2～3 t。草垛密度在70～110 kg/m^{3}范围内，每20 min可形成一个草垛。

（2）饲草装运机械。农业生产中，运输作业时间一般占总作业时间的60%以上。据内蒙古自治区呼伦贝尔市天然草场试验表明，从草场把调制好的干草运到贮存地点，其运输成本一般占总作业成本的70%以上。饲草装运机械的种类繁多，构造、性能也各不相同。按作业用途分为散草捡拾装运、草捆装运和草垛装运三大类，各种打捆机由于成捆原理和构造不同，压成草捆的形状、密度、大小等都不一样。

① 散草捡拾装运车。

A. 类型。一般散草装运车由一人操作，进行捡拾草条装车、运输、卸车作业。比较完善的捡拾装运车除捡拾、装载、卸车外，还有切割、搂集、切碎、压缩、计量等附件或工作机械，可以直接收割饲草或搂集草条，并切碎、装入车厢，运到贮存或饲喂地点，再按计量要求卸车。这类机器可直接收获青草饲喂牲畜，也可以收获调制青贮饲料的饲草。

散草捡拾装运车按动力来源可分为牵引式和自走式；按装载机械要分为低装载式和高装载式；按承载轴数可分为单轴式和双轴式；按车厢容积可分为大、中、小型。

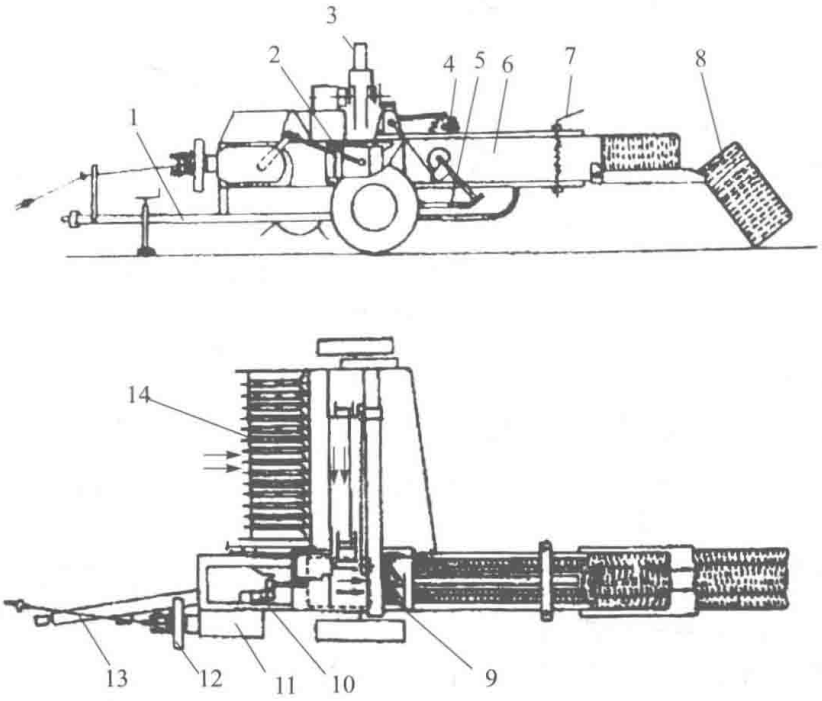
B. 基本构造。以多用途散草捡拾装运车为例，由捡拾器、输送机构、切碎机构、车底传送机构和卸计量装置等组成。

② 压捆机。将散乱的饲草压成捆，便于饲草的运输和贮存，进而使之能够以商品的形式进入市场。压捆机分为固定式压捆机和捡拾压捆机两类。根据压制的草捆形状可分为方捆机和圆捆机。根据草捆密度分为高密度捆（200～350 kg/m^3）、中密度捆（100～200 kg/m^3）和低密度捆（＜100 kg/m^3）（表3-16）。

表 3-16　不同草捆的技术参数

项目	小型草捆		大型草捆		
压缩程度	一般压缩	高压	一般压缩	一般压缩	高压
密度 /(kg/m^3)	80～130	＜200	80～120	50～100	125～175
形状	方形	方形	圆柱形	方形	方形
最大截面 /cm^2	42.5 × 55	42.5 × 55	直径 150～180	150 × 150	118 × 127
长度 /cm	50～120	50～120	120～168	210～240	250
重量 /kg	8～25	＜50	300～500	300～500	500～600

A. 方捆捡拾压捆机。以 9KJ-1.4A 型方捆捡拾压捆机为例（图 3-10），该机为活塞式压捆机，适合于捡拾收割机留下的牧草条铺。其主要由捡拾器、输送喂入装置、压缩室、草捆密度调节装置、草捆长度控制装置、打捆机构、曲柄连杆机构、传动机构和牵引装置等组成。



1．牵引梁　2．活塞　3．输送喂入装置　4．草捆长度控制装置　5．穿针
6．压缩室　7．草捆密度调节装置　8．草捆　9．打结结构　10．曲柄
11．主传动箱　12．飞轮　13．万向节传动轴　14．捡拾器

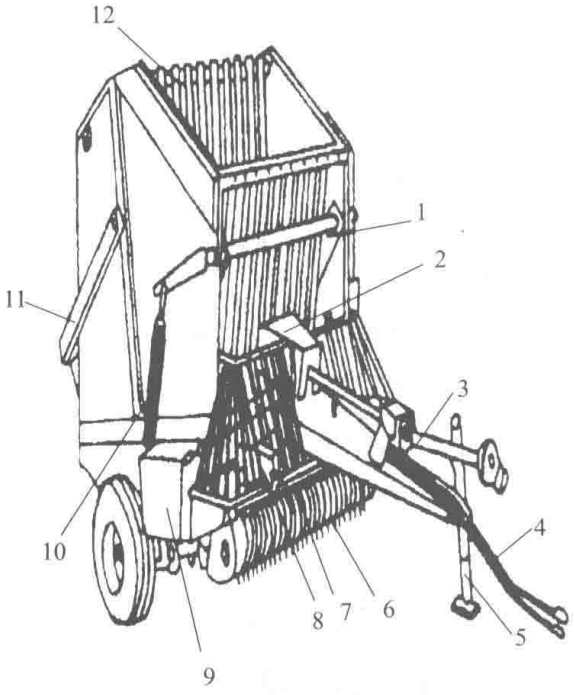
图 3-10　9KJ-1.4A 型方捆捡拾压捆机构造与工件过程

引自农业部农业机械化管理司（2005）

B. 圆捆机。圆捆机调制的草捆呈圆形，直径可达 2 m 左右。其结构简单，使用调节方便，草捆便于饲喂，耐雨淋，适于露天存放，捆绳用量少。按工作部件形式分为长胶带式、短胶带式、链式和辊子式等，按工作原理可分为内卷绕式和外卷绕式。其中长胶带式、链

式为内卷绕式，短胶带式和辊子式为外卷绕式。

图 3-11 为一种皮带式内卷绕捡拾压捆机。其主要部件包括捡拾器、输送喂入装置、卷压机构、卸草后门、传动机构和液压操纵机构。



1．摇臂　2．传动箱　3．传动轴　4．油管　5．支架　6．捡拾器　7．送绳导管
8．割绳机构　9．绳箱　10．张紧弹簧　11．卸草后门　12．卷压室皮带

图 3-11　圆捆内卷压式捡拾压捆机

引自农业部农业机械化管理司（2005）

③ 小方草捆捡拾装运机械。

A. 捡拾抛捆叉。捡拾抛捆叉是一种简易的小方草捆捡拾装载机具，由机梁、油缸和草叉等构成。每分钟可捡拾装载 15～20 个 20 kg 左右的小方草捆，机重不超过 100 kg，结构简单，挂接方便。

B. 链式捡拾升运机。链式捡拾升运机由机架、升运、平台及地轮等构成。我国小批量生产的 9JK-2.7 型草捆捡拾升运机属于此类型，其升运高度为 2.7 m，生产率 250 捆 /h。

C. 皮带式草捆抛掷机。皮带式草捆抛掷机有两种。第一种为装在捡拾压捆机尾部通道末端，把压捆排出的草捆直接抛入拖车，这种抛掷机称为草捆不落地一体化抛掷机，或称为直接抛掷机。第二种单独与拖拉机挂接，从地面捡拾草捆并抛掷入车，称为捡拾抛掷机。它利用上下高速回转的两组皮带，使草捆以 10 m/s 左右的速度脱离机器，借惯性抛入拖车。

D. 集捆装载机。小方草捆的集捆装载，由集捆机和装载机配套作业，集捆机挂接在捡拾压捆机的后面，草捆由捡拾压捆机排出后，先在集捆机平台上按 8×2、12×2 或 12×3 等方式排列成 16、24 或 36 等不同捆数的草捆层。平台排满后，由液压或机械式机构把草捆（保持平台上的排列顺序）放在田间地面。

E. 自动草捆车。自动草捆车有牵引式和自走式两种，是目前小方草捆捡拾装运机械中自动化程度和生产效率较高的机具。由捡拾、输送、第一平台、第二平台、第三平台及液

压系统构成。工作过程分为捡拾、输送、排层、码垛、卸垛。根据机型的大小，每车可装运草捆 40～160 个，最大载重量可达 6 t。一个人操作可完成捡拾草捆、运输卸车码垛全作业过程。

④ 圆草捆装运机械。

A. 前置装载机。它是一种简单的大圆草捆装载机具，可由液压推举式垛草机或其他前置装载机（举起高度 2 m 以上）改装而成。通常采用双齿捆叉，叉齿的距离在草捆直径的 2/3 左右，叉齿长与草捆长度相同或略短。叉齿纵向顺草捆下面插入，举时草捆稳定在两叉齿之间。

另一种前置式圆捆装载机为钳夹叉式。两个叉杆的前端装有齿尖（向内的叉齿），叉杆张开的距离大于草捆的长度，两叉齿对准草捆中心，靠油缸使两叉杆向内收回，两齿尖插入草捆中心，依靠提升缸提起草捆并装到车上。钳夹式圆草捆装载机除完成装载作业外，还可用于拆捆。将草捆升起，抽去捆绳，使草捆与成捆时卷压方向的反向转动，圆草捆便很容易分层脱散。

B. 圆草捆装运车。圆草捆重量一般在 300 kg 以上。生产中常见的装载运输机具有两种形式，即立装式和平装式。立装式和平装式是指草捆在运输车上的停放方式而言，立装式草捆呈垂直状态，垂直排放在车底板上；平装式草捆呈水平状态，横向或纵向依次排放在车底板上。

立装式圆草捆装运车由捡拾装置、车架和液压系统等部分构成。平装式圆草捆装运车有纵向平装和横向平装两种形式。

C. 草垛装运车。草垛装运车是和捡拾压垛机配套的一种快速装载运输专用机具。它由车身、液压系统、行走系统、捡拾传送机构等构成。

（二）人工快速干燥法调制干草工艺

一般可选择晴朗天气的上午刈割饲草，刈割后最好就地摊晒 2～4 h，使水分减少到 60% 以下。牧草人工干燥法基本上分为两种，即通风干燥法和高温快速干燥法。采用通风干燥法一般需要建造干草棚，棚内设有电风扇、吹气机、送风器和各种通风道，也可在草垛的一角安装吹风机、送风器，在垛内设通风道送风，对刈割后在地面预干到含水 50% 的牧草进行不加温干燥。

高温快速干燥法的工艺过程是将切短的牧草快速通过高温干燥机，牧草干燥机常为水平滚筒式，多用石油或煤作燃料，将送入滚筒的空气温度加热到 80℃左右，饲草在滚筒内经 2～5 s，含水量从 70% 左右迅速降低到 10%～15%，出口处温度降低到 10℃。整个干燥过程由恒温器和电子仪器控制。采用高温快速干燥法调制的干草可保存牧草养分的 90% 以上，利用高温快速干燥法制作的干草一般采用价值较高的原料，主要是豆科牧草，如美国干草粉中 95% 以上是由苜蓿制作的。

（三）高水分牧草调制工艺

国外利用无水氨、乳酸接种等方法对不同含水量苜蓿草捆进行处理研究发现，在苜蓿草捆含水量为 20%～25% 和 25%～30% 时，无水氨处理的苜蓿，其干物质、粗蛋白质及中性洗涤纤维量是最高的；乳酸菌处理苜蓿的粗蛋白质含量及可溶性氮含量要低于无

水氨处理的苜蓿。高彩霞等研究了高水分苜蓿干草的贮藏，以尿素和干草防霉剂（主要成分为丙酸、丙三醇、甘油二酯）等处理，发现在贮藏过程中尿素和干草防霉剂均降低了草捆的含水量。干草防霉剂和尿素处理苜蓿干草在贮藏过程中可释放出氨，能杀死真菌，所以可以明显降低微生物的活动。这些研究都对高水分苜蓿干草的调制提供了理论依据。

调制干草的方法应根据实际情况而定，在调制干草时必须防止雨露淋湿。在牧草刚收割时，雨露的浸淋不会对于草质量产生大的影响，但干燥到一定程度后，雨露的浸淋会造成养分的大量损失，干物质损失可达 20%～40%，磷的损失达 30%，氮的损失达 20%。阳光直接照射的结果，使饲草所含的胡萝卜素和叶绿素因光合作用而破坏。为了不损失过多的养分，要防止叶片脱落，在翻晒、堆积和运输过程中都应对叶片加以保护。

在选择使用自然晒制法调制干草时，更应该根据当地气候、场所的实际情况，灵活运用，尽可能避开阴雨天气。在人力、物力、财力比较充裕的情况下，可以从小规模的人工干燥方法入手逐步向大规模机械化生产发展，提高所调制干草的质量。无论是何种调制方式都要尽量减少机械和人为造成的牧草营养物质损失。在干草调制过程中，由于刈割、翻草、搬运、堆垛等一系列手工和机械操作，不可避免地造成细枝嫩叶的破碎脱落，一般情况下，叶片损失达 20%～30%，嫩枝损失 6%～10%。因此在晒草的过程中除选择合适的收割期外，应尽量减少翻动和搬运，减轻机械作用造成的损失。

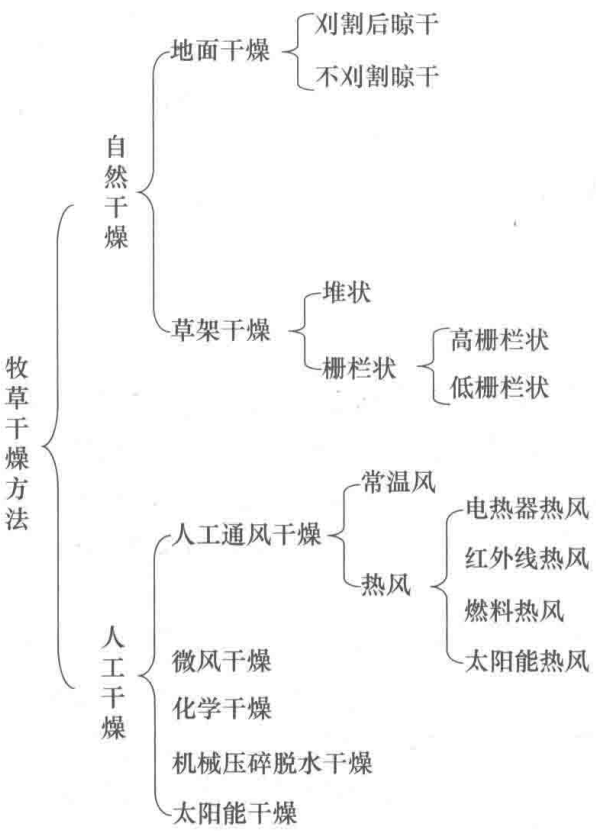


图 3-12 牧草干燥方法示意图

牧草及饲料作物干燥方法的种类很多，但大体上可分为两类，即自然干燥法和人工干燥法，见图 3-12。自然干燥法主要是借助自然的阳光和风调制干草，如地面干燥、草架干燥和发酵干燥等方法均属此类。人工干燥方法是指借助机械设备通过高温和加速空气流动速度调制干草的方法。人工干燥的原理是扩大牧草与大气间的水分势差，使失水速度加快。由于空气的高速流动带走了牧草周围的湿气，并且减少水分移动的阻力。虽然人工干燥法与自然干燥法相比，加工成本高，但是调制的干草品质好。随着科学技术的发展，各种各样的干燥设备得以开发和利用，我国许多大型的饲草生产企业和养殖场都开始采用人工干燥法调制干草。

下面对几种常用的干燥方法进行介绍。

1. 地面干燥法

我国东北、内蒙古东部以及南方一些山地草原区，刈割期正值雨季，应注意使牧草迅速干燥。

牧草刈割后就地干燥 4～6 h，使其含水量降至 40%～50% 时，用搂草机搂成草垄继

续干燥。当牧草含水量降到35%～40%，牧草叶片尚未脱落时，用集草器集成草堆，经2～3 d可达完全干燥。豆科牧草在叶子含水量26%～28%时叶片开始脱落；禾本科牧草在叶片含水量为22%～23%，即牧草全株的总含水量在35%～40%以下时，叶片开始脱落。为了保存营养价值高的叶片，搂草和集草作业应在叶片尚未脱落以前，即牧草含水量不低于35%～40%时进行。

牧草在草堆中干燥，不仅可以防止雨淋和露水打湿，而且可以减少日光的光化学作用造成的营养物质损失，增加干草的绿色及芳香气味。试验证明，搂草作业时，侧向搂草机的干燥效果优于横向搂草机。例如，干燥时期相同，使用侧向搂草机搂成的草垄中，牧草在堆成中型草堆前，含水量为17.5%，全部干燥期间，干物质损失3.64%，胡萝卜素的损失为60.4%；而使用横向搂草机，则分别为29%、6.73%和62.1%。

2. 双草垄速干法

割草后稍微干燥一下，即用搂草机搂成双行的小草垄。经过一定程度干燥后，再用左、右两组联挂的侧向搂草机把两行草垄合为一行。这样可使牧草在草垄中比较疏松，有利于空气流通。此法适于在产草量中等（2 000～3 000 kg/hm^2）的割草场应用。

3. 草捆干燥法

在多雨的季节调制干草时，可以采用草捆干燥法。将刈割后的牧草摊晒至含水量为40%左右时，打成低密度草捆（80～100 kg/m^3），然后草捆和草捆之间间隔着（留好通风道）堆垛，草垛顶部做好防雨设施，继续干燥（图3-13）。也可以打成直径为20～40 cm的松散小圆捆，然后将草捆矗立于地面继续进行干燥。草捆干燥法不仅可以解决雨季调制干草的难题，还可以有效地保存叶片。

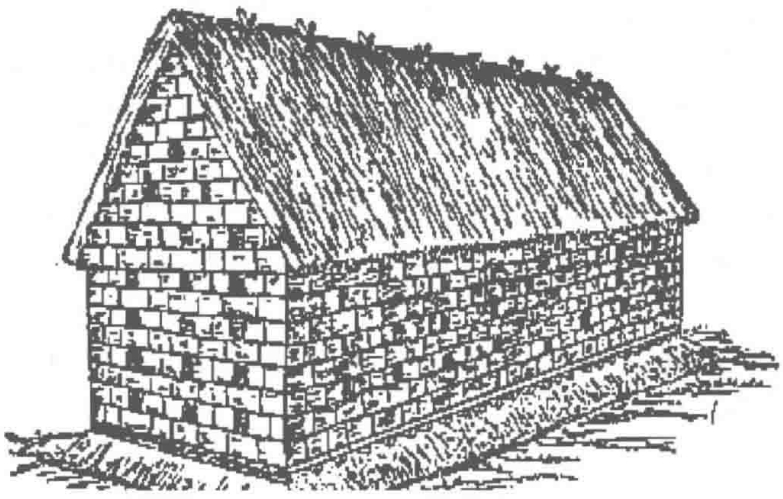


图3-13　设通风道的干草捆草垛

引自贾慎修（1982）

4. 鼓风干燥法

把刈割后的牧草压扁并在田间预干到含水量50%时，装在设有通风道的干草棚内，用鼓风机或电风扇等吹风装置进行常温鼓风干燥（图3-14）。这种方法可有效降低牧草营养物质的损失（表3-17）。

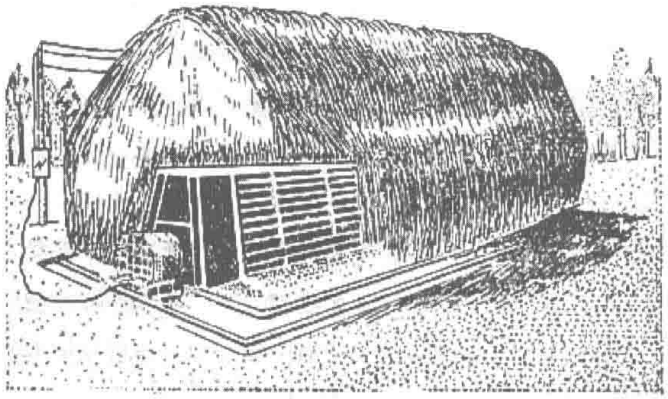


图 3-14 牧草的常温鼓风干燥

引自贾慎修（1982）

表 3-17 采用不同干燥方法的干草化学成分（干物质）

成分	青绿牧草	干草调制地点	
		干草棚	野外地面
粗蛋白质 /%	12.57	10.27	7.97
纤维素 /%	28.16	30.08	34.97
胡萝卜素 /（mg/kg）	141.00	83.00	66.80

注：引自贾慎修（1982）。

5. 高温快速干燥法

高温快速干燥法是将鲜草切短，通过高温气流，使牧草迅速干燥。干燥时间的长短决定于烘干机的种类和型号，从几小时到几分钟，甚至数秒钟，牧草的含水量从 80%～85% 下降到 15% 以下。接着将干草粉碎制成干草粉或经粉碎压制成颗粒饲料。有的烘干机入口温度为 75～260℃，出口温度为 25～160℃，也有的入口温度为 420～1 160℃，出口温度为 60～260℃。最高入口温度可达 1 000℃，出口温度下降 20%～30%。虽然烘干机中热空气的温度很高，但牧草的温度很少超过 30～35℃。人工干燥法使牧草的养分损失很少，但是烘烤过程中，蛋白质和氨基酸受到一定的破坏，而且高温会破坏青草中的维生素 C，对胡萝卜素的破坏不超过 10%。

综上所述，地面晒制的干草，蛋白质和胡萝卜素损失最多，人工机械法调制的干草营养损失最少，架上晒制的损失居于两者之间（表 3-18）。

表 3-18 不同调制方法对干草营养物质损失的影响

调制方法	可消化蛋白质的损失	胡萝卜素含量 /（mg/kg）
地面晒制	20%～50%	15
架上晒制	15%～20%	40
机械烘干	5%	120

注：引自张秀芬（1992）。

在生产中，亦可将刈割后的鲜草在田间晾晒一段时间，当鲜草含水量降至某种程度，