叶、花、种子或块根、块茎等受害部分发生变质，产生有毒有害物质。

6. 牧草中夹杂有毒植物

大都是有棘刺、毛茸、针等防御组织，或有异味、苦味。一般情况下，家畜能避食。但在十分饥饿时，或有毒植物夹杂在其他牧草中，难以择食，被家畜采食后引起中毒。如醉马草、乌头等常在刈割时混杂于其他牧草中，家畜采食后中毒甚至死亡。

二、牧草中有毒有害物质及毒性原理

（一）苷类

植物中，糖分子中的环状半缩醛形式的羟基（通称为苷羟基）和非糖类化合物分子中的羟基脱水而成具有环状缩醛结构的化合物叫作苷，又称之为配糖体、糖苷质、苷、糖杂体等。苷类一般味苦（少数味甜，如甜叶菊含味极甜的苷），易溶于水、醇，极易被酸或存在于同种植物中的酶水解为糖及苷元。如具有酯键（苷元与糖以羧基结合）者，还易被碱所水解，只有碳键苷难于水解。它分布在植物全株中，但大部分是无毒的，少部分是有毒的，如龙葵素、棉酚等。由于苷元化学结构的类型以及所生成的苷生理活性特点等不同，苷又可分为多种类别，如皂苷、氰苷、强心苷、蒽苷、黄酮苷等，黄酮苷多无毒。

1. 氢氰酸

氢氰酸（HCN）是毒性最大、作用最快的常见毒物，在植物中主要是以氰苷（或称产氰糖苷等）形式存在，也以游离形式存在。当植物组织被损害或腐烂时，氰苷水解后产生氢氰酸，牧草饲料中的氢氰酸含量达到一定量时引起畜禽中毒。氰苷在植物界分布很广，尤以蔷薇科植物为最，其次为禾本科、豆科和忍冬科等。最常发生中毒的植物有高粱的苗、叶和其糠，亚麻籽饼、亚麻穗和蕾，杏、桃、李、梅、樱桃和枇杷等的果仁和叶，三叶草、南瓜叶、棉豆、未成熟的竹笋、黑接骨草、紫杉、水麦冬和木薯等植物。能引起中毒的氰苷有亚麻苦苷、甲基亚麻苦苷、野樱苷、黑接骨木苷、水麦冬苷、紫杉菲苷等。

2. 芥子苷

芥子苷又称硫葡萄糖苷，油菜籽饼的有毒物质为含硫葡萄糖苷和芥酸。硫葡萄糖苷本身是非活性物质，在不同的处理条件下，细胞遭到破坏，在酶的作用下裂解生成多种有害物质。其主要成分有噁唑硫酮、硫氰酸酯和异硫氰酸酯和腈类等。芥子苷广泛存在于十字花科和白菜花科等植物的叶、茎和种子中。

噁唑硫酮和硫氰酸酯能够使单胃动物甲状腺肿大，并且干扰甲状腺素的生成。异硫氰酸酯和噁唑硫酮具有刺激性辛辣气味，影响饲料的适口性，腈的毒性大约是噁唑硫酮的8倍，可致使动物肝脏、肾脏增大，严重时导致死亡。

3. 皂苷

又称皂角苷、皂素，如苜蓿皂苷、大豆皂苷和甜菜皂苷等。由甾体化合物或多环的三萜为苷元与寡糖的羟基组成的苷，是一种无定形粉末或结晶，吸湿性强、易溶于水，其水溶液带有辛辣味，振荡时能产生大量持久性泡沫，对皮肤和黏膜有刺激作用，可引起炎症，能溶解红细胞。皂苷味苦，含有皂苷的牧草具苦味和辛辣味，适口性差，如果喂量过大，

草食家畜易患臌胀病。皂苷广泛存在于植物的叶、茎、根、花和果实中。饲用植物如大豆、花生、菜豆、羽扇豆、豌豆、鹰嘴豆、苜蓿、三叶草、油菜籽饼及甜菜中均含有皂苷。植物中皂苷含量和生长环境温度有关，也和生长季节有关。饲用植物如苜蓿、大豆、油菜籽饼和羽扇豆中的皂苷均为三萜皂苷。

4. 龙葵苷

又称马铃薯毒素或茄碱，多存在于茄科植物中，如马铃薯块茎及其茎叶中。一般成熟的块茎含量为 0.000 4%，而未成熟、青紫、发绿及发芽马铃薯中，龙葵苷含量高达 0.50%，绿叶中 0.25%，花 0.70%，薯皮 1.00%，发芽后的芽内高达 4.70%。生产中饲喂龙葵苷含量高的马铃薯易发生中毒现象。

5. 强心苷

具有强心作用，其苷元为五元或六元不饱和内酯环的甾体衍生物。强心苷多为无色结晶或无定形粉末，一般能溶于水、甲醇、丙酮等极性溶剂，具有较强的毒性。它主要分布在夹竹桃科、玄参科、百合科、萝藤科、十字花科、卫矛科的植物中。

6. 蒽苷

大多为黄色、橙黄色或橙红色。饲草料中含量过多，会引起畜禽腹泻。它多存在于被子植物的蓼科、豆科、茜草科、鼠李科、百合科和低等植物地衣类和菌类代谢产物中。

（二）硝酸盐及亚硝酸盐

许多青绿牧草和树叶类饲草等都不同程度地含有硝酸盐，新鲜的十字花科叶菜中硝酸盐含量高达 2 000 mg/kg。牧草中含有的硝酸盐，对畜禽毒性较低，但转化成亚硝酸盐后毒性增大，而致使畜禽中毒。牧草中的硝酸盐在一定条件下可转变成为亚硝酸盐，如牧草经害虫危害、家畜踩踏或在堆放过程中组织结构被破坏的情况下，当外界温度、湿度达到一定范围时，还原性细菌即把硝酸盐变为亚硝酸盐；饲料在小火焖煮或潮湿堆放发热的情况下能够促使硝酸盐转变为亚硝酸盐；反刍动物食入的牧草饲料搭配不合理，含硝酸盐饲料太多时，也可在瘤胃中被瘤胃微生物转化成亚硝酸盐而大量蓄积。

反刍动物瘤胃中的理化和生理条件都较适合于将 NO_3^- 还原为 NO_2^-。对牛来说，除直接摄入过多的亚硝酸盐可发生亚硝酸盐中毒外，摄入较多富含硝酸盐的饲草料也会提高亚硝酸盐中毒的风险。羊的瘤胃将亚硝酸盐转变为氨的能力强于牛，故对亚硝酸盐的敏感度比牛低。亚硝酸盐进入血液后，亚硝酸离子与血红蛋白相互作用，使正常的血红蛋白氧化成高铁血红蛋白。在机体内，正常红细胞内高铁血红蛋白只占血红蛋白总量的 1% 左右，当机体大量摄入亚硝酸盐时，高铁血红蛋白大量增加，出现高铁血红蛋白血症，从而引起机体组织缺氧。动物体内高铁血红蛋白占血红蛋白总量的 20%～40% 时，即可出现缺氧症状；占 80%～90% 时，即引起动物死亡。羊长期采食硝酸盐、亚硝酸盐含量较高的饲料后，可导致亚硝酸盐中毒症。可引起母畜受胎率降低，因胎儿发生高铁血红蛋白症而导致死胎、流产或被胎儿吸收；硝酸盐含量高时，可使胡萝卜素氧化，妨碍维生素 A 的形成，引起维生素 A 缺乏症；硝酸盐和亚硝酸盐可在体内争夺合成甲状腺素的碘，有致甲状腺肿大的作用；其还参与致癌物 N－亚硝基合成物的合成，该类化合物对动物是强致癌物。

（三）生物碱

植物中存在一些呈碱性的含氮有机化合物、多以有机盐的形式存在，其中有些具有显著生理效应的称为生物碱。游离的生物碱一般不溶或难溶于水，易溶于有机溶剂，如醇、醚和氯仿等，而其无机盐或小分子有机酸却溶于水。生物碱大多具较强的毒性，如曼陀罗、毒芹和白屈菜等有毒植物所含的乌头碱和毒芹碱；有的生物碱有剧毒，少量即可致死；多数生物碱具有强烈的生物效能，可作为药用，如吗啡是最早使用的一种镇痛剂。

生物碱分布于100多个科的2 000多种植物中，主要存在于罂粟科、茄科、毛茛科、豆科、夹竹桃科、马钱子科、茜草科、石蒜科、百合科、麻黄科和水松科等植物中。同科植物具有相同的生物碱，近缘植物含有类似的或者是相同的生物碱。同类植物的不同器官（根、茎、叶、花和种子）和不同植物之间，生物碱的含量不同，并随季节的变化和地区不同而异。

（四）单宁

单宁又称鞣质，是广泛存在于各种植物组织中的一种多元酚类化合物。植物单宁的种类颇多，结构和属性差异很大，目前很难给出其准确定义。但通常将其分为可水解单宁和缩合单宁两大类。谷物饲料中高粱的单宁含量较高，据报道，中国高粱（3 039个样品）的单宁平均含量为0.98%，变幅为0.03%～3.27%，其中南方和干燥地区的高粱品种中单宁含量较高。高粱单宁主要存在于其种皮和果皮中，且含量与种皮的颜色呈正相关。此外，大麦和谷子中也含有少量单宁。植物单宁含量与土壤肥力有直接关系。

羽扇豆、蚕豆和香豌豆等豆科籽实以及红豆草、百脉根、胡枝子和沙打旺等豆科牧草中均含有较高的单宁。各种植物中的单宁不仅含量不同，而且种类也有差异。高粱、红豆草、百脉根和胡枝子中主要以缩合单宁为主，栎树叶、茶树叶和角豆中主要以水解单宁为主。一般幼嫩枝叶中单宁含量较高，且以水解单宁为主。成熟果实及落叶中的单宁含量下降，大部分聚合为缩合单宁。即使同是缩合单宁，其组成成分也有很大差异，如百脉根单宁的相对分子质量为6 800～7 100；红豆草单宁相对分子质量较大，为17 000～28 100。

单宁味苦涩，适口性差，在日粮中的比例过大时，会影响家畜的食欲，使采食量减少。单宁还可降低饲料的消化率，高单宁的高粱要比低单宁高粱消化率低9%～15%。由于这两个原因造成营养不足，影响了畜禽的生长和生产。进入消化道的单宁，具有收敛作用，可与胃肠道黏膜的蛋白质结合，与肠黏膜表层形成不溶性的鞣酸蛋白膜沉淀，使胃肠道的运动机能减弱而发生弛缓，这就会造成肠道内容物排出受阻而发生便秘，使其在体内停留的时间过长和腐败，引起自身中毒。大量的单宁与胃肠道内蛋白质结合随粪便排出体外，不易被吸收，从而导致蛋白质缺乏症。单宁还与肠道内多种金属离子发生沉淀作用，使其不易被吸收，造成畜体内矿物质缺乏而导致代谢机能紊乱。然而，亦有研究表明，单宁在草食动物粗蛋白质利用及调控肉质方面发挥着越来越多的积极作用。

（五）光过敏物质

光过敏物质是一种对阳光具有特殊作用的红叶质，当家畜大量采食后，光过敏物质被

吸收进入血液，在阳光下，导致白色皮肤的家畜积聚太阳光能而破坏血管壁，引起皮疹，同时中枢神经系统和消化器官亦发生障碍。如荞麦茎叶、苜蓿和三叶草等植物中均或多或少含有一些光过敏物质。

（六）挥发油类

挥发油又叫精油，是将植物与水蒸气共同蒸馏时所得到的各种挥发性物质的总称。它存在于许多植物的全株中，是一类具有芳香味的挥发性油状有机物，难溶于水，易溶于醇、醚等有机溶剂中，对中枢神经系统有强烈的刺激作用。含挥发油而可能引起中毒的植物有毒蒿、毛茛科植物、细辛、樟树（油）、土荆芥、侧柏叶等。

针对上述有毒、有害物质的一些特性，以及在牧草中的分布情况，采取一些去毒加工或科学饲喂方法，可消除或降低饲草料中的某些有毒、有害物质，使饲草料得以安全地被利用，并能提高饲草料的报酬。

三、影响饲草料毒物含量的因素

（一）饲草料的种、品种、生育期、植株部位和个体差异

（1）据测定，燕麦、苏丹草、狐茅、玉米、大麦和黑麦等硝酸盐含量高，为硝酸盐积累者；而苜蓿、雀麦、鸭茅和白三叶硝酸盐较低，亚硝酸盐非积累者。即使同一植物，品种间的差别也较大，如不同品种间燕麦硝酸盐含量的高低相差 1 倍；高粱品种间氢氰酸含量差别可达 50% 以上。因此，在生产中即可选种低毒的牧草和饲料作物种及品种，在天然草地放牧利用时也应有所选择。

（2）一般随牧草和饲料作物生育期的推移，有毒物质含量下降。如苜蓿在孕蕾前硝酸盐含量为 0.18%，结实后下降到 0.12%；经过对 11 个高粱品种叶片氢氰酸含量进行统计，营养期的叶片氢氰酸含量要比蜡熟期叶片高 20 多倍。

（3）同一种植物植株个体间的有毒成分也有所不同，这一属性给选育低毒或无毒优质牧草和饲料作物提供了有利条件。如黄芪属牧草含有 3- 硝基丙醇和 3- 硝基丙酸，但就植株而言，含 3- 硝基丙醇的则不含 3- 硝基丙酸，即二者不存在于同一植株中；苏丹草、白三叶受损后，有些植株产生氢氰酸，有些则不产生。

（4）同一植株的茎、叶、花、根、果实和种子中有毒成分的含量不同。如玉米、燕麦茎秆的硝酸盐含量高于叶子和花序；高粱叶子氢氰酸含量高于茎秆，茎秆上部叶子含量高于下部叶子。

（二）环境条件的影响

（1）随海拔高度增加，含氰苷的白三叶植株数量有明显的下降。Levin 认为，植物生物碱的毒性与含生物碱植物的地理位置有关，热带植物生物碱的毒性比温带植物大得多。

（2）当土壤中含有一定量的有效氮素时，在干旱条件下，会使植株硝酸盐大量积累；当植株含水量下降时，氢氰酸含量则增加。

（3）当土壤缺乏微量元素铜、镁和钼时，牧草和饲料作物的硝酸盐就会大量积累；土

壤石灰含量高时，硝酸盐含量也会大量增加。

（4）高粱植株，在气温为 –5℃左右时，随气温下降（霜冻或冷冻），氢氰酸含量增加。一般认为低温是硝酸盐含量大量积累的主要原因。

（5）低光照会使许多牧草和饲料作物的硝酸盐含量增加。澳大利亚有报道指出，某种禾草因遮阳影响，硝酸盐含量很高，结果使在该牧场上放牧的 19 头牛全部中毒死亡。遮光也能增加生物碱含量。

（三）农业技术措施的影响

（1）刈割次数和刈割高度对牧草和饲料作物有毒成分含量有一定的影响。如燕麦刈割后的再生草饲喂家畜易发生中毒。

（2）一般施肥可增加饲草料中有毒成分含量。给牧草和饲料作物施氮肥能够增加硝酸盐含量；增施氮肥量会提高某些草的生物碱含量，且施氨态氮肥对提高生物碱含量要比施硝态氮肥明显。磷肥对饲草硝酸盐含量也有一定的影响，但不显著。燕麦营养期施用钾肥增加了植株中硝酸盐含量。氮肥对苇状狐茅生物碱含量影响最大。高粱氢氰酸含量随土壤有效氮的增加而有提高的趋势。

了解影响牧草有毒成分的因素，其目的是有针对性、有区别地对饲草进行加工利用，以避免畜禽饲草料中毒，提高牧草的利用率和转化率。

四、低毒牧草脱毒原理

（一）青贮发酵

青贮发酵是指在厌氧条件下经乳酸菌发酵来贮藏牧草的方法。牧草青贮可以保持青绿多汁饲料的营养特性，扩大饲料来源，提高饲料利用率，并且可以延长牧草的保存时间，有助于解决季节和年度饲草不平衡问题。青贮饲料不仅气味芳香、营养价值高、适口性好，且具有可长期保存、有利于集约化生产、营养物质损失少等许多优点。青贮饲料的诸多优点使其在畜牧业生产中得到广泛的应用，尤其在反刍动物饲养实践中，它已成为不可缺少的基础饲料。

饲用植物中不仅自身可能存在某些有毒有害成分，还会从其生长的环境中吸收和富集一部分有毒有害物质，青贮通过厌氧的微生物发酵，微生物能消耗一定的有毒有害物质，且产生大量的有机酸和某些毒害物质发生反应，减缓毒性。例如，沙打旺中主要的有毒成分在家畜消化道被分解为 3- 硝基丙酸，而青贮发酵过程中所产生的有机酸能够与 3- 硝基丙酸起酯化作用，从而降低了其含量；“疯草”中主要毒素含量可通过青贮中微生物的分解达到较低水平，家畜采食青贮后的“疯草”，不会中毒；苜蓿、山黧豆等豆科低毒牧草通过按一定比例和其他饲草青贮后，毒素含量大大降低。

（二）蒸煮浸泡和酸碱处理

蒸煮和浸泡作为最常用去毒途径，因其成本低，易操作而被广泛使用，通过高温加热使有毒有害物质变性、挥发，降低其含量。在使用含氰苷的牧草时去毒处理一般采取用水

浸泡、加热蒸煮的方法，这些方法能够有效地去毒。在去除草木樨中的双香豆素时，可用清水浸泡草粉再进行清洗，能够去除大部分香豆素；变异黄芪中苦马豆素能够被浓盐酸降解，通过较长时间的浸泡可降低其含量；山黧豆中主要毒素 β- 草酰胺丙酸可通过长时间浸泡，之后冲洗，去除率达到 90%；皂苷易溶于水，可将草粉用水浸泡，再与其他饲料混拌后饲喂，浸泡后还可提高苜蓿草粉的适口性；在蒸煮好的青绿饲料中加入碳酸氢铵，它可与亚硝酸盐起反应，使亚硝酸盐含量减少，同时产生碳酸氢钠和碳酸氢钾，这两种成分有健胃作用，可以中和因家畜食用青饲料而在体内产生的酸，其反应式如下。

$$NaNO_2+NH_4HCO_3 \rightarrow NaHCO_3+2H_2O+N_2$$

$$KNO_2+NH_4HCO_3 \rightarrow KHCO_3+2H_2O+N_2$$

（三）合理搭配

低毒牧草造成家畜中毒往往与日粮中所占比例有关，摄入过量时，导致毒素大量积累，使家畜中毒，合理的搭配不仅能够降低毒素对家畜的影响，还能提高饲草的利用率。草木樨在反刍动物饲粮中可占粗饲料的 60%～80%，饲喂育肥猪草木樨草粉占饲粮的 15%～20%，可防止香豆素及双香豆素对家畜的毒害；在日粮中按 15%～20% 的比例掺入小花棘豆饲喂家畜有较好效果，不会引起中毒，既利用了“疯草”的高营养成分，也避免了中毒的发生；用沙打旺饲喂家畜时，由于单一饲喂，家畜的瘤胃会产生苦味，应搭配其他饲草，以提高利用率和预防瘤胃产生苦味；对于含毒量较高的羽扁豆，尽量与其他饲草搭配饲喂，且比例不宜过高，防止家畜中毒。

第二节　低毒牧草去毒加工技术

为充分利用牧草资源，对低毒牧草采用去毒加工处理和科学的饲喂方法，消除或降低有毒有害物质的含量，以达到扩大饲草资源，安全有效地提高牧草利用率的目的。

一、草木樨

（一）中毒机理及症状

草木樨含香豆素，香豆素含量因种类、植株部位、生育期和栽培条件的不同而有差异。白花草木樨香豆素含量为干物质的 0.84%～1.22%，黄花草木樨为 1.05%～1.40%，细齿草木樨为 0.03%。同一品种不同部位中花的含量最高，其次是叶与种子，茎与根含量最少。不同生育期，幼嫩时含量少，孕蕾、开花至荚果青绿时最多，枯黄期少。一日内，早晨和傍晚含量少，中午前后含量最多。栽培在少雨、干旱地区香豆素含量较高，反之含量较低。一般而言，香豆素本身无毒、适口性不佳，它是双香豆素的前体。

草木樨中双香豆素含量较低，营养期为（3.47 ± 0.80）mg/kg，开花期为（2.78 ± 0.80）mg/kg，结实期为（1.85 ± 0.36）mg/kg。一般是在潮湿炎热的条件下，调制干草或草粉及青贮过程中草木樨原料感染霉菌，在霉菌的作用下，由香豆素转变为具有毒性的双香豆素。因此，鉴定草木樨质量的主要标准是：① 草木樨本身所含香豆素的多少，一般在幼嫩时或秋

后刈割调制后的干草毒性小；② 干草与青贮料是否发霉，若发霉则毒性变大。

双香豆素主要具有抗凝血作用。畜禽体内的凝血因子在肝脏中合成时，需维生素 K 参与，而双香豆素的结构与维生素 K 的结构相似，与维生素 K 发生竞争性拮抗作用，妨碍了维生素 K 的利用，使肝脏中凝血酶原和凝血因子合成受阻。由于凝血机制发生了障碍，动物表现为出血不止，甚至由于在去势、去角、手术、分娩时引起严重出血不止而死亡。双香豆素还可以通过胎盘对胎儿产生毒害作用。双香豆素进入畜体后，须待血浆中原有的凝血因子耗尽后（1～2 周）才能发挥作用，因此草木樨中毒多在采食后 2～3 周发生。一般认为家畜饲料中含 10 mg/kg 双香豆素，即出现临床病理变化；含量为 20～30 mg/kg 时，血凝时间过长，可引起亚急性中毒以致死亡；含量为 50 mg/kg 时，使家畜发生急性中毒而死亡。草木樨中毒常见于牛、绵羊和马等。

（二）去毒加工

1. 适时刈割

草木樨中香豆素含量最高的时期为孕蕾期至开花期，为保证安全饲用及提高适口性，青刈、调制干草或青贮时最好于孕蕾前刈割。

2. 科学调制加工

调制过程中必须防止草木樨发霉变质，以免香豆素向双香豆素转化。草木樨茎叶在风干过程中，香豆素会大量逸失。据报道，叶片风干 10 d，香豆素可减少 70%～75%。因此，饲喂草木樨时，喂干草比青饲料更安全。调制草木樨干草时，不要堆放，应将刈割的草木樨薄薄地铺在地上暴晒一段时间，然后阴干。草木樨干草不宜打捆贮藏，水分含量过高时，有利于双香豆素的合成，干草贮存时防湿防霉。

3. 科学配比

青饲时应与其他青饲料掺混饲喂；反刍动物饲粮中可占粗饲料的 60%～80%，喂育肥猪草木樨草粉占饲粮的 15%～20% 为宜，对妊娠母畜和小畜，饲喂要少。在外科手术和孕畜产前的 30 d，应停喂草木樨。必要时，可采用添加维生素 K 的办法，防止中毒。当放牧地上草木樨较多且在开花期，应改换牧地或割除后，再行放牧。

4. 浸泡法

去毒对双香豆素含量高（50 mg/kg 以上）的草木樨，可用清水浸泡的方法，草粉与水的比例为 1∶8，浸泡 24 h 可去除 84% 的香豆素和 41% 的双香豆素。亦可用 1% 的石灰水浸泡 4～8 h，再用清水冲洗后饲喂。

二、沙打旺

（一）中毒机理及症状

沙打旺为低毒黄芪属植物，含有多种脂肪族硝基化合物。据报道，植株中叶的硝基化合物含量高于茎与花。沙打旺全株在整个生育期中硝基含量的变化范围为 0.12～0.50 mg/g

（鲜重）或 0.55～1.70 mg/g（干物质）。脂肪族硝基化合物可引起家畜急性或慢性中毒。也有报道，沙打旺有毒成分有生物碱毒芹素、葫芦巴碱、腺嘌呤等。

植物中以葡萄糖酸酯形式存在的硝基化合物，在家畜消化道中分解成 3- 硝基丙酸和 3- 硝基丙醇。它们可损伤中枢神经系统、肝、肾和肺，抑制多种酶的活性。对动物的最低致死量，按亚硝基（NO_2^-）计，分别为 50 mg/kg 及 125 mg/kg。中毒的程度因畜禽的敏感性不同而异。对牛、羊等反刍动物一般没有毒害作用，如牛每毫升的瘤胃液含 NO_2^- 的量不超过 1 mg 的水平时，牛瘤胃液微生物能使脂肪硝基化合物经 4 h 水解为 3- 硝基丙酸和 3- 硝基丙醇，再经过 28 h 代谢为无毒无害的物质；在绵羊体内，只经过 7 h 即可完成此代谢过程，因此不引起中毒。有时饲喂沙打旺的牛、羊瘤胃带有苦味。

单胃畜禽猪、鸡对沙打旺中的有毒成分较敏感，易发生中毒，当饲料中亚硝基含量达到 200 mg/kg 时，即可引起猪、鸡中毒。

（二）去毒加工

1. 调制成干草或者干草粉

沙打旺青饲由于苦味较重，家畜一般不喜食。可调制成干草或者干草粉，提高适口性。

2. 青贮沙打旺

青贮可减少毒性，提高适口性，反刍动物与单胃动物均喜食。其原因是沙打旺在青贮发酵过程中所产生的有机酸与 3- 硝基丙酸起酯化作用，减缓了毒性。

3. 调制发酵饲料

模仿牛、羊瘤胃条件，将沙打旺草粉进行人工发酵去毒，可用于饲喂猪、鸡、兔和鱼。

4. 限制喂量

沙打旺饲喂牛、羊等反刍动物时，应搭配其他饲草，以提高利用率和预防瘤胃产生苦味；沙打旺草粉用于饲喂猪，占日粮的 15%～30%；喂鸡，占日粮的 3%～5%；喂兔，占日粮的 20%～50%；制成颗粒配合饲料喂鱼效果较好。

三、疯草

“疯草”是指豆科黄芪属和豆科棘豆属有毒植物的统称，“疯草”主要分布于我国内蒙古、西藏、新疆、青海、陕西、山西等省、市、自治区，是我国主要毒草之一。内蒙古巴音洪格日、乌力吉、银根、图克木等 4 个苏木的 2 100 万亩草场上均分布有疯草，已导致 69 735 头（只）牲畜中毒，2 180 多头（只）牲畜中毒死亡，造成直接经济损失百万余元。由于“疯草”的危害，常造成骆驼、马、驴、羊等家畜中毒，引起流产、不孕，公畜无性欲，消瘦，最终导致死亡。

“疯草”的营养成分较高，如表 10-1 所示，其中粗蛋白质含量与苜蓿相近，是一种高蛋白质饲草，对于某些干旱、缺草，尤其是蛋白质缺乏的地区来说，是一种非常好的营养全面的牧草，有待于合理利用。

表 10-1　疯草和苜蓿营养成分比较　%

牧草种类	采样地点	干物质	粗灰分	粗脂肪	粗纤维	粗蛋白质	无氮浸出物	钙	磷
变异黄芪	乌力吉	91.40	29.30	1.50	16.70	14.40	29.50	1.88	0.10
小花棘豆	吉兰太	91.30	2.60	1.40	18.80	12.70	37.80	1.53	0.14
苜蓿	腰坝	87.00	8.30	2.60	25.60	17.20	33.30	1.52	0.22

注：引自达能太（2005）。

（一）中毒机理及症状

“疯草”中主要毒性成分为苦马豆素。苦马豆素主要通过抑制高尔基体 α- 甘露糖苷酶Ⅱ、溶酶体 α- 甘露糖苷酶和内质网 / 胞质 α- 甘露糖苷酶活性，使细胞内蛋白的 N- 糖基化合成、加工、转运以及富含甘露糖的寡聚糖代谢等过程发生障碍，导致细胞表面膜黏附分子、细胞膜受体正常功能变化，出现生殖、内分泌及免疫功能异常和细胞广泛空泡变性，使家畜中枢神经系统和实质器官受到损害，造成细胞功能紊乱，尤其是神经细胞功能紊乱，而使家畜表现出一系列神经症状。当生殖器官的组织细胞发生空泡变性时，可导致繁殖机能障碍。

山羊中毒后，初病时，精神沉郁，食欲下降，目光呆滞，对外界反应不敏感，迟钝，继而出现头部水平震颤，呆立时仰头缩颈，行走时后躯摇摆，步态蹒跚，追赶或急转弯时极易摔倒，放牧时不能跟群，被毛粗乱，无光泽，后期出现拉稀、脱水，后躯麻痹，卧地不起，出现心律不齐，最后衰竭死亡。绵羊出现临床症状的时间较晚，表现为转圈、摇头、卧地不起等症状。怀孕母羊多流产。马中毒后，病初行动缓慢，不愿走动，离群站立，食欲正常，后腰背僵硬，行动困难，易受惊。后期则头颈僵直，视力减退，步态蹒跚，容易跌倒，转弯困难。最后采食饮水困难，后肢麻痹，衰竭而死亡。骆驼病初行动变得缓慢，呆立不愿走动，不合群，不听从主人的使唤，行为反常，牵拉时后退，拴系时骚动向后坐，四肢发颤而失去快速运动的能力，易受惊，摔倒后不能自行起立，继而出现步态踌躇，饮水减少或基本停止，最后因机体极度衰竭而死亡。

（二）去毒加工

1. 青贮“疯草”

按 50% 的比例加入玉米秸秆（高粱）切成 5～7 cm，按照常规方法进行青贮，3 个月后行饲喂，不会引起家畜中毒，而且有较好育肥效果，青贮时间过短会影响毒素的降解。

2. 混合饲喂

正常饲草中按 15%～20% 的比例掺入饲喂羊有较好效果，不会引起中毒，这样既利用了“疯草”的高营养成分，也避免了中毒的发生，既解决了牧区蛋白质饲料严重缺乏的问题，也合理利用了“疯草”。

3. 浸泡

国外有报道，将变异黄芪用 0.3% 工业用盐酸浸泡 24 h 后捞出，再用清水冲洗 1～2 次，

放在通风阴凉处自然干燥备用。应用时将脱毒的变异黄芪按 30% 比例混入其他草（料）中再进行饲喂，不会出现中毒症状。这种脱毒方法比较简单、方便，费用低，牧民易掌握，有推广应用价值。

四、小冠花

（一）中毒机理及症状

小冠花植株含有 3- 硝基丙酸和 3- 硝基丙酸糖苷，在各生育期中，以盛花期含量最高，同一植株以花中含量最高，叶次之，茎最低。随着外界气温升高，有毒成分含量增加。每克小冠花干草中含亚硝基 12 mg。亚硝基的含量与生育期、植株部位、气温有关，在各生育期中，以盛花期为最高；同一植株以花中最高，茎最低，叶居中；随气温升高，亚硝基含量增加（表 10-2）。

表 10-2 亚硝酸含量随植株部位和气温变化的情况

项目	植株部位				气温			
	花	叶	茎	根	17	22	27	32
亚硝基含量 /（mg/kg）	20	12	4	4	2.2	5.0	6.6	10.3

注：引自 Faix（1978）。

小冠花中毒主要发生在猪、鸡等单胃动物，是由于 3- 硝基丙酸糖苷在畜体内代谢产生亚硝酸根离子，进入血液后，使低铁血红蛋白氧化成高铁血红蛋白，使其丧失携氧功能。此外，3- 硝基丙酸及其糖苷也能部分进入畜体内，如脑组织和肌肉组织，而直接产生毒性作用。

对反刍动物牛、羊等，一般不发生中毒（其原理与沙打旺中毒相似），但瘤胃微生物的解毒能力有一定限度，过量也会发生中毒。

（二）去毒加工

与沙打旺去毒加工相同。

五、山黧豆

能引起中毒的山黧豆有草香豌豆（又叫山棱豆、马牙豆）、永寿山黧豆、扁荚山黧豆、短山黧豆、硬毛山黧豆及中国西北白色大粒农家品种等。

（一）中毒机理及症状

山黧豆的有毒成分分为神经山黧豆毒素和骨山黧豆毒素。神经山黧豆毒素（有 β- 草酰胺丙酸、β- 二氨基丙酸、β- 氰基 -*L*- 丙氨酸），主要使人畜神经发生中毒症状，草香豌豆中含量最多，未成熟种子中含毒量更大。种子中有毒成分含量在 0.1%～0.8%。骨山黧豆毒素（有 β- 氨基丙腈），能引起动物骨骼畸形和主动脉破裂，主要存在于草香豌豆、矮山黧豆、

硬毛山黧豆中。

山黧豆引起中毒的一般为单胃动物。

（二）去毒加工

1. 选种、引种

低毒品种如国外选育的单吉尔山黧豆，种子中基本不含 β- 草酰胺丙酸；黑龙江山黧豆、协作山黧豆、扁荚山黧豆等含 β- 草酰胺丙酸均在 0.2% 以下。

2. 合理搭配

必须与其他饲料合理搭配饲喂，一般用量不应该超过日粮的 20%。反刍动物日粮中限制在 50% 以下。

3. 水溶脱毒法

将山黧豆粉碎加水浸泡，比例为 1∶3，浸泡 24 h 中间换水 2 次，此法可去除 90% 左右的 β- 草酰胺丙酸。

4. 淀粉加工

有些地区用山黧豆种子加工淀粉或粉条，可去除毒素达 99% 左右，但淀粉浆内含毒素，必须经过沉淀后去掉上清液，才可以利用。

5. 调制青贮

青贮山黧豆茎叶可与其他禾草、农作物秸秆及杂类草混合调制成混合青贮饲料。

六、羽扁豆

（一）中毒机理及症状

羽扁豆特别是种子都含有生物碱，以种子和豆芽中含量最高，达 0.30%～1.08%。据报道，羽扁豆的生物碱多达 12 种以上，其中最毒的是羽扁豆碱（又叫金雀儿碱）。羽扁豆毒碱大部分集中在种子里，其次为茎叶。结实期最危险。干燥不能使其脱毒，所以不论种子和干草，家畜大量长期采食，易引起中毒。各种家畜均可发病，以绵羊多见，山羊次之，牛、马、猪也能中毒。如体重 45 kg 的绵羊，喂 0.6 kg 成熟的羽扁豆荚即可致死。主要症状为中枢神经障碍、运动神经末梢麻痹及肝脏变性和萎缩等疾病。如运动疯狂、停食、口吐白沫、呼吸困难等。

（二）去毒加工

（1）冲洗浸泡。将羽扁豆反复淋雨或置于流水中浸泡 24 h，直到苦味消失为止。取出晒干或蒸煮后即可利用。

（2）科学配比。虽经去毒处理的羽扁豆，也应限制饲喂量，一般不宜超过日粮的 10%～15%。

（3）选育、种植低毒品种，如种植甜羽扁豆等。

七、三叶草

（一）中毒机理及症状

叶草中的红三叶、白三叶、绛三叶等对家畜都有一定的毒性，大量饲喂可引起家畜中毒。三叶草的有毒成分，各报道说法不一。有车轴草素、光敏感物质、肝毒素、氰苷、百脉根苷、皂苷等；也有报道，白三叶草含植物胶质甲基酶。

马易中毒，牛、羊等反刍动物和猪也偶尔发生。马中毒以后以神经症状最为显著。牛主要发生瘤胃臌胀，似蹄叶炎，母牛中毒后孕期延长。

（二）去毒加工

1. 限制饲喂量

不宜连续大量饲喂，采用与其他饲料搭配饲喂或交替饲喂。放牧地应将三叶草与禾本科牧草按 1∶2 混播。

2. 青贮

与其他饲料混合青贮。

3. 调制成干草或干草粉

发现中毒后，应及时更换其他饲料，不用药物治疗，经过 6～8 d 即可恢复正常。

八、苜蓿

（一）中毒机理及症状

苜蓿中含有皂苷和光过敏物质红叶质两种有毒成分。皂苷在苜蓿的叶、茎、根中都有分布，根中皂苷毒性最大，叶次之，茎最小。青饲时，反刍家畜采食量过大，易发生臌胀病，严重时 30 min 即可死亡。这是由于苜蓿中含有大量的皂苷，它在瘤胃中形成大量的持久性泡沫，使瘤胃臌胀。也有一些人认为，反刍家畜瘤胃臌胀病是出于苜蓿含有可溶性蛋白质所致。该病在各地都曾发生过，造成许多家畜死亡。如河北省昌黎县一养兔厂，由于大量青饲苜蓿，许多兔因患臌胀病而死亡。对于单胃家畜，皂苷能抑制机体的酶系统，特别是抑制琥珀酸脱氢酶。因此过多饲喂，能抑制单胃家畜的生长。对于皂苷的有害作用，家禽比猪敏感得多。此外，皂苷还具有溶血作用。

苜蓿还含有光过敏性物质红叶质，当家畜采食并经阳光照射时，可在皮肤的无色素部分发生红斑和皮炎为主要特征的疾病，这种病统称为中毒性光过敏或光过敏性中毒。易发生光过敏性中毒的还有荞麦和三叶草。该病只发生在有白色被毛的家畜及有阳光照射的条件下，缺少任何一个条件都不发病。

（二）去毒加工

1. 合理搭配

预防措施为放牧苜蓿前先喂一些干草或粗饲料，露水未干前暂缓放牧；放牧应采用苜蓿与禾本科牧草混播或采用与其他草地进行轮牧。青刈饲喂时与其他饲草搭配饲用，不宜单一、大量饲喂青鲜苜蓿。

2. 调制成干草或草粉

苜蓿干燥后，皂苷含量降低。

3. 青贮

青贮过程中产生的有机酸，可使皂苷分解成寡糖和甾体化合物或三萜类，从而降低了苜蓿中皂苷的含量。

4. 添加胆固醇或含胆固醇多的物质

据报道，皂苷可与胆固醇结合为复合体，使苜蓿中的皂苷下降。

5. 禾本科牧草混种或混合饲喂

6. 浸泡苜蓿草粉

根据皂苷易溶于水的特性，可将草粉用水浸泡 1～2 d，然后捞出，再与其他饲料混拌后饲喂。浸泡后还可提高苜蓿草粉的适口性。但是，浸泡的苜蓿草粉的添加比例也不能太高，否则，会使家禽日粮中的粗纤维含量超过限定量。

九、紫茎泽兰

紫茎泽兰的入侵和大量蔓延给我国特别是西南地区的生态环境及农业造成了巨大的破坏和经济损失。由于紫茎泽兰常常形成密集成片的单一优势群落，导致当地原有植物逐渐衰退和消失，给农、林、牧、副业带来极大的危害。紫茎泽兰的光合效率高、生物量大，经脱毒处理后作为饲料加以利用，可大大节约其防除成本，同时取得良好的经济效益和生态效益。

紫茎泽兰为菊科（Compositae），泽兰属多年生草本植物，原产于中美洲。据测定，每公顷可产紫茎泽兰鲜草 45 t 以上，其干物质能量为 17.22 MJ/kg，且在我国有大面积的分布，如能把它作为饲料资源加以利用，对于缓解我国目前饲料原料短缺的现状有重要意义。紫茎泽兰的粗蛋白质含量为 20% 左右，是一种理想的饲料资源。从营养成分来看（表 10-3），紫茎泽兰的粗蛋白质含量略高于非蛋白质饲料和一般牧草，粗纤维自变量略高于糠麸类饲料。对氨基酸的分析表明（表 10-4），紫茎泽兰含有 16 种氨基酸，其中 8 种必需氨基酸的含量都比较高。

表 10-3　紫茎泽兰营养成分表（按干物质计算 %）

营养成分	粗蛋白质	粗纤维	粗脂肪	粗灰分	无氮浸出物
含量	19.74	17.25	13.47	4.3	45.24

表 10-4 紫茎泽兰饲料氨基酸组成 %

名称	含量	名称	含量	名称	含量	名称	含量
赖氨酸	0.56	蛋氨酸	0.15	酪氨酸	0.40	苯丙氨酸	0.77
缬氨酸	0.86	谷氨酸	1.80	亮氨酸	1.23	异亮氨酸	0.70
丝氨酸	0.56	精氨酸	0.68	脯氨酸	0.80	天冬氨酸	1.35
甘氨酸	0.82	丙氨酸	0.95	苏氨酸	0.67	组氨酸	0.25

注：引自韩龙（2010）。

（一）中毒机理及症状

紫茎泽兰含有中草药特殊气味，主要成分是香茅醛、香叶醛、乙酸龙脑酯、樟脑等易挥发性成分，当大量紫茎泽兰在一起时，挥发成分富集对人畜具有熏昏作用。另外在对其进行人工防除时可引起手臂红肿，甚至出现接触性皮炎。

紫茎泽兰含有的主要毒素有单宁类（水解单宁和缩合单宁）7.81%，香豆素类 0.34%，挥发油类（芳香油）每 100 g 含 0.8 mL。用新鲜紫茎泽兰饲喂黑山羊，可出现全身肌肉紧张、震颤、阵发性痉挛、面部浮肿、精神沉郁、行动迟缓、食欲下降等症状；在日粮中紫茎泽兰占饲草比例在 50% 以上时，山羊生长停滞，怀孕母羊流产，对繁殖性能影响较大，特别是摄入量累计达 15 kg 以上时极为明显。用其喂鱼能引起鱼的死亡，用其垫羊圈，可引起羊蹄腐烂。家畜误食或吸入紫茎泽兰的花粉后，能引起腹泻、气喘、鼻腔糜烂流脓等病症。云南省临沧地区 1962—1986 年因紫茎泽兰引起的马匹死亡 72 278 匹，华坪县某乡因紫茎泽兰引起的马病每年高达 80 余匹，死亡 40 余匹。

（二）去毒加工

目前我国对紫茎泽兰进行脱毒的途径主要为微生物发酵处理。采用固态微生物发酵脱毒，脱毒剂由地衣芽孢杆菌、蜡状芽孢杆菌、嗜酸乳杆菌、青春双歧杆菌组成，将固态微生物脱毒剂按一定比例混入紫茎泽兰湿料中堆积发酵 4～5 d，待发酵温度达 45℃即可干燥，在发酵干燥后的紫荆泽兰草粉中添加天然硅酸盐的蒙脱石，能吸附动物消化道黏膜的多种毒素。发酵脱毒处理后的紫茎泽兰，其单宁降解率 >70%，香豆素降解率为 67%，芳香油降解率为 91.2%。几种微生物成本较低，使大规模工业生产成为可能，其生产工艺流程如下。

紫茎泽兰粗粉碎→接入生产菌种（10%）→堆沤发酵→待紫茎泽兰变黑后取出晒干→加入蒙脱石→粉碎包装。

这一处理模式简单易行，投资低，见效快，生产成本低于市场上糠麸的价格，而且其营养成分没有被破坏。

脱毒饲料饲喂动物后均不会产生毒害作用，且能够保持较好的日增重。杨发根等（1998）用脱毒紫茎泽兰饲喂猪的试验研究表明，紫茎泽兰占日粮组成 10%～15% 时，每头猪的毛利润与对照组没有显著差异，大于 20% 时，则毛利润下降，因此紫茎泽兰占日粮的 15% 为宜。周自玮等用紫茎泽兰作为饲料饲喂山羊，对比脱毒与未脱毒的效果，试验研究表明，未脱毒直接饲喂，可能导致肝细胞、肾组织、心肌、淋巴等损伤，免疫功能异常。

脱毒后的紫茎泽兰不但无毒，而且其适口性明显改善。张无敌等用市场上出售的两种紫茎泽兰饲料 M-A2 和 M-A5 饲喂敏感动物——肉用仔鸡，研究结果表明，两种市售饲料饲喂后无任何中毒表现和不正常的生理反应，肉质品尝鲜嫩无异味。M-A2 饲料生产工艺简单，成本仅为 0.25 元 /kg，且不会破坏营养成分。

十、银合欢

银合欢的营养价值较高，其嫩枝叶产量高，营养丰富；种子蛋白质丰富，氨基酸平衡，经过有效的脱毒处理后是一种优良的蛋白质饲料，对扩大植物性蛋白质来源，补充饲料的不足，尤其在饲料严重不足的热带地区，更是一种理想的饲料来源，合理地利用银合欢对促进畜牧业的发展有重要意义。

银合欢（*Leucaenaleucocephala* Lam.）为豆科灌木或小乔木。其适应性强、速生高产、营养价值高、适口性好、易于栽培，鲜嫩茎叶年产量达 37～60 t/hm^2。银合欢叶片干物质中粗蛋白质含量达 22%～29%，含有丰富的氨基酸、胡萝卜素、多种维生素和微量元素，其枝叶和豆荚都是牛、羊喜食的好饲料，被誉为“奇迹树”，还被联合国粮农组织的饲料专家誉为干旱地区的“蛋白质仓库”，是联合国粮农组织向亚太地区推广的多用途优良树种之一。

（一）中毒机理及症状

银合欢枝叶中含有含羞草素（β-N-（3- 羟基 -4- 吡啶酮）-α- 苯丙氨酸）及其瘤胃降解产物，3- 羟基 -4（1 氢）吡啶酮，会引起反刍家畜脱毛、流涎、甲状腺脾大、生长发育迟缓、生产性能下降、消瘦、步态失调直至死亡等多种毒性反应。我国的银合欢枝叶含羞草素的含量高达 3%～4%，含羞草素是一种氨基酸类毒素，主要存在于银合欢种子、叶片和根系等器官中。

含羞草素的主要毒性是抗细胞有丝分裂并能引起反刍家畜脱毛、血液中的甲状腺素浓度降低、生长发育迟缓、生产性能下降等多种毒性反应。牲畜进食银合欢后在口腔液的酶或瘤胃微生物的作用下，把含羞草素分解成 3- 羟基 -4（1 氢）吡啶酮，这种化合物在血液循环系统中浓度高，导致了甲状腺肿大，使家畜食欲很快下降，增重缓慢，胃食道溃疡，脱毛，饲养效果很差甚至死亡。母畜进食银合欢多量，生下的仔畜甲状腺亦肿大，而且很明显，体重也非常小。

（二）去毒加工

（1）银合欢于沸水中煮 1 h，可降低大部分含羞草素。
（2）在强碱环境下（pH10.5～12.5）加热 2 h，含羞草素降解率达 90%。
（3）将银合欢叶片于 70℃干热 48 h，含羞草素含量降低 54.8%。
（4）通过堆积发酵技术使鲜贮的银合欢嫩叶含羞草素降解 50%。

（三）微生物发酵

乳杆菌（*Lactotacillus*）、牛链球菌（*Stretocusbovis*）和生孢梭菌（*Costridium sporogerues*）在宿主体外纯培养 3 d，对含羞草素的降解率为 44%～59%。单独接种嗜酸乳酸杆菌，

当菌液接种量为 8%，发酵温度 30℃，银合欢碎度约 0.5 cm 时，发酵 25 d，银合欢含羞草素降解率达 80% 以上。

十一、马铃薯

（一）中毒机理及症状

马铃薯及其茎叶含有龙葵素（马铃薯素、茄碱）、茄啶、腐败素及硝酸盐。未成熟、青紫、发绿及发芽马铃薯中，龙葵素含量高达 0.5%（干物质），绿叶中约含 0.25%，花中含 0.7%。贮藏不当腐败的块茎龙葵素含量可达 0.58%～1.38%。当龙葵素含量为 0.02% 以上时，可引起中毒。

龙葵素可引起胃肠和神经症状为主要特征的疾病。龙葵素在健康完整的消化道黏膜中吸收很缓慢，当消化道黏膜受损及发炎时，则吸收迅速。吸收后的龙葵素可引起以胃肠炎和神经症状为主要特征的疾病。发病的时间不一，快者几小时，慢者 4～7 d，常见于猪、牛和马，特别是阉牛、产奶牛最易发生，而羊和鸡较少发生。

（二）去毒加工

1. 薯块去毒加工

对已发芽、变绿和霉烂的马铃薯，首先要挑选、去除，然后加入适量醋（或稀盐酸）和水充分煮熟。也有报道认为，加入少量石灰水、小苏打和氯化钙能减轻毒素。煮过的水不能饮用。马铃薯粉渣也应煮熟饲喂。马铃薯喂量应少，即使好的马铃薯，一般也不超过日粮的 50%。

2. 茎叶去毒加工

马铃薯青绿茎叶一般与其他饲草（如青饲玉米、高粱及其他禾草）进行混合青贮，也可以煮熟后滤水再饲喂或晒制加工成草粉，与其他饲料配合饲喂。

3. 预防措施

母畜在妊娠末期不宜用马铃薯饲喂。

十二、含亚硝酸盐的青绿饲料

一些青绿饲料都含有较多的硝酸盐和少量的亚硝酸盐，特别是小白菜、萝卜叶、花菜、甜菜、菠菜、芥菜叶、油菜叶和燕麦苗等（表 10-5）。硝酸盐本身无毒，但是在一定条件下可以还原为亚硝酸盐。目前已知近 90 个属的植物可引起亚硝酸盐中毒。

表 10-5 几种青绿饲料硝酸盐和亚硝酸的含量

饲料名称	硝酸盐 /（mg/kg）	亚硝酸盐 /（mg/kg）	备注
小白菜叶	1 621.8	6.7	新鲜
萝卜叶	1 219	9.9	新鲜
萝卜块茎	7 126	2.84	新鲜

续表 10-5

饲料名称	硝酸盐 /(mg/kg)	亚硝酸盐 /(mg/kg)	备注
南瓜叶	750	500	放置 3～5 d
红薯蔓	1 240	111	放置 3～5 d
水浮莲	100	5.0	放置 1 d

注：引自贺普霄（1984）。

（一）亚硝酸盐的产生

硝酸盐通过反硝化细菌酶的作用，并在一定的条件下，还原成亚硝酸盐。

1. 青贮饲料堆放时间长及发霉腐烂

青贮饲料在堆放过程中，由于氧化呼吸作用或发霉腐烂而产生大量的热，使堆内温度升高。而且青贮饲料的水分含量高，这就为反硝化细菌的活动创造了有利的条件，使亚硝酸盐的含量增加。如新鲜芹菜亚硝酸盐的含量为 0～0.1 mg/kg 自然放置第 4 天则增加到 2.4 mg/kg，到第 6 天并有腐烂的情况时竟高达 340～386 mg/kg。

2. 蒸煮不充分

蒸煮青饲料时火力不足，蒸煮不透，煮后焖在锅里，不搅拌或搅拌不匀，又不揭开盖，使未煮透的青饲料在 40～60℃放置较长时间，则亚硝酸盐含量增加。

3. 青饲料浸泡时间长

在室温下，用清水浸泡切碎的青饲料，亚硝酸盐的含量随浸泡时间的延长而增加，且以 20～40 h 为最高，可达 100 g/kg。

4. 用含有硝酸盐和亚硝酸盐的水拌饲料

如农田排水，浸泡过大量植物的井水、泉水或池塘水等。

5. 瘤胃微生物的作用

青绿饲料中的硝酸盐在瘤胃微生物和酶的作用下，还原成亚硝酸盐。亚硝酸盐进一步转变成氨，合成氨基酸和蛋白质。但当瘤胃 pH 和微生物区系发生变化及饲料中的硝酸盐含量过高时，氨基酸合成受阻，亚硝酸盐则增多。

（二）中毒机理及症状

亚硝酸盐进入血液后，使血液中的低血铁红蛋白（$Hb•Fe^{2+}$）氧化成高铁血红蛋白（$MHb•Fe^{3+}$）。这种变性的血红蛋白使红细胞失去携氧的功能，从而造成家畜全身急性缺氧，导致呼吸中枢麻痹、窒息而死。高铁血红蛋白在血液中达 10%～20%，则可引起黏膜发绀，但其他症状并不明显；如达到 60% 以上时，可引起死亡。

亚硝酸盐中毒，属急性中毒，多发生在春、秋两季，猪比牛、羊敏感，牛比羊敏感。猪每千克体重食入 70～75 mg 亚硝酸盐，牛每千克体重食入 650～750 mg 亚硝酸盐即可引起中毒或死亡。

（三）去毒加工

1. 合理分配

青饲料应随采随喂，喂多少采多少，若暂时喂不完，应薄层散开，不要堆放。经长期堆放或已发霉腐烂的饲料，不能饲喂，对新鲜饲草切勿乱堆乱踩，严防霜冻，快运快用。

2. 充分蒸煮

有些青饲料，若需煮熟后喂，应大火快煮（及时开盖），凉后再喂。喂多少，煮多少。

3. 科学饲喂

不要长期单一饲喂富含硝酸盐的饲料，应与其他饲料搭配饲喂。硝酸盐含量高的饲料饲喂反刍动物时，需搭配富含糖类的饲料，以供给氨基酸合成时所需的氢、能量和相应的酮酸，避免亚硝酸盐在瘤胃内富集。在放牧场应进行轮牧。

4. 田间管理

在种植青绿牧草时，适量使用钼肥，减少植物体内硝酸盐的积累；临近收获放牧时要控制氮肥的用量，减少硝酸盐的富集。选育低富集硝酸盐的青绿牧草品种。

5. 检测亚硝酸盐

饲喂青饲料多的饲养场，应经常检测饲料中的亚硝酸盐。常用的方法有联苯胺法：试剂为 10% 联苯胺和 10% 醋酸等量混合液。检测时取被检饲料汁液 1～2 滴，滴在滤纸上，然后取试剂 1～2 滴也滴在滤纸上与被检饲料汁液混合，如呈现橘红色，说明饲料中含有亚硝酸盐。

十三、含氰苷的青绿牧草

（一）含氰苷青绿牧草种类

最常见的有高粱苗、玉米苗、三叶草、马铃薯幼芽、南瓜蔓、亚麻（叶及穗、蕾）、木薯、亚麻籽饼和桃、李、杏的叶子及其核仁、未成熟的竹笋等。特别是高粱、玉米的再生苗氰苷含量最高。

（二）中毒机理

引起中毒的氰苷有亚麻苦苷、甲基亚麻苦苷、蜀黍苷、杏仁苷、野樱苷等。氰苷本身无毒，当植物组织受伤（破碎、粉碎）、堆放发霉、枯萎、受霜、雹损害或发育不良时，与植物体内相应的酶接触，即水解成氢氰酸，导致畜禽中毒。另外，含氰苷的饲草料，在反刍动物瘤胃微生物和单胃畜禽的胃酸作用下，转化成氢氰酸。氢氰酸中毒主要是氰离子抑制细胞色素氧化酶，使血红蛋白携带的氧不能进入组织细胞而缺氧。各种畜禽均可发生氢氰酸中毒，但多见于猪、牛、羊等家畜。

（三）去毒加工

1. 水浸蒸煮和发酵

将含氰苷的饲料在水中浸泡 0.5～1 d，籽实应浸泡 2～3 d，可减少氰苷含量，浸泡时应勤换水浸泡，不能污染水源，含氰苷的饲料在不加盖蒸煮过程中，应勤搅拌，使产生的氢氰酸挥发出去，可去除 95% 的氰苷；饲料发酵也可使氰苷减少。如木薯去皮切成小段，煮熟，放入清水浸泡 1～2 d，即可饲用，或将鲜薯加热 30 min，氢氰酸也可全部消失；亚麻籽饼用水浸泡后煮熟，煮时将锅盖打开，可使氢氰酸挥发而脱毒。

2. 去除含毒最高的部位

如马铃薯幼芽、木薯皮氰苷含量高，应先削皮去芽，再采用浸泡、蒸煮等处理，才能饲喂。

3. 控制喂量

要与其他饲料配合饲喂，即使经去毒处理后也应控制喂量，一般不超过日粮的 12.5%～20%。应特别注意不要让空腹家畜采食含氰苷的饲料，如防止早晨放牧时，路过高粱苗、玉米苗和亚麻地而采食中毒。用木薯块根作饲料时，可占饲粮的 15%～30%，在配合饲料中的用量一般以 10% 为宜。亚麻籽饼（粕）饲喂单胃动物一般不超过 20% 为宜，最好间歇饲喂。

4. 化学处理

利用氢氰酸易与氧和硫结合而失去毒性，遇醛或酮可生成羟基氰而失去毒性的特性，可利用化学处理使其脱毒。

5. 营养调控

木薯的蛋白质含量低，尤其缺乏蛋氨酸，故木薯用作饲料时，应与蛋白质含量较高的饲料搭配，并添加一些蛋氨酸。添加硫代硫酸钠或硫酸钠等含硫的化合物，在其体内硫氢酸酶的作用下，可与氰结合，生成硫氢酸盐随尿排出。在含有 50%～55% 木薯粉的肉鸡饲粮中添加 0.25%～0.30% 硫代硫酸钠，在含有 50% 木薯的猪饲料中添加 0.2% 的蛋氨酸，均可取得良好的饲养效果。

除此之外，还应在青绿牧草品种上下功夫。植物中氰苷的含量因品种不同而差异很大。因此，可选育低毒品种，新西兰和澳大利亚已选育出低氰苷的白三叶牧草品种。

思　考　题

1. 什么是低毒牧草？试举例说明。
2. 对草木樨的脱毒加工方法都有哪些？
3. 氢氰酸对动物有哪些影响？
4. “疯草”是指什么？怎样对疯草进行去毒加工？
5. 苜蓿的有毒成分是什么？怎样降低毒素的影响？
6. 亚硝酸盐的危害和去除方法有哪些？

7. 如何对沙打旺进行去毒加工？

参 考 文 献

[1] 玉柱，贾玉山. 牧草饲料加工与贮藏. 北京：中国农业出版社，2010.

[2] 玉柱，贾玉山，张秀芬，等. 牧草加工贮藏与利用. 北京：化学工业出版社，2004.

[3] 赵国琦. 草产品加工与利用. 北京：中国农业出版社，2017.

[4] 陈喜斌. 饲料学. 北京：科学出版社，2003.

[5] 杨凤. 动物营养学. 2 版. 北京：中国农业出版社，2006.

[6] 王忠艳. 饲料学. 哈尔滨：东北林业大学出版社，2005.

[7] 汪玺. 草产品加工技术. 北京：金盾出版社，2002.

[8] 杨发根，段家锦，朱桂玲，等. 紫茎泽兰脱毒作猪饲料原料的研究. 粮食与饲料工业，1998，5：19-20.

第十一章　食品工业副产品饲料化技术

【学习目标】

- 了解食品工业副产品基本类型。
- 了解食品工业副产品饲料化的意义。
- 了解食品工业副产品饲料的营养情况。
- 掌握几种食品工业副产品饲料化加工技术。
- 掌握几种食品工业副产品饲料贮藏技术。

第一节　食品工业副产品饲料化加工的意义

食品工业副产品是饲料资源的重要组成部分，多是提取了原料中碳水化合物后剩下的含水较多的残渣，包括制糖工业副产品（如甜菜渣、糖蜜）、榨油工业副产品（如豆饼、葵花饼等）。其中，除含有较多的粗纤维外，还含有一定量的粗蛋白质、粗脂肪、矿物质等营养素，具有一定的饲用价值，可以作为畜禽饲料使用。

食品工业副产品饲料化加工，具有突出优点。食品工业副产品作为饲料资源节约了饲料工业的成本，增加了副产品的利用，转化了副产品的使用，提高了经济效益，推动了食品工业副产品饲料化的发展。

当前我国农业迅猛发展，农产品加工特别是食品工业副产品得到了广泛的重视，食品工业副产品发展历程中经历了起步阶段、快速发展阶段、稳定发展时期，缓解了农业结构调整、人畜争粮、环境压力的矛盾，增加了畜牧业饲料来源，拓宽了畜牧业可持续发展的资源路径。

一、我国饲料资源开发现状

（一）饲料资源开发不断创新

饲料工业是联合种养的重要产业，为现代养殖产业提供了物质需要以及支撑，为农作物及其生产加工副产品提供了转化增值的渠道，与动物产品的安全稳定息息相关。我国饲料工业经过了40多年的快速发展，形成了饲料加工、饲料原料、饲料添加剂、饲料机械等门类齐全的产业体系，“十三五”是养殖业转型升级的关键时期，饲料的工业发展迎来了新的机遇，采用的发酵生物技术、干燥新技术开发新型饲料原料如玉米加工副产品、生物发酵饲料原料等这些技术已经相对成熟，使我国的饲料资源开发稳步前进。

（二）饼粕资源的开发利用

我国饼粕类资源十分丰富，主要有大豆饼粕、菜籽饼粕、棉籽饼粕、花生粕、芝麻饼粕、油茶饼粕、葵花籽饼粕、亚麻籽饼粕、红花籽粕等。这些原料都富含植物蛋白质，其蛋白质含量一般都在20%以上。这些饼粕经过一系列的加工脱皮等技术和原料经过生物发酵后，开发成养殖动物的饲料产品，其外观蓬松变软，气味芳香，抗营养因子降解，营养价值显著上升，开发利用率也随之增加。在牛羊等反刍动物养殖中，棉籽饼粕、大豆饼粕等在家畜日粮中已经成为重要的配方饲料资源，甚至成为开发利用的日常必需饲料化产品，饼粕资源在饲料化开发利用中资源性地位突出。

（三）能量饲料资源开发利用

能量饲料是指饲料干物质中粗纤维少于18%，粗蛋白质少于20%的一类饲料。主要指粮食工业副产物（糠麸类）、酿造工业副产品（糖渣、酒糟等），占主导地位的是麦麸、稻糠、糖渣、酒糟。在畜禽全价配合饲料中，能量饲料可占到60%～85%。能量饲料价格的高低，决定着配合饲料的成本和畜禽养殖的效益，当玉米等籽实能量饲料价格居高不下时，可以开发利用一些食品工业副产品等能量饲料，以降低饲料成本，提高经济效益。当前我国的食品工业副产品能量饲料资源数量大、种类多、分布广、有的营养价值也很高，这些物质经过开发与利用，大部分具有较高的营养价值，可以补充家畜所需的蛋白质、矿物质以及微量元素等，同时这些食品工业副产品能量饲料代替部分常规的能量饲料，可拓展我国能量饲料资源开发利用的渠道，适当降低养殖成本，获得可观的经济价值，助力畜牧业的可持续发展。

二、食品工业副产品饲料化的意义

缓解人畜争粮矛盾，促进产业结构调整，助益生态环境健康，增加畜牧业饲料来源。据专家预测，2030年我国人口将达到16亿之多，粮食的总需求量为7.43亿t，超过目前生产能力的50%。同时耕地面积进一步缩小，大约只有现在的80%。虽然有关专家指出，通过增加复种指数和利用科学技术提高单产，我国粮食产量在2030年有望达到7.1亿t，但这仍存有明显变数。到2020年、2030年、2050年我国粮食原粮需求的43%、50%、60%将用作饲料。可以说，21世纪中国的粮食问题，实际上是解决畜牧业所需的饲料粮问题。食品工业副产品饲料化可有效缓解人畜争粮矛盾，增加畜牧养殖业的饲料来源。随着我国粮油加工、轻工食品发酵等行业的快速发展，出现了大量的食品工业加工副产品和发酵副产品，如玉米酒精粕（DDGS）、酒糟、酱渣、醋渣、果渣、味精渣、酵母蛋白等，这些资源的工业化利用，将产生大量的饲料原料。因此，食品工业副产品资源的开发利用，不但是关系到中国养殖业可持续发展，同时关系到中国粮食安全和环境安全等问题。故应将食品工业副产品资源的开发利用放到战略高度来认识、来对待。

第二节　食品工业副产品饲料化加工原理

食品工业副产品饲料化加工原理复杂，根据原料来源不同，加工原理差异明显。植物

油料副产品饲料化以颗粒化、饼粕化为主；粮食加工副产品饲料化加工以糠麸、次粉为主，材料形态细碎，甚至多形成粉状物；食品工业酿造行业副产品饲料化以糟渣类为主，糟渣类多粉碎程度均一，但多数原料含水量高。食品工业副产品饲料化加工原理总体上注重副产品材料脱毒加工、防霉加工、脱水加工、便于运输贮藏加工、便于家畜调制日粮饲喂利用加工等方面来饲料化处理，饲料化后的产品，无论形态、质量均以力求“安全、便捷、高效”为加工原理的基本准则。

一、植物油料副产品饲料化加工原理

饼粕是大豆和油料籽实提油后的副产品。除脂肪外，饼粕类各种营养成分的含量均高于单位质量的原料。压榨法提油后的残渣称为饼，用溶剂浸提后的残渣为粕。我国是一个农业大国，各种植物油料深加工的副产物，如大豆饼粕、花生饼粕、菜籽饼粕、向日葵饼粕、棉籽饼粕、亚麻仁饼粕及某些野生油料植物（如黄须菜）的饼类，都是很好的蛋白质饲料资源。经过适当加工处理，在饲料工业可得到很好的利用。

（一）大豆饼粕

大豆饼粕是目前使用量最多的植物性蛋白质饲料，其用量占饼粕类饲料的 70% 左右。大豆饼粕风味好、色泽佳、适口性好，可用作各种畜禽的饲料，用于猪和鸡配合饲料的效果是其他饼粕类不能代替的。其蛋白质含量高于其他饼粕，在 40%～47%；必需氨基酸的组成和比例较好，赖氨酸含量较高，可达 2.5%，且与精氨酸的比例适宜，约为 1∶1.3，异亮氨酸与亮氨酸的含量也较高；缺点是蛋氨酸和胱氨酸含量不足。大豆饼粕中钙、磷的含量高于其他植物性饲料，B 族维生素含量较低，生产实践中应注意补充 B 族维生素。

豆饼含有抗胰蛋白酶、脲酶、血细胞凝聚素、皂苷、甲状腺肿诱发因子等有害物质，其中以抗胰蛋白酶为主，它可抑制胰蛋白酶的活性，降低蛋白质的消化率，使畜禽的胰脏肿大，饲料的代谢能降低，并且过多消耗蛋氨酸，引起氨基酸的不平衡，导致畜禽发育迟缓。为提高豆饼（粕）的利用价值，应进行科学的加工调制，以消除这些有害物质。抗胰蛋白酶和脲酶等是可溶性性蛋白质经加热处理可使其失活，消除有害作用，增加适口性，使蛋白质的消化率从 83% 提高到 90%。熟榨豆饼（粕）抗胰蛋白酶等有害物质已经基本被破坏，无须加热处理，可直接作饲料；冷榨和浸提饼、粕，则需在饲喂之前适当加热。加热时应事先向豆饼（粕）中加水，使其水分含量调整到 16%，温度为 110℃、加热 3 min。如果加热温度过高，时间过长会使其蛋白质变性，赖氨酸和精氨酸的活性降低，胱氨酸也遭到破坏，结果会降低蛋白质的消化率和氨基酸的生物学价值。

（二）花生饼粕

花生饼粕是以脱壳花生米为原料，经压榨或浸提取油后的残余部分。花生饼粕的营养价值较高，粗蛋白质含量为 37%～49%，且消化能高，平均消化能为 14.49 MJ/kg，具有甜香味，适口性良好，在植物性蛋白质饲料中仅次于豆饼。花生饼粕的矿物质含量与其他饼粕基本接近，钙含量为 0.2%～0.3%，磷含量为 0.4%～0.7%。花生饼粕含有少量抗胰蛋白

酶，也应适当加热处理。花生饼粕易感染黄曲霉菌，致使带有黄曲霉毒素，因此在高温季节不宜长期存放。

花生饼粕的蛋白质中氨基酸组成比例失调，类似谷物蛋白质中氨基酸组成。其精氨酸含量高达 5.2%，是所有动、植物饲料中最高的。但赖氨酸和蛋氨酸含量较低，赖氨酸含量仅为豆粕的 50%。由于精氨酸和赖氨酸是一对具有拮抗关系的氨基酸，二者在吸收和肾脏重吸收过程中存在着竞争关系，加剧了赖氨酸的缺乏。因此，花生饼粕适合与赖氨酸含量高的鱼粉等饲料合理搭配使用。在补充这些氨基酸的同时还要补充维生素 B_{12}，在猪和鸡的日粮中尤为重要。

（三）菜籽饼粕

菜籽饼粕中粗蛋白质含量为 36%～38%，其含量和消化率均低于大豆饼粕；但含有较高的赖氨酸、含硫氨基酸、色氨酸、苏氨酸等必需氨基酸也都能满足猪、鸡的需要量。油菜籽实含硫葡萄糖苷类化合物，其本身无毒性，但籽实破碎后，其所含芥子酶在一定水分和温度条件下，对其水解产生噁唑烷硫酮和异硫氰酸酯，这些物质能引起甲状腺肿大和损伤。异硫氰酸酯具有刺激性气味，可降低采食量，并对肠黏膜有刺激作用。菜籽饼粕在畜禽饲粮中的适宜用量主要决定于其中毒素的含量。幼雏饲粮中一般不用，产蛋鸡不应超过 5%，青年鸡不高于 2%～5%，成年鸡不超过 5%～10%。肉猪用量宜在 5% 以下，母猪应在 3% 以下，仔猪用量在 4%～5%，成年猪为 5%～8%。反刍家畜对菜籽饼的毒性不很敏感，肉牛饲粮中用 5%～20% 无不良影响，乳牛饲粮中用量在 10% 以下，产乳量、乳脂率均正常。

（四）向日葵饼粕

向日葵饼粕也称为葵花粕，是指葵花籽经预压榨或直接浸出法榨取油脂后的一种副产品，呈松散的片状、粉状，颜色呈葵花籽特有的灰色或灰黑色，具有葵花籽特有的香味，但是向日葵饼粕一般脱壳不净，向日葵壳进入家畜的口腔，经过家畜的咀嚼造成口腔中的软组织损伤，导致咀嚼能力下降，之后进入胃肠道，导致家畜不易消化，出现消化不良、胃肠道出血、便秘等一系列危害。其营养价值取决于脱壳程度。我国的向日葵饼粕，含粗纤维 20% 左右，每千克有 5.94～6.94 MJ 代谢能；带壳很少的向日葵饼粕，粗纤维含量为 12%，每千克代谢能为 10.03 MJ。向日葵饼粕粗蛋白质含量一般在 28%～32%，赖氨酸含量低，只有 1.05%～1.16%，蛋氨酸含量较高。B 族维生素含量丰富，钙、磷含量比一般饼粕多。

（五）棉籽饼粕

棉籽饼粕是棉籽提取棉籽油后的副产品。饲喂状态的去壳棉籽饼粕粗蛋白质含量可达 41%，甚至 44%，代谢能可达 10.03 MJ/kg 左右；未去壳的棉籽饼粕，相应为 22% 和 6.27 MJ/kg 左右。棉仁饼粕中赖氨酸含量不足，平均 1.29%～1.39%，精氨酸含量高，为 3.5%～3.75%。棉籽饼粕中含钙量为 0.15%～0.35%，磷含量为 1.05%～1.40%；B 族维生素丰富。在反刍动物饲养中，棉籽饼粕蛋白质具有高的过瘤胃值。棉籽饼粕中含有棉酚，应

注意去毒加工处理。榨油过程的高温高压处理，可使大部分毒性强的游离棉酚转变成结合棉酚，消解或降低棉籽饼粕的毒性。而菜籽饼中有毒物质具有刺激性气味和苦味，采用坑埋法、化学药剂处理、发酵法、可解除其毒素，提高菜籽饼的饲用价值，这样才能减轻对动物的危害，提高经济效益。

（六）亚麻籽饼粕

亚麻籽饼粕富含蛋白质，主要由白蛋白和球蛋白组成，是优质植物蛋白质。其氨基酸组成与大豆相似，赖氨酸、蛋氨酸缺乏，富含色氨酸。亚麻籽含 34% 的油脂，亚麻粕机榨法含 5% 左右的粗脂肪，浸提法约含 1% 粗脂肪。亚麻籽饼粕脂肪含量最高的是不饱和脂肪酸，其中亚麻酸所占比例较大，为其他常用植物油所不及。亚麻酸是动物机体不能合成又是生命活动必需的 ω-3 高不饱和脂肪酸的前体物，动物采食亚麻籽饼粕日粮后，肉、蛋、奶也会含有大量的 ω-3 高不饱和脂肪酸。有人用亚麻饼粕饲喂小鼠，结果其血清中总胆固醇、非高密度脂蛋白胆固醇及肝胆固醇含量均显著降低。随着人们对 ω-3 高不饱和脂肪酸日渐感兴趣，亚麻籽饼粕作为饲料原料直接使用受到重视。

二、粮食加工副产品饲料化加工原理

（一）全脂米糠

糙米精制过程中所脱除的果皮层、种皮层及胚芽等混合物称为全脂米糠，其内可能混合有少量不可避免的粗糠、碎米及碳酸钙，粗纤维含量应在 13% 以下。全脂米糠所含碳水化合物占 30%～35%，以纤维及半纤维居多，半纤维的组成复杂：67.9% 为还原糖，其中以五碳糖居多。米糠蛋白质主要有 4 种，谷蛋白、球蛋白、清蛋白、醇蛋白的氨基酸组成与一般谷物类似，第一第二限制氨基酸分别为赖氨酸及蛋氨酸，精氨酸含量特别高。米糠含油高达 10%～18%，大多属不饱和脂肪酸，油酸及亚油酸占 79.2%，油中亦含有 2%～5% 天然维生素 E。全脂米糠含有丰富的维生素 B 族及维生素 E，但维生素 A、维生素 D、维生素 C 则少。米糠含磷量虽高，但多属植酸态磷（占 86%），故利用率不佳。米糠中植酸盐含量特别高，为 9.5%～14.5%。全脂米糠中含有胰蛋白酶抑制因子，加热可去除，否则采食太多会造成蛋白质消化不良。

（二）脱脂米糠

全脂米糠经溶剂或压榨提油后残留的米糠即为脱脂米糠，粗蛋白质含量应在 14% 以上，粗纤维含量 14% 以下。脱脂米糠属低能量的纤维性原料，与全脂米糠成分上的不同，主要在于脂肪与脂溶性物质已被脱除，仅余 2% 左右的脂肪，其他蛋白质、粗纤维、矿物质、碳水化合物等成分均与全脂米糠类似。此外，造成脂肪酸败的脂解酶则完全破坏，引起生长抑制的胰蛋白酶抑制因子亦减少很多，故耐贮性提高，适用范围增加。

（三）麸皮和次粉

麸皮有小麦、大麦、燕麦等麦类麸皮，常见的麸皮以小麦麸皮为主。小麦精制过程中

可以得到 23%～25% 的小麦麸，3%～5% 的次粉和 0.7%～1% 的胚芽，据统计，我国每年小麦麸和次粉产量分别达 1 000 万 t 和 100 万 t 以上，主要用作饲料。麦麸为小麦最外层的表皮，小麦被磨面机加工后，变成面粉和麸皮两部分，麸皮就是小麦的外皮，多数当作饲料使用，而小麦麸含有丰富的膳食纤维，是动物体必需的营养元素，可提高食物中的纤维成分，可改善大便干结情况，同时可促使脂肪及氮的排泄，对临床常见纤维缺乏性疾病的防治作用意义重大；所以二者可以合并使用，对畜禽有益。

麸皮的成分与脱脂米糠类似，但氨基酸组成较佳，消化率也略优于脱脂米糠，维生素中 B 族及维生素 E 含量高，维生素 A、维生素 D 则少，磷多属植酸态磷，约占 75%，因含植酸酶，故磷利用率优于脱脂米糠，脂肪 4% 左右，不饱和脂肪酸居多，因含脂解酶，故易变质生虫。纤维含量高，属低能量原料。

（四）玉米蛋白粉

玉米蛋白粉是生产玉米淀粉的副产品，主要营养成分是蛋白质；因加工工艺和精制程度不同，蛋白质含量的变化幅度很大，生产上通常分 40% 以上和 60% 以上两种规格。其赖氨酸和色氨酸含量严重不足，但蛋氨酸与胱氨酸含量较高。玉米蛋白粉含叶黄素较高，为玉米的 15～20 倍，对蛋黄和皮肤的着色效果相当好。玉米蛋白粉多用于养鸡，用量宜控制在 5% 以下。也可用于猪饲料。乳牛、肉牛饲料中也可适量应用，其过瘤胃蛋白质含量较高。

从表 11-1 可见，玉米加工副产品中成分齐全，营养丰富，蛋白质含量较高，是制作饲料的优质原料。耿春银等研究表明，玉米副产品中富含维生素、矿物质及营养因子等，可用于畜禽动物的日粮中；张建华等认为，玉米浆的营养价值可以和鱼粉及大豆粕相媲美。早在 1998 年，孟宪梅等就阐述了利用玉米皮生产饲料酵母以代替部分鱼粉是开发饲料蛋白质资源的重要途径。晏家友亦发现玉米蛋白粉蛋白质含量高达 60%，并作为蛋白质资源广泛应用在养殖业中。

表 11-1 玉米加工副产品的组分及含量 %

项目	纤维	蛋白质	脂肪	水分及挥发物	不溶性杂质	灰分	水分
玉米皮	6～16	7～22	5.7			1～3	11～13
玉米浆		≥ 60				12	≤ 62
玉米蛋白粉	3～5	55～65	5～7			0.5～3.7	9～12
玉米胚芽粕	9.5	18～23	1.9			3.8	10～12
玉米油				≤ 0.2	≤ 0.2		

注：引自典姣姣等（2015）。

三、糟渣类副产品饲料化加工原理

（一）发酵、酿造工业的各种渣类

酒精液体酒糟（以玉米为原料生产酒精）、白酒生产的固体酒糟、酱油生产的酱渣、加

工豆腐的豆腐渣、加工淀粉的粉渣及食醋酿造的醋渣等，经加工或发酵生产的饲料蛋白质，都是较为理想的蛋白质饲料。各种糟渣的成分见表 11-2。从表 11-2 中可看出，多数糟渣粗蛋白质都在 20% 以上（干计），部分含量在 10% 以上。若经过微生物发酵粗蛋白质还能提高 5%～8%。所以，都可作为蛋白质饲料资源。目前，通过微生物发酵已生产了玉米酒糟粕（GGDS）、酱渣和酒糟等活性蛋白质饲料。

表 11-2　各种糟渣成分　%

名称	水分	粗蛋白质	粗脂肪	粗纤维	无氮浸出物	灰分	钙	磷
玉米酒精糟	9.5	27～28						
固体酒糟	9.5	8～12						
酱油渣	9.5	25～28	7～8	12～16	30～32	5～6	0.4～0.5	0.12～0.16
豆腐渣	9.5	22～24	7～8	14～16	38～40	5～7	0.7～0.8	0.45～0.5
醋糟	9.5	10～12	5～6	20～22	4.0～4.5	12～15	1.5～2.0	0.15 以下
粉渣	9.5	10～14	5.5～6	15～18	35～37	5～6	0.5～0.6	0.35～0.4

注：引自施安辉等（2001）。

1. 白酒糟

我国年产白酒约 500 万 t，每生产 1 t 白酒可产 3～4 t 湿酒糟，总量为 1 500 万～2 000 万 t，是值得开发的饲料资源。湿酒糟含水 70%～80%，干燥后（含水低于 10%）产量有 400～550 万 t，蛋白质含量 10%～25%。

2. 啤酒糟

啤酒糟是酿酒谷类除去可溶性碳水化合物之后的残渣，其蛋白质、粗纤维、脂肪、维生素及矿物质含量与酿酒谷类相似。其粗蛋白质含量占干重的 22%～27%，粗脂肪占 6%～8%，亚油酸占 3.4%，无氮浸出物占 39%～48%，钙多磷少，粗纤维含量较高，单胃动物利用率低，大多数用于奶牛的日粮中。

3. 酒精糟

我国年产酒精 300 多万 t，消耗粮食 900 多万 t，主要为玉米，可产 3 300 万～4 500 万 t 酒精废液，干燥制成酒糟，如 DDG、DDGS 等，营养物质保存较好，蛋白质在 25% 以上，适口性好，是猪、奶牛和肉牛的良好蛋白质来源。

4. 酱糟和醋糟

我国约有 40 多万 t 酱糟和醋糟，开发利用潜力很大。这两种糟的营养价值因原料加工工艺不同而有差异，粗蛋白质、粗纤维和粗脂肪含量较高，而无氮浸出物则较低。风干酱糟含水 10%，消化能（猪）8.74～13.81 MJ/kg，粗蛋白质 19.7%～31.7%，粗纤维 12.7%～19.3%，含盐量 5%～7%；风干醋糟含水量 10%，含粗蛋白质 9.6%～20.4%，粗纤维 15.1%～28%，消化能（猪）9.87 MJ/kg，含丰富的微量元素铁、锌、锡、锰等。

（二）面筋、粉渣、豆腐渣、果蔬渣

面筋、粉渣、豆腐渣、果蔬渣等糟渣类副产品粗蛋白质含量也在20%左右，对其综合利用有利于发展畜牧业，而且可以保护环境、减少污染。面筋、粉渣、豆腐渣、果蔬渣加工调制时注意防止霉变腐烂是把握的重要环节，一般随食品工业产品加工后随时产生随时利用为妥，这类原料多数形态为固体粉状，多作为家畜日粮混拌的材料进行添加使用，多数无须增加其他加工工艺。以下只简要说明马铃薯淀粉渣和果蔬渣两类。

1. 马铃薯淀粉渣

马铃薯淀粉渣是马铃薯加工淀粉后的副产品，其含水量高，含杂菌多，容易变质且不易烘干，但由于其含有大量的淀粉、纤维素、半纤维素、果胶等有效成分，具有很高的开发利用价值（表11-3）。马铃薯淀粉渣应注意脱水处理与防霉保护。

表11-3 鲜马铃薯淀粉渣中主要组成成分 %

	湿基	干基
干物质含量	11.0	—
灰分	0.5	4.5
蛋白质/氨基酸	0.95	8.65
粗脂肪	1.24	11.31
中性洗涤纤维	0.43	3.90
酸性洗涤纤维	1.51	13.75
钙	0.006	0.056
磷	0.011	0.098
淀粉	4.07	37
纤维素	1.87	17
果胶	1.87	17

2. 果蔬渣

根据国家统计局资料，2012年，中国水果产量为15 105万t。其中苹果3 841万t、柑橘3 168万t、梨1 707万t、葡萄1 054万t、香蕉1 156万t，还有为数不少的菠萝等水果。我国水果约有38%用于深加工，每加工1 000 kg水果就能产生下角料400～500 kg，烘干后得到干果渣120～165 kg。据报道，2003年，中国果渣产量为620万t，估算2012年为700万～900万t。果渣经微贮发酵制作蛋白质饲料，能使粗蛋白质、真蛋白质和粗脂肪分别提高74.63%、165.45%和50.67%，粗纤维降低61.34%。但目前果渣未能得到有效利用。

苹果渣：苹果渣营养丰富，干渣含粗蛋白质6.2%、粗纤维16.5%、无氮浸出物61.5%、钙0.13%、磷0.12%、含铁量为玉米的4.9倍；赖氨酸、蛋氨酸和精氨酸分别为玉米的1.7倍、1.2倍和2.75倍。柑橘皮渣：我国柑橘产量居世界之首，其中40%用于深加工，大量加工下脚料未能利用。葡萄渣：中国盛产葡萄，80%用于酿酒，13%鲜果食用，7%用于加工果汁。葡萄渣主要由籽（8%～10%）、皮（20%～25%）和梗（10%～15%）组成。目前，

葡萄渣利用很少，大多数被废弃，少数用作燃料，很少用作饲料。番茄酱渣：番茄酱渣由55%～58%的种子和42%～45%的果皮组成，干物质含粗蛋白质10%，粗脂肪12%～22%，赖氨酸含量比大豆高13%；维生素E含量特别高，故有较强的抗氧化功能。果蔬渣采取适当加工工艺时时，同样注意脱水处理及防霉保护，有助于果蔬渣长期安全利用。

（三）糖料渣

1. 甘蔗渣

我国年产甘蔗渣1 600万t，甘蔗渣含纤维素44%～46%，如不经过处理，动物的消化率只有20%～25%。经氨化发酵处理后，粗蛋白质达到8%～11%。多种微生物共生发酵甘蔗渣能使纤维素降低60%，粗蛋白质和粗脂肪提高数倍。

2. 甜菜渣

我国年产甜菜渣670万t，甜菜渣含粗蛋白质9.2%～12.9%、粗纤维16.7%～23.3%，其中粗纤维消化率高达80%，含钙0.91%。

甜菜渣是一种甜菜制糖工业的副产物。其适口性好，营养物质较丰富，是一种优质廉价的饲料资源，常作为反刍动物饲养中的能量饲料补充料，但是甜菜中含有较多的游离酸（如草酸），大量饲喂易引起家畜的酸中毒。其次，甜菜渣中含有硫葡萄糖苷，饲喂孕畜可引起先天性甲状腺肿，甜菜渣中的甜菜碱对犊牛和胎儿可能有毒害作用，围产期家畜应该避免或者减少食用，甜菜渣中含有少量的硝酸盐，可引起动物体组织急性或持续性缺氧，以上都是甜菜渣对家畜造成的副作用及其危害。

3. 糖蜜

糖蜜是制糖工业的副产品之一，组成因制糖原料、加工条件的不同而有差异，其中主要含有大量可发酵糖（主要是蔗糖），因而是很好的发酵原料，可用作酵母、味精、有机酸等发酵制品的底物或基料，可用作某些食品的原料和动物饲料。糖蜜又称糖稀，是以甘蔗、甜菜等为原料的制糖业的副产物。国内外60%用作饲料。糖蜜产量较大的有甜菜糖蜜、甘蔗糖蜜、葡萄糖蜜、玉米糖蜜，产量较小的有转化糖蜜和精制糖蜜。

制糖过程中，糖液经浓缩析出结晶糖后，残留的棕褐色黏稠液体即为糖蜜。属能量饲料，因味甜，多用作家畜饲料调味料或TMR黏合剂。按制糖原料不同可分为甘蔗糖蜜、甜菜糖蜜和淀粉糖蜜等。各种糖蜜的营养成分有差异。一般甘蔗糖蜜和甜菜糖蜜以转换糖量表示，其总糖量分别为48.0%、49.0%；水分分别为25.0%、23.0%；粗蛋白质分别为3.0%、6.5%。淀粉糖蜜是以谷物淀粉经酶水解后制造葡萄糖的副产品，以葡萄糖量表示，其总糖量为50.0%以上，水分为27.0%，粗蛋白质量甚微。

糖蜜常被大量的微生物污染，大致包括野生酵母、白念球菌以及乳酸菌一类的产酸菌。为了防止糖液染菌，保证发酵的正常进行，除了加酸提高糖液的酸度外，最好还要进行灭菌，灭菌方法有两种。

（1）加热灭菌。通蒸汽加热到80～90℃，维持1 h即可达到灭菌的目的。稀糖液的加热除了灭菌外，还有利于澄清作用，但加热处理需要耗大量的蒸汽，又需要增设冷却、澄清设备，一般工厂不宜采用。

（2）药物防腐。中国糖蜜酒精工厂常用防腐剂为：漂白粉，用量为每吨糖蜜 200～500 g；甲醛，用量为每吨糖蜜用 40% 甲醛 600 mL；氟化钠，用量为 0.01%；五氯代苯酚钠，用量为 0.004%。使用时应注意五氯代苯酚在酸性环境中分解成五氯苯酚和钠盐，所以应添加强碱在未酸化的糖蜜稀释液中。

中国吉林新中国糖厂酒精车间曾用多种药物对严重染菌糖蜜进行了灭菌试验，分别加入含量为 92% 的五氯代苯酚钠 0.000 4%，含量为 40% 的甲醛 0.084%，漂白粉 0.006%。试验结果说明五氯代苯酚钠的效果最好，漂白粉次之，甲醛更次之。

第三节　食品工业副产品饲料化加工技术

一、植物油料副产品饲料化加工技术

（一）大豆饼粕

豆粕是大豆提取豆油后得到的一种副产品。按照提取的方法不同，可以分为一浸豆粕和二浸豆粕 2 种。其中以浸提法提取豆油后的副产品为一浸豆粕，而先以压榨取油，再经过浸提取油后所得的副产品称为二浸豆粕。在整个加工过程中对温度的控制极为重要，温度过高会影响到蛋白质含量，从而直接关系到豆粕的质量和使用；温度过低会增加豆粕的水分含量，而水分含量高则会影响贮存期内豆粕的质量。一浸豆粕的生产工艺较为先进，蛋白质含量高，是我国国内目前现货市场上流通的主要品种。

大豆饼在大豆提油过程中由于经高温高压处理，豆饼内的抗胰蛋白酶等有害物质已被破坏，用于饲喂畜禽，适口性好，消化率高达 90% 左右。

大豆饼与大豆粕饲料化加工工艺大同小异，其一般过程可概括如下。

（1）大豆原料—清理破碎—轧胚—蒸炒—入榨—磨细冷却—大豆饼。

（2）大豆原料—清理破碎—轧胚—浸提—脱溶烘干—大豆饼。

以下几种饼粕饲料化加工工艺同上。

（二）花生饼粕

花生饼粕易感染霉菌，产生黄曲霉毒素，中毒事例经常发生。生产过程中，花生壳混入量对成分影响最大。连壳花生粕因含壳多，故纤维高，其他成分则相对降低，因此能量需求高之饲料应避免使用。

花生粕对幼雏及成鸡的能量值差别很大，生的花生粕会引起雏鸡的胰脏肥大，故花生粕以使用于成鸡为宜，大鸡料可使用至 6%，产蛋鸡可使用至 9%。为避免黄曲霉毒素中毒，使用 4% 以下为好。花生粕对猪的适口性相当好，但因赖氨酸及能量含量低，故其饲养价值低于大豆粕，仔猪饲料中可取代 1/3 大豆粕。肉猪采食太多花生粕时，肉质有变差的趋向，脂肪软化产生软体脂，因此饲料中用量以不超过 10% 为宜。

有相关规定黄曲霉毒素含量不得超过 1 ppm，饲料中用量亦受限制，以防中毒。雏鸡、肉鸡：前期不可使用，其他 4% 以下。猪：哺乳期不可使用，其他 4% 以下。水产禁用。

（三）菜籽饼粕

菜籽饼粕与其他植物性蛋白质来源最大不同在其能量价值变化相当大，随品种、测定方法及对象动物而有很大差异。随着菜籽脱皮加工技术的发展，占菜籽 15%～18% 的菜籽皮成为菜籽加工中除菜籽油和菜籽饼粕之外的又一大副产品。菜籽皮的主要成分为粗纤维 44%，粗脂肪 3%～5%，粗蛋白质 12%～16%，无氮浸出物 34%，以及单宁、植酸等物质。如何合理利用这部分菜籽皮，直接关系到菜籽脱皮加工技术的推广以及菜籽加工企业的综合效益。目前菜籽皮的利用研究中生产反刍动物饲料最多，反刍动物利用纤维素的能力强，菜籽皮中纤维素含量较高，是反刍动物饲料的良好原料。

菜籽饼粕加工新工艺——菜籽饼粕同步提取多酚、多糖、植酸和浓缩蛋白质工艺。该工艺技术在获得高质量浓缩蛋白质的同时得到了菜籽多酚、多糖和植酸，实现了综合利用。该工艺技术中菜籽多糖的得率为 2.8%，多酚为 2.82%，植酸为 2.34%。菜籽浓缩蛋白质中蛋白质含量为 70.2%，抗营养物质硫甙、多酚和植酸的含量分别为 0.76 μmol/g、1.33 mg/g 和 3.01%，分别降低了 96.6%、95.9% 和 38.5%，在这种加工技术中提高了菜籽饼粕的利用效率。

（四）向日葵饼粕

向日葵饼粕赖氨酸为第一限制氨基酸，但含硫氨基酸量高；粗纤维量随壳的比率而不同，脂肪量则随提油方式而不同，能量变化大，但比大豆粕低。B 族维生素含量比大豆粕高，烟酸含量尤其突出，钙磷含量比一般油粕类多。连壳者因能量低，肥育效果差，肉鸡不宜使用，脱壳者可少量用于肉鸡，但因赖氨酸、亮氨酸、蛋氨酸含量低，价值并不高，蛋鸡宜用 10% 以下，脱壳者可增加用量至 20%，使用太高会造成蛋壳的斑点现象。仔猪饲料避免使用，以免影响氨基酸的平衡，肉猪可利用，但连壳者因纤维含量高，用量受限，脱壳者可取代一半的大豆粕，但要补充维生素及赖氨酸，不可当蛋白质唯一来源。尤其要注意，加热过度者效果很差；压榨粕含脂高，采食太多易造成软脂，影响胴体品质。

在加入皮壳饲喂畜禽时，会造成畜禽的口腔、消化道出血溃疡、消化机能紊乱、便秘等。如何减少皮壳对畜禽的影响，是饲养的关键技术。皮壳采用生物发酵技术，或经过高温处理，掌握好高温的时间，避免造成营养物质的流失，这样皮壳相对变软，动物采食量增加，口腔及消化道都能适应处理过的皮壳，减少了动物对采食的影响。

（五）棉籽饼粕

棉籽饼粕含壳太多的棉籽粕能量不高，肉鸡饲料应避免使用，其他饲料则使用 5% 以下为宜。家禽对棉酚的敏感性比猪低，但在不影响生长的低剂量下可引起蛋的脱色问题。以蛋鸡而言，饲料中棉酚含量若在 200 ppm 以下，即不致影响产蛋率。若要避免蛋黄在储存期间脱色，则应限制在 50 ppm 以下，否则鸡蛋在储存期间蛋白可能呈现粉红色，蛋黄出现绿黄或暗红色及斑点状，蛋黄的 pH 高时，更加速变色反应。亚铁盐的添加可增加棉酚的耐受性，阻止小肠对棉酚的吸收。一般所用亚铁盐为硫酸亚铁，量为棉酚含量的 4 倍，针对蛋黄变色，添加后其耐受量可提高至 150 ppm。肉用仔鸡对棉酚的耐受量为 150 ppm，添加铁盐后可增加至 400 ppm。

棉籽压榨粕脂肪含量高，但脂肪中含有 1%～2% 的环丙烯脂肪酸，会使蛋黄硬化，加热即成海绵状，称之海绵卵，而且蛋黄变得脆弱，渗透性增加，更加快棉酚的变色反应，而且该环丙烯脂肪酸会引起产蛋率及孵化率的降低。品质优良的棉籽粕（溶剂提油且棉酚含量低者）可取代一半大豆粕而无不良影响，但要补足所缺的赖氨酸。品质不好或取代量太高则影响适口性，并有中毒现象。

游离棉酚含量超过 0.04% 的棉籽柏，在使用上必须很谨慎。猪只对游离棉酚的耐受量为 100 ppm，超过此量即抑制生长，并可能中毒死亡。与鸡一样，棉酚的毒性可因添加铁盐而避免，最具功效的铁盐是硫酸亚铁。棉籽粕是猪的优良色氨酸来源，但它的赖氨酸含量很差，鉴于产品的不稳定及棉酚毒性问题，一般乳猪、仔猪饲料不推荐使用。棉籽饼粕饲料化工艺技术，如图 11-1 所示。

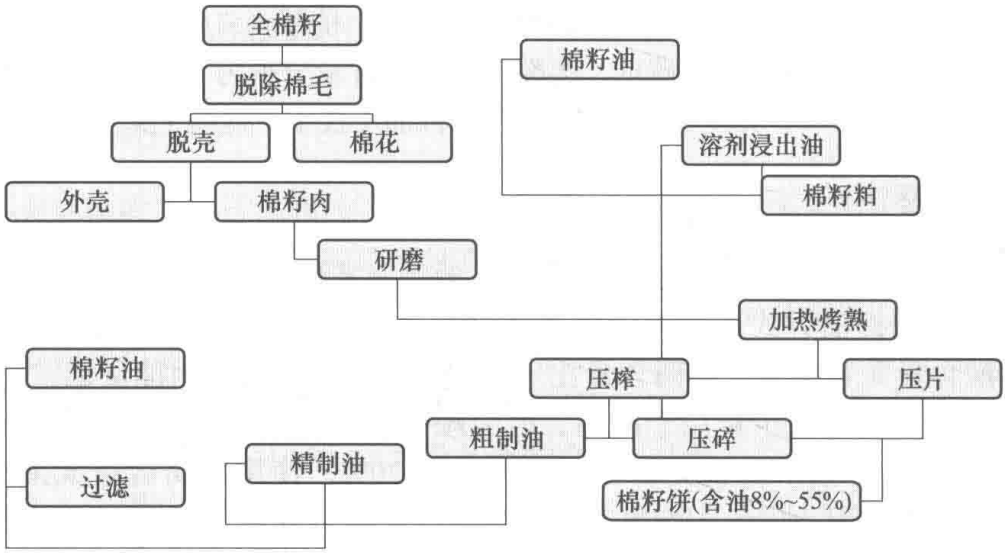


图 11-1 棉籽饼的生产工艺流程图

二、粮食加工副产品饲料化加工技术

（一）全脂米糠

全脂米糠可补充鸡所需的维生素 B 族、锰及必需脂肪酸，以全脂米糠取代玉米饲养鸡，则见饲养效果随用量的增加（20%～60%）而变差，其原因是胰蛋白酶抑制因子的存在。全脂米糠易变质，故鸡料中以使用 5% 以下为宜，粒状饲料则可酌量增至 10%～20%，用量太高会影响适口性。由于米糠中的生长抑制因子对鸭影响甚微，鸭的饲料用量可达 50% 也不会明显影响鸭的生长及产蛋。

全脂米糠对猪适口性不佳，饲养肉猪随用量的增加而降低饲料效率，尤以久贮的全脂米糠更为明显，此外全脂米糠会软化屠体脂肪，降低屠体品质，故肉猪饲料添加量应在 20% 以下，仔猪饲料避免使用，因易导致下痢现象。

全脂米糠为草食性及杂食性鱼完全饲料的重要原料，可提供鱼类的必需脂肪酸，且脂肪利用率也高，故对生长效果颇佳。维生素中肌醇很高，是鱼类所欠缺的重要维生素。鱼对全脂米糠的蛋白质的利用率并不好。

（二）脱脂米糠

脱脂米糠的能量含量不高，不适用于肉鸡，但蛋鸡、种鸡则可加以利用，而不用担心变质及生长抑制问题。脱脂米糠有补充维生素 B 族及锰的效果，只要不影响能量需求，可尽量使用。要注意的是，用量太高时，因米糠含植酸多，会造成钙、镁、锌、铁、磷等矿物质利用率降低。

品质良好的脱脂米糠对猪的适口性甚佳，不必担心对屠体品质有任何不良影响，是很好的纤维来源原料，但为避免造成能量不足，肉猪用量宜在 20% 以下，仔猪也可少量使用。

（三）麸皮

糠麸类饲料是粮食加工后的副产物，全国年产量在 2 200 万 t 以上，有 85% 可用于饲料，其中以小麦麸产量较高，其次为米糠，还有高粱糠、玉米糠、小米糠等其他杂糠。麸皮能量不高，故不适作肉鸡饲料用，但种鸡、蛋鸡在不影响能量需求下可使用，一般蛋鸡、种鸡用量在 10% 以下。麸皮具轻泻性，故有助通便之效，是种猪饲料良好原料，肉猪利用性亦佳，饲养价值与脱脂米糠类似或略佳，但能量需求高的教糟及哺乳猪饲料则不适用。杂食鱼、草食鱼饲料可利用，因脂肪不高，故能量偏低，对鱼类的用量不宜太高，但所含蛋白质消化率比米糠高很多。

（四）小麸皮和次粉

小麸皮即麸皮中的较细者，成分略优于大麸皮。小麸皮的成分特性与大麸皮类似，但所含淀粉较高，纤维较低，故能量亦比大麸皮高，利用方法同大麸皮，但饲养价值更高。用在水产饲料的饲养效果优于大麸皮，且因细度较细，黏性较高，故可得较佳的粒料品质。随精制程度的提高，淀粉含量越多能量越高。

（五）玉米

微生物发酵玉米加工副产品可提高和改善其营养价值，促进动物的新陈代谢及消化吸收。张金玉等提出用微生物发酵饲料直接饲喂动物可促进畜禽的生长发育；国外学者 Gill 等试验发现微生物乳酸杆菌能够增强机体的免疫力，这些益生菌菌株可提高动物的免疫力，改善动物的健康；陈洁梅等研究表明用芽孢杆菌发酵豆粕能够去除一些抗营养因子，以易于动物的吸收；Sogaard 等研究发现发酵过程能产生很多畜禽本身不能合成的酶，如纤维素酶、葡聚糖酶和果胶酶，发酵饲料可降解一些大分子物质，提高饲料的利用率；Suzuki 等研究发现给猪饲喂含枯草芽孢杆菌的发酵饲料 3 周后，粪便中有益厌氧菌量明显上升，而一些有害的需氧菌和病原菌的数量都显著下降，表明发酵饲料可维持动物体内微生态平衡，具有一定防病治病的作用。

玉米加工副产品发酵蛋白质饲料是利用微生物对玉米皮、玉米浆、玉米蛋白质粉和玉米胚芽粕进行混合发酵，把原料中的淀粉和半纤维素分解合成生物性蛋白和多种维生素，同时把饲料中的大分子营养物质分解成小分子物质，更有利于动物的消化吸收，发酵饲料

中也有大量的益生菌存在，抑制有害菌，从而减少动物消化道疾病的发生。在生产过程中，菌种的选择是至关重要的，其他发酵条件也都会影响发酵产品的质量。如刘飞研究发现降低饲料的 pH，有利于发酵饲料的长期保存。王兴华等试验表明，黑曲霉 H6 和木霉 M3 的接种质量比为 4%：2%，酵母以 Y_3 1%、Y_2 1% 和 Y_{26} 1% 的接种量发酵原料 60 h，发酵产物中的粗纤维含量减少了 6.9%，蛋白质含量增加了 10.1%。龚仁试验用复合菌剂为枯草芽孢杆菌、产朊假丝酵母、米曲霉和黑曲霉以 2：1：1：1 的比例，接种量为 1.5%，发酵工艺条件为氮源为 1.5% 的尿素，发酵基质含水量为 50%，发酵温度为 30℃，发酵时间为 48 h，研究发现发酵产物中的粗蛋白质显著增加。

玉米加工副产品发酵蛋白质饲料能够改善饲料的适口性和营养价值，可促进畜禽动物的肠道消化吸收作用，提高饲料的利用率。诸多研究表明，微生物发酵蛋白质饲料可以改善畜禽动物的生长性能和健康状况，提高采食量，降低料肉比。

（六）马铃薯淀粉渣

目前对于马铃薯淀粉渣利用开发方法主要有发酵法、理化法和混合法。发酵法是利用微生物发酵，将马铃薯淀粉渣发酵制备各种生物制剂和有机物料；理化法是用物理、化学和酶等方法对马铃薯淀粉渣进行处理，从马铃薯淀粉渣中提取一些有效成分；混合法是把酶法处理和发酵处理两种方法结合在一起的处理方法。

作为淀粉生产的废渣，马铃薯淀粉渣的处理和转化问题一直没有得到很好的解决。无论是从马铃薯淀粉渣中提取有益物质，还是利用马铃薯淀粉渣生产发酵产品，技术上面临的主要问题就是马铃薯淀粉渣的营养价值较低，经济上面临的瓶颈就是马铃薯淀粉渣转化产品的效益较差、市场化推广难度较大。利用马铃薯淀粉渣发酵生产禽畜饲料，是未来马铃薯淀粉渣处理的最有发展潜力的方向。如何在马铃薯淀粉渣的处理技术和经济效益之间找到合适的平衡点，既能解决马铃薯淀粉生产企业废料处理的问题，提高企业环保水平，增加企业经济效益，又能降低饲养成本，促进畜牧业的良好发展，是马铃薯淀粉渣综合利用中应该主要考虑的问题。

（七）大豆皮

国外关于大豆皮在饲料工业中的应用报道比较多，而国内大都是将大豆皮与豆渣或者豆粕一起混合加工成饲料加以利用，很少有将大豆皮分离出来单独用作饲料的报道。目前，也有将豆皮中低价值的蛋白质水解得到氨基酸，再与铜盐或稀土作用生成复合氨基酸络合物，作为饲料添加剂加以利用。氨基酸稀土饲料添加剂能向动物机体提供最佳吸收剂型，具有易被消化吸收、抗干扰、稳定性好，使畜禽增长、增质量明显等特点，因而是发展稀土饲料添加剂的必然趋势。大豆皮中含有丰富的膳食纤维，并且具有其他饲料替代品（如麸皮、棉籽、甜菜和柑橘的下脚料）所不具备的优点，可以添加到其他高能量但纤维含量低的精饲料中，不仅可以减少因为高精料日粮导致的酸中毒，形成对瘤胃有利的 pH，而且能刺激瘤胃液中分解纤维素的微生物快速生长，增强分解纤维素的活力，这对于哺乳期的奶牛来说优点更为明显。同时在一定程度上也解决了饲料浪费的问题。

三、糟渣类副产品饲料化加工技术

糟渣类资源来源于酿造工业、制糖业、副食加工业等，有酒糟、醋糟、酱油糟、豆渣、粉渣、甜菜渣、果渣等。全国年生产各类糟渣可达 3 000 万 t 以上，有 95% 可用于饲料。目前只有 50% 用于饲料，其余则被浪费，这类资源的开发潜力是很大的。

（一）玉米酒糟及可溶物

玉米酒糟及可溶物（DDGS）是由 DDC 和 DDS 组成。DDC 是指将玉米酒糟作简单过滤、将滤渣干燥而获得的饲料，其中含有除淀粉和糖以外的其他成分，如蛋白质、脂肪和维生素。DDS 是指玉米经发酵提取酒精后的稀残留物中的酒糟可溶物干燥处理的产物，其中含有一些可溶物、发酵物、发酵产生的未知生长因子、糖化物、酵母等。将 DDC 和 DDS 按一定比例（通常是 7∶3）混合烘干即得到 DDGS。在采用干法生产酒精时，每 100 kg 玉米能产生大约 36 L 酒精、DDGS 和 CO_2 各 32 kg。DDGS 中除碳水化合物外，其他成分为原料的 2～3 倍。因样品来源不同，营养成分有一定差异。

据国外 300 个样品分析，各种营养成分均值为：粗蛋白质 27.15%，粗脂肪 10.67%，粗纤维 6.21%，灰分 4.5%，钙 0.43%，磷 0.76%。据国内报道，国产 DDGS 含粗蛋白质 28.7%～32.9%，粗脂肪 8.8%～12.4%，粗纤维 5.4%～10.4%。DDGS 中氨基酸含量和可消化氨基酸水平通常是玉米的 3 倍，赖氨酸消化率为 46%～84%。脂肪含量是玉米的 3～4 倍，亚油酸含量达到 2.3%。蛋鸡、种鸡饲料中使用 5%～10% 可改善产蛋率、受精率、孵化率及蛋重，并减少软便现象。肉鸡饲料为避免影响热能需求，用量宜少。肉猪饲料中，以啤酒糟取代蛋白质来源的一半仍可保持正常的增重及饲料效率，但需补充所缺乏的赖氨酸。补足赖氨酸后，以 20% 及 40% 啤酒糟用于怀孕母猪饲料仍可得相当满意的繁殖成绩。因纤维含量高，仔猪饲料中避免使用。

食品酿造工业副产品，酒糟类制取工艺流程，如图 11-2 所示。

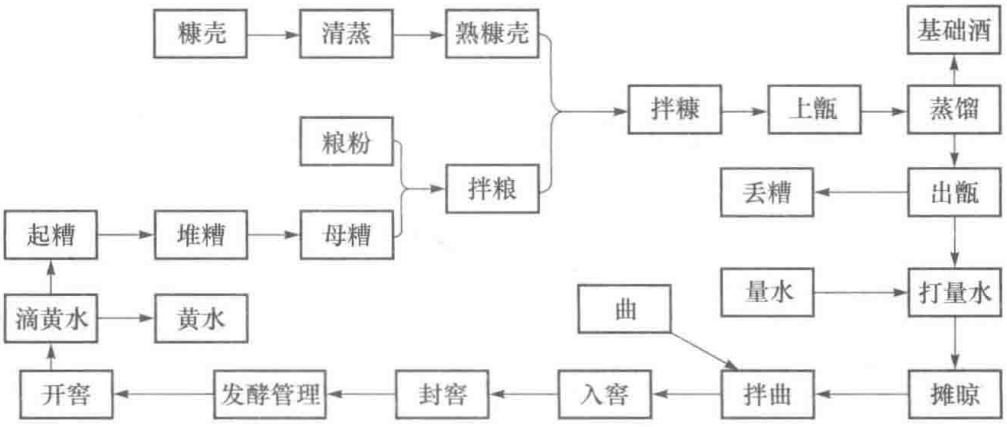


图 11-2　酒糟制取工艺流程图

（二）制糖副产物的开发利用

我国制糖原料主要是甘蔗和甜菜。糖渣是榨糖后的残渣，糖蜜是制糖过程中产生的含糖废液。糖蜜经发酵进行粗馏过程中产生的高浓度有机废物称酒精废醪液。酒精废醪液含

丰富的氮、磷、钾和有机质，其中含有 10%～12% 的固形物，固形物中 70% 为有机质，如酵母菌体、蛋白质、糖分、氨基酸、维生素、有机酸等。滤泥是在制糖过程中，蔗汁通过澄清，由压内机或真空吸滤机过滤后的残渣，一般占压榨量的 3%～4%。滤泥含甘蔗纤维、蔗糖和蔗蜡凝胶体，含粗蛋白质 15%～17%，粗脂肪 10%～15%，总糖分 10%～15%，还有部分微量元素。

糖蜜是一种能量饲料原料，含糖 40%～46%，主要含蔗糖、果糖、葡萄糖等可溶性糖类；含蛋白质 3%～6%，还含有生物素、胆碱和可溶性 B 族维生素；含烟酸 300～800 mg/kg，肌醇 500 mg/kg，锰 20 mg/kg，钴 0.5 mg/kg。糖蜜可在日粮中添加一定比例饲喂猪、家禽和草食动物。糖蜜也可制作尿素糖蜜舔砖。舔砖是以糖蜜、尿素、食盐、维生素、矿物质和微量元素为主要营养成分，添加一定量的凝固剂和填充剂压制而成，供给舔砖是反刍动物补充蛋白质和微量元素的有效方法。糖蜜也可在青贮中应用。糖蜜主要含可溶性糖类，而可溶性糖是制作青贮饲料的关键，含量在 4% 以上可以制作出上等优质青贮料；而含量在 2.5% 时，质量难以保证；含量在 1.5% 以下时多为劣质青贮料。豆科植物含糖量低，难以青贮，若在其中添加一定比例糖蜜，能缩短青贮发酵进程，改善青贮效果，提高青贮品质。

生产糖渣副产品饲料工艺流程，如图 11-3 所示，糖渣生产技术以菊芋为例。

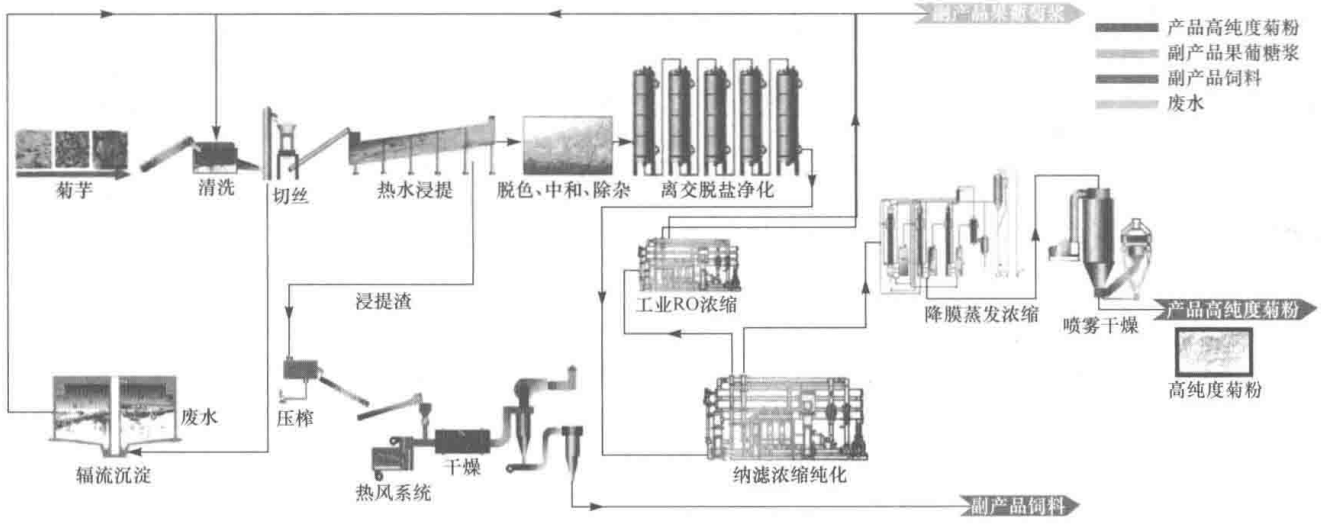


图 11-3 以菊芋为例，生产糖渣副产品饲料工艺流程示意图

第四节 食品工业副产品饲料产品贮藏技术

一、植物油料副产品饲料贮藏技术

由于饼粕类饲料缺乏细胞膜的保护作用，营养物质容易外漏和感染虫、菌，因此保管时要特别注意防虫、防潮和防霉。入库前，可使用磷化铝熏蒸灭虫，用邻氨基苯甲酸进行消毒，仓库铺垫也要切实做好。垫糠要干燥、压实，厚度不少于 20 cm，同时要严格控制水分，最好控制在 5% 左右。

贮存宜放于干燥通风处，以夏季不超过 1 个月，冬春不超过 2～3 个月为宜，用前应做好毒素的检测工作。

（一）饼粕的贮藏特点

1. 易发热、生霉、生虫

饼粕种类较多，有豆饼、菜籽饼、棉饼、花生饼、芝麻饼等。无论哪种饼粕，皆因营养成分外露，粗蛋白质含量高，极易受虫、霉污染。危害饼粕的害虫主要有拟谷盗和蛾类等，这些害虫的繁殖和排泄物均可导致饼温上升，发霉变质。因此，油料饼粕宜在低温、干燥、封闭处贮藏。

2. 易自燃

油饼自燃的原因在于螺旋压榨后饼温较高（90℃左右），若不及时降温，饼温即可迅速聚积到250℃以上，使饼内水分大量蒸发，并产生裂纹。当饼温下降时，油饼又可从空气中吸引大量水分，并产生放热现象。鉴于油饼导热性不良，当热量积累到一定程度时，便会产生自燃。此外，据研究油饼水分含量低于5%，在贮藏、运输过程中，因摩擦、日光直射，也可导致油饼自燃。

对于饼粕吸湿引起自燃的原因，研究认为，在缺少水蒸气条件下，氧化过程对饼类自燃无显著影响。但当吹入湿空气时，则可使饼温迅速升高（3 d达200～250℃），从而引起自燃。

（二）饼粕贮藏方法

1. 库内薄糠覆盖堆垛法

先在库底铺垫10～20 cm干糠（干沙亦可），然后平放饼块，堆垛时饼间稍留孔隙，要求铺一层饼，夹一层10 cm干糠，结顶时再覆0.2～0.3 m干糠，不必收尖。垛高因库房高度而异，四周与饼间孔隙用大糠塞满，然后密封贮藏，以防返潮和鼠虫危害。

2. 露天垛存

选高而且干燥的地方，用40～60 cm干大糠垫底，上铺席2层。垛宽以6饼宽为度，长度不限。堆垛时要求随时用干糠填塞饼间孔隙，上部收尖。垛好后，包3层席，夹上秸秆把后，再封席2层即可。

3. 其他贮藏法

缺氧贮藏法。用机械、生物或添加亚硫酸钠等法脱氧，使氧气浓度降到20%左右或将CO_2浓度提高到40%～50%。

中性气调法。指用83%～88%氮气、12%～13%二氧化碳气体和1%～2%氧气减少酸化，抑制微生物活动，使安全贮藏期可延长至200～260 d。

甲醛贮藏法。按100 g豆饼加入0.25～1 g甲醛于塑料袋中密封72 h，再摊开晾72 h。

二、粮食加工副产品饲料贮藏技术

（一）麦麸的贮藏

1. 麦麸贮藏特点

麦麸易酸败、生虫、霉变。酸败原因与麦麸脂肪含量较高有关（1.3%～1.8%）。另外，

麦麸、糠粉等灰杂多，结构松散，堆内孔隙大，易吸潮。贮藏不当，极易产热、生虫、霉变。危害麦麸的害虫主要有狼尾虫、拟谷盗、大谷盗、粉斑螟蛾、米黑虫和粉螨等。

2. 麦麸的贮藏方法

重视消毒工作。搞好库房及用具清洁、消毒。袋装麻袋最好熏蒸后使用，以防害虫感染。

降温入库、勤翻勤倒。新出机的麦麸水分含量低（仅 12% 左右），但温度较高，即使低温季节，也常在 30℃左右，因此麦麸贮藏时切记降温入库。降温方法是出机时先包装通风降温，待温度降至 15℃左右时，再脱包散装贮藏。冬季麦麸贮藏，应做到勤翻勤倒，以防发热结露生虫。春暖季节麦麸贮藏则应严封，以防外层湿热侵入。

加强检查。检查重点是质量和饲味。发现发热质变或霉变结块者应及时处理。对贮藏麦麸要做到随时测温，温度超过 30℃时应迅速翻倒，降堆通风。若感染生虫，应将有虫麸包或堆头四周的麸包（以 6 包高度为宜）用磷化铝熏蒸。总之，麦麸贮藏稳定性差，一般贮藏期不应超过 3 个月。取用时同样坚持“推陈贮新”原则。

（二）米糠的贮藏

米糠中脂肪含量高，导热不良，吸湿性强，极易发热酸败。贮藏米糠时，应避免踩压。入库的米糠要及时检查，勤翻勤倒，注意通风降温。米糠贮藏的稳定性比麸皮还差，不宜长期贮藏，要及时推陈贮新，避免造成损失。

三、糟渣类副产品饲料贮藏技术

糟渣大多是提取了原料中的碳水化合物后剩余的多水分残渣物质，主要包括酒糟、酱油糟、醋糟、淀粉工业下脚料、糖蜜、甜菜渣、甘蔗渣、淀粉渣、菌渣等。但糟渣含有较高的水分和无氮浸出物，容易腐败变质，不易运输保存，若不及时处理经发霉变质后不但不能利用还会导致环境污染。

（一）酒糟的贮藏

以往多用干晒法。但据试验，该法常使营养物质损失 65%。为减少损失，近年又推出封闭贮藏法。封闭贮藏法形式较多，分缸贮、窖贮和堆贮，但无论何种方法，都要求所贮酒糟含水量达 65%，pH 4.2～4.4，最适温度 10℃左右。并要求所贮酒糟层层压实、严封。

新鲜酒糟可采取直接贮存法，即先将鲜糟静置 2～3 d，待表面渗出液体后除去清液再加入新鲜酒糟，如此层层加入。最后 1 次清除清液时应留 1 层水，以隔绝空气，然后严盖即可。此外，按酒糟和粗料 4∶1 混合，控制含水量达 70%～75% 也可取得较好贮藏效果。

（二）糖渣、糖蜜的贮藏

糖渣贮藏一般可降低水分后单独窖贮，也可与其他粗料拌匀后混贮，方法与酒糟贮藏相同。此外，糖渣、糖蜜与其他饲料混合制粒亦可，但贮藏最佳含水量应控制在 12% 以下为宜。为防止糖蜜在贮藏过程中产生水分凝结，糖蜜贮藏时最好先通过温热（低于 40℃）、

通风和再循环系统处理。据研究糖蜜贮藏的最佳温度为32～38℃，贮藏时期应严防雨水淋入，否则进水发酵，产生二氧化碳和乙醇气体会使糖蜜品质降低。

近年发现，甜菜糖蜜尚可供作制造赖氨酸和提取甜菜碱的原料。这一发现无疑对糖蜜贮藏的重要性和深层开发指出了一条新路。

（三）豆腐渣的贮藏

豆腐渣多以鲜用为主，数量大时才考虑贮藏。贮藏方法可采用单独干贮，也可采用与酒糟贮藏类似的酒糟豆腐渣混贮。即贮藏时先在缸底铺30 cm酒糟一层，再装填豆腐渣，最后再覆一层约60 cm厚的酒糟压实，封盖，严防雨水淋入。另有风干贮藏是长久利用的良好办法。风干贮藏有自然晾晒及机械烘干贮藏两种。潮湿糟渣类食品工业副产品机械风干贮藏工艺流程，如图11-4所示。

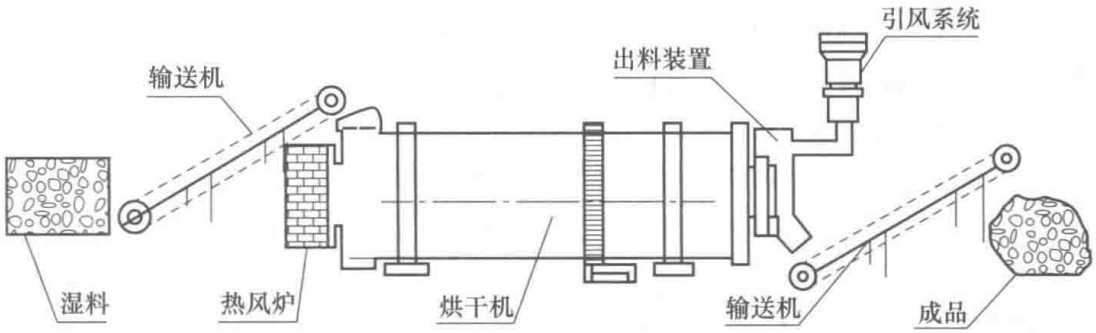


图11-4　潮湿糟渣类食品工业副产品机械风干贮藏加工工艺流程图

思　考　题

1. 能够作为饲料的几种工业原料类型都有哪些？
2. 糟渣类饲料副产品饲料化技术有哪些？
3. 食品工业副产品饲料化的重要意义有哪些？

参 考 文 献

[1] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京：北京农业大学出版社，1996.
[2] 姜懋武. 饲料原料简易检测掺假识别. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1998.
[3] 周国安. 饲料手册. 北京：中国农业出版社，2002.
[4] 张宏福，张根军. 饲料企业质量管理手册. 北京：中国农业大学出版社，2002.
[5] 叶国清. 饲料原料质量控制. 饲料广角，2002（14）：18-19.
[6] 李爱科，郝淑红，张晓琳，等. 我国饲料资源开发现状及前景展望. 畜牧市场，2007（9）：13-16.
[7] 郭芳，王红茹. 粮食保障战. 养猪，2013（4）：2-3.
[8] 郭芳，王红茹，李雪. 缺粮的中国. 新闻周刊，2013（28）：5-6.
[9] 陈锡文. 粮食增产可持续性令人担忧. 养猪，2011（1）：1.
[10] 张晓平. 全球大豆生产逐年上升，主产国进出口贸易各具特点. 中国猪业，2013，8（6）：14-15.

[11] 外媒称中国粮食自给自足政策有微调. 参考消息, 2014-2-13 (16).
[12] 张心如, 黄柏森, 郑卫东, 等. 非常规饲料资源的开发与利用. 养殖与饲料, 2014 (4): 21-29.
[13] 常见动物饲料的分类及组成. 甘肃畜牧兽医. 2014, 44 (2): 65-66.
[14] 董玉珍, 岳文斌. 非粮型饲料高效生产技术. 北京: 中国农业出版社, 2004.
[15] 王利宾, 孙利娜, 郜希君, 等. 花生副产品的营养特点及其在畜牧生产中的应用. 饲料博览, 2011 (3): 30-32.
[16] 宋志坤. 常用饼粕类饲料的营养及饲喂. 现代牧业科技, 2017 (1): 37.
[17] 李德发. 饲料大全. 北京: 中国农业出版社, 2001.
[18] 董玉珍, 岳文斌. 非粮型饲料高效生产技术. 北京: 中国农业出版社, 1999.
[19] 施安辉. 当前酿酒工业固体酒糟生态型综合利用的前景. 山东食品发酵, 2004 (3): 9-11.
[20] 施安辉, 单宝龙, 贾朋辉, 等. 国内蛋白质饲料资源开发利用的现状及前景. 饲料博览, 2006 (6): 40-43.
[21] 张登辉. 亟待开发的饲料资源——果渣. 饲料博览, 1991 (3): 39-41.
[22] 李建国. 果渣作为饲料资源的开发与利用. 畜牧与饲料科学, 2005 (6): 10-12.
[23] 曹日亮, 胡广真, 梁光龙. 利用果渣生产蛋白质饲料. 农产品加工, 2003 (1): 31-32.
[24] 司马博铎. 干苹果渣的营养价值及其在养猪生产中的应用研究进展. 养猪, 2013, (1): 21-23.
[25] 贺克勇, 薛泉宏. 苹果渣的营养价值与加工利用. 饲料广角, 2004 (4): 26-27.
[26] 杨福有, 祁周约, 李彩凤. 苹果渣营养成分分析及饲用价值评估. 甘肃农业大学学报, 2000, 35 (3): 340-344.
[27] 吴厚以, 孙志高, 王华 . 试论我国柑橘加工业发展方向. 食品与发酵工业, 2006, 32 (4): 85-89.
[28] 张石蕊, 陈铁壁, 金宏. 柑橘加工附产品中饲料营养物质的测定. 饲料研究, 2004 (1): 28-29.
[29] 姚焰础, 刘作华, 杨正云. 重庆市三峡库区柑橘渣的营养物质和苦味物质研究. 中国饲料, 2011, (21): 19-20.
[30] 焦必林, 王华, 吴厚以. 柑橘皮渣发酵饲料研究. 饲料与畜牧, 1992 (3): 6-9.
[31] 姚焰础, 杨飞云, 刘作华. 柑橘渣青贮过程中营养物质和苦味物质含量的动态变化规律研究. 中国饲料, 2012, (7): 14-15.
[32] 吉宏武 . 葡萄酒厂下脚料的综合开发利用途径. 食品研究与开发, 2000, 21 (3): 29-31.
[33] 孔祥浩, 郭金双 . 葡萄渣饲用价值研究概述. 中国饲料, 1997 (6): 37-38.
[34] 所许宏, 杭瑚, 郝晓. 葡萄籽的化学成分及其抗氧化性质的研究. 食品工业科技, 2000, 21 (2): 18-19.
[35] 李凤英, 李润丰. 葡萄籽中主要化学成分及其开发利用. 河北职业技术学院学报, 2002, 16 (2): 65-67.
[36] 敬思群, 杨文菊. 番茄渣、皮成分分析及在食品加工业中的应用. 新疆大学学报, 2006, 5 (2): 197-200.
[37] 兰芳, 王玉芳 . 番茄酱渣的营养价值及开发前景. 饲料博览, 2009 (2): 33-34.
[38] 郭长江, 韦京豫, 杨继军. 66 种蔬菜水果抗氧化活性的比较研究. 营养学报, 2003, 25 (2): 203-207.
[39] 田晓燕. 几种动物性蛋白质饲料的开发利用. 饲料与畜牧, 2002 (4): 26-28.
[40] 种启平. 利用微生物菌体开发蛋白质饲料源 (一). 畜禽业, 1999 (3): 30-32.