因气候条件不允许继续晾晒下去，或因空气湿度较大，不可能在短期内使水分降低到安全水分时，将这些半干草人工干燥，并加工成所需的草产品。这种方法的优点是，烘干时所耗能量较小，固定投资和生产成本均较低，可提高生产效益。这一方法适合在降水量300～650 mm 的地区使用。

6. 压裂牧草茎秆

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草类，当叶片含水量降低到 15%～20% 时，茎的水分仍为 35%～40%，所以加快茎的干燥速度，就能加快牧草的整个干燥过程。

使用牧草压扁机将牧草茎秆压裂，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，基本能跟上叶片的干燥速度。这样既缩短了干燥期，又可使牧草各部分干燥均匀。许多试验证明，好的天气条件下，如牧草茎秆压裂，干燥时间可缩短 1/2～1/3。这种方法最适于豆科牧草，可以减少日光暴晒时间，减少叶片脱落及养分损失，干草质量显著提高，能调制成含胡萝卜素多的绿色芳香干草。牧草刈割后压裂，虽可造成养分的流失，但与加速干燥所减少的营养物质损失相比，还是利多弊少。

目前国内外常用的茎秆压扁机有两类，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地将草茎压裂。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鲜草汁液的外溢，破坏茎叶形状，因此要合理调整圆筒间的压力，以减少损失。现代化的干草生产常将牧草的收割、茎秆压扁和铺成草垄等作业，由机器连续一次完成。牧草在草垄中晒干（3～5 d）后，便由干草捡拾压捆机将干草压成草捆。

苏联将苜蓿与无芒雀麦混播牧草适时收获后，按不同的办法调制成干草，贮藏 90 d 后测定干草中的营养成分，见表 3-19。

表 3-19　不同处理的苜蓿与无芒雀麦混播牧草干草的营养成分

处理	干物质 /%	粗蛋白质 /%	粗纤维 /%	糖 /%	胡萝卜素 /（mg/kg）
田间干燥	81.9	9.2	30.0	1.8	18
压捆	82.0	13.5	27.1	3.6	60
破碎	81.9	13.1	27.8	3.8	58

压捆和破碎干草的可消化营养物质比散晒干草高 8%～10%。调制破碎干草不仅可提高饲料品质，而且能改善其加工性能。可单独或配合成混合饲料使用。

7. 太阳能干燥法

太阳能干燥的原理是将牧草刈割后在田间进行自然干燥，在含水量降至一定程度（如豆科牧草含水量降至 45% 左右）时进行收集，采用太阳能工厂化干燥，按照一定高度、一定密度将散干草或草捆堆放在太阳能干燥仓内，把用太阳能加热的空气从干燥仓底部吹入，利用加热的空气带走草捆水分而达到干燥的目的。该方法是一种低成本、高品质、干燥效果好的干燥方法。其工艺路线见图 3-15，干燥设备见图 3-16。

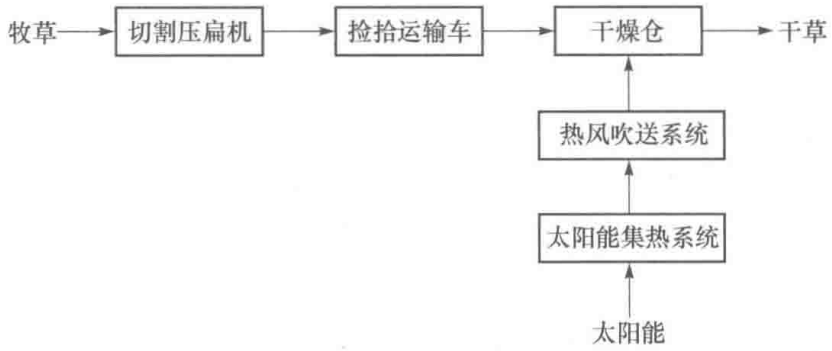


图 3-15 太阳能干燥工艺流程

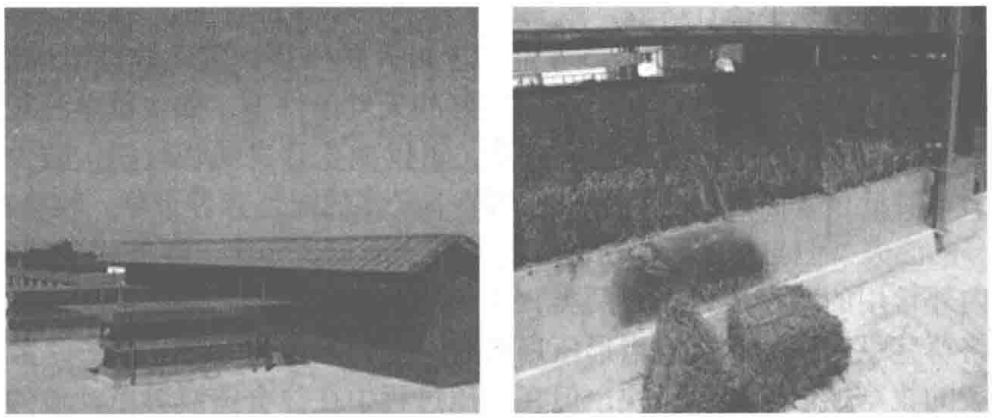


图 3-16 太阳能干燥设备

8. 豆科牧草与作物秸秆分层压扁法（秸秆碾青法）

先把麦秸或稻草铺成平面，厚约 10 cm；中间铺适时刈割的新鲜豆科牧草 10 cm；上面再加一层麦秸或稻草。然后用轻型拖拉机或其他碾压器进行碾压，压至豆科牧草的绝大部分水分被麦秸或稻草吸收。最后晾晒风干、堆垛，垛顶抹泥防雨。此法调制的豆科牧草干草呈绿色，品质好，同时还提高了麦秸和稻草的营养价值。适于小面积高产豆科牧草的调制。

9. 施用化学制剂加速田间牧草的干燥

近年来，国内外研究对刈割后的苜蓿喷撒碳酸钾溶液和长链脂肪酸酯，以破坏植物体表的蜡质层结构，加快干燥。

第三节 青干草收获储运技术

一、天然青干草特性介绍

1. 针茅草

针茅草就是俗称的狼针草，分为贝加尔针茅、大针茅、克氏针茅等，禾科多年生植物。其优势为抗旱耐寒能力强，雨水充足年景可以长到 50～90 cm，所以成熟后的籽实容易传播扩繁。另外，在抽穗以前，含有较多的粗蛋白质，但在结实以后，则急剧下降。粗纤维

的含量偏高，结实以后显著升高，所以掌握好收获时间会提高饲喂价值及经济效益。受狼针草长得高、容易传播及分蘖性强的特点，所以其在呼伦贝尔及锡林郭勒草原上很普遍，主要分布在锡林浩特市周边一些旗县。

2. 五花草

五花草指五花草甸和部分草甸草原过渡带上的牧草。主要是杂类草为主，有地榆、委陵菜、洽草、羊草及菊科、莎草科的植物为主。营养丰富，多以开花结果实植物为主，有很多是中草药成分，例如，乌拉盖德勒哈达那边的芍药谷、百合洼、黄芪、知母等，多分布在锡林浩特东乌旗、乌拉盖、白音锡勒、多伦等地。此类牧草种类繁多，营养丰富，因其秋季结实，因此对牲畜增膘保膘有一定帮助。受此影响，在收获设备及时间上需要精准把握。

3. 羊草（碱草）

禾科多年生植物，又名碱草，主要分布在黑龙江、内蒙古、青海等地，为规模化养殖者大多喜欢采购的牧草。作为根茎繁殖类植物，因其特性在土质肥沃雨水充足情况下，其他植物很难长过碱草。数量很少，但产量很高，一年可刈割 2～3 茬，营养丰富，所有草食动物皆可食用。相对其他牧草，碱草在收获及使用方面更容易操作。

4. 其他草类

其他草类包括草甸打草场、林间打草场、沼泽草甸打草场所产的杂草类。

二、天然青干草收获

1. 收获前期准备工作

（1）关注地方政府下发或公示的《关于打草场管理相关文件》。

（2）做好防火安全培训及演练工作。

（3）根据收获面积做好收获机械准备工作。

2. 收获时间掌握

根据不同种类牧草做好收获排期准备工作，通常顺序如下。

（1）先收获多年连毛坡草甸（一年以上未收获的草场），因为多年未收获，有很多底草夹杂，品质一般，在 7—8 月收获可以补充牧场第三季度库存以解某些规模化牧场燃眉之急。收获连毛坡草时不宜过早集趟，应该用转子式搂草机，不宜用指盘式搂草机或大耙搂，一是对草场破坏严重，另外就是易把多年未收获已经形成肥状的黑草底子搂上，在行业里称为底柴，当捆入这些底柴时如果掌握不好水分或淋雨后很容易发霉变质，甚至滞销，造成牧场牲畜采食下降、产奶量下滑，给产业造成的负面影响极其严重。

（2）然后收获针茅草，针茅草未完全成熟前长出来的一束一束的羊胡子草（针茅草）是众多牧场最喜欢采购的牧草，草质柔软，适口性好。但收获晚了，狼针（即籽实）形成后对牲畜采食率会有影响，牲畜口腔和皮毛会受到伤害，甚至造成牲畜死亡。

（3）其次收获五花草和羊草，这两种牧草如果收获迟了会影响品质及产量，如果遭到霜冻，五花草叶片会脱落。五花草在收获时很难掌握干度，水分超标很容易发霉变质。割

草机放片后根据牧草的稀疏茂密程度，需要晾晒 2～3 d，然后再进行搂趟，集趟后再风干 1～2 d，进行检测水分，水分达到 15% 以下后方可进行打捆，如果过干会造成很多叶片碎落，降低五花草的品质。五花草不适合打大方捆（300～350 kg 高密度捆），一是很难掌握草捆水分，二是大方捆大多是以大牧场采购为主，但五花草多为牧民养羊和肉牛场及马场、动物园喜欢采购的牧草。所以五花草捆的销售半径不超 600 km。

3. 收获和收获设备

（1）割草机。目前国内收获天然青干草大多数用国产普通机刀，既经济又便捷，无太多技术含量，普通农牧民皆可操作。割草标准：根据植被长势稀疏情况，确定割否，如果青草高度不超 20 cm 或过于稀疏就没有割的必要。留茬高度在 6 cm，根据近几年国家及地方草原保护法规定，每打 20 m 留 30 m 的草籽带。如果不是五花草或草密度不是很厚，可以前面割后面直接搂趟子；五花草需要先放片，晾晒后再集趟子，否则会延长打捆时间。

（2）注意事项。防火安全工作，换机刀片时注意安全。

（3）搂草机。分传统耙子搂、指盘式搂草机和转子式搂草机，草趟子薄可以用传统耙子搂，趟子厚用指盘式搂草机或转子式搂草机，转子式搂草机可以调高低，仿形效果比指盘式要好很多，不落草，不会像指盘式搂草机着地狠，把老草底子都搂到草趟里，但近些年随着人们过度刈割，天然草趟比较薄，用转子式搂草机成本相对要高一些。

（4）搂草标准。碱草和针茅等禾科草割倒后晾晒半天就可以集趟子，五花草因为茎粗叶厚，需要 1～2 d 方可集趟，集趟后再经过 1～2 d 晾晒后经测试再打捆。搂草时注意草趟要扶直，调好高度不搂底柴，以便捆草机捡拾干净不丢草。视天气情况，搂起来的草要及时打捆，否则搂起来的干草会被大风瞬间卷走。捆草机中，天然青干草打捆目前市场上以美团爱科赛尔 1844 捆草机和纽荷兰小方捆机为主，草捆重量在 35～40 kg/ 捆，这些草捆基本作为商品草使用，捆草成本在 3.5～4 元 / 捆，牧民自己用也经济实惠，饲喂方便，还有用国产小捆机，成本在 1～1.5 元 / 捆。

（5）捆草标准。当抓一把草用力拧有折断的草并能听到干燥的声音即可以打捆，或用捆草机试捆几捆用测水仪检测，水分不超 15% 即可打捆。打捆时的压力可以根据水分而定，如果 1～2 d 会降雨，不得不打捆，水分相对高那么压力就小一些，打包后按标准及时上垛。如果水分完全合格，可以加大压力打捆，一来捆草省成本，二来运输省成本。五花草打捆迟了会有大量叶片脱落，所以必须掌握好打捆时间。

三、仓储

1. 仓储基本条件

交通便利、通风干燥、避开风口、远离生活区，根据收储半径及产量，仓库面积可大可小。目前市场牧草标准规格为 100 m × 12 m × 4.5 m，檐高不能低于 4.5 m，否则小型叉车或入库装车高度会受限。根据不同区域气候特点，脊高也不一样，风雪大的区域相对脊高要设计得高一些，否则会出现被雪压塌现象。

2. 户外垛放

首先选择合适地理位置码垛，外垛齐里垛实。从一头开始阶梯式向垛尾码放，根据数

量确定垛长开始垛。整个垛呈“金”字塔式。以 35 kg 方捆为例，最下面一层要侧立码放（着地面积小，最后装车前可以把着地面部分进行清理处理），横向 5 捆，第二层顺向平码 7 捆，第三层横向平码 5 捆，第四层顺向平码 6 捆，第五层横向平码 4 捆，第六层顺向平码 4 捆，第七层横向平码 2 捆，第八层顺向平码 1 捆完毕。加盖配坠物的苫布。

3. 储草库垛放

先从库房最里面向外面阶梯式垛起，里垛实外垛齐，最后从库房门口封垛。

4. 安全措施

根据仓库面积配备消防设备设施，干粉灭火器、拍打器、铁锹、防火沙、风力灭火器等。

四、运输

近几年各地区草原保护法规定不允许大型车辆驶入草原深处，只能停在草原路上进行装车。春、秋雨天不能驶入草原装车，那样会严重破坏草原或草原路。在草甸上的草车不能丢落草捆，会影响牧草生长，装车过程中有断绳现象，要把散草装上草车，夹在草捆中一起拉出草场，否则下一年打草会有底柴影响牧草品质。长途运输的草车为了生命及财产安全要及时购买草业保险，确保后视镜及车尾监控要正常使用，行驶过程中不占道，以便后方来车能及时避让。

第四节　干草贮藏技术

干草贮藏是牧草生产中的重要环节，可保证一年四季或丰年歉年干草的均衡供应，保持干草较高的营养价值，减少微生物对干草营养物质的分解作用。干草水分含量的多少对干草贮藏成功与否有直接影响，因此在牧草贮藏前应对牧草的含水量进行判断。生产上大多采用感官判断法或手持式饲草水分测定仪来确定干草的含水量。实验室分析常用烘箱利用减重原理测定干草含水量，最近微波测定法也得到了一定的应用。

一、干草含水量判定

（一）干草水分含量的感官判断方法

当调制的干草水分达到 15%～18% 时，即可进行贮藏。为了长期安全地贮存干草，在堆垛前，应使用最简便的方法判断干草所含的水分，以确定是否适于贮藏。其方法如下。

1. 含水量在 50% 以下的干草

（1）禾本科干草：经晾晒后，茎叶由鲜绿色变成深绿色，叶片卷成筒状，基部茎秆尚保持新鲜，取一束草用力拧挤，呈绳状，而不能挤出水分，此时含水量为 40%～50%。

（2）豆科干草：晾晒至叶片卷缩，由鲜绿色变成深绿色，叶柄易折断，茎秆下半部叶片开始脱落，茎秆颜色基本未变，压迫茎时，能挤出水分，茎的表皮可用指甲刮下，这时

的含水量为 50% 左右。

2. 含水量 25% 左右的干草

（1）禾本科干草：紧握干草束或揉搓时，不发出沙沙响声，易将草束拧成紧实而柔软的草辫，经多次搓拧或弯曲而不折断。

（2）豆科干草：手摇草束，叶片发出沙沙声，易脱落。

3. 含水量 18% 左右的干草

（1）禾本科干草：紧握草束或揉搓时，只有沙沙响声，而无干裂声。放手时草束散开缓慢，但不能完全散开。叶卷曲，弯曲茎时不易折断。

（2）豆科干草：叶片、嫩茎及花序稍触动易折断，弯曲茎易断裂，不易用指甲刮下表皮。

4. 含水量 15% 左右的干草

（1）禾本科干草：紧握或揉搓草束时，发出沙沙声和破裂声（茎细叶多的干草听不到破裂声），茎秆易断，拧成的草辫松开手后，几乎完全散开。

（2）豆科干草：叶片大部分脱落且易破碎，弯曲茎秆极易折断，并发出清脆的断裂声。

（二）微波法快速测定干草含水量

微波是频率在 300～300 000 MHz 的高频电磁波，短时间即可达到所设定的加热温度。在微波烘干系统中，微波能量具有一种内在热量生成能力，可以轻易地穿透样品的内部各层次而直接吸收水分，使水分能快速蒸发。利用微波加热的特点，可以实现物料含水量的快速测定。目前，在土壤、粮食、饲料的水分测定中，有关微波法的研究和应用非常广泛。

国外的研究者利用微波炉法测定玉米青贮饲料及干草含水量，结果表明利用微波法测定干草含水量，精密度和准确度都较高。我国采用微波炉法测定苜蓿和三叶草的含水量，结果表明使用微波炉法测定的含水量与经典烘箱法的测定值间符合性好，精确度高，准确性好。

微波炉测定含水量仅需微波炉和天平即可实现对干草含水量的迅速测定。用微波炉将干草烘干数分钟直至重量不再变化，计算前后的重量差，即可得到含水量。对苜蓿和三叶草的试验表明，每个样品的测定时间仅为 4～5 min，样品量仅需不足 30 g。

另外一种更为简单的方法就是双手分别抓住一束干草的两端，用力拉。如果一次就拉断了，说明干草可以进行堆垛作业了，否则还需要进行继续晾晒。对于不同的贮藏方法，要求干草的含水量不同。

二、干草贮藏技术

1. 散干草贮藏技术

（1）技术描述。散干草通常露天堆垛，当调制的干草含水量降低为 15%～18% 时，即可进行堆垛。常见堆垛形式为长方形垛和圆形垛两种，长方形垛一般宽 4～5 m，高

6～6.5 m，长不少于 8 m；圆形垛一般直径为 4～5 m，高 6～7 m。散干草的堆垛作业可由人工操作或干草堆垛机（悬挂式或液压式）完成。应选择地势干燥处作为垛址。草垛应以树枝、秸秆或砖块等干燥且透气性好的材料作底，厚度不少于 25 cm。垛底周围设置排水沟，通常深 30 cm，底宽 20 cm，沿宽 40 cm。垛草时应分层进行，且逐层压实。垛顶可覆盖劣质草，并用重物压实或以绳索捆住垛顶，以防风害。

（2）优点。经济节约。

（3）缺点。易受雨淋、日晒、风吹、虫鼠和微生物等不良条件影响，使干草褪色，营养成分流失，甚至造成干草霉烂变质。

（4）注意事项。长方形垛的窄端应对准主风方向，水分较高的干草应堆在草垛四周靠边处，便于干燥和散热；在雨雪较多地区，草垛从上至下应逐渐放宽，垛顶中部隆起高于四周，以减轻雨淋和利于排水。在气候潮湿地区，垛顶应凸起；在干旱地区，垛顶坡度可稍缓，应适当增加草垛高度以减少干草堆藏中的损失。

2. 打捆干草贮藏技术

（1）技术描述。草捆通常垛藏于干草棚、专用仓库或露天堆垛，顶部加防水层。常见的垛型为长方形，垛宽 3～5 m，高 18～20 层，长 20 m 左右。底部草捆立铺，且与干草捆的宽面相互挤紧，窄面向上，整齐铺平，不留通风道或任何间隙。其余各层堆平，上层草捆之间的接缝应和下层草捆之间的接缝错开。底层草捆应从第二层草捆开始，可在每层中设置 25～30 cm 宽的通风道，在双数层开纵向通风道，在单数层开横向通风道。垛顶部呈带檐双斜面状。简单的草棚只有支柱和棚顶，四周无墙体，成本较低，如为露天贮藏，垛顶部应覆以 1～2 层塑料布、苫布或草帘等遮雨物。

（2）优点。干草垛体积小，密度大，贮藏方便；经济节约；营养物质损失少。

（3）缺点。堆垛方法不当，容易塌陷漏雨。

（4）注意事项。对贮藏的草捆要指定专人负责；定期检查和管理，防止垛顶塌陷漏雨和垛基受潮；要特别注意防火。

3. 二次压缩打捆

草捆在仓库中贮藏 20～30 d，当含水量降低到 12%～14% 时，即可进行二次压缩打捆。两捆压缩为 1 捆，其密度可达 350 kg/m^3 左右。方草捆的优点是便于贮藏、运输和商品化，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。因此饲喂时，往往需要用电锯或手据将草捆锯开。

干草二次打捆由打捆机械完成，打捆机械主要有捡拾捆草机、固定式高密度捆草机（图 3-17）。较普遍的方草捆大小为 35.6 cm × 45.8 cm ×（81.3～91.5）cm，草捆密度为 160～300 kg/m^3；圆草捆长为 100～170 cm，直径为 100～110 cm，草捆密度为 110～250 kg/m^3。大圆草捆的质量最大可达 850 kg，常见的质量为 600 kg。二次高密度打捆机固定作业是将中等密度的方捆或捡拾压捆机的成捆干草进行二次压缩。苜蓿草捆经二次高密度压缩后，其密度可由原来的 150～180 kg/m^3 提高到 320～380 kg/m^3。

（1）优点。机械作业效率高；缩减牧草所占的面积，便于搬运和贮藏；降低了营养损失，能够保持干草的色泽和香味。



图 3-17 固定式高密度打捆机

（2）注意事项。打捆时牧草含水量要适中，水分过高易导致发热或霉变，水分过低不易打捆成型，且会造成叶片过量脱落损失，草捆在干燥处堆放，便于通风晾晒和防雨露淋湿。

4. 安全贮藏时间的确定

通过对苜蓿进行 4 种不同的处理（CK、WL、WH、FC）可知（表 3-20），苜蓿在贮藏 360 d 时仍能达到 2 级干草标准，超过 360 d 后，品质会有所下降，即 360 d 为苜蓿的安全贮藏时间（表 3-21）。

表 3-20 苜蓿干草捆贮藏试验设计方案

处理	方法
CK	田间晾晒过程中未做任何处理，晾晒至干草含水量 28%～30%，添加 NA
WL	低水分对照处理，即干草含水量 17%～18%
WH	高水分对照处理，即干草含水量 28%～30%
FC	压扁结合喷施 2.5% 的碳酸钾进行田间晾晒，晾晒至干草含水量 28%～30%，添加 NA

注：引自张晓娜（2013）。

表 3-21 不同处理贮藏苜蓿 360 d 营养成分含量变化（DM） %

处理	CP	EE	CF	CA	NDF	ADF	NFE	TDN
WH	9.31	2.14	38.75	9.37	59.74	47.57	40.43	50.06
WL	13.71	2.27	37.53	9.14	52.94	44.18	37.35	50.97
CK	16.71	2.31	37.19	14.29	51.69	42.15	29.5	55.76
FC	18.17	2.57	35.41	13.82	51.13	39.54	30.03	58.19

注：引自张晓娜（2013）。

第五节 干草的利用

调制干草的目的是为家畜提供营养，由于家畜种类和生产目的不同，对营养物质的需求也不尽相同，因此，在实际生产中，我们需要根据不同的家畜选择不同的干草饲喂配方，

从而达到饲喂效益的最大化。

一、牛的干草利用

干草是奶牛最重要的饲草，干草的日饲喂量可达奶牛体重的3%以上，干草水分含量应少于18%，以防霉变。优质干草可满足和维持每天生产9.1 kg牛奶的需要。在实际生产中常用的干草有紫花苜蓿、三叶草等豆科牧草和羊草、燕麦、黑麦草等禾本科牧草，其中，豆科干草质量最好，它不仅是蛋白质、胡萝卜素、钙和其他矿物质的优质来源，而且质地柔软、有芳香味、适口性好，但饲喂要适当，过量会破坏饲料中钙、磷的平衡，会抑制奶牛发情。为了提高定量的饲草饲料价值，并将其经济、有效地转化为畜产品，必须对不同阶段牛提供不同的饲草饲料供给方案。

1. 奶牛

奶牛的饲草饲料供给包括犊牛、青年牛、泌乳奶牛。

（1）犊牛。犊牛出生后1周即可进行训练，即在牛槽或草架上放置优质干草任其自由采食，并及时补喂干草从而促进犊牛的瘤胃发育和防止舔食异物。犊牛出生后20 d就可在混合精饲料中加入幼嫩的青草或切碎的胡萝卜、甜菜和南瓜等。最初每天可以加10～20 g，满5周龄后，干草饲喂可占谷物混合料的50%。随着犊牛年龄的增长，到60 d时，饲喂量可达1～1.5 kg，青贮料可以从60 d开始供给，最初每天可以供给100 g，3月龄可供给1.5～2 kg。

（2）青年牛。断奶至12月龄的青年牛，要尽可能地利用优质青粗饲料，6～10月龄是育成母牛发育最快的时期，建议日粮中粗饲料占75%，谷物饲料占25%。12～15月龄期间，粗饲料应饲喂苜蓿或干草，其中干物质占50%～65%，玉米青贮占35%～50%，育成牛日粮中干物质饲喂应达其体重的4%。受孕至第一次产犊阶段，日粮不宜过于丰富，应以品质优良的青草、干草、青贮料和块根为主，精料可少喂或不喂。

（3）泌乳奶牛。泌乳奶牛的日粮中应含有优质青绿多汁饲料和干草，一般由优质青粗饲料供给的干物质占整个日粮的60%左右。日粮一般应含有2种以上的粗饲料（干草、秸秆），2～3种多汁饲料（青贮、块根、块茎类）和4～5种精饲料。全价日粮中优质干草或干草粉应占15%～20%、青贮饲料占25%～30%、多汁饲料占20%、精饲料占30%～40%。

2. 肉牛

优质粗饲料是肉牛饲养的主要饲料，常用粗饲料包括干草、青贮料和加工处理的秸秆等。以干物质计算，肉牛日粮中粗饲料的比例最低为15%，在育肥过程中必须保证相对数量的粗饲料，否则牛采食量会显著下降。一般情况下，在育肥前期要饲喂大量的粗饲料，应占日粮的55%～65%，育肥中期应占45%，育肥后期应占15%～25%。

二、羊的干草利用

羊在不同生产目的和阶段下的营养物质需求存在一定的差异，在实际生产中，常根据不同营养需要配制饲料供给，包括种公羊、繁殖母羊、育成羊、羔羊以及育肥绵羊的饲草饲料供给方案。

1. 种公羊

种公羊在配种前 1～1.5 个月，日粮由非配种期增加到配种期的饲养标准。苏联的种公羊在放牧期除了要保障优质的草场放牧外，每只日补饲 0.6～0.8 kg 的精饲料。在舍饲日粮中，禾本科干草占 35%～40%、多汁饲草占 20%～25%、精饲料占 40%～45%。在非配种期，除了放牧采食外，种公羊还应补给一定的能量、维生素、蛋白质和矿物质饲料。

2. 繁殖母羊

我国东北地区给细毛羊和半细毛羊每天每只补饲精饲料 0.2～0.3 kg，干草 1.5～2.0 kg。苏联对于在泌乳前期 6～8 周的母羊的日粮搭配是：各种禾本科和苜蓿干草 1.3 kg、玉米青贮料 2.0 kg、大麦碎料 0.6 kg，另外添加矿物质、食盐和维生素。泌乳后期，对产羔母羊每只每日补饲精饲料 0.2 kg、青贮饲料 1～1.5 kg、豆科干草 0.5～1.0 kg、胡萝卜 0.2～0.5 kg，并喂给豆浆和饮用温水。产双羔母羊，补饲精饲料增加到 0.3～0.4 kg。

3. 育成羊

羔羊 10 日龄就可以训练吃草料，以刺激其消化器官的发育。羔羊 20 日龄后，可随母羊一起放牧。1～2 月龄后，羔羊每天喂 2 次，补精饲料 150 g，3～4 月龄，每天喂 2～3 次，补精饲料 200 g。饲料要多样化，最好用豆饼、玉米、麸皮等 3 种以上的混合饲料和优质干草，其中优质干草以苜蓿、青刈大豆为主。胡萝卜切碎与精饲料混喂，羔羊最喜食。

4. 育肥绵羊

对于体重 30 kg 以上的育肥绵羊，其日粮组成可采用豆科干草 0.34～0.45 kg、青贮玉米 0.68～1.14 kg、谷物 0.57～0.79 kg、蛋白质补充料 0.05 kg。在 10～60 d，淘汰的产毛羯羊的育肥羊的配方可采用：玉米 43%、亚麻饼 13.4%、麦麸 10.7%、食盐 0.4%、苜蓿粉 21.5%、小麦麸壳 11%。另外，每 50 kg 的饲料中需加入 1 g 的微量元素添加剂。

三、马的干草利用

粗饲料应是优质的干草，最好是优良的禾本科和豆科的混合干草，豆科干草应占 1/3～1/2。在配种期及早喂给青绿多汁饲料，如旱生的野草、野菜，人工栽培牧草等，有利于精子的产生。在放牧期，可用刈草袋的 1/2 或全部日干草饲喂量，早春没有青绿饲料，可喂给胡萝卜。精饲料应因地制宜，杂粮地区以谷类为主，再选用一些适口性强、对精液形成有良好作用的饲料，如油饼、玉米和高粱等混合喂给。在配种期还应喂给食盐等矿物质饲料和鸡蛋、骨肉粉等动物性饲料。非哺乳期的种母马和休闲的成年马只用优质干草饲喂即可。每 100 kg 的马需要 1～2 kg 的优质干草，多叶的、有芳香味、没有其他杂草和杂物的优质干草是首选。粗硬不洁、难以消化的饲料会造成马肠道紊乱，甚至引起消化性疾病。此外，较符合马肠胃的饲料不要频繁改变，以免其影响消化，若要更换，应逐步实施。

四、鹅的干草利用

鹅能够充分地利用新鲜饲草、优质干草等较单一的日粮，新鲜饲草所含的营养成分齐全，蛋白质、矿物质和维生素含量丰富，木质素含量低，适口性好，消化率高，且成本低

廉，是鹅的主要饲料来源。由于新鲜饲草的水分含量较好，营养浓度较低，雏鹅、肉用仔鹅需要补充精饲料。青绿多汁饲草与精饲料的饲喂比例大致为 1.5∶1，肉鹅∶雏鹅为 1∶1。豆科和禾本科干草，野生饲草的干草以及品质较好的农作物秸秆产品都可以作为鹅的日粮组成部分。这类饲草主要作为冬季饲料使用，有条件的地方可与含水量多的青绿饲料或多汁饲料搭配饲喂，效果最好。

五、兔的干草利用

兔日粮中能量、粗蛋白质、粗纤维及钙、磷的摄入要平衡，使兔既能表现出应有的生产性能，又能有效地利用饲料。兔子日粮中粗纤维的含量：幼兔应为 10%～12%、成年兔应为 14%～17%。当日粮中粗纤维含量过低时，兔易发生消化紊乱、生长迟缓，甚至死亡；粗纤维含量过高时，会加重消化道负担，影响大肠对粗纤维的消化，削弱其他营养物质的消化和吸收利用。

兔属于草食动物，除采食部分精饲料外，日粮应以新鲜饲草、树叶等多汁饲料和优质干草为主。对兔而言，夏、秋季应以青绿饲料为主，冬、春季以干草、草块和块茎类饲料为主。大部分青绿饲料具有良好的适口性，蛋白质营养价值高，易消化吸收。此外，青绿饲料除维生素 D 外，其他维生素的含量均很高。

几乎所有的栽培饲草都可以作为兔的饲料。价值最高的是豆科饲草，如紫花苜蓿、白三叶、红三叶、紫云英等，含蛋白质高且适口性好。常用的多汁饲料有胡萝卜、大萝卜、马铃薯、西葫芦、甘蓝、大白菜等。多汁饲料单独饲喂时，由于其纤维少、淀粉和水分含量高，容易引起兔消化异常，因此需要与精饲料混合饲喂。此外，由于其蛋白质含量相对较少，也需与豆科饲草同时饲喂。

六、猪的干草利用

猪的营养需要根据猪的类型、生理阶段、性别、年龄以及生产目的不同而异。从猪的生理活动而看，其营养需要可分为维持和生产两部分。猪比其他家畜生长发育快，对各种营养物质的需求量大，要求质量高，不但要求饲料含有丰富的蛋白质、矿物质、维生素等营养要素，还要求各种氨基酸的比例适中。

作为单胃动物的猪也能利用高品质的草产品，获得较高的生产性能。养猪生产中最常用的是豆科饲草、脱水苜蓿粉和脱水草颗粒等。相对于直接饲喂苜蓿草粉，草颗粒的饲料转化率可提高 25%，其他饲料如籽粒苋、菊芋、苦荬菜等多汁饲料，黑麦草、黑麦和无芒雀麦等禾本科饲草和青贮饲料等在一定程度上也可使用。

豆科饲草除了提供丰富的蛋白质外，还是很好的钙源，同时还可提供所需的大多数维生素。对于生长肥育的猪，苜蓿可以占其日粮干物质的 5%～12%，苜蓿草粉含有多数维生素和未知生长因子，是在生猪养殖中最常用的饲料形式。试验表明，猪能够利用苜蓿粉含量达 50% 的日粮，但是所占比例过高会降低猪的增重和饲料利用效率。

禾本科饲草黑麦、无芒雀麦和多花黑麦草等可作为猪的青饲料，好的玉米、禾本科和豆科饲草青贮饲料配以适量的补充料，可作为怀孕母猪和青年母猪日粮的重要组成部分。用青贮饲料饲喂母猪的优点是不仅能降低仔猪的成本，而且能防止母猪长得过肥。粗纤维

不足使母猪容易发生便秘和胃溃疡等疾病，增加生产成本。生产中常将新鲜多汁饲草切成1～2 cm 的小段，根据含水量的不同添加 10%～40% 的精饲料（常用的是麦麸和玉米）进行混合青贮，控制水分在 60%～70% 就可以成为猪喜食的青贮饲料。8 月龄以上的猪，消化系统已经发育完成，可以利用相对较多的饲草。怀孕母猪的能量需要比育肥猪稍低，怀孕期适量的饲草能够节省大量的精饲料，节约养殖成本。

七、鸡的干草利用

家禽的主要饲草是脱水苜蓿粉，主要用处是作为肉鸡皮肤、腿和鸡蛋蛋黄色素的主要来源。由于苜蓿粉的能量含量相对较低，因此用量限制在 5.0% 以下，超过 5.0% 将显著增加肉鸡单位增重的能耗。家禽日粮中最常用的苜蓿粉含粗蛋白质不小于 17%，粗纤维不大于 27%。另外，也常用到营养价值更好的苜蓿叶粉，粗蛋白质大于 20%，粗纤维低于 18%。鸡是单胃动物，饲料中粗纤维的含量不能过高，超过 10% 就会造成其生产性能的下降。

思 考 题

1. 简述干草含水量的测定方法。
2. 将散干草贮藏方法和打捆干草贮藏方法的优缺点进行对比分析。

参 考 文 献

[1] 张秀芬. 饲草饲料加工与贮藏. 北京：中国农业出版社，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. 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.

[10] 陈鹏飞，戎郁萍，玉柱，等. 微波炉测定紫花苜蓿含水量的初步研究. 中国草地学报，2006，28（3）：53-55.

[11] 陈卢亮，玉柱. 微波炉测定三叶草含水量的研究. 草地学报，2007，15（5）：465-468.



第四章　成型草产品加工与贮藏技术

【学习目标】

- 了解成型草产品在畜牧业生产中的意义。
- 掌握成型草产品加工贮藏原理。
- 掌握颗粒饲料、块（饼）状饲料、砖形饲料和膨化饲料的加工工艺。
- 了解成型草产品加工机械。
- 掌握成型草产品的贮藏技术。

第一节　成型草产品在牧业生产中的意义

畜牧业生产和牧草饲料加工过程中，为了提高饲料报酬、改善适口性、便于贮藏运输和产业化生产，越来越多地采用牧草饲料固型化加工方式。干草粉、草段、秸秆和秕壳等原料单独或与粮食籽粒、配合饲料混合加工成颗粒状、块状、饼状及片状等固型化的产品即为成型草产品，其中以颗粒状加工方式应用最广泛。

现代饲料业的发展促进了成型饲料的生产加工，国际上在20世纪20年代后期开始生产并使用颗粒饲料。我国在20世纪70年代，引进了成型饲料生产设备，开展颗粒饲料的研制生产工作，先后在安徽蚌埠米厂、上海虹桥和桃浦等地兴建了3个颗粒饲料生产车间，加工生产的槐树叶粉颗粒饲料，曾远销日本、新加坡等国，起初由于饲养规模小，动力费用高，颗粒饲料推广较慢。随着畜牧业的快速发展，我国成型饲料得到了快速发展，目前成型制粒已成为家禽饲料、水产饲料、观赏动物等饲料的主要生产方式，收到了良好的经济效益和社会效益。近年来，我国成型草产品加工技术取得了大的突破，相关机械设备完全自主化，越来越多的草产品以成型方式生产加工。以牧草、作物秸秆、非常规饲草等饲料资源为原料开发的全价型颗粒饲料，由于其节省劳力、良好的饲喂效果已经被大中型集约化养殖场采用。

成型草产品生产工艺条件的要求较高，生产成本有所增加，但由于它具有许多优点，经济效益显著，已得到了广泛的应用和发展。

一、便于贮藏、包装、运输，减少营养损失

成型草产品加工后具有一定的形状、大小、硬度和光滑的表面，其体积比粉状、散料减少33%～50%，对于秸秆类粗饲料其体积缩小的程度是原来的10%～14%，可减少仓容，有利于贮藏、包装和运输。成型草产品的散落性好，吸湿性小，贮藏稳定性高，不易发霉变质。

粉状饲料形式则易受外界环境的影响，营养成分发生改变，草粉在贮存过程中易在水分和热的作用下分解，即使装在三层纸袋中，贮存 9 个月，胡萝卜素也将损失 65%，蛋白质损失 1.6%～15.7%，青草粉的容重很小，为 0.18～0.2 t/m^3，增加了贮运费用。如果将草粉压制成成型饲料，在压粒时添加抗氧化剂，这种情况就会改善，草颗粒贮存 9 个月后胡萝卜素仅损失 6.6%，蛋白质损失 0.35%；容重提高到 0.55～0.65 t/m^3（细粒状配合饲料为 0.50 t/m^3，粗粒状配合饲料为 0.65 t/m^3）。

二、提高畜禽适口性，增加采食量

成型草产品密度大，体积减小，营养浓度高，加工工艺制粒熟化后，原料成分（玉米、豆粕、牧草和秸秆）散发天然的香味，适口性明显增加，动物的采食量也显著增加。同时节约了动物采食所需要的时间，降低了能量消耗。

粉、散状和 TMR 饲料在饲喂过程中，常常因各组分的密度、容重和颗粒大小等不同而发生自动离析分级现象，导致混合均匀度下降，影响饲养效果。成型草产品大小均匀，减少向空中、水中飞散粉尘而造成的损失和残留在器具上的浪费。特别是鱼虾饵料，粉状饲料飞散到水中的损失可达 20%～30%，飞散的饵料腐败后会污染水质，造成巨大的损失。

三、便于动物消化吸收，提高饲料利用率

成型草产品加工过程中，由于水分、压力和热力的综合作用，淀粉糊化、蛋白质变性、纤维素和脂肪结构形式有所变化，减慢牧草饲料在消化道的通过速度，增加消化时间，从而使牧草饲料的消化率提高 10%～12%。饲料制粒过程中因蒸汽处理及机械作用，破坏了谷粒糊粉层细胞的细胞壁，使细胞中的有效成分释放出来，便于畜禽消化吸收利用。通过制粒碳水化合物会发生部分裂解，淀粉糊化，能量利用率提高。此外，饲料中磷的有效性和某些氨基酸的利用率也因制粒而改变。

四、消毒杀菌，减少疾病发生

粉料由于粉尘多，给病原微生物提供了舒适的生存环境，带有病原微生物的粉尘进入畜禽的呼吸道会诱发疾病，而饲喂成型颗粒饲料的饲养场空气粉尘较少。经高温高压处理，饲料中某些有毒有害物质或营养抑制因子（如胰蛋白酶抑制因子、血球凝集素等）因热作用而被破坏，同时制粒过程中产生的高温可以有效杀灭大部分病原微生物和寄生虫卵，大大降低了动物通过饲料传染疾病的概率。颗粒饲料成分相对稳定，可避免由于饲料变换频繁所导致的动物消化机能紊乱，克服了水拌粉料剩料夏季发霉、冬季冰冻现象。实践证明颗粒料使家兔的腹泻、口腔炎和异食癖明显减少。

五、扩大饲料种类和来源

许多不易利用的饲料资源如许多果树修剪时的叶、枝条，农作物副产品、秕壳、秸秆以及各种树叶等经过合理的饲料配制，加工成成型草产品饲喂畜禽，可成为家畜所喜食的饲草，扩大饲料种类和来源。

六、提高工作效率和经济效益

成型草产品可以直接饲喂畜禽，降低了饲养员的工作强度，提高了工作效率。以羊场为例，过去饲养员加工饲料时要粉碎、搅拌、运输至羊舍再饲喂，一人只能养300～500只。采用颗粒饲料，直接送至羊舍，一人可饲养1 000只，如果采用自动喂料，可饲养2 000只。同时羊生长速度快，缩短饲养周期，提高圈舍利用效率。

颗粒饲料的加工是在粉料的基础上又增加的一道工序，加工费用明显提高。但使用颗粒饲料是否有利，需要估测颗粒饲料的经济效益。如果只考虑颗粒饲料在提高饲料转化效率上的直接效益，而不考虑其在贮藏、包装、运输等方面的有利因素作为决定采用制粒工艺的“安全因子”，只要制粒工艺所增加的成本不超过因颗粒饲料所提高的饲养效果而增加的产品产值，颗粒饲料就是有经济效益的。

第二节　成型草产品加工与贮藏原理

一、成型草产品的种类

成型草产品可分为颗粒饲料、草块（饼）状饲料、砖形饲料和膨化饲料等几种类型。

（一）颗粒饲料

颗粒饲料是将饲料配方中的各种原料粉碎，混合均匀后，通过机械压缩且强制通过模孔聚合成型的饲料。这种饲料与粉状饲料相比，具有密度大、体积小、适口性好、养分分布均匀等优点，在世界发达国家和国内大中型集约化养殖场已被广泛采用。颗粒饲料产品要求形状均匀、硬度适宜（或用坚实度表示）、表面光滑、碎粒与碎块少于5%，产品安全贮藏的含水量低于12%～14%等。市场上颗粒产品大小取决于两方面的因素：一是饲养动物的采食行为及年龄，如仔猪更喜欢小颗粒饲料，1～7日龄小鸡颗粒饲料的直径为1.0～2.0 mm，7～30日龄为2.2 mm，30日龄以上为3 mm左右，成禽4～6 mm；绵羊、犊牛6～8 mm，大家畜10～18 mm，兔5～6 mm，鱼、虾4～12 mm；二是制粒机的生产效率，采用模孔直径大和较薄的环模生产颗粒饲料效率高、能耗小，但颗粒直径较大。

颗粒饲料主要有硬颗粒、软颗粒、膨化饲料和膨胀饲料等种类。

硬颗粒饲料是用压模方法将粉状饲料挤压成的粒状饲料，主要用于饲养鸡、鸭、兔、猪、牛、马、羊、鸟、鱼等。硬颗粒在制粒过程中加水（蒸汽），原料含水量一般为17%～18%，其密度为1.3 g/cm^{3}左右，成品经冷却后即可包装贮运。

软颗粒饲料是液体含量较高的颗粒饲料，主要用作某些鱼类和特种动物的饲养。软颗粒原料含水量在30%以上，其密度为1.0 g/cm^{3}左右，一般边加工边饲喂，经干燥后即可贮运。

膨化颗粒饲料，又称漂浮饲料，是经调质、增压挤出模孔和骤然降压过程而制得的膨松颗粒饲料。膨胀颗粒是饲料经调质、增压挤出及骤然降压，使其体积膨大，制成蓬松的规则颗粒。饲料经膨胀加工或膨化制粒后，消化率显著提高。据报道，谷物经膨化后，猪对饲料的消化率可提高5%～15%，豆粕消化率可提高2%～6%，鱼类饲料消化率可提高

10%～35%。一些低营养价值原料，经膨化或膨胀加工后，显著提高消化率，进而可充分利用饲料资源，降低配方成本。

（二）草块（饼）状饲料

1. 草块

草块的加工分为田间压块、固定压块和烘干压块 3 种类型。田间压块是由专门的干草收获机械（田间压块机）完成的，能在田间直接捡拾干草并制成成型的块状产品，密度为 700～850 kg/m^3，草块大小为 30 mm × 30 mm ×（50～100）mm。田间压块要求干草必须达到 10%～12% 的水分含量，而且至少 90% 为豆科牧草。固定压块是由固定压块机强迫粉碎的干草通过挤压钢模，形成大约 32 mm × 32 mm ×（37～50）mm 的干草块，密度为 600～1 000 kg/m^3。烘干压块由移动式烘干压块机完成，由运输车运来原料，并切成 20～50 mm 长的草段，由传送带将其输入干燥滚筒，使水分由 75%～80% 降至 12%～15%，干燥后的草段直接进入压块机压成直径为 55～65 mm、厚约 10 mm、密度为 300～450 kg/m^3 的草块。

2. 草饼

草饼以牧草为原料，不经粉碎直接压制成直径或横切面大于长度的干草饼。制作干草饼是在田间条件下，鲜草收获后直接利用干草饼生产机制饼。如卷扭制饼机可将含水量 80% 的牧草制饼，但制饼的牧草以含水量 35%～40% 为最适宜，草饼容重约 800 kg/m^3。有些制饼机对纤维素含量高、蛋白质和糖分含量低的原料不易压成坚实草饼。田间直接把牧草压制成饼，可免受不良气候的影响，减少营养物质的损失，是加工青绿饲料的先进工艺。为了获得全价性饼状饲料，制饼过程中可以加入糖蜜、尿素、谷物等原料及添加剂。

（三）砖形饲料

饲料舔砖是指把用于牛、羊补饲的蛋白质饲料、尿素、矿物质、精饲料、草粉或秸秆粉，在保护剂、黏结剂的作用下，进行多级混合，压制成砖块状营养添加剂饲料，供牛、羊舔食。它是一种高能量、高蛋白质的强化饲料，可以补充牛、羊冬季或早春饲料缺乏时的营养不足，从而促进生长发育，对母畜产仔、泌乳均有好处。饲料舔砖要有一定的硬度，以防止牲畜舔食过量。实践证明，盐砖可提高羊的产毛抓绒量，防止反刍动物异食癖，提高羔羊初生重，促进其生长发育，减少冬春季节体重下降速度，提高奶牛的产奶量等。按营养特性，舔砖分为矿物质舔砖和蛋白质舔砖，前者主要由食盐、钙及矿物质预混合饲料及少量糖蜜组成，后者主要由非蛋白氮、粗蛋白质、糖蜜、部分谷物能量饲料及复合预混合饲料组成。为避免牛、羊舔食过量而中毒，加入适量的草粉或秸秆粉，降低采食量。

（四）膨化饲料

膨化饲料是将原料处于高温、高压、高剪切力、高水分的环境中，通过连续混合、调质、升温增压、熟化、挤出模孔和骤然降压后形成的一种膨松多孔饲料。鱼用饲料采用膨化加工以后能漂在水面上，有利于鱼类觅食，减少了散失浪费和水质污染。

膨化改变了饲料原料中各成分的物理结构和化学特性，挤压膨化可使物料淀粉糊化，蛋白质变性，破坏一些天然存在的抗营养因子和有毒物质，同时高温杀灭物料中的微生物，使饲料在贮藏期间能够发生霉变的各种酶钝化。试验表明，高温高压短时膨化农作物秸秆的加工方法基本上不损失秸秆的粗蛋白质和粗脂肪，同时提高秸秆的采食量和利用率，克服秸秆体积大、不宜长期保存的缺点，具有社会环保效益。膨化饲料对不耐热的营养成分有破坏作用，而且能耗较大，加工成本较高。膨化饲料多用于养鱼，也用于提高粗饲料的营养价值，如稻壳膨化，或用于生产补充饲料等。

二、成型草产品加工原理

（一）颗粒饲料的成型原理

压粒是一个挤压式的热塑过程，粉料是一种流动性不连续的粉粒松散体，在压力作用下粉料相互移近并重新排列，空隙间气体不断排出，使粉料的间隙不断减少，粉粒越密集，其连接力越大，最后压制成具有一定密度、一定强度的颗粒饲料。关于维持颗粒成型的结合力极为复杂，至今尚不完全清楚。目前一般分为 3 种，即一次结合力（烧结），二次结合力（压缩）和三次结合力（胶结料）。颗粒本身就是靠这 3 种结合力而维持，一次结合力和二次结合力是物料中固有的，但可以通过物体间距离靠近而加强。三次结合力是在制粒中施加给物料的。饲料的制粒，通常是添加少量的水分，通过强压挤出而制粒。

1. 常规颗粒成型原理

以环模制粒机为例，在颗粒饲料成粒过程中，物粒在颗粒机内的存在状态可分为 3 个区域，即供料区、压紧区和挤压区。

（1）供料区。在这个区域，物料几乎不受任何机械外力的作用。但由于环模在转子带动下做逆时针旋转，物料受到离心力的作用，紧贴在环模的内表面，又由于相互之间摩擦力的作用，跟着环模一起旋转。物料密度为 0.4～0.7 g/cm^3。

（2）压紧区。在此区域内，物料开始接受模具的挤压作用，粉粒间产生相对运动，粉粒逐渐接近，空隙逐渐变小，产生不可逆的塑性变形。物料密度达到 0.9～1.0 g/cm^3。

（3）挤压区。随着模具的转动，物料进入挤压区，进入该区后，挤压力急剧加大，粉粒进一步排紧，接触面进一步增大，产生较好的连接。当挤压力继续增加，超过模孔对物料的摩擦力时，物料即被压入模孔。此时物料密度为 1.2～1.4 g/cm^3。由于在挤压区和压紧区内物料开始变形，故二者又总称为变形区。

压辊变形区的角度参数：物料进入变形区后，开始被吸入，随着物料的不断推进，挤压力不断地增加，这种变化过程可以用以下几个角度参数来表示。

（1）物料对压辊的包角 α。是指在变形区内，压辊表面各点与压辊圆心的连线和压模与压辊圆心角间的连线构成的夹角。压辊表面上的各点不同，其包角也是不同的。随着物料的不断推进，包角逐渐减小，物料的密度逐渐增大。

（2）压辊对物料的攫取角 β。是指在变形区内，环模圆心与压辊开始咬入物料时的起点连线并延长过环模的直线和压模与压辊圆心连线形成的夹角。

（3）颗粒挤出角 γ。是指在挤压区内，环模上的弧所对应的角。

（4）α、β、γ 的影响。3 个角越大，颗粒饲料的生产性能越高，其角均随着压辊和压模直径比值的增加而增大。

粉状物料在制粒过程中承受的挤压力来自压模和压辊的转动，随着压模的转动，压辊及卸料器的作用力，使物料从供料区进入压紧区，从压紧区进入挤压区，间隙逐渐减小，迫使物料从模孔中通过。

2. 挤压膨化颗粒成型原理

原料由供料器均匀地送入螺杆挤压腔内，挤压腔的空间容积沿物料前进方向逐渐变小，物料所受到的扩压力逐渐增大。同时物料在挤压腔内的移动过程中还伴随着强烈的剪切、揉搓与摩擦作用。有时根据需要还可通过在膨化腔外加装电加热片辅助加热，这样共同作用的结果，使物料温度急剧升高，物料中的淀粉随之糊化。整个物料变成融化的塑性胶状体。到物料从挤出模孔排出的瞬间，压强骤然降至 0.1 MPa，水分迅速变成蒸汽而增大体积，使物料体积亦迅速膨胀，水蒸汽进一步蒸发逸散而使物料含水量降低，同时温度也很快下降。物料随即凝结，并使凝结的胶体物料中呈许多微孔。连续挤出的柱状或片状膨化产品经旋转切刀切断后进行冷却，有时还需进行干燥和喷涂添加剂（如油脂、维生素等）等后续处理工序。

（二）草块成型原理

1. 小草块成型原理

草块压制机主要由喂料绞龙、保安磁铁、机体、主轴、偏心压辊、压板、环模、主轴端盖、出料罩、动力等组成。从机器的组成中，可以看出小草块压制机械采用的工作原理与环模制粒机的工作原理基本一致，只是其模孔截面不同。粉碎后的草料进入喂料绞龙后由绞龙轴上的搅拌圆棒喂进机体进料口，流经保安磁铁时除去铁杂，在旋转主轴上喂料刮刀的作用下，沿机体内筒壁的导料螺旋进入偏心压辊和环模之间的压制区，由沿环模内沟槽公转和摩擦自转的偏心压辊将草料挤压进模孔中，偏心压辊每完成一次公转周期就将充满环模沟槽内的草料挤入模孔中，形成草块的一个料层，随着物料的连续喂入，草块被挤出模孔，碰到出料罩的锥面上被撅成一定长度的草块，草块的长度可通过调节出料罩锥面与环模之间的距离来控制。草块压制机压制的草块横截面积通常都在 10 cm × 10 cm 以内。

2. 大草块成型原理

大截面草块压块设备主要由活塞、曲柄连杆机构、草块上下成型腔、草块密度调节装置、水分调质装置、减速和传动机构以及螺旋输送机、皮带输送机等饲草输送装置部分组成。

切碎的饲草由水平螺旋输送机和立式螺旋输送机送入草块成型腔中，并在活塞的推动和饲草之间相互挤压与成型腔摩擦的作用力下，每个活塞行程可压制成 5～7 cm 厚的草片。连续运转，逐渐形成由多个薄片集成的大截面草块。在活塞往复运动的同时，不断加入新草，草块由出草口连续不断地排出。

压制出的草块密度在 0.4～0.7 t/m^3，根据饲草品种、含水量的不同，密度有所不同。草块的截面积为 25 cm × 25 cm、30 cm × 30 cm 等不同规格。由于采用了活塞往复式的草块成

型机构，草块在成形过程中，每个行程形成一层 5.7 cm 厚的薄草片，因此，草块长度可以自由确定，通常为了包装和运输方便，达到一定长度进行截断后打捆。

大截面压块设备的关键问题是解决成型腔的耐磨问题，通常可以采用耐磨钢材，或者设计成易于更换的衬套形式。

3. 草饼成型原理

饲草压饼机由液压站和压饼机两大部分组成。液压站由液压油箱、液压油泵站、电气控制柜等部分组成。压饼机由送料油缸、预压缩油缸、料箱、压缩室、推移室、推移室夹紧机构、机座等部分组成。

根据饲草压缩受力特性，机构采用三级压缩的液压结构，油泵的调定压力随负荷变化而变。压缩开始时，系统由两个泵以低压大流量供油，保证了牧草起始的压力压缩要求，随着压缩活塞的移动，草饼密度加大，同时负载增加，液压泵的调定压力是随负载改变而变化的，这样使负荷均衡合理，并能有效地降低功耗。

饲草压饼机的工作时切成 3～5 cm 的草段由绞龙送入送料室，由送料油缸推动推草板，使松散牧草被压缩后进入预压缩室，此时草的密度可达 0.15 g/cm^3。经预压缩油缸向下推动压缩活塞在预压缩室内进行第二次压缩，压缩后密度可达到 0.4～0.6 g/cm^3。在成型室中压成直径 6～12 cm 的草棒。前两级为闭式压缩，节省能耗，第三级为开式压缩。草棒在成形压缩油缸的压力下被压缩，当压力小于推移室调节的推移阻力时，草棒被压缩成草饼，此时的密度达到 0.6～0.89 g/cm^3。随着液压系统的压力逐步升高，使压缩油缸的推力大于推移阻力后将成形草饼向前推移，每个草饼保压 30～40 s 后，从推移室推出装入成品袋。

（三）膨化饲料成型原理

膨化机有一副螺杆和螺套，具有混合和揉搓的功能。原料进入膨化腔内以后，物料在螺杆螺套之间受挤压、摩擦、剪切等作用，其内部压力不断升高，最大达 4 MPa，温度不断上升，最高可达 140℃。在 3～7 s 的时间内温度和压力的急剧升高，物料的组织结构发生变化，使淀粉进一步糊化，蛋白质变性，粗纤维破坏，杀灭沙门菌等有害菌。高温高压物料从出料口出来，其压力在瞬间突然释放，水分发生部分闪蒸，冷却后物料呈疏松多孔的结构，膨胀后的物料呈团状、絮状或粗屑状。

膨化机的喂料器为保证均匀稳定喂料，可根据挤压电动机的额定电流值调整喂料量。一般用电磁调速电机或变频器进行调速，改变喂料器的喂料量。进料斗的出口常用螺旋绞龙向挤压膨化段喂料。膨化腔由螺杆、螺套、模板、卡骨等组成。螺杆、螺套都是分段组合的，可以根据膨化饲料的种类和要求调整压缩程度，改变膨化饲料的膨化度。

膨化机构按作用和位置在倒塌度上分 3 段。喂料段：此段螺杆螺距较大，主要将物料进行输送并压缩，使物料充满螺旋槽内。压缩段：此段螺杆的螺槽沿物料推移方向由深变浅，对物料进行压缩。挤出段：螺槽更浅，螺距逐渐变小，挤压力可达 3.0～10 MPa，温度能达到 120～150℃，此段压力最大、温度最高，所以螺杆、螺套的磨损也最严重。挤出段的出口为模板，模板的形状根据不同饲料的需求设计而成不同的模孔，物料从模板的模孔中挤出，进入大气，压力和温度骤降，使其体积迅速膨胀，水分快速蒸发脱水凝固就成了膨化料。

三、成型草产品贮藏原理

成型草产品成分在贮藏期间，由于本身性质和质量、贮藏条件、管理水平等原因将造成多方面的损失，包括重量的损失、质量的降低、对饲养动物健康的危害损失以及经济的损失等。因此，采用最佳的贮藏条件和有效的贮藏技术，在保证成型草产品质量、尽可能地减少贮藏过程中饲料在数量和质量方面的损失具有重要意义。

影响成型草产品贮藏的主要环境因子包括温度、湿度和环境气体成分等。此外，如仓房不干净或建造质量低劣，而造成漏雨或鼠雀、虫害的发生也将加速饲料劣变。因此，对贮藏环境中的另外一些影响因子和不利因素，也必须加以控制或消除。

（一）控制水分和温度

饲料在贮藏过程中的高温、高湿环境，是引起饲料发热霉变的主要原因。因为高温、高湿不仅可以激发脂肪酶、淀粉酶、蛋白酶等水解酶的活性，加快饲料中营养成分的分解速度，同时还能促进微生物、贮粮害虫等有害生物的繁殖和生长，产生大量的湿热，导致饲料发热霉变。

（二）防霉治菌

饲料在贮藏、运输、销售和使用过程中，极易发生霉变。霉菌大量生长和繁殖会污染饲料，不仅消耗、分解饲料中的营养物质，使饲料质量下降、报酬降低，而且畜禽食用后会出现消化能力降低、淋巴功能下降而引起腹泻、肠炎等症状，严重的可造成死亡。因此应十分重视饲料的防霉治菌问题。实践证明，除了改善贮藏环境以外，最有效的方法就是采取物理或化学的手段防霉治菌。

（1）辐射防霉灭菌。饲料经粉碎或颗粒化加工后，都会感染一些致病菌如沙门氏菌和大肠杆菌等。辐射饲料可达到灭菌效果，使其长期贮藏而不变质。霉菌对射线辐射反应敏感，据试验表明，将饲料采用γ射线辐射处理后，置于30℃、相对湿度为80%的条件下，也没有霉菌繁殖。

（2）添加防霉剂。饲料中使用防霉剂要注意剂量，剂量过高不仅会影响饲料原有的味道和适口性，还会引起动物急、慢性中毒和药物超限量残留。另外防霉剂本身的溶解度、饲料贮藏环境及饲料污染程度等，都会影响到防霉剂的作用效果。因此，可根据环境和饲料水分含量等实际情况灵活使用防霉剂。例如，在秋、冬干燥凉爽的低温季节，饲料水分在11%以下，一般无须使用防霉剂，水分在12%以上就应使用防霉剂；如果饲料含水较高，且逢高温高湿季节，应适当加大防霉剂的用量，以确保较好的防霉效果。

（3）气调防霉。霉菌生长需要氧气，只要空气中含氧量达到2%以上，霉菌就可以很好地生长，尤其是在仓库空气流通的情况下，霉菌更容易生长。气调防霉通常采用缺氧或充入二氧化碳、氮气等气体，使氧气浓度控制在2%以下，或使二氧化碳浓度增高到40%以上。

（4）袋装防霉。使用包装袋贮存饲料，可以有效控制水分、氧气，起到防霉作用。国外研制的新型防霉包装袋，可以保证新包装的饲料长期不发生霉变，这种包装袋由聚烯烃树脂构成，其中含有0.01%～0.05%的香草醛或乙基香草醛，聚烯烃树脂膜可以使香草醛或

乙基香草醛慢慢挥发，渗透进饲料中，不仅能防止饲料发霉，还具有芳香气味，增加饲料的适口性。

（三）通风与密闭的合理运用

贮藏期间应根据具体情况采取通风与密闭，即掌握有利时机进行通风降温降湿，又必须及时密闭降低外界高温、高湿对饲料的影响，保持原来干燥、低温状态。在通风季节，如属下列情况可通风：库内温度高于库外；库内库外温度相同，但库外湿度低；库内库外湿度相同，但库外温度高而湿度低，或湿度高而温度低，则要计算库内外空气的绝对湿度，如库外的绝对湿度低于库内的绝对湿度，方可通风。通风是以饲料堆具有空气渗透性和孔隙性为基础。由于饲料是热的不良导体，利用室内外自然温差和压差进行通风，它受气候影响较大且效果较慢。贮量较大时，可采用机械强制通风。机械通风就是在仓库内设通风地沟、排风口，或者在饲料堆或筒仓内安装可移动式通风管或分配室，机械通风不受季节影响，效果好，但耗能大。当外界温度、湿度高于仓内时应密闭仓库，可采用压盖密闭、套囤密闭、塑料薄膜密闭和全仓密闭等措施。

（四）防除鼠虫害

防除籽实饲料受到老鼠和害虫的危害，是确保安全贮藏的重要措施，其基本原则是安全、经济、高效。根据各地的防治经验，可归纳为检疫防治、清洁防治、物理机械防治及化学药物防治等，均有一定的效果。

（五）避免污染

成型草产品的贮藏，除了要防止营养成分损失外，还需防止彼此之间混杂引起的物料之间的交叉污染，特别是毒性原料及含药成品的堆放，必须严格分类存放和贮藏。为了减少饲料营养成分的损失，确保饲料贮藏安全，必须制定好贮藏计划，使原料和成品能在最短的时间内用完或出售。

第三节　成型草产品加工技术

一、颗粒饲料的加工

（一）饲料配方

多种原料以不同比例在各类动物饲料中得到有效应用，虽然从理论上讲动物的营养需要得到了满足，但饲料经制粒后，其质量却发生了较大的变化，因而饲料加工正在向改进颗粒质量的特定配方技术改进，不同饲料原料的制粒特性影响着饲料质量。

（二）原料接收

原料进厂接收是饲料厂饲料生产的第一道工序，也是保证生产连续性和产品质量的重

要工序。原料接收任务是将饲料厂所需的各种原料用一定的运输设备运送到厂，并经质量检验、称重计量、初清入库存放或直接投入使用。原料接收能力必须满足饲料厂的生产需要，并采用适用、先进的工艺和设备，以便及时接收原料，减轻工人的劳动强度，节约能耗，降低生产成本，保护环境。饲料厂原料接收和成品的输出工作量都很大，所以饲料厂接收设备的接收能力一般为饲料厂生产能力的3～5倍。此外，原料品种繁多，数量差异较大，包装形式各异，这都给原料接收工作带来了复杂性。

1. 原料接收工艺

（1）散装接收工艺。散装火车或散装货车入场的原料，经汽车地中衡和火车道称重后，自动卸料到下料坑。袋装的原料通过人工投料或机器投料。

（2）原料的水路接收。气力输送装置由吸嘴、料管、卸料器、关风机、除尘器风机等组成。分为移动式和固定式，优点是粉尘少、吸料干净、结构简单、操作方便，缺点是耗能高。

（3）液体原料的接收。液体原料接收之前要检验，合格后输入到贮藏罐中，贮藏罐一般有斜底和锥形底两种。

2. 原料的清理

进入饲料厂的原料可分为植物性原料、动物性原料、矿物性原料和其他小品种的添加剂。其中动物性原料、矿物性原料以及维生素、药物等的清理已在原料生产过程中完成，一般不再清理。饲料厂需清理的主要是谷物性原料及其加工副产品。糖蜜、油脂等液体原料的清理则在管道上放置过滤器等进行清理。饲料谷物中常夹杂着一些沙土、皮屑、秸秆等杂质。少量杂质的存在对饲料成品的质量影响大。由于成品饲料对含杂的限量较宽，所以饲料原料清理除杂的目的，不单是为了保证成品的含杂不要过量，而且为了保证加工设备的安全生产，减少设备损耗以及改善加工时的环境卫生。饲料加工厂常用的清理方法有2种。

（1）筛选法。用以筛除大于及小于饲料的泥沙、秸秆等大杂质和小杂质。

（2）磁选法。用以分除各种磁性杂质。

此外，在筛选以及其他加工过程中常辅以吸风除尘，以改善车间的环境卫生。

3. 原料贮存

饲料厂不同于其他粮食工厂的显著特点之一是原料及成品的种类繁多，并且各品种所占的比例差异较大。所以原料及成品的贮存，对于饲料厂来说是一个十分重要的问题，它直接影响到生产的正常进行及工厂的经济效益。正确设计仓型和计算仓容量是饲料厂设计的主要工作，在选择与设计时主要考虑以下几个方面。

（1）根据贮存物料的特性及地区特点，选择仓型，做到经济合理。

（2）根据产量、原料及成品的品种、数量计算仓容量和仓的个数。

（3）合理配置料仓位置，以便于管理，防止混杂、污染等。

用于原料及成品的贮存主要有房式仓和立筒库（也称为筒仓）。房式仓造价低，容易建造，适合于牧草、粉料、油料饼粕及包装的成品。小品种价格昂贵的添加剂原料还需用特定的小型房式仓由专人管理。房式仓的缺点是装卸工作机械化程度低、劳动强度大，操作

管理较困难。立筒库的优点是个体仓容量大、占地面积小，便于进出仓机械化，操作管理方便，劳动强度小，但造价高，施工技术要求高，适合于存放谷物等粒状原料。

（三）原料粉碎

饲料粉碎是利用粉碎工具（锤片粉碎机的锤片、筛片、齿板，辊式粉碎机的压辊，球磨机的钢球等）对物料施力，当其作用超过物料颗粒之间的内聚力（结合力）时而破碎的过程。随着粉碎过程的进行，物料的比表面积不断地增加，固体饲料破裂成小块或细粉数随之增多，这种过程一般只是几何形状的变化。粉碎可增加物料的表面积以利于消化吸收，使某些物料易于处理和输送，提高物料的混合均匀度，有利于制粒、挤压等进一步加工。

对于不同的饲养对象、不同的饲养阶段，有不同的粒度要求。①仔猪饲料粉碎粒度以300～500 mm 为最佳；②育肥猪饲料的粉碎粒度为 500～600 mm；③母猪饲料的粉碎粒度为 400～500 mm 最适宜；④肉鸡饲料粉碎粒度在 700～900 mm，产蛋鸡饲料粉碎粒度以1 000 mm 为宜；⑤鱼饲料的粒度应在 200 mm 以下；⑥仔鳗和稚鳖要求饲料粉碎粒度小于100 mm，成鳗和成鳖饲料粉碎粒度控制在 150 mm 以下。

1. 粉碎方法

成型草产品加工过程中，对于饲草、谷物和饼粕等饲料，常用击碎、磨碎、压碎与锯切碎的方式将其粉碎。

（1）击碎。击碎是利用安装在粉碎室内的工作部件高速运转，对物料实施打击碰撞，依靠工作部件对物料的冲击力使物料颗粒碎裂的方法，它是一种无支承粉碎方式，其优点是适用性好，生产率较高，可以达到较细的产品粒度，且产品粒度相对比较均匀；缺点是工作部件的速度要求较高，能量浪费较大。有爪式粉碎机、锤片式粉碎机和劲锤式粉碎机。

（2）磨碎。磨碎是利用两个刻有齿槽的坚硬磨盘表面对物料进行切削和摩擦而使物料破碎的方法。这种方法主要是靠磨盘的正压力和两个磨盘相对运动的摩擦力作用于物料颗粒而达到破碎目的。它可根据需要将物料颗粒磨成各种粒度的产品，含粉末较多，产品升温也较高。利用这种方法进行工作的有钢磨和石磨，主要机型为磨盘式粉碎机。

（3）压碎。压碎是利用两个表面光滑的压辊以相同的转速相对转动，对夹在两压辊之间的物料颗粒进行挤压而使其破碎的方法。这种方法依靠的主要是两压辊对物料颗粒的正压力和摩擦力，它不能充分粉碎物料。

（4）锯切碎。锯切碎是利用两个表面有锐利齿的压辊以不同的转速相对转动，对物料颗粒进行锯切而使其破裂的方法，它特别适用于粉碎谷物饲料，它可以获得各种不同粒度的成品，而且粉末量也较少，但它不适于加工含油饲料或含水量大于 18% 的饲料。

选择粉碎方法时，首先考虑被粉碎物料的物理机械性能。对于特别坚硬的物料，击碎和压碎的方法很有效，对韧性物料用研磨为好，对脆性物料以锯切和劈裂为宜。草产品加工中，谷物饲料粉碎以击碎及锯切碎为佳，对含纤维多的糠麸类物料以盘式磨为好。饲草、秸秆等高纤维饲料目前国内外饲料厂普遍采用锤片式粉碎机，该机利用高速、旋转的锤片撞击作用使物料破碎，其结构简单、操作方便、价格便宜、适应性广，除水分较高饲料外，几乎可粉碎所有饲料。

锤片粉碎机一般由供料装置、机体、转子、齿板、筛片（板）、排料装置以及控制系统等部分组成。锤片饲料粉碎机的工作过程主要由两方面构成：一是饲料受锤片的冲击作用，二是锤片和饲料、筛片（或齿板）和饲料以及饲料相互间的摩擦作用，对于谷物、矿物等脆性饲料，主要受冲击作用而粉碎，对于牧草、秸秆和蔓藤类饲料，韧性大，主要受摩擦作用而粉碎。工作时原料从喂料斗进入粉碎室，受到高速回转锤片的打击而破裂，以较高的速度飞向齿板，与齿板撞击进一步破碎，如此反复打击，使物料粉碎成小碎粒，在打击、撞击的同时还受到锤片端部与筛面的摩擦、搓擦作用而进一步粉碎。在此期间，较细颗粒由筛片的筛孔漏出，留在筛面上的较大颗粒，再次受到粉碎，直到从筛片的筛孔漏出。牧草的粉碎和排粉过程与谷粒粉碎过程不同，在锤片的前方，草料受锤片的驱赶积成小堆，并将其压向筛片，在锤片的冲击作用下，使牧草与锤片棱角工作面和筛面发生剧烈的搓擦，直至粉碎成细粒。在锤片的后部筛片上出现物料涡流运动，同时在筛片下方产生阵发性排料现象。提高锤片粉碎机的生产效能的关键之一是提高筛子的筛落能力，以克服其排粉效率低于粉碎效率的缺点。其次，在结构设计上，要尽可能破坏物料的环流层，使细粒能及时地排出，避免重复而无效的过度粉碎。

2. 粉碎工艺

粉碎工艺与配料工艺有着密切的联系，按其组合形式可分为先配料后粉碎和先粉碎后配料两大工艺。

（1）先粉碎后配料的工艺。该工艺是指将牧草、粒状原料先进行粉碎，然后进入配料仓进行配料、混合等工艺，这种工艺主要用于加工牧草和谷物含量高的配料饲料，国内外饲料厂多采用此生产工艺。

（2）先配料后粉碎的工艺。该工艺是将所有参加配料的各种原料，按照一定比例并通过配料秤称重后，混合在一起进入粉碎机粉碎的工艺。

按原料粉碎次数又可分为一次粉碎工艺和二次粉碎工艺。

（1）一次粉碎就是用粉碎机将粒料一次粉碎成配合用的粉料。该工艺简单、设备少，是最普通、最常用的一种工艺。该工艺的主要缺点是成品粒度不均、电耗较高。

（2）二次粉碎工艺是弥补一次粉碎工艺的不足，在第一次粉碎后，将粉碎物进行筛分，对粗粒再进行一次粉碎的工艺。该工艺的成品粒度一致、产量高、能耗也省。其不足是要增加分级筛、提升机、粉碎机等，使建厂投资增加。二次粉碎工艺又分为单一循环二次粉碎工艺、阶段二次粉碎工艺和组合二次粉碎工艺。二次粉碎都能获得粒度均匀、节能的效果，大型饲料厂多采用此工艺。

（四）配料计量

配料是按照成型草产品配方的要求，采用特定的配料装置，对多种不同品种的饲用原料进行准确称量的过程。配料工序是生产过程的关键性环节。饲料配料计量系统指的是以配料秤为中心，包括配料仓、给料器、卸料机构等，实现物料的供给、称量及排料的循环系统。配料秤的性能一般包括正确性、灵敏性、稳定性和不变性。现代饲料生产要求使用高精度、多功能的自动化配料计量系统。电子配料秤是现代饲料企业中最典型的配料计量系统。配料装置按其工作原理可分为重量式和容积式。

1. 重量式配料秤

重量式配料秤是按照物料的重量，进行分批或连续的配料计量装置。重量式配料秤的计量精度和自动化程度均较高，对不同的原料具有较好的适应性。其结构复杂、造价高，对管理维护要求高。重量式配料秤主要适用于大型草产品加工厂，它采用全自动化程序控制，只需输入需要的各成分重量和批数，配料程序即可自动地连续进行，直至完成预定的批数为止。

2. 容积式配料计量器

容积式配料计量器是按照物料容积比例大小进行连续和分批配料的配料计量装置。容积式配料计量器结构简单，操作维修方便，有利于生产过程的连续。但它受到物料特性（容重、颗粒大小、水分和流动性等）、料仓的结构形式和料仓充满程度的变化等诸因素的影响，致使其计量准确度差。而且每改变一次配方，就要调试一次。容积式配料计量器适用于小型草产品加工厂。

（五）混合

饲料混合的主要目的是将按配方配合的各种原料组分混合均匀，使动物采食到符合配方要求的各组分分配均衡的饲料。草产品生产中，混合既是确保饲料产品质量以提高饲养效果的重要环节，又是提高整个生产系统生产率的关键。加工厂主混合机的生产率决定该生产线的生产率，被称为饲料厂的“心脏”。草产品的混合均匀度是反映加工质量的一项重要指标，也是评价混合机混合性能的一个主要参数。

1. 混合工艺

混合工艺可分为分批混合和连续混合两种。

（1）分批混合。分批混合就是将各种混合组分根据配方的比例配合在一起，并将它们送入周期性工作的批量混合机分批地进行混合。混合一个周期，即生产出一批混合好的饲料。这种混合方式改换配方比较方便，每批之间的相互混杂较少，是目前普遍应用的一种混合工艺。这种混合工艺的称量给料设备启闭操作比较频繁，因此大多采用自动程序控制。现代饲料厂普遍使用分批混合机。

（2）连续混合工艺。连续混合工艺是将各种饲料组分同时分别地连续计量，并按比例配合成一股含有各种组分的料流，进入连续混合机后，则连续混合而成一股均匀的料流。连续混合工艺由喂料器、集料输送、连续混合机三部分组成。喂料器使每种物料连续地按配方比例由集料输送机均匀地将物料输送到连续混合机，完成连续混合操作。这种工艺的优点是可以连续地进行，容易与粉碎及制粒等连续操作的工序相衔接，生产时不需要频繁地操作。但是在更换配方时，流量的调节比较麻烦，而且在连续输送和连续混合设备中的物料残留较多，所以两批饲料之间的互相混合问题比较严重。

近年来，由于添加微量元素以及饲料品种增多，连续配料、连续混合工艺的配合饲料厂日趋少见。一般均以自动化程序不同的批量混合工艺进行生产。混合效果的好坏主要通过混合均匀度来反映。物料的物理机械特性（如参与混合的各种物料组分所占的比例、粒度、黏附性、形状、容重、水分、静电效应等）的不同，往往会影响其混合均匀度。在物

料的混合过程中，物料的密度和粒径对混合均匀度有很大影响。容重大、粒径小的颗粒会在容重小的、粒径大的颗粒间滑动，逐步沉在混合机底部；粒径越趋于一致，越容易混合均匀，所需的混合时间也越短。粉料的水分在14%～15%以下时，可以得到较适宜的物料密度，有助于达到所要求的混合均匀度。若水分含量等于或高于这个范围，则需要增加混合时间或采取其他措施才能达到一定的混合效果。此外，某些微量成分还会产生静电效应附着在机壳上，影响混合效果。

2. 混合机种类

（1）卧式螺带混合机。该机是配合饲料厂的主流混合机。该机有单轴式和双轴式两种。单轴式的混合室多为U形，也有O形；双轴式则为W形。其中O形适用于预混合料的制备，亦可用于小型配合饲料加工厂；U形是普通的卧式螺带混合机，也是目前国内外配合饲料厂应用最广泛的一种混合机；W形则使用较少，多用于大型饲料加工厂。

（2）双轴桨叶混合机。该机混合速度快、混合质量好、适应范围广，在大型饲料厂中迅速获得广泛应用，该机型有如下优点：①混合速度快，每批混合时间为0.5～2.5 min；②混合均匀度高，变异系数CV≤5%；③比重、粒度、形状等物性差异较大的物料在混合时不易产生偏析；④液体添加量范围大，添加量最大可达到20%；⑤装填充满系数可变范围大，从0.4～0.8；⑥吨料耗电小，比普通卧式螺带混合机约低60%；⑦适用范围广，不仅适用于饲料行业，也可适用于饲料添加剂、化工、医药、农药、染料、食品行业。

（3）立式螺旋混合机。又叫立式绞龙混合机，主要由螺旋部分机体、进出口和传动装置构成。立式螺旋混合机具有配备动力小、占地面积小、结构简单、造价低的优点。但混合均匀度低，混合时间长，效率低，且残留量大，易造成污染，如更换配方必须彻底清除筒底残料，非常麻烦。因此一般适于小型饲料厂的干粉混合或一般配合饲料的混合，不适用于预混合饲料厂。

（4）立式行星锥形混合机。由圆锥形壳体、螺旋工作部件、曲柄、减速电机、出料阀等组成，传动系统主要是将减速器的运动径齿轮变速传递给两悬臂螺旋，实现公转、自转两种运动形式。立式行星锥形混合机的优点：占地面积较小，制造成本较低，出料口可以高于进料口，当混合机放置在地面上时可以不抬高不挖坑而进行正常的混合及打包工作。由于出料较慢，机下缓冲仓可不设置。但是如与同体积的卧式螺带混合机相比，多批料的混合时间较长，混合均匀度较差，特别是物料的残留量较多，变换配方时批次之间的互混污染严重。因此在大型工厂中很少应用，一般用于小型工厂机组及饲养场的饲料加工车间。

（5）V形混合机。在饲料厂中，多用于添加剂的稀释混合。在混合粉料时，还可加入一定数量的液体。V形混合机内，一般装有高速旋转的打板，可以防止产生结块。

（6）单轴桨叶式混合机。分为单层桨叶混合机和双层桨叶混合机，单层桨叶混合机结构简单，维修方便，混合周期为1.5 min，混合均匀度变异系数CV≤5%，可适应多种性质的物料混合，底部全长双开门结构，可配喷吹装置，残留量极小，转子与机壳间隙可调。

（六）制粒

1. 调质

调质就是所有物料进入混合机开始到进入制粒机环模腔之间所有的添加和改变。饲料

调质就是饲料熟化过程之一，使生粉料转化为具有一定熟度的粉料，良好的调质工艺和设备有利于降低饲料制粒和膨化成型制粒的粉化率，提高饲料的消化吸收率，增加水产颗粒饲料在水中的稳定性。调质还可提高制粒机的产量，降低电耗，减少压模和压辊的磨损并使其寿命延长30%～50%，破坏和杀灭有害因子。影响调质的因素有水分、温度和时间。

（1）调质时间。调质时间即物料通过调质筒所需的时间。实践证明，物料调质效果除和蒸汽添加量有关外，调质时间也是一个非常重要的因素。调质时间的长短直接影响物料的熟化程度。在一定范围内，调质时间越长，物料的熟化程度就越好，物料的互相黏结性也就越好，越易于制粒。如果调质时间很短，熟化程度不一致，有的已熟化，有的还未熟化，制粒效果就差。理想的调质时间是当物料充满系数不小于0.5，调质输送量满足制粒要求时，物料在调质筒内的停留时间，一般的制粒机受尺寸限制，不可能为了延长调质时间而把调质器的直径和长度做得过大，但可以通过以下两种方法来调整调质时间：一是采用调频技术，给调质筒配一台变频器，根据生产实际需要，通过调节调质筒的掌轴转速来调整调质时间。当调质时间过长时，加大掌轴转速，调质时间过短时，减慢掌轴转速；二是可以通过调整调质筒内叶片与掌轴的夹角来适当延长或缩短物料在调质器中的停留时间。测定物料调质时间可用如下两种简单方法：一是通过测定调质筒的掌轴转速和调质筒内叶片之间的距离来计算；二是单独开动调质器电机进料，打开制粒机门盖，在调质筒进料处投入数十粒染色颗粒，设下投入时间，另外用编织袋在调质筒出料口接取物料，当看到一半以上颗粒时，再记下时间，这段时间间隔基本上可以认为是调质时间。调质时间以10～30 s为宜，超过30 s后，制粒性能稍有降低，单位功率产量也稍有减少。当变换不同孔径压模时，操作工可根据实际生产率调整叶片角度，以获得最佳调质时间。

（2）水分。调质过程中需要大量的热量和水分，使原料中每一个粒子的表面都接触到热量和水分，相对温度较低的粉料粒子与蒸汽相接触时，蒸汽中的热量会传递给粉料粒子，使这些粒子的温度升高。粒子表面和内部间存在温度差和湿度差，粉料粒子表面一旦发生液体冷凝，热量和水分就会进入粒子内部，豆粕和棉籽粕等原料的热传导系数很低，所以热量和水分的移动都相当缓慢。因此原料磨得较细时会提高颗粒料的质量，其主要原因在于细磨粉的粒子较小，热量和水分向粒子内部移动得较快，而粒子的总表面积较大时，蒸汽冷凝的水较多会造成这一过程缓慢。但是若不达到合理的湿度水平就不能达到目标温度，在豆粕和谷物等原料比较干燥的情况下，其温度也较高，这时若不超过目标温度就不能使足够的蒸汽进入粉料。调质器提供滞留和接触时间以优化颗粒料质量，挤压机或膨化器则提供压力以迫使粉料通过具有适当大小孔洞的压模从而使其形成颗粒料，如果水分不足则造成粒形不完整甚至压模失败，因此在调质过程中增加1%～2%的水分可以提高颗粒料的质量和生产效率。但由于饲料配方的不同，调质最佳的粉料湿度应控制在16.0%～17.5%，该过程可通过在中央处理单元中调整各项阈值并在实际生产中调校实现，调质过程占颗粒饲料水分最终含量的4%～5%。

（3）温度。调质过程中，受蒸汽的温度以及水分影响，谷物的淀粉颗粒会在50～60℃就进行吸水膨胀，豆类的淀粉颗粒会在55～75℃进行吸水膨胀，以至于产生了破裂，会转变成黏性非常大的糊状物质，这就是淀粉糊化的过程，淀粉要求糊化的温度一向都是控制在75℃以上。畜禽颗粒料的制粒温度在78～83℃，目的是使淀粉糊化和杀灭有害菌，玉米、小麦、薯类等淀粉类原料的糊化温度在58～72℃，要用饱和蒸汽，经减压阀后蒸汽压

力最好在 2.5 kg/cm^2 左右，要确保蒸汽系统气水分离器、疏水阀工作正常，避免因含水蒸汽进入调制器而造成湿堵机故障。水产颗粒料的制粒温度要在 90℃以上，目的是使蛋白质变性及灭菌，蒸汽压力可以选用 4 kg/cm^2 左右。

2. 调质器的种类

（1）单轴桨叶式调质器。这种调质器是国内外饲料加工中使用最早、应用量最广的调质器，结构较简单，其圆柱形壳体中间装有一条搅动轴，搅动轴上安装多个可以调节、更换的桨叶。调质器工作时，粉料颗粒在桨叶搅动下进行两个方向的运动，一是绕轴转动，二是沿轴向推移，运动轨迹近似于螺旋线。一般调质器的转速为 150～450 r/min，物料的推进速度与轴转速和桨叶的拾物角度有关，在转速一定的条件下，可以通过调整桨叶的拾物角度来控制物料的调质时间，如果将桨叶的角度减小到比较中间的位置，即与桨叶轴成为 75°～85°的夹角，这样就可以减弱每个桨叶对物料的推出作用从而延长物料在调质室内的滞留时间。一般单轴桨叶式调质器长 2～3 m，粉料可以在调质室内滞留 20～30 s，熟化度达 20% 左右，基本可以满足一些普通颗粒饲料的调质要求。

（2）蒸汽夹套调质器。此类调质器大体结构与单轴桨叶式调质器相似，不同的是壳体采用双层夹套，夹套内通入蒸汽起保温作用。这种蒸汽夹套调质器在工作中对粉料的加热作用有限，因为热量只通过调质器的表面传给粉料，而这一表面积与容量之比通常很低，加之一般调质粉料的导热性能差，以至于没有多少热量可以传递给粉料。但是蒸汽夹套阻止了调质室与室外常温大气直接进行热交换，有效地减少了热损失，使调质器内部能保持较高温度，因此在寒冷的冬天和气温较低的地区使用这种调质器作用较显著。

（3）二通、三通调质器。为了延长和控制粉料在调质器内的滞留时间，在制粒机的上方叠加 2～3 个标准的单轴桨叶式调质器，就是我们通常所说的二通、三通多层调质器。这种调质器的特点是互相串联，有多重蒸汽注入口，工作时粉料依次通过各个调质器，延长了粉料的调质时间，物料与蒸汽能更充分接触混合，可将粉料的熟化度提高到 40% 左右。

（4）双轴异径差速桨叶式调质器。双轴异径差速桨叶式调质器又称 DDC 预调质器，它是在单轴桨叶式调质器的基础上发展起来的，其壳体由半径不同的两个大半圆焊接而成，壳体内装有两根转速不同的叶片搅动轴，壳体中部设有多个可单独调节蒸汽量的蒸汽注入口和液体添加口，工作时由于双轴转速不等、旋向相反、桨叶差速搓动运动，使粉料和添加液从两搅动轴中间向上抛起并与蒸汽一起形成对流，又充分剪切和交错混合，粉料在桨叶的作用下，局部运动轨迹呈“8”字形，并绕轴旋转向前推进，运动路线大为增长，因此粉料的轴向移动速度有更大的可调范围。一般长 2 m 左右的调质器，调质时间可以控制在几十秒至 240 s，可满足特殊颗粒饲料高熟化率和高杀菌率的要求，熟化度通常可达 50%～60%，同时具有较高相对运动的桨叶能相互“洗刷”，使这一类型的调质器有较高的自清洁能力，粉料在调质室的残留现象也有所改善。

（5）膨胀器。膨胀器又名环隙挤压机，其工作原理与挤压机相同，都是用机械能来增加制粒之前加入粉料中的热量。粉料在压力的作用下被迫通过螺杆和压模之间的狭窄间隙，产生压实和剪切，与螺杆和缸体发生激烈的摩擦，并产生大量的热量，以此达到熟化、杀菌和改善制粒状况的目的。不同之处在于膨胀器的压模间隙可调，工作中可以通过调整压模间隙，控制粉料在调质室的挤压、摩擦、剪切强度，从而控制扩散入粉料的热量。

（6）通用颗粒熟化机。是由高效的调质器和一台短滞留时间的改进型挤压机组合而成。在工作过程中，调质器提供滞留和接触时间以优化饲料的质量，而改进的挤压机则迫使粉料通过具有适当大小空洞的压模从而使其形成颗粒饲料。这种设备的淀粉糊化程度相当高，一般大于70%，饲料颗粒品质优良，耐水持久，即使在粉料中加入大于10%的脂肪，所生产颗粒饲料的质量仍然可以接受。此系统还有一个特点就是更换压模非常简易方便。目前这种调质制粒设备在水产饲料、幼畜饲料和宠物饲料方面有广泛的应用前景。

3. 制粒工艺

（1）环模制粒机制粒工艺。该制粒机工作时，粉料先进入喂料器，喂料器内设有控制装置，控制着进入调质器的粉料量和均匀性，其供料量随着制粒机的负荷进行调节。若负荷较小，就加大喂料器转速；若负荷较大，就减小喂料器的转速。

（2）平模制粒机制粒工艺。该制粒机工作时，物料由进料斗进入喂料螺旋。喂料螺旋由无级变速器控制其转速来调节喂料量，保证主电机的工作电流在额定负荷下工作。物料经喂料螺旋进入搅拌器，在此加入适当比例的蒸汽充分混合。混合后的物料进入制粒系统，位于压粒系统上部的旋转分料器均匀地把物料撒布于压模表面，然后由旋转的压辊将物料压入模孔从底部压出。经模孔出来的棒状饲料由旋转切刀切成要求的长度，最后通过出料圆盘以切线方向排出机外。

4. 颗粒机对制粒质量的影响

（1）压模。压模是颗粒机的关键部位，其结构参数直接影响到颗粒料的形成。

① 压模孔径：孔径对颗粒硬度影响不大，对产量影响显著，孔径越大，产量越高，能耗越低。当孔径为6～8 cm时，产量已基本保持不变。

② 压模厚度：压模厚度往往取决于物料特性和模孔直径。压制不同的颗粒饲料需采用最佳长径比，以获取最大的产量和高质量的产品。

③ 模孔形式：常见的模孔形式有直形孔、外锥形孔和内锥形孔。

④ 压模开孔率：在压模有足够强度的前提下，尽量提高开孔率。

⑤ 压模材质：压模必须具有耐磨损、耐变形、耐压、耐高温等优点。

（2）压模与压辊间隙。压模与压辊间隙大小可影响制粒的能力和硬度。其间隙增大，物料层加厚，挤压量增加，动力消耗也相应增加。当物料层厚度加大时，造成挤压区内物料压入力减小，压辊在压模上容易发生打滑现象，大大地降低了产量，严重时压不出颗粒。压模与压辊间隙过小，会加速压模磨损，有时会压坏模孔入口处，一般要求其间隙为0.1～0.4 mm。检验压模与压辊间隙是否合适的简单方法是将一张卡片纸塞入模与孔间隙处短暂开动一下机器，若卡片纸上有明显的印纹而没有被破碎，则间隙适中；若卡片纸被挤碎，则间隙过小；若卡片纸没有任何印纹，则间隙过大。

（3）制粒机的转速。制粒机的转速影响颗粒的硬度和粉化率，对生产能力无太大的影响。制粒时应根据原料的种类和颗粒类型选择最佳的速度，超出需要的高速旋转会使原料不能连续压缩，而使颗粒出现断带，影响颗粒料的质量。

（七）冷却

在制粒过程中由于通入高温、高湿的蒸汽，同时物料被挤压产生大量的热，使得颗粒

饲料刚从制粒机中出来时，含水量达16%～18%，温度高达75～85℃。必须使其水分降至14%以下，温度降低到比不超过空气温度8℃，这就需要冷却。

1. 冷却工艺

冷却工艺按照空气介质与颗粒料流动方向可分为逆流冷却和顺流冷却两种。

（1）逆流冷却工艺是冷却介质的流动方向和颗粒料流动方向相反的一种冷却工艺。这种冷却工艺制得颗粒饲料表面光滑，很少有龟裂现象，粉化率低，耐水时间长。

（2）顺流冷却工艺是冷却介质的流动方向和颗粒料流动方向相同的一种冷却工艺。这种方法产品表面表现干燥不完全，表面发生龟裂，不光滑，粉化率高，耐水时间短，因此在实际工作中宜选择逆流冷却工艺。

2. 冷却器

冷却器安装方式分为立式冷却器和卧式冷却器，立式冷却器具有所需安装面积小、安装方便等特点。卧式冷却器具有压降较小、抗水冲击性强等特点。

（1）立式冷却器的冷却工艺。颗粒饲料进入立式冷却器顶部料斗后，经过分料装置，被均匀地分配到两个冷却室。当冷却室内装满颗粒饲料后，料位器运行使出料斗开始工作，进行排料，这时冷却器外表的百叶窗打开，在吸风机负压作用下冷却空气进入冷却室与饲料进行湿热交换，然后通过中部集流孔排出机外。

（2）卧式冷却器的冷却工艺。颗粒饲料进入卧式冷却器顶部料斗后，颗粒饲料被均匀地撒落在移动的输送机筛板上，与此同时，空气从冷却器底部进入冷却室，垂直向上穿过输送机筛板，最后被抽走，排出机外。

（八）破碎

颗粒饲料的生产过程中，为了节省能耗、增加产量、提高质量，往往是将物料先制成一定大小的颗粒，然后再根据畜禽饲用时的粒度用破碎机破碎成合格的产品。

（九）筛分

颗粒饲料经破碎工艺处理后，会产生一部分不符合要求的物料，因此破碎后的颗粒饲料要筛分成颗粒整齐的产品。物料进入分级筛，符合要求的产品进入料仓称重打包，不符合要求的产品重新返回制粒。

（十）成品

成品是各种物料通过一系列加工，最终达到饲喂要求的成型产品。成品的包装有散装和袋装两种。我国草产品加工厂目前多采用袋装形式，只有少数厂家用散状饲料或饲料罐车。

（十一）苜蓿草颗粒加工

苜蓿草以其高含量的粗蛋白质，适宜的中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量，以及丰富的维生素、微量元素，被誉为“牧草之王”。在苜蓿草颗粒生产中，一般不添加其他原料。

1. 苜蓿草粉制粒

苜蓿草颗粒生产工艺如图 4-1 所示。

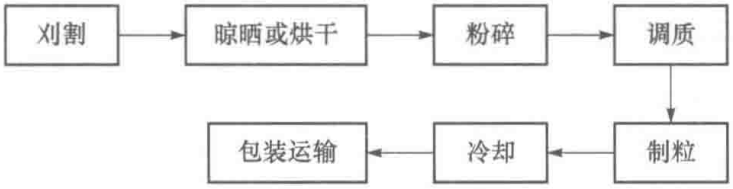


图 4-1　苜蓿草颗粒加工工艺流程

苜蓿草粉压粒比常规配合饲料压粒困难得多，原因是苜蓿草粉的纤维素多、容重小以及缺乏油脂。另外苜蓿草粉制粒时，应加入蒸汽或热水进行调质。用于生产草颗粒的原料苜蓿草粉含水量为 12%～14%，温度 50℃左右。刚挤出的苜蓿草颗粒温度可达 75～90℃，含水量为 16%～18%，不便贮运，需要进行冷却和干燥，冷却后其含水量可降低至 13% 以下。当温度低于 24℃时即可进行包装。

由于苜蓿草粉纤维素含量高、草粉流动性差，压粒的生产率仅为配合饲料压粒的 1/3 左右，主要工作部件（压模、压辊、切刀等）的寿命只有制作常规配合饲料的压粒机的 1/4 左右，苜蓿草粉压粒的功耗也增高。

2. 苜蓿草颗粒加工的工艺特点

（1）苜蓿草粉容重小，易产生粉尘，因此，草粉输送装置宜采用风送，输送器的直径相对谷物类饲料加工机械要大。草粉流动性差，在料仓中易结拱，要求料仓的设计合理或采用破拱装置。

（2）苜蓿草粉的纤维素含量高，草粉间摩擦系数大，在制粒过程中原料与压模孔间的阻力较大，因此颗粒机的压模孔径要适当。一般苜蓿草颗粒压制时的模孔直径为 6～8 mm。

（3）压模与压辊的间隙大时，原料厚度增大，会减轻挤压区内对原料的压力，使压辊打滑，降低产量，甚至不出颗粒；间隙过小，会增加磨损。一般苜蓿草颗粒压制时，压模与压辊的间隙为 0.5 mm 左右。

二、干草块（饼）的加工

干草块（饼）的成型加工工艺对干草块（或饼）的质量、加工成本及其贮存、运输性能等有直接影响。目前，干草块（饼）的成型加工的基本工艺包括原料的机械处理、原料预处理、添加补充料、调质、成型和冷却 6 个方面。

（一）原料的机械处理

进行成型加工之前，为了便于压块成型和提高压块效率，原料必须先经过适当的机械处理，切成适宜的长度。根据反刍动物的消化生理特点，其所食饲草的适宜纤维长度为 20～30 mm。因此，一般要求压块机所压制的粗饲料块截面尺寸在 30 mm 左右。为了获得较适宜的草块纤维长度，压制草块的原料不可切得太碎或太长，若原料切得太碎，其长度小于模孔直径时，则草块的纤维长度、坚实度和成型率都会急剧下降。相反，若原料切得

太长，也会使物料在压制过程中产生更多的破裂，减少所要求的纤维长度，同时会增加压块过程中的能量损耗。一般压块粗饲料长度以与草块截面尺寸之比以（1.5～3）：1 为宜。切碎处理的机械一般选用铡草机或揉碎机，揉碎机处理可将秸秆等粗饲料原料沿纵向揉搓、剪切而形成长 8～10 cm 的细丝状秸秆碎片，有利于后续的压块处理。

（二）原料预处理

为了进一步提高干草块（饼）的适口性和可消化性，改善其营养品质，在压制草块之前，对干草块（饼）原料进行适当的预处理，特别是对秸秆等低质粗饲料，化学预处理显得更为重要，它不仅能提高秸秆饲料的营养品质和利用率，而且能改善秸秆的压块性能。目前，生产中最常用化学预处理技术是碱化处理和氨化处理。为提高其处理效率和处理效果，通常需采用特制的化学处理反应罐进行。

（三）添加补充料

一般的干草块（饼）通常由单一物料压制而成，但是单一的物料往往营养不平衡，如秸秆饲料养分含量低，特别是含氮量严重不足。因此，为了使干草块（饼）的营养均衡，需要将禾本科牧草或秸秆和豆科牧草按一定比例混合配比压制草块（饼），这样能明显改善草块（饼）的营养品质和压块性能。另外，若压制草块（饼）的基础原料是秸秆饲料，则首先需要补充一定的氮源，氮源中除了一部分非蛋白氮外，应有适当比例的蛋白质补充料和过瘤胃蛋白质，以利于不同饲料间产生正组合效应。此外，科学合理地设计秸秆草块的配方，补充适宜比例的青绿饲料、能量饲料、矿物质饲料、微量元素和维生素添加剂等也是必要的措施，甚至还可以添加某些起代谢调节作用的非营养性添加剂和糖蜜等黏结剂，以便调制出营养平衡的秸秆草块饲料，并改善秸秆压块的成型效果和压制效率。精饲料补充料和添加剂的补充，会提高秸秆草块饲料的成本，同时也增加物料混合均匀的难度。

草块或草颗粒生产时需要加入一定量的添加剂起黏合、抗氧化、防腐和增强营养的作用，常用的添加剂有丙酸、膨润土、淀粉、糖蜜、矿物质和酒糟等。膨润土用于把草段黏合在一起，减少掉落的碎块。膨润土的缺点是易造成压制的草块硬度增加，动物难以咀嚼。

（四）调质

调质过程中必须给物料添加一定比例的水，使物料含水量达到适宜的水平。过低的物料含水量会使得压块时所需功耗很大，且很难成型，成型草块的坚实度也不够高。相反，若物料含水量过高，因水的不可压缩性和润滑作用，草块的密度和坚实度也将下降，以至不能成型，而且含水量过高会增加草块干燥处理和贮存的困难。在调质器中，高压蒸汽的作用有助于液体向固相物料的渗透，可使秸秆饲料充分软化和熟化，黏结力增强，有效地降低压制过程中的能量损耗，并减少压模的磨损，从而改善秸秆饲料的压块性能，提高秸秆的成型率和压块效率。

研究表明，较适宜的压制物料含水量范围是：豆科牧草 12%～18%、禾本科牧草 18%～25%、秸秆 20%～24%。值得注意的是，即使饲料原料本身的含水量已达到上述要求也必须加入少量的水，以改善物料的压块性能。

（五）成型

调质好的物料需采用特制的压块机压制成型，成型草块的外形尺寸一般为截面30 mm × 30 mm 的长方块或直径 30～32 mm 的圆柱形草块。压块机分为柱塞式、环模式、平模式及缠绕式等，其中环模式压块机因其攫取物料性能较好，所以目前使用较多。

1. 捡拾压块机

捡拾压块机属于环模式，能在田间直接捡拾风干的草条并压制成草块。一般由捡拾器、喷水装置、输送装置、切碎器、压块机构和草块输送装置等组成。压制成的草块大小为30 mm × 30 mm ×（100～150）mm，密度为 700～850 kg/m^3。

2. 固定作业式干草压块机

固定作业式干草压块机是将干草切碎成长 3～5 cm，然后压制成具有一定密度的草块。适用于有电源的打贮草站、牧草饲料公司和牧草饲料加工厂点等，尤其适于牧草原料产区就地加工使用。如内蒙古农业大学等单位研制的 9KU-650 型干草压块机，其工艺如下：牧草切段长 3～5 cm，加入适量的水分（约 30%），送入输送装置，由输送绞龙搅拌，送入喂入装置，将物料连续、均匀地强制喂入主机压块室内，在摩擦力及压力的作用下，挤压成方形草棒，再由安装在机壳上的切刀切成适当长度的草块。其生产率为豆科牧草 1～1.5 t/h，禾本科牧草 0.5～10 t/h，草块规格 30 mm × 30 mm ×（40～50）mm，密度为 0.6～1.0 kg/cm^3。主机转速高档适于压制豆科牧草，低档适于压制禾本科牧草及作物秸秆。

3. 移动式烘干压饼机

移动式烘干压饼机与有关机具配套作业，以新鲜牧草为原料，在机内烘干制块，能使牧草的养分损失减少到最低限度。移动式烘干压饼机是由高温干燥机、压饼机、发动机、热发生器和燃料箱等组成。干燥机为气流滚筒式，压饼机为柱塞式，机组装在气胎轮架上。

制饼工艺流程如下：由运输车运来牧草，先切成 2～5 cm 长的碎段，由带活动底的接收槽和运送器等输入干燥滚筒，使水分由 75%～85% 降至 12%～15%，干燥后的草段直接进入压饼机压制成直径 55～65 rnm，厚约 10 mm 的草饼。贮存时草饼含水量一般不超过 12%，密度为 300～450 kg/m^3。为获得全价性的饼状饲料，压制过程中可根据饲喂对象的需要添加尿素、矿物质及各种添加剂。

4. 缠绕（卷扭）式压块机

缠绕（卷扭）式压块机是将不经过切碎的牧草用缠绕方法拧挤成圆柱形草棒，然后切断成饼状或块状。

（1）缠绕式捡拾压块机。缠绕式捡拾压块机可将新鲜牧草不经切碎直接压制成草块，欧美国家应用较多，其优点如下：①对原料湿度要求不严格。该压块机可将含水量 80% 的牧草制饼，最适宜的制饼含水量为 35%～45%。②能耗低。该压块机比其他制饼机能耗低 67% 以上，每小时每吨能耗为 5～7.5 kW。③对原料种类适应范围广。豆科、禾本科牧草均可压块，密度为 800 kg/m^3 左右。缠绕压块机亟待解决的问题是如何降低成品的干燥成本。

（2）辊式牧草压饼机。采用辊式缠绕滚压分层成型原理，它较压缩式、挤压式压饼机功耗小，加工牧草的密度适中，适口性好，对牧草湿度、长度均要求不高，适用范围较广，

生产率 350 kg/h，草饼直径 80 mm，长 60～70 mm，密度大于 400 kg/m^3，配套电机动力 10 kW。如内蒙古农业大学等单位研制的 9YG-76 型辊式牧草压饼机，其特点是对牧草不需切碎、直接加工成饼。

（六）冷却

刚压制出机的草块饲料，其湿度略低于压制前的物料，温度达 45～60℃。因此，需要做冷却和干燥处理，以确保草块具有良好的贮存特性。草块的冷却不单是冷却其表面，还是一个控制草块内部温度和湿度的过程，通常可在立式或卧式冷却器中进行。草块成品含水量控制在 14% 以下，可采用烘干或自然干燥的方法，前者干燥效果较好，但成本较高；后者的干燥效果较差，需较长的干燥时间，如在室内阴干需 48～96 h，此时草块的含水量可降至 12%～15%。若需长期贮存，则草块的含水量还应进一步降低到 12% 以下。

（七）田间烘干压块成套设备

田间烘干压块成套设备包括割草、捡拾装载、运输和烘干压块机等，以烘干草块机为主要机具。这种成套机械可烘干压制不经调制的青草为高品质草块。

田间烘干压块的主要优点是能使饲草的养分损失减少到最低限度，获得高质量的草块。在田间自然干燥调制干草的过程中，养分损失一般为 35%～40%，而田间烘干压块不需要进行田间干草调制，因而避免了气候条件对收获作业的影响，而且对饲草的品种和含水量没有特殊要求，因而地区适应性广，特别适于饲草含水率高、多雨和空气湿度大的地区。该设备虽然有上述许多优点，但烘干压块燃料费用较高，推广应用中有一定的局限性。

田间烘干压块机适应于中国南方多雨地区，主要由料仓、烘干系统、压块机、草块冷却运输装置等部分构成。配套机具为拖拉机、割草机和带捡拾切碎器的装载车组成的供草机组，草块拖车和油罐小车等。其作业半径为 2 000 m，收完后即可转移地段。

（1）料仓。料仓长 1.3 m，宽 2.5 m，高 2.8 m，容量为 14 m^3。料仓装有自动计量装置和电子称重系统。供草机组把长度为 10～15 mm 的切碎青草装入料仓后，通过自控装置把碎草喂入烘干系统。

（2）烘干系统。包括烘干滚筒、发动机、发电机及有关附属设备。烘干滚筒长 6 m，直径 2.2 m，脱水能力为 2 800 kg/h，烘干效率为 740 kg/h（干物质）。热风由供热能力为 2 928.8～10 460 MJ/h 的燃烧器供给，燃烧器的供热能力为无级调节。发动机功率为 52.92 kW，发电机功率为 10 kW。青草通过该烘干系统后，湿度必须降至 12%。当青草的初始湿度为 80%，以 740 kg/h（干物质）的生产率烘干到要求的湿度时，其燃油消耗为 220 kg/h。

（3）压块机。压块机包括一台柱塞式压块机及其有关的控制装置。压缩室的直径为 65 mm，生产率为 1 000 kg/h。压块机有一套电子控制装置，以保证物料状态不太稳定的情况下压块机仍能正常工作。

（4）草块冷却输送装置。草块从压缩系统排出后经输送器输送在冷却输送器上。冷却输送器长 5.5 m，一方面是输送草块，另一方面可使草块自然降温。冷却输送器的输送高度为 3.5 m，可把草块装入低于 3.2 m 的拖车上。

配套机具和压块机可由 1 人操作，一个班次（10 h）可生产草块 7 t，草块的密度为 600 kg/m^3。

三、饲料舔砖

根据补饲重点和原料组成的不同，饲料舔砖的生产工艺也不同，主要有凝结法和压制法两种。

（一）凝结法

凝结法也称浇注法，它是借助于配方中的糖蜜、金属氧化物和磷酸之间所产生的凝聚作用，使混合物在反应过程中经搅拌逐渐变稠，最后形成硬块。它主要用于补充能量和蛋白质为主的饲料舔砖的生产，侧重解决牛羊春乏期或干旱期的乏弱、营养不良以及死亡问题。制作方法：第一步是将糖蜜、磷酸盐、矿物质、尿素和水等按比例加入反应管内混匀，必要时可加入一些凝固剂（如氧化镁），再混合均匀。物料混合时会发生放热反应，因此一般在反应罐外加有夹套通入水，对反应的混合物进行冷却，以使块状物料获得较好的外观和形状。第二步是把混合液灌注到一定形状的容器内，一般是瓦楞纸板箱或多层纸袋中，在室温下经 4 h，物料开始由稠变硬，继续静置 20～24 h，即形成硬块，最后倒出容器包装即可。凝结法制块的质量主要受固体原料的粒度、液态原料的稠度、混合液搅拌的时间及注入容器后的静置时间和温度等因素的影响，不同的配方应找出不同的工艺参数。

（二）压制法

压制法是采用压制设备压制成块，主要用于以非蛋白氮、矿物质元素和维生素为主的饲料舔砖的制作。压制法的加工过程是先将原料按比例加入糖蜜混合机内，同时加入糖蜜和油脂，必要时可加入黏结剂和支撑剂，使产品的整块性和硬度均符合质量要求。然后在调质器中通入蒸汽进行热处理使物料软化，并增强可塑性，随后分批定量进入挤压成型机，将物料挤压成块，最后出机包装。

压制法制作的舔砖特点为：①硬度高，质地好，易控制舔食量；②生产制作快，节省空间和人力，容易成型并可直接进入成品库；③生产环节少，易于工厂化生产，压制成型的舔砖其物料较干，不潮解不松散，无须干燥环节。其不足之处是成型的时间长，质地松散，质量不稳定，生产效率不高，计量不准确。

饲料舔砖生产成套设备由粉料提升机，糖蜜加热、加压系统，搅拌机，贮料仓以及成型机构组成。工作时粉碎的物料由提升机送入桨式搅拌机搅拌，然后将加有尿素、食盐等物质的糖蜜加热混合，经加压以雾状喷入搅拌机内进行二次搅拌，最后将混合均匀的物料送入贮料仓，定量地添加到液压机的模具中压制成型。液压机根据所用动力不同分为手动式和电动式两种，选用时可根据其工作压力和舔砖的硬度做出选择。浇注法所用设备为搅拌机，将物料搅拌均匀，它是通过严格控制黏结剂和固化剂的添加比例来控制舔砖的硬度。

生产过程中所用的模具则根据生产舔砖的形状而定，方形的可以用制砖模具，圆形的可采用无缝钢管或尼龙管。

四、膨化饲料

膨化饲料按照工艺分为干法膨化和湿法膨化两种，干法膨化从设备上减少了调质器及

其附属蒸汽锅炉和管道，因此设备简单、投资少，但饲料的熟化程度、密度等质量参数不如湿法膨化效果好，而且各物理参数的定量关系存在一定的局限性。

（一）膨化工艺

1. 清选

采用手工或者筛选、磁选等方法去除牧草饲料中的铁屑、砂石和泥块等杂质，防止对输送设备的叶片、挤压螺杆和压力环造成磨损或断裂，影响膨化质量。

2. 粉碎

牧草饲料在膨化前需粉碎成一定的粒度，一般情况下，其粉碎粒度为 3 mm 左右，以使调质均匀，提高膨化产量和质量。

3. 调质

将粉碎后的物料放入调质机中，根据不同种物料控制不同的蒸汽添加量。如果蒸汽量添加量过多，物料的含水量增加，物料的熟化程度越高，使物料变得更加蓬松，不易膨化，相反，如果添加过少，物料含水量过低、密度过大，也不利于膨化，因此，调质是膨化前不可或缺的环节。调质后物料的含水量要求是这一环节的重要参数，而蒸汽添加量又是决定含水量的重要因素，表 4-1 列举了几种不同物料的蒸汽添加量以供参考。

表 4-1 物料的蒸汽添加量

物料	蒸汽添加量
大豆原料	7%～8%
玉米原料	10%
豆类秸秆	25%～35%
玉米秸秆	20%～30%
牧草	20%～25%

注：数据根据廖建华、王宏立等研究论文整理所得。

4. 挤压膨化

将调质好的牧草饲料由料斗输入膨化机的挤压腔，在螺杆的机械推动和高温、高压的混合作用下，完成挤压膨化加工。加工时，挤压腔的温度应控制在 110℃左右，挤压腔压力应控制在 1.5～2.0 MPa。

5. 干燥与冷却

从喷嘴出来的膨化物料后，通过干燥工艺将膨化过程的多余水分去除，干燥方式有人工干燥或自然干燥两种，考虑到饲料营养成分的受热损失，干燥温度应控制在 85℃左右，当干燥至规定含水量后，将其冷却到常温。

6. 真空喷涂

喷涂维生素、酶制剂和油脂等热敏性添加剂，在真空状态下快速进入膨化颗粒内部，

不会发生氧化损失，可延长保质贮存期。

（二）膨化设备

目前用于生产膨化饲料的主要设备为螺杆式挤压膨化机，其种类和型号很多，按螺杆数量来分，可分为单螺杆式、双螺杆式和多螺杆式挤压膨化机，以单螺杆式、双螺杆式挤压膨化机应用最为广泛；按螺杆的配置来分，可分为等距螺杆和变距螺杆两种；按螺杆的直径来分，可分为等径螺杆和变径螺杆两种。

1. 单螺杆式挤压膨化机

它主要由进料装置、调质器、螺杆挤压腔体、成型模板与切刀、参数检测与控制系统以及驱动动力等部分所组成。

螺杆式挤压膨化机是将输送、换热、搅拌、加压、揉合及剪切等作用集于一体，在一台设备上完成诸如调质、蒸煮、灭菌和糊化成型等一系列连续的操作过程。

含有一定量淀粉比例的粉粒状原料由旋转式加料器均匀地送入调质器，在调质室内进行调湿和升温，经搅拌混合使物料各组分的温度和湿度均匀一致。调质后的物料送入螺杆挤压腔内，挤压腔内螺杆通常被制成变径（齿根直径）和变螺距的几何形状，使挤压腔空间容积沿物料前进方面逐渐变小；在稳定的螺杆转速下，物料所受到的挤压力逐步增大，其压缩比可达 4～10，同时物料在腔内的移动过程中还伴随着强烈的剪切、揉合与摩擦作用，有时根据需要还可通过机筒夹套内流过的水蒸汽对物料进行间壁加热，这样共同作用的结果是使物料温度急骤升高（110～200℃），物料中的淀粉随即产生糊化，整个物料变成融化的塑性胶状体。在挤出模板之前，物料中所含水分的温度虽然很高，但在相应较大的压强下水分一般并未转变成水蒸汽，直到物料从挤出模孔排出的瞬间，压强骤然降至 101 kPa，水分迅速变成过热蒸汽而增大体积，使物料体积亦迅速膨胀，水蒸汽进一步蒸发逸散的结果使物料水分含量降低，同时由于温度也很快下降，糊化淀粉随即凝结，水蒸气的逸散使凝结的胶体状物料中留下许多微孔。

连续挤出的柱状或片状膨化产品经旋转切刀切断后送入冷却、干燥和喷涂等后处理工段。

2. 双螺杆式挤压膨化机

双螺杆挤压膨化机的挤压腔内安装着一对联动的螺杆，它又可以分为几种类型。按两螺杆的相对旋转方向可分为同向旋转和逆向旋转型。按运动过程两螺杆的啮合程度可分为全啮合、部分啮合和无啮合型。另外，还有按照螺杆的结构、螺杆的安装方式等进行分类的。在各种类型的双螺杆挤压膨化机中，同向旋转全啮合型膨化机因其有良好的混合效果、较高的单机产量以及螺杆表面的自清能力而被广泛地采用。这种双螺杆膨化机在运转中，物料被相互啮合的螺杆齿廓分隔成一些小腔室，各小室的物料在螺杆的推动作用下均匀地做正位移运动，这也使得各小室内物料的温度和所受的剪切力比较容易控制。

与单螺杆挤压膨化机比较，双螺杆膨化机具有以下一些主要操作特性：①通过螺杆的物料流量稳定，一般不会出现断流或波涌现象，生产过程稳定可靠；②双螺杆膨化机运动过程机械转化的热量通常可以提供挤压膨化所需大部分热量，少量的补充热量来自加热夹套。而单螺杆膨化机往往需要在调质阶段预加部分热量；③物料沿螺杆长度方向被分隔在

若干小腔室内，又因螺杆转速较低，物料在机内滞留的时间分布范围比较窄，这使物料温度比较容易控制，能量利用充分，产量和质量均很稳定；④一对螺杆的啮合和均匀地挤压推送物料有利于螺杆表面物料的自行清除，这样工作完毕后腔内物料残留量极少，维持了物料输送的稳定性，若要改变配方生产另一种膨化饲料时，通常不必卸机清理；⑤与相同驱动功率的单螺杆膨化机相比，双螺杆膨化机生产率较大，适应加工物料湿度的范围较宽。

双螺杆膨化机的结构较复杂，机械加工精度要求高，因而，当选用这种机型时，用于生产设备的投资要大得多。

第四节　成型草产品贮藏技术

一、安全贮藏的水分

成型草产品含水量的多少是其能否安全贮藏的关键因素。一般来说，成型草产品的安全贮藏含水量应为 11%～15%。南方地区因其气候比较湿润，所以对成型草产品安全贮藏含水量的要求也较高，应控制在 11%～12%；北方地区相对于南方气候较为干燥，一般成型草产品含水量控制在 13%～15% 就可以达到安全贮藏的目的。

二、安全贮藏的方法

添加防腐剂是保证成型草产品安全贮藏的重要措施。常用的防腐剂主要包括丙酸、丙酸钙、丙酸钠、甲醛、克霉灵、焦亚硫酸钠等。防腐剂在成型草产品的加工过程中进行添加，其中防腐效果最好的是丙酸钙，而且安全。丙酸钙能抑制菌体细胞内酶的活性，通过使菌体蛋白质变性而达到防霉防腐的目的。试验表明，将浓度为 1% 左右的丙酸钙添加到含水量为 19.92%～21.36% 颗粒牧草饲料中，在平均温度 25.73～31.84℃，平均相对湿度为 68%～72% 的条件下，贮存 90 d，没有发霉现象，而且开口与封口保存，差异不明显。生产实践中，还应注重筛选来源广、价格低廉和效果好的防霉剂。如利用氧化钙（CaO）作为防霉剂，不仅来源广、成本低，而且还可作为畜禽的钙源。新鲜豆科牧草加工颗粒饲料时，加入 1.0%～1.2%（占干物重）的氧化钙，此时原料的 pH 为 7.23～7.46。然后将颗粒饲料干燥到含水量为 15%～21.5% 时，在平均温度为 22.6℃，平均相对湿度为 34%～54% 的条件下，贮存 30 d，结果表明，无论在晒干、阴干及在贮藏过程中均无发霉现象，而未添加氧化钙的颗粒牧草饲料在阴干过程中 72 h 即开始出现霉点。

三、贮藏期间的管理

成型草产品在贮藏期间要加强管理，以防吸湿结块、微生物侵染及害虫、发热变质等影响产品质量，造成不必要的经济损失。

（一）保持通风、注意防潮

成型草产品的贮藏仓库内应保持干燥、凉爽、避光、通风，注意防潮，以避免仓内温度、湿度过高而造成结块、发热变质。因此，最好在干燥、低温、低湿的条件下进行贮藏。

（二）注意防除鼠虫害

防除贮藏库内的老鼠和害虫是确保安全贮藏极为重要的管理措施之一。在贮藏期间，要采用检疫防治、清洁卫生防治、物理机械防治及化学药物防治等措施，消灭存在的鼠虫害隐患，减少由鼠虫害造成的损失。其中常用的化学药剂有磷化氢、氯化锌等。此外，使用中药山苍籽（或山苍籽油）和花椒等防治害虫和防止牧草饲料霉变，具有来源广、成本低、无污染、使用安全和效果好等优点。

（三）加强安全防火措施

成型草产品含水量低，在贮藏库内应严禁烟火并设立消防栓。同时应定期检查仓库内有无火灾隐患，把由火灾造成损失的可能性减少到最低限度。

思 考 题

1. 简述成型牧草饲料的定义与种类。
2. 简述成型草产品在牧业生产中的意义。
3. 简述成型草产品原料及特点。
4. 简述成型草产品加工与贮藏原理。
5. 颗粒饲料的加工技术有哪些？
6. 干草块（饼）的加工技术有哪些？
7. 膨化饲料加工技术有哪些？
8. 饲料混合工艺的种类有哪些？
9. 调制的影响因素有哪些？
10. 成型草产品贮藏期间的技术措施有哪些？

参 考 文 献

[1] 张秀芬. 饲草饲料加工与贮藏. 北京：中国农业出版社，1992.
[2] 玉柱，贾玉山，张秀芬. 牧草加工贮藏与利用. 北京：化学工业出版社，2004.
[3] 曹致中. 草产品学. 北京：中国农业出版社，2005.
[4] 李德发，龚利敏. 配合饲料制造工艺与技术. 北京：中国农业大学出版社，2003.
[5] 庞声海，饶应昌. 饲料加工机械使用与维修. 北京：中国农业出版社，2000.
[6] 吴运生，王东，沈良菊. 膨化技术与饲料工业发展. 粮食与饲料工业，2003，3：21-22.
[7] 杨红军，时建忠，顾宪红，等. 膨化生产 SPF 动物饲料的尝试. 粮食与饲料工业，2007，6：33-35.
[8] 王宏立，张祖立. 挤压膨化技术在秸秆饲料加工中的应用. 农机化研究，2007，9：173-174.
[9] Mahungu S M. Residence time distribution and barrel fill in pet food twin-screw extrusion cooking. Cereal Chemistry, 2000, 77(2): 220-222.
[10] 王德成. 牧草生产与秸秆饲用加工机械化技术. 北京：中国农业科学技术出版社，2005.
[11] 玉柱. 草块加工工艺流程. 农业知识（科学养殖），2010，9（27）：35.
[12] 张涛，胡跃高，曾昭海，等. 草块加工工艺及其影响因素. 草业科学，2004，21（5）：55-58.

[13] 谭鹤. 饲料贮藏技术. 北京：金盾出版社，2009.
[14] 李小林. 浅议调质工艺影响饲料质量的几个因素. 饲料工业，1997，18（2）：8-10.
[15] 沈维军. 配合饲料加工技术与原理. 北京：中国林业出版社，2012.
[16] 朝鲁孟其其格. 混合草颗粒制粒技术及饲用价值评价的研究. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2010.
[17] Behnke K C，秦崇德. 颗粒料制作和粉料调质问题的探讨. 饲料广角，2005，14：25-26，34.
[18] 邢建军，李德发，代建国，等. 颗粒饲料加工工艺研究进展. 饲料工业，2001，22（8）：7-10.
[19] 周文明，王义明. 颗粒饲料加工工艺中原料的接收技术与粉碎工艺. 南方农机，2015，7：35-37.
[20] 马文智. 颗粒饲料质量影响因素分析. 中国饲料，2005，2：30-33.
[21] 臧艳茹. 膨化技术制备颗粒饲料的研究. 天津：天津理工大学，2010.
[22] 李辉，闰飞，边远，等. 饲料调质设备的发展研究现状. 农业机械，2016，7：120-123.
[23] 王春华. 我国牧草饲料加工与利用的思考. 江西饲料，2017，1：21-22.
[24] 贾玉山，侯美玲，格根图，等. 中国草产品加工技术展望. 草业与畜牧，2016，224：1-6.
[25] 玉柱，贾玉山. 牧草饲料加工与贮藏. 北京：中国农业大学出版社，2010.