

第五章 农业固体废物的饲料化技术



第一节 概 述

农业固体废物饲料化是指运用物理、化学、生物的方法将农业固体废物转化为动物性饲料。

农业固体废物饲料化也是实现农业固体废物资源化的重要途径，具有广阔的前景。

一、农业固体废物可饲料化的种类

作物秸秆是农业固体废物主要组成之一，其含有动物所需要的多种营养成分，如蛋白质、脂肪及钙磷等（见表5-1），是优良的饲料原料；但动物直接饲用，食口性较差，效果欠佳。而将其进行饲料化处理，能使其转化为食口性好，营养更高的优质饲料。

作物秸秆中除烟草秸秆外，几乎所有作物秸秆、树叶、杂草均可进行饲料化，如麦秸、稻草、玉米秆等。此外，果皮、果渣、畜禽粪便等农业固体废物也可饲料化，但畜禽粪便饲料化技术需进一步规范。

表5-1主要作物秸秆的营养成分 单位：%(干物质质量分数)

秸秆	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	无氮浸出物	粗灰分	钙	磷
稻草	3.8	0.8	32.9	41.8	14.7	0.15	0.18
小麦秸	2.7	1.1	37	35.9	9.8	—	—
玉米秸	5.7	1.6	29.3	51.3	6.6	微量	微量
谷草	3.1	1.4	35.6	37.9	8.5	—	—
大麦秸	6.4	1.6	33.4	37.8	7.9	0.18	0.02
燕麦秸	5.3	3.4	31	39.6	11.7	—	—
大豆秸	8.9	1.6	39.8	34.7	8.2	0.87	0.05

二、农业固体废物饲料化的前景

随着人们生活水平的提高，动物食品的需求量不断扩大，而畜牧业的发展往往受到饲料的制约。目前我国人均粮食占有量仅有400kg左右，难于通过更多的粮食满足畜牧业发展的需要。而我国每年生产5亿多吨粮食的同时，也生产了7亿多吨作物秸秆，其中稻草2.3亿吨，小麦秸1.2亿吨，玉米秸2.2亿吨，花生豆类、高粱荞麦秋粮作物秸秆1亿吨，各种藤蔓类1亿吨。目前80%左右的作物秸秆是作为能源被烧掉或供他用，利用率低，且产生大量污染，还有相当数量的秸秆被毁弃在田间。利用秸秆类农业固体废物生产饲料，原材料不仅来源广泛，并且成本低廉，同时又减少了对环境的污染，是农业固体废物处理与处置技术中重要技术之一，具广阔的前景。

秸秆综合利用技术



袁纯清省长视察秸秆饲草加工技术



玉米秸秆揉丝加工现场
及商品草堆放



胡玺贤局长指导秸秆饲草加工



玉米秸秆饲草窖贮



玉米秸秆饲草喂黄牛



玉米秸秆饲草喂奶牛

秸秆综合利用技术

第二节 农业固体废物饲料化的方法

■ 物理处理方法：

揉搓加工技术、压块成型技术、挤压膨化技术、热喷处理技术；

■ 化学处理方法：

氨化技术、碱化技术、氧化技术和复合技术；

■ 生物处理方法：

青贮技术和微贮技术。

一、物理处理方法

1. 揉搓加工技术



揉搓加工技术就是将秸秆类饲草经秸秆饲草切揉机切碎揉搓后，秸秆饲草成丝状，水分损失少，牲畜的适口性好，适用于广大养殖户和养殖场使用。

秸秆切揉机

2. 压块成型技术



秸秆压块成型技术是将秸秆铡切成长为5cm的段，经过烘干，水分约在16%左右时经秸秆饲料压块机，进行压块形成圆柱或块状饲料。压制秸秆块时，可根据牧畜的饲喂要求，按科学配方压制适合不同育龄牧畜的饼块饲料。

秸秆压块机





秸秆燃料成品（金胜达）





秸秆颗粒饲料生产线



梁凤民厅长视察秸秆制块



秸秆饲草块

秸秆颗粒成型过程

3. 挤压膨化技术

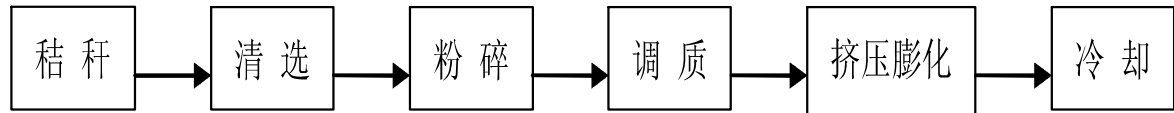


螺杆式挤压膨化机



挤压膨化技术就是将秸秆加水调质后输入螺杆式挤压膨化机，依靠秸秆与挤压机中螺套壁及螺杆之间相互挤压、摩擦作用，产生热量和压力，当秸秆被挤出喷嘴后，压力骤然下降，从而使秸秆体积膨大的工艺。

工艺流程



- ①清洗 采用手工方法去除秸秆中的砂石、铁屑等杂质，以防止损坏机器和影响膨化质量。
- ②粉碎 将秸秆投入筛片孔径为3.0~6.0mm的锤片式粉碎机进行粉碎，以减小秸秆粒度，使调质均匀及提高膨化产量。
- ③调质 将粉碎的秸秆放入调质机中调质，根据不同农作物秸秆含水率的大小，合理加水调湿并搅拌均匀，使秸秆有良好的膨化加工性能。调质后秸秆的含水率应控制在20%~30%，豆类秸秆的含水率应控制在25%~35%。
- ④挤压膨化 将调质好的秸秆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120~140℃，挤压腔压力应控制在1.5~2.0MPa。
- ⑤冷却 秸秆膨化后，应置于空气中冷却，然后再装袋包装。

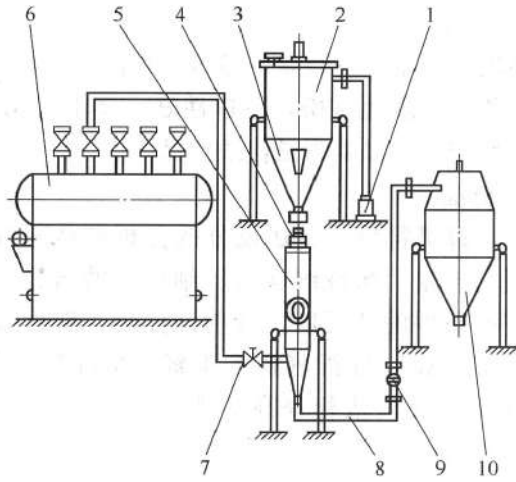


锤片式粉碎机



锤片式粉碎机使用维护与保养

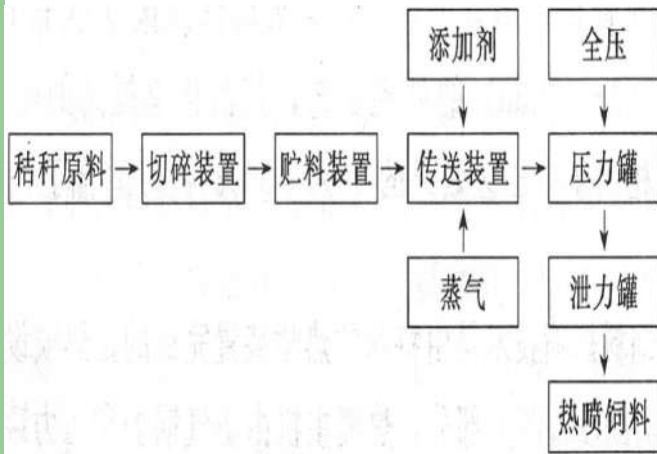
4. 热喷处理技术



- 1—铡草机；2—贮料罐；3—进料漏斗；4—进料阀；5—压力罐
6—锅炉；7—供气阀；8—排气管；9—排料阀；10—泄力罐

热喷处理技术就是将物料（秸秆，饼粕和鸡粪等）装入饲料热喷机，在一定压力的热饱和蒸汽下，保持一定时间，然后突然降压，使物料从机内喷爆而出，从而改变其结构和某些化学成分，并消毒、除臭，使物料可食性和营养价值得以提高的一种热压力加工工艺。

秸秆热喷工艺流程



秸秆热喷工艺流程

原料经铡草机切碎，进入贮料罐内，经进料漏斗，被分批装入安装在地下的压力罐内，将其密封后通入0.5~1MPa的低中压蒸汽(由锅炉提供，进气量和罐内压力由进气阀控制)，维持一定时间(1~30min)后，由排料阀减压喷放，秸秆经排料阀进入泄力罐。喷放出的秸秆可直接饲喂牲畜或压制成型贮运。

二、化学处理方法

化学处理方法就是利用化学制剂作用于作物秸秆，破坏秸秆细胞壁中半纤维素与本质素形成的共价键，以利于瘤胃微生物对纤维素与半纤维素的分解，从而达到提高秸秆消化率与提高营养价值的目的。用于作物秸秆化学处理的技术主要有**碱化处理技术、氨化处理技术、氧化处理技术和复合处理技术。**

(一) 碱化技术

- 碱化处理技术就是在一定浓度的碱液(通常占秸秆干物质的3%~5%)的作用下，打破粗纤维中纤维素、半纤维素、木质素之间的醚键或酯键，并溶去大部分木质素和硅酸盐，从而提高秸秆饲料的营养价值。
- 碱化处理技术目前主要有**氢氧化钠(NaOH)碱化法**、**生石灰碱化法**和**加糖碱化法**三种。

1. 氢氧化钠(NaOH)碱化法

(1) 湿法处理法 将秸秆浸泡在1.5%氢氧化钠溶液中，每100千克秸秆需要1 000千克碱溶液，浸泡24~48小时后，捞出秸秆，淋去多余的碱液(碱液仍可重复使用，但需不断增加氢氧化钠，以保持碱液浓度)，再用清水反复清洗。这种方法的优点是，可提高饲料消化率25%以上。缺点是在清水冲洗过程中，有机物及其他营养物质损失较多，污水量大，目前较少采用。

1.氢氧化钠(NaOH)碱化法

(2) 干法处理法 用4%~5%(占秸秆风干重)的氢氧化钠，配制成浓度为30%~40%的碱溶液，喷洒在粉碎的秸秆上，堆积数日后不经冲洗，直接喂饲反刍家畜，秸秆消化率可提高12%~20%。此方法的优点不需用清水冲洗，可减少有机物的损失和环境污染，并便于机械化生产。但牲畜长期喂用这种碱化饲料，其粪便中钠离子增多，若用作肥料，长期使用会使土壤碱化。

1. 氢氧化钠(NaOH)碱化法

(3) 快速处理法 将秸秆铡成2~3厘米的短草，每千克秸秆喷洒5%的氢氧化钠1千克，搅拌均匀，经24小时后即可喂用。处理后的秸秆呈潮湿状，鲜黄色、有碱味。牲畜喜食，比未处理后的秸秆采食量增加10%~20%。

1. 氢氧化钠(NaOH)碱化法

(4) 堆放发热处理法 使用25%~45%的氢氧化钠溶液，均匀喷洒在铡碎的秸秆上，每吨秸秆喷洒30~50千克碱液，充分搅拌混合后，立即把潮润的秸秆堆积起来，每堆至少3~4吨。堆放后秸秆堆内温度可上升到80~90℃，温度在第3天达到高峰，以后逐渐下降，到第15天恢复到环境温度。由于发热的结果，水分被蒸发，使秸秆的含水量达到适宜保存的水平，即秸秆含水量低于17%。

1.氢氧化钠(NaOH)碱化法

(5) 封贮处理法 用25%~45%浓度的氢氧化钠溶液，每吨秸秆需60~120千克碱液，均匀喷洒后可保存1年。此法适于收获时尚绿或收获时下雨的湿秸秆。

1.氢氧化钠(NaOH)碱化法

(6) 混合处理法 原料含水率65%~75%的高水分秸秆，整株平铺在水泥地面上，每层厚度15~20厘米，用喷雾器喷洒1.5%~2%的氢氧化钠和1.5%~2.0%生石灰混合液，分层喷洒并压实。每吨秸秆需喷0.8~1.2吨混合液，经7~8天后，秸秆内温度达到50~55℃，秸秆呈淡绿色，并有新鲜的青贮味道。处理后的秸秆粗纤维消化率可由40%提高到70%。

2.生石灰碱化法

生石灰碱化法是把秸秆铡短或粉碎，按每百千克秸秆2~3千克生石灰或4~5千克石灰膏，然后将生石灰或石灰膏溶于100~120升水制成石灰溶液（石灰溶液含氧化钙不少于90%），并添加1~1.5千克食盐，沉淀除渣后再将石灰水均匀泼洒搅拌到秸秆中，然后堆起熟化1~2天即可。注意：冬季熟化的秸秆要堆放在比较暖和的地方盖好，以防止发生冰冻。夏季，要堆放在阴凉处，预防发热。

3.加糖碱化法

加糖碱化法就是在秸秆等材料碱化基础上进行糖化处理。加糖碱化秸秆适口性好，有酸甜酒香味，饲喂家畜牛、马、骡、猪均喜欢吃，且保存期长，营养成分好，粗脂肪、粗蛋白、钙、磷含量均高于原秸秆，加糖碱化秸秆收益高、简单易行。加糖碱化法的工艺流程如下：

(1) 材料准备

- ①双联池或大水缸：双联池一般可作深0.9m，宽0.8m，长2m中间隔开，即成两个池（用砖、水泥、水泥把面抹光），单池可容干秸秆108公斤，池建在地下，半地下或地面上均可。
- ②秸秆粉：干秸秆抖去沙土，粉碎成长0.5~0.7厘米。秸秆可用玉米秸、麦秸、稻草、花生壳、干苜蓿等。
- ③石灰乳：将生、鲜石灰淋水熟化制成石灰乳（即氢氧化钙微粒，在水中形成的悬浮液）。石灰要新鲜的生石灰。
- ④玉米面液：玉米面用开水熟化后，加入适量清水制成玉米面液。玉米面熟化要用开水以便玉米面中的糖分充分分解。
- ⑤器具：脸盆、马勺、塑料布、铁铲。
- ⑥用料比例：秸秆、石灰、食盐、玉米面、水比例为100 : 3 : 0.5 : 3 : 270。

(2) 加工处理

将石灰、食盐、玉米面按上述比例组成混合液喷淋在秸秆粉上，边淋边搅拌，经翻两次后，停10分钟左右，等秸秆将水吸收后再继续喷淋、搅拌，这样反复经过2~3次，所用混合水量全部吸收后，秸秆还原成透湿秸秆，用手轻撮有水点滴下为止。

(3) 入池或缸贮存

将处理好的秸秆加入池或缸内，边入池边压实，池边、池角部分可用木棒镇压，越实越好。此时上层出现渗出的少量水，秸秆应层层铺设直至装满，也可超出一点小顶帽，后用塑料布、覆盖封口，上压沙土约0.4~0.5米厚。池缸封口后，夏季约4~7天，冬季10~15天便可开口饲喂。

（二）氨化技术

氨化处理技术是指用氨水、液氨、尿素或碳铵等含氨物质，在密闭条件下处理粉碎秸秆，以提高秸秆消化率、营养价值和适口性的加工处理方法。

其原理是氨液与秸秆中的水结合生成氨水，氨水电离生成氢氧根离子和氨离子。氢氧根离子可使秸秆木质素和纤维素之间的酯键断裂，打破木质素和纤维素的镶嵌结构，溶解半纤维素和一部分木质素及硅，使纤维素部分水解和膨胀，致使反刍家畜瘤胃中的胃液易于渗入，从而提高秸秆的消化率。氨吸附在秸秆上，增加了秸秆粗蛋白质含量。氨离子中的氮在瘤胃中合成菌体蛋白，可供家畜利用。秸秆氨化后变软，并能造成适宜瘤胃微生物活动的微碱性环境，因而提高了家畜对秸秆的采食量和利用率。

1.氨化处理技术分类

(1) 根据氨源

①尿素氨化法 秸秆中存有尿素酶，加进尿素，用塑料膜覆盖，尿素在尿素酶的作用下分解出氨，对秸秆进行氨化。方法是按秸秆重的3%~5%加尿素。首先将尿素按1: (10~20)的比例溶解在水中，均匀地喷洒在秸秆上。即100kg秸秆用3~5kg尿素，加30~60kg水。逐层添加堆放，最后用塑料薄膜覆盖。用尿素氨化处理秸秆的时间较液氨和氨水处理要求稍长一些。



②液氨氨化法

将秸秆打成捆或不打捆，切短或不切短，将其堆垛或放入窖中，压紧，上盖塑料薄膜密封；在堆垛的底部或窖中用特制管子与装有液氨的罐子相连，开启罐上压力表，通入秸秆重的**3%**液氨进行氨化，即**1t**秸秆用**30kg**液氨。氨气扩散相当快，短时间即可遍布全垛成全窖，但氨化速度很慢，处理时间取决于气温，通常夏季约需**1**星期，春秋**2~4**星期，冬季**4~8**星期、甚至更长。液氨处理过的秸秆，喂前要揭开薄膜**1~2**天，使残留的氨气挥发。不开垛可长期保存。

液氨处理秸秆应注意秸秆的含水量，一般以**25%~35%**为宜

③碳铵氨化法

碳铵是我国化肥工业的主要产品之一，年产量达800多万吨，由于用作化肥需深施，所以长期处于积压滞销状态。碳铵在常温下分解但又分解不彻底，在自然环境条件下，相同时间内，尿素在脲酶作用下可完全分解，碳铵却仍有颗粒残存，然而其在69℃时则可完全分解。碳氨使用方法与尿素相同。

④氨水氨化法

用氨水处理秸秆时，要根据氨水的浓度，按秸秆干物质重加入3%~5%纯氨。由于氨水中含有水分，在处理半干秸秆时，可以不向秸秆中洒水。在实际操作时，可从垛顶部分多处倒入氨水。随后完全封闭垛项。让氨水逐渐蒸发扩散，充分与秸秆接触使之发生反应。或按比例在堆垛或装窖时，把氨水均匀喷洒在秸秆上，逐层堆放。逐层喷洒，最后将堆好的秸秆用薄膜封闭严实。



(2) 根据氨化设施

①小型容器法 有窖、池、缸及塑料袋之分。氨化前可用铡草机把秸秆铡碎，也可株、整捆氨化。若用液氨，先将秸秆加水至含水量30%左右(一般干秸秆含水率约9%)装入容器，留个注氨口，待注入相当于秸秆重3%的液氨后密封。如果用尿素则先将相当：秸秆重5%~6%的尿素溶于水，与秸秆混合均匀，使秸秆含水率达40%，然后装入容器密闭。小型容器法适宜于个体农户的小规模生产。

②堆垛法

先在干燥向阳平整地上铺一层聚乙烯塑料薄膜，膜厚度约0.2mm，长宽依堆大小而定，然后在膜上堆秸秆，膜的周边留出70cm，再在垛上盖塑料薄膜，并将上下的边缘包卷起来埋土密封。有时为了防止盖膜被风撕破和牢靠起见，应在垛的下部用绳子义捌牢。其他操作程序视使用的氨源不同而不同，勺小型容器法一样。例如，氨水处理堆秸秆，其方法近似液氨，用泵将氨水注入垛内，或将氨水罐放在垛的顶部，将盖打开，直倒入注氨口后封垛。

③氨化炉法

氨化炉既可以是砖水泥结构的土建式氨化炉，也可足钢铁结构的氨化：土建式氨化炉用砖砌墙，水泥抹面，一侧安有双扇门，门用铁皮包裹，内垫保温材料如石棉。墙厚**24cm**，顶厚**20cm**。如果宅内尺寸为**3.0m×2.3m×2.3m**，则一次氨化秸秆量为**600kg**。在左右侧壁墙的下部各安装**4根1.2kW**的电热管，合计电功率为**9.6kW**。后墙中央上下各开有一风口，与墙外的风机和管道连接。加温的同时，开启风机，使室内氨浓压温度均匀。亦可不用电热器加热，而将氨化炉建造成土烘房的样式，例如两炉一窗回转式烘房。用煤或木柴燃烧加热，在加热室的底部及四周墙壁均有烟道，加热效果很好。

2.影响氨化效果的因素

- (1) 秸秆的质量 氨化的原料，主要有禾本科作物及牧草的秸秆。所选用的秸秆必须无发霉变质。最好将收获籽实后的秸秆及时进行氨化处理，以免堆积时间过长而霉烂变质。
- (2) 氨源的用量 根据具体的氨源种类来确定使用量。用量过小，达不到氨化的效果；用量过大，会造成浪费。氨的用量，一般以秸秆干物质重的3%为宜。
- (3) 秸秆含水量 含水量过低，水都吸附在秸秆中，没有足够的水充当氨的“载体”，氨化效果差。含水量过高，不但开窖后需延长晾晒时间，而且由于氨浓度低而引起秸秆发霉变质。水是氨的“载体”，氨与水结合成氢氧化铵，其中 NH_4^+ 和 OH^- 分别对提高秸秆的含氮量和消化率起作用。因而，必须有适当的水分，一般以25%~35%为宜。
- (4) 氨化温度 氨化温度越高，完成氨化所需时间越短；相反，氨化时温度越低，氨化所需时间就越长。
- (5) 秸秆的粒度 用尿素或碳铵进行氨化，秸秆铡的越短越好，用粉碎机粉碎成粗草粉效果最好。用液氨进行氨化时，粒度应大一点；过小则不利于充氨。麦秸完全可以不铡。

(三) 氧化技术

- 氧化技术是针对植物的木质化纤维素对氧化剂比较敏感而提出的，主要是指二氧化硫(SO₂)、臭氧(O₃)及碱性过氧化氢(AHP)处理秸秆的方法。氧化剂能破坏木质素分子间的共价键，溶解部分半纤维素和木质素，使纤维基质中产生较大空隙，从而增加纤维素酶和细胞壁成分的接触面积，提高饲料消化率。
- 从长远来看，秸秆的处理将来可能会转向氧化处理，但因为成本太高，目前还不能在生产中推广应用。

（四）复合技术

复合技术指用复合化学剂来处理秸秆类纤维性物质以提高其消化率和营养价值的加工处理技术。它融合了碱化处理对木质素分解效果好和氨化处理增加瘤胃微生物蛋白合成量的优点，克服了碱化处理牲畜粪便中残留碱量高和氨化处理对木质素软化作用差的缺点。一般可使采食率提高10%~40%；含氮量提高1~2倍；粗蛋白含量可达到7%~15%。复合技术所用的复合化学处理剂来源广、价格低，配制方便，并可根据不同作物和各种饲喂对象选择不同的化学处理剂配方。

（四）复合技术

尿素加氢氧化钙复合化学处理：只要将5~7kg的生石灰和2~3kg尿素溶于50kg水中，然后喷洒在切碎的100kg秸秆上，混合均匀后密封，夏天20~30天，春秋40~60天，冬季60天以上，即可开封饲喂，此复合处理适宜的秸秆水分为40%，尿素用量不得低于2%，否则秸秆会发霉。

三、生物处理方法

青贮技术

微贮技术

(一) 青贮技术

青贮技术就是把作物秸秆、藤蔓等在新鲜青绿时刈割、切碎填入密闭的青贮窖或青贮塔内，在隔绝空气条件下经自然或人工添加微生物，经过发酵作用而制成的一种耐贮存的饲料技术。利用青贮技术生产的饲料就叫做青贮饲料。这种饲料基本上保留了青绿饲料原有的青绿、多汁、营养丰富等特点，制成品是具有一种特殊气味、营养丰富的饲料，并且它基本上保持了青绿饲料原有的一些特点，因此有“草罐头”之称。

青贮饲料制作

玉米秸秆青贮技术

芳香青贮饲料的调制

秸秆青贮技术

裹袋青贮技术

(二) 微贮技术

微贮技术是对农作物秸秆机械加工处理后，按比例加入微生物发酵菌剂、辅料及补充水分，并放入密闭设施(如水泥池、土窖等)中，经过一定的发酵过程，使之软化蓬松，转化为质地柔软，湿润膨胀，气味酸香，牛、羊、猪等动物喜食的饲料。该法还可利用微生物将秸秆中的纤维素、半纤维素降解并转化为菌体蛋白，具有污染少、效率高、利于工业化生产等特点，从而成为今后秸秆饲料的发展趋势。

秸秆微贮技术1

秸秆微贮技术2

微贮秸秆养牛技术

(三) 蛋白生物饲料生产技术

蛋白生物饲料就是以农作物秸秆、杂草、树叶等为主要原料，将秸秆粉置于人工造就的特定的生态环境中，经过制作剂(又叫催化精)—秸秆生化饲料发酵剂的生物化学作用，促使微生物的大量繁殖和活动，合成游离氨基酸和菌体蛋白，从而使秸秆转化为富含粗蛋白、脂肪、氨基酸及多种维生素的高效能秸秆饲料。它是近几年发展起来的一项饲料生产新技术，不仅成本低(仅是传统饲料成本的50%)、适应范围广(可广泛用于喂猪、鸡、鸭、鹅、鱼和奶牛等畜禽)，而且营养价值高，是发展畜牧业，促进农民增收的最佳方法之一。

豆渣发酵饲料