

庆祝内蒙古自治区成立四十周年

畜牧兽医草原成果论文集

第二卷

1985——1986

内蒙古畜牧科学院

前 言

内蒙古畜牧科学院是自治区的一所从事畜牧，兽医、草原、牧业经济等研究的综合性科研单位。自一九五四年成立以来，共开展了国家及自治区有关领导部门下达的科研课题近200项。先后取得了科研成果（包括阶段成果、调研成果）109项。其中一九五四年至一九七九年间有关成果的论文及研究报告，已经以畜牧、兽医分册形式汇编出版。

该《畜牧兽医草原成果论文集》收集了我院一九八零年以来的科研成果47项，包括成果论文52篇，分两卷出版。第一卷（1980—1984）共25篇，第二卷（1984—1986）共27篇。

限于读者的水平和经验，该论文集缺点和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

一九八七年七月

成果论文目录

饲料热喷技术.....	(1)
内蒙古嘎达苏“良种细毛羊的选育”研究工作总结报告.....	(37)
羊消化道内源蛋白质周转规律.....	(62)
彩色卡拉库尔羊毛色分离选育研究.....	(69)
内蒙古肉牛育种技术工作阶段成果报告.....	(85)
内蒙古毛肉兼用半细毛羊品种群的培育.....	(93)
绵羊精液高倍稀释输精试验效果.....	(102)
杂种肉牛饲料配方的研究.....	(108)
在实用饲粮条件下仔猪营养需要量的研究.....	(115)
马铃薯、混合油饼、麸皮青贮日粮养生长肥育猪效果的研究.....	(126)
不同比例甜菜渣日粮养肥猪效果的研究.....	(138)
鸡粪日粮喂肥猪效果的研究.....	(143)
内蒙古自治区绵羊繁殖成活的调查报告.....	(151)
应用124—146生物制剂防治幼畜腹泻病的研究.....	(162)
肉毒梭菌病的诊断与防治.....	(174)
犬细小病毒肠炎的病原诊断调查及防治的研究.....	(182)
羊流产衣原体矿物油佐剂灭活苗的研究.....	(189)
羊衣原体佐剂灭活苗制造及检验规程(草稿).....	(196)
石鸡的人工驯养繁殖及疫病研究.....	(198)
石鸡组织滴虫病的诊断及防治.....	(203)
内蒙古自治区畜禽寄生虫调查综合报告.....	(208)

羊线虫季节动态调查和早春驱虫的研究.....	(215)
氮氛激光照射交巢穴治疗奶牛不孕症和保胎作用的试验.....	(221)

内蒙古柠条种类及利用的调研报告.....	(229)
内蒙古西部岩黄芪属饲用灌木调研报告.....	(239)
伊盟优良牧草筛选及人工半人工草地建立的研究.....	(248)

新编中文畜牧兽医草原科技期刊分类目录.....	(263)
农业科研课题模拟核算方法和体系的试验研究.....	(265)
内蒙古自治区畜牧科技《七五》发展规化编写.....	(272)

饲料热喷技术 热喷原理

贺 健 周秀英 侯桂芝

热喷处理工艺，以消除秸秆中消化障碍因素为目的，通过热效应使细胞间木质素熔化，使纤维素的结晶度有所降低；再通过喷放的机械效应，在细胞间熔化木质素的脆弱结构区应力集中，使细胞与细胞“撕”开而呈游离状态。经上述处理后，可望在三个方面使消化障碍因素得到一定的克服：表皮角质层与硅细胞的阻抑基本得到消除；胞间木质素的阻碍得到相当大的消除；纤维素结晶结构的抗蚀性有所降低。这样，处理后的秸秆的消化率有可能提高。同时，由于细胞游离，饲料颗粒变小，密度增大，体积变小，体表面积增加，为提高家畜采食量和消化率创造了有利条件。

一、热处理的物理、化学作用

（一）热处理对木质素的作用

研究秸秆中木质素在高温作用下所发生的物理、化学变化是不易的。目前只是用人工分离的木素（如磨木木素，过碘酸盐木素，盐酸木素等）作原料（它们具有近似天然木质的性质），来研究它们在特定因素作用下所起的变化。

秸秆的热处理是在 $220^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ （相当于 $28\sim 40\text{Kg}/\text{cm}^2$ 饱和蒸汽温度）的较高温度下进行。尽管作用时间仅在 $2\sim 3$ 分钟以内，但是其中发生的化学反应的速度是相当高的。由于酸性物质的增加（待后叙），使物料的PH由处理前的PH7，降至喷放后的PH3.9~5，这样，热处理是在逐渐变酸的介质中进行。因此对木素的作用需考虑热和酸两方面的因素。

高温下物料发生复杂的化学反应，至今尚未弄清。其中以分解反应为主要，同时也存在由分解的简单产物生成较复杂产物的相反过程。

1. 木质素的熔化

木质素的熔化也称为塑化、软化，是指木素质物态的一种变化。磨木木素在 170°C 下可迅速由粉状变为熔化状态。熔化的木素可成为喷放的机械作用的应力集中区，最终导致秸秆细胞的游离。由于木素的熔化，喷放后木素在细胞四周的分布将更不均匀，在细胞表面产生了木质集中的脊状隆起，同时也暴露了纤维素的裸露面（皱褶区）见图1，这样就为消化道微生物扩大了作用表面，有利于消化率之提高。

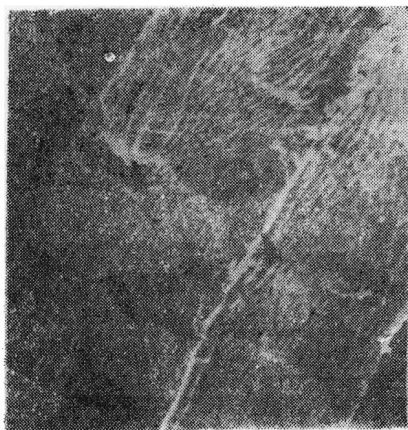


图1、喷放后木质素在细胞表面的分布(2000×)箭头示木质素集中的脊状隆起。皱褶区为暴露的纤维表面。

磨木木素虽然在170℃下熔化(或软化),但是在一定的蒸煮液中加热,其“熔点”下降很多,其结果使木质素本身的反应表面减少。至于在热处理中木质素“熔点”实际下降的数值,由于测定技术的困难,尚不能定量说明。

2.木质素在高温、酸性介质中的溶解与水解:

木质素在不同PH的缓冲溶液中加热,则有不等量的木质素发生水解反应,水样后的木质素可以溶于水中。

木质素在高温酸性缓冲液中能够发生水解反应,可由实验加以证明。将过碘酸盐木素在PH1的缓冲液中加热四小时,测得不溶木质素部分中产生新的游离酚CH基和脂肪族的OH基,同时原来不溶木素收率降低,这可以解释为木质素水解断链的结果。见表1。

过 碘 酸 盐 木 素 中 羟 基 的 数 量

表 1

项 目	测 定 值	处 理 温 度					
		未		120℃		150℃	
		酚羟基	脂肪族羟基	酚羟基	脂肪族羟基	酚羟基	脂肪族羟基
原来木素收率%		100		85.84		78.78	
羟 基 %		11.3	11.3	12.4	12.4	13.1	12.8

木质素在高温条件下的溶解度与PH和温度两个因素有关。

(1)分离木素在不同PH的缓冲液中加热四小时,再测定溶解木素的百分数,得图2的结果。

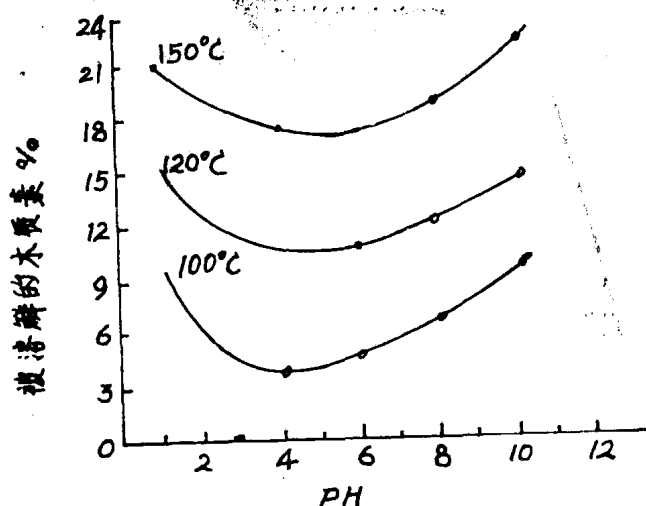


图 2、不同PH、温度下木素的溶解度

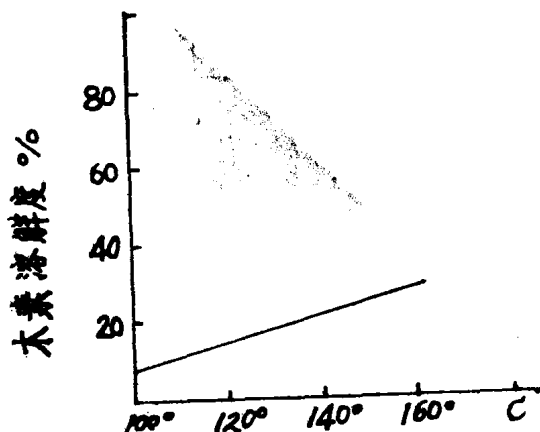


图 3、不同温度下木素的溶解度

由图 2 可见，温度由 100°C 升至 150°C，在同一 PH 下，溶解木素的百分数增加；不论在何温度，于 PH 4 至 PH 5 间，有一明显的最低溶解度，而向偏酸、偏碱两个方向推移，则溶解度增加。

(2) 分离木素在 PH 2.2 的缓冲液中，于不同温度下加热四小时，再测溶解木素的百分数，得图 3 的结果。由图 3 可知，木素的溶解度，依温度的升高而直线增加。

除水解反应外，木素在高温下还可脱甲氧基，进而形成甲醇。甲醇的生成量在 0.7~3 %。

3. 木质素的凝聚 (核缩合)

木质素在受高温水解的同时，存在与之相反的反应过程——凝聚。由于凝聚的存在，就成为抵消溶解的一种倾向。在加热过程中，烷基——苯基醚单位裂开，因核缩合而形成新的碳—碳键使木素成为更大的分子。木素的凝聚可降低其化学反应的活性——有效度。

木素的凝聚与 PH、温度两个条件有关。将木素在 PH 4~6 的缓冲液中蒸煮，当温度近于 135°C 时，几乎立即出现凝聚现象，当温度升至 160°C 时这种现象没有明显的加剧。将木材、草类在 140~150°C 下煮两小时，则由于木素的缩合，

物料的颜色变深，重者为暗褐色，此时令其进行磺酸化反应则较蒸煮前更加困难。

在热喷处理中，应设法避免木质素凝聚所产生的负作用。

(二) 热处理对纤维素的作用

1. 纤维素的热降解：

纤维素在较高温度下加热，发生降解现象，此时伴随着发生纤维素的水解和氧化。在140℃以上加热，纤维素则降解，颜色变黄，在碱溶液中的溶解度增大。在150~275℃之间，降解反应加快，形成少量CO₂与CO，同时也生成少量酸性物质，整个反应是一个吸热过程。在275~450℃，分解产物大量生成，同时放热，纤维素巨分子剧烈地分解成许多简单的有机物，此即一般所说的干馏，得到的产物为木炭，丙酮、甲醇、乙酯等。

纤维素巨分子链中存在有C—C键及葡萄糖甙键，这两类键的稳定性有所差别，基环间的葡萄糖甙键较C—C键的稳定性小，是受热氧化、水解断链的切口。

纤维素由于热的作用，可使聚合度降低，同时 α -纤维素含量降低。在有氧和水存在时聚合度降低更多。若在高度真空中处理时，由于没有氧和水分子的存在，纤维素仅受到热的作用，因而聚合度下降较少。上述情况可参看表2、表3。

表 2 不同温度下纤维素在空气、真空中聚合度的变化

温 度 (℃)	加热时间 (小时)	加热后纤维素的聚合度	
		在 空 气 中	在高度真空中
85	96	2000	2150
105	96	1200	2000
125	96	190	1350
145	96	150	830
150	48	140	850
150	96	140	550
150	144	140	350

不同温度下棉纤维性质变化

表 3

温 度 ℃	纤 维 素 聚 合 度	单 纤 维 强 力(克)
不加热	2740	5.9
180	1091	4.9
200	824	2.9
221	580	2.15
242	460	纤 维 破 坏
272	产物不完全溶于铜氨溶液	

真空 (10^{-6} mm) 条件下加热 2 小时结果

在热喷压力罐中，是一个有空气和水蒸汽的加热体系，尽管加热时间很短（3 分钟），聚合度仍有显著降低，同时物料有失重发生。见表 4

热喷压力罐加热后浆粕聚合度之变化

表 4

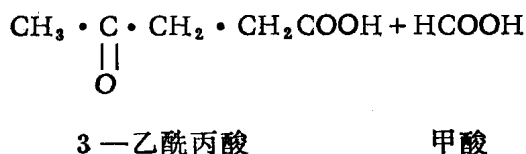
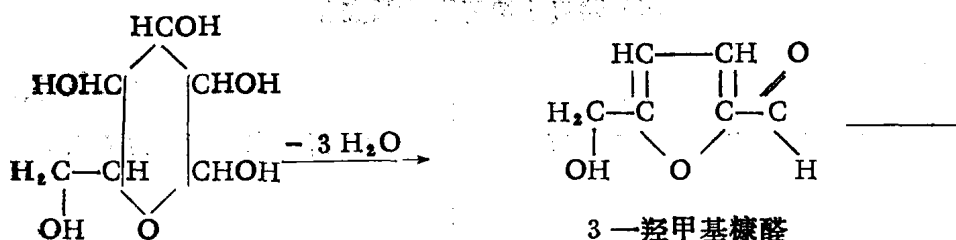
试验批号	温 度 (C)	相应之饱和蒸汽压 Kg/Cm ²	加热时间 (分)	聚 合 度 D P	失 重 率 (%)
0	未处理样		不加热	933	0
1	229°	28	3	221	3.5
2	229°	28	3	348	1.4

聚合度之降低是高温加热过程中不可避免的现象，它是否有利于纤维素的消化，暂时没有多少根据，因此，权且不定做所要追求的技术指标。

2. 纤维素受高温蒸汽处理的化学反应：

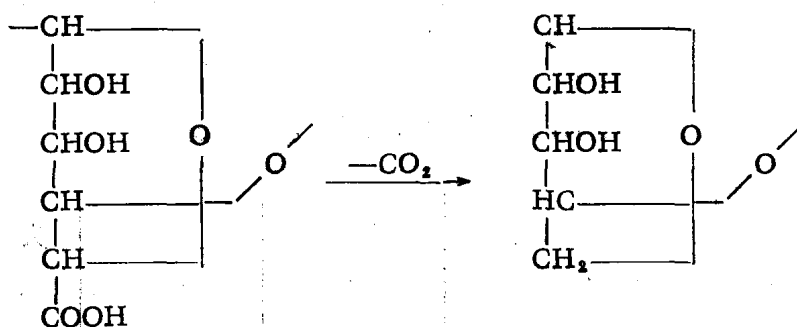
纤维素在高温蒸汽的作用下，发生部分水解，除聚合度降低外，尚有少量单糖产生，单糖将进一步分解：

(1) 生成甲酸和 3-乙酰丙酸，其反应如下：



正因如此，在使用净高温水进行纤维素水解时，水解液也是酸性的，而且靠水解所生成的有机酸起催化作用而加速水解。

(2) 生成 CO_2 ：单糖在热蒸过程中，可能生成少量糖尾酸，糖尾酸可脱出 CO_2 。反应式如下：



热蒸过程中 CO_2 的产生机制和数量尚有待于进一步证实。

3. 高温对纤维素的吸水性和结晶度的影响：

(1) 根据二相体系理论，纤维素之排列有结晶区与无定形区之分。在无定形区存在有未结合而游离的羟基($-\text{OH}$)。在相当低的相对湿度下，这些未结合的羟基($-\text{OH}$)与水生成氢键，是为吸着。此时润胀开始。

当相对湿度增加，由于纤维结构的润胀，使纤维素分子间的氢键破裂，吸水愈多。直至约60%相对湿度，纤维素所吸附水均在于原来未结合的OH基或吸附于次价键破裂而新游离的OH基处。

相对湿度增加至60%以上，纤维进一步润胀，有更多的吸着处所，由于出现多层吸附水，吸着水量迅速上升，当相对湿度等于100%时，所吸着的水量称为纤维的饱和湿份，此即吸附之极限。此后再增加的水是与纤维素没有结合的，这就是游离水。棉花的

饱和湿份为16~31%，树木纤维为25~30%，

上述各种吸附均还发生在无定形区，是按照无定形的百分率的增加而增加。

结合水容积收缩，密度增高（较游离水高出5~7%），对电解质的溶解能力降低。

（2）湿度对纤维素的水的吸着的影响：

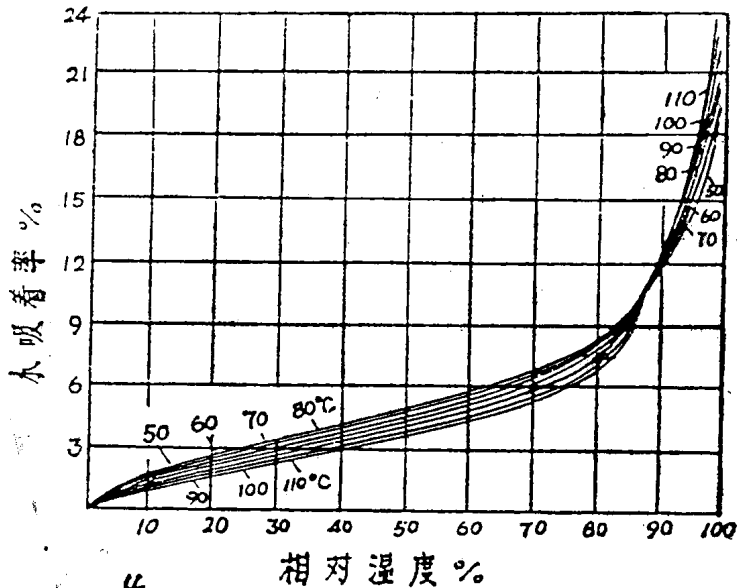


图4、提纯棉花在高温的吸附等温曲线

图4、提纯棉花在高温的吸附等温曲线

秸秆的热喷处理是在高温和饱和蒸汽（相对湿度100%）的条件下进行。图4为棉纤维在50°~110℃的吸附线，由图可知：①从50°至110℃，在约85%相对湿度以下，同一相对湿度时的水的吸着率下降。这是因为水的吸着是放热反应，因此，50℃下的吸着率略高于110℃的吸着率。②当相对湿度增加至85%以上时，由于高温下热的效应，分子链振动加大，使纤维素与纤维素间氢键破裂，游离出大量的OH，同时由于存在充足的水分子，游离的OH可以更多的吸着水，此时，在同一相对湿度下，吸着率随着温度之升高而增加。在温度更高和饱和蒸汽存在时，纤维素链分子间的氢键破裂将更多，纤维素分子的润胀将更加剧，这时可使结晶区的少量氢键破裂，成为新的吸着点，从而使结晶度有所降低，有利于纤维素的降解。

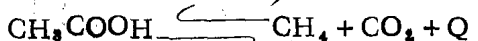
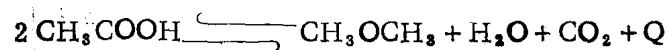
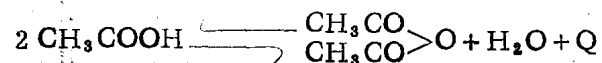
由上可知，热蒸处理对于消除结晶态对消化的障碍可能具有一定的效果。

（三）热处理对半纤维素的作用

在高温热蒸的条件下半纤维素更易水解断链，使聚合度降低，乃至生成少量戊糖混合物，据测定，250℃下热处理2分钟可使整个物料的戊糖含量增加2%以上。同时伴随

着更加明显的失重，250℃下2分钟热处理可导致半纤维素失重13%。

半纤维素由于脱乙酰基和相应的甲酰基的结果，可生成醋酸、甲酸。醋酸的生成量约为物料总重的2~3%，甲酸的生成量约为0.1~0.5%。同时，少量半纤维素脱甲氧基可生成甲醇。在高温和有金属壁做催化剂的条件下，生成的醋酸可以按下列各反应式发生分解：



半纤维素是秸秆中易于被家畜消化的成份，同时又是热处理过程中易受破坏的成份，因此需要通过工艺条件的探索与调整，力求加以保护。

(四) 糠醛的生成与饲料的安全性

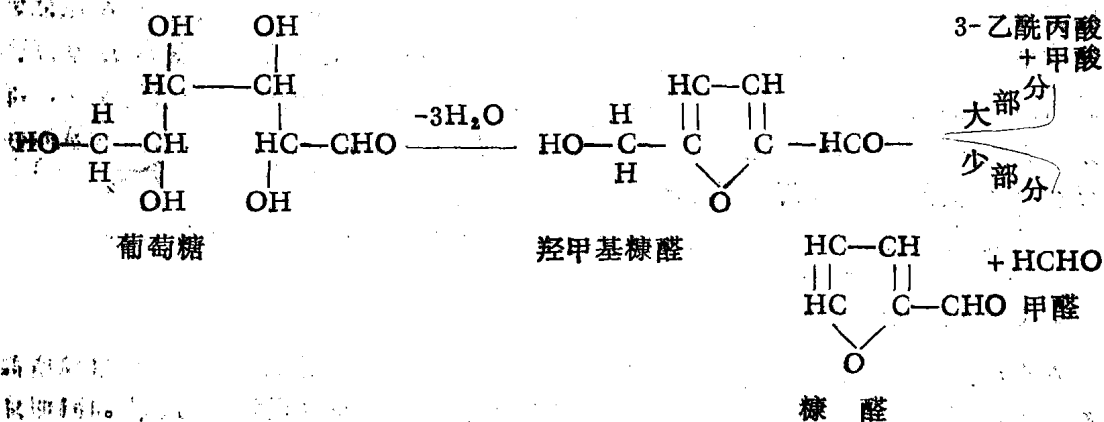
糠醛（亦称呋喃甲醛，麸醛，人造蚁油），是无色且具芳香气息的液体；在空气中迅速变为红棕至暗褐色，并逐渐分解；在水中的溶解度为8.3%。能与多数物质（如酚类，胺类，脲等）生成缩合物。

接触糠醛能引起粘膜刺激和气喘，此外有头痛，流涎，恶心，舌头麻木和呼吸困难等症状。糠醛属于神经毒物，能引起机体痉挛和瘫痪。

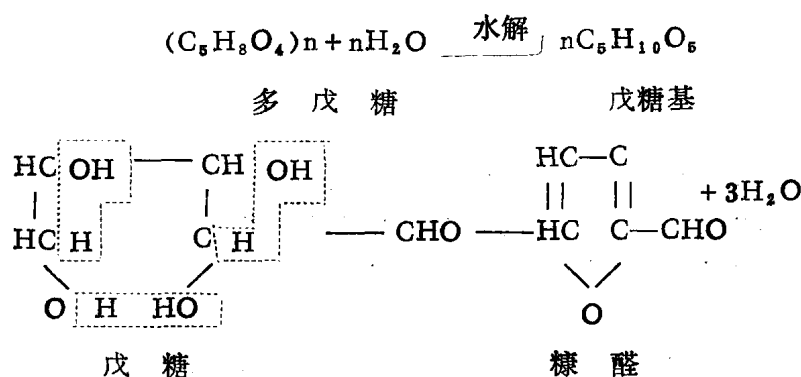
秸秆在高温处理时有可能产生糠醛，产生的条件，数量、控制的方法以及在饲喂中的安全性等均有待研究。

糠醛产生的机制，大体如下：

1. 来源于纤维素水解所得葡萄糖的脱水产物：



2.在酸性较强的介质中，也可能通过半纤维素的水解、脱水而得糠醛，见下式：



热蒸的工艺条件适宜于糠醛的产生，不利于饲喂安全。为此，减少糠醛含量应该成为制定工艺规范的重要考虑因素。因此需要在控制温度（压力）、加热时间、PH等方面进行探讨。

（五）热处理对蛋白质的作用

秸秆粗饲料是一类蛋白质含量很低的饲料，其蛋白质的可消化性就更低。据报导，适宜的热处理可以保护饲料中的蛋白质，从而提高反刍家畜对氮的利用效率。但是过高的加热温度和不适当的加热时间，可能导致蛋白质的“过度保护”，从而降低氮的沉积量。

由于秸秆的热解，可能产生少量糖，从而加剧蛋白质的热损失。这是因为蛋白质的游离氨基与还原糖结合而发生一系列变化，生成难于消化的褐色产物，这一反应称之为“褐变反应”（Browning reaction），亦称麦勒反应（Mallard reaction）

鉴于上述情况，在没有对蛋白质的热效应做具体研究之前，不宜对蛋白质含量较高的粗饲料进行热喷处理。

二、热喷处理的工艺规范探讨

制定工艺规范的基础是大量的工艺条件试验和相应的动物试验。关于这方面的试验结果拟不在本文讨论。

成熟的工艺规范应具备两个特点：其一，在一定程度上可消除消化障碍因素；其二，经济合理。

与上述两项技术、经济要求相关的因素主要有：原料准备和装料方式；温度和压力的调节；喷放平均速度；液比及热能消耗；处理时间；设备腐蚀控制等，这是一些互相

关联又互相制约的因素。在此，仅对上述因素做原则的讨论。

(一) 原料准备和装料方式

1. 原料准备:

(1) 分品种处理: 不同种的秸秆由于其化学成份的差异以及各成份在细胞壁中分布状况的不一, 处理时的工艺要求亦有差异; 即使同一种的不同品系, 处理工艺亦可能有差异, 例如, 麦草中的冬小麦和大麦较春小麦易处理; 稻草中的中稻草比晚稻草易于处理。即使同一种秸秆, 放置 4~6 个月以上所“陈草”较“新草”易于处理。因此, 在农区应做到分品种堆放, 分品种处理。而在牧区, 由于打搂的饲草多为混合草, 则不易做到这一点。

(2) 原料之切碎: 多数秸秆密度小, 体积大, 而热喷机压力罐的容积则很小, 这与装罐量、产量和生产成本发生了矛盾。例如未打包的稻草 每米³约为 90 公斤, 未打包的麦草每米³约为 30~40 公斤。当把秸秆切至 50~60 毫米时, 在不用汽蒸或机械捣紧的情况下, 每米³罐容可装 80 公斤麦草; 当将秸秆进一步切短至 20~30 毫米时, 则同样条件下每米³罐容可装 130 公斤。如果将秸秆粉碎并经过 2—3 毫米之筛孔, 则同样条件下的每米³罐容可装 190 公斤。显然, 物料越细, 装罐量越大。

但是, 物料破碎越细, 动力消耗越大。国内目前猪用粗饲料多用粉碎, 其粉碎电能费用大体在 1.6~2.4 元/100 公斤, 而当改为铡碎时, 产率可提高 10 倍以上, 则电能费用可降低 80% 以上。从粉碎到铡碎可大幅度降低粗料加工成本, 见表 5。

表 5 铡碎与粉碎的产率与动力消耗比较

	铡 碎			粉 碎	
草片长度mm	12	15	18	3 (筛孔直径)	2以下(筛孔直径)
每小时产量Kg	1000	2000	4000	110	60—70
配用动力瓩	10			10	

采用热喷工艺可以将粉碎改为铡碎, 从而可以使目前猪用粗饲料的粉碎电费大幅度降低。

2. 装料方式:

装料方式可以有漏头装填（或辅以机械）和高速蒸汽输送两种。

由于热喷机的压力罐小，必须缩短单罐处理周期，以此达到短周期，高产量，低成本。例如，一个 1 m^3 容积的压力罐， 16 Kg/cm^2 蒸汽（约 200°C ）处理15秒，继而 78 Kg/cm^2 蒸汽（ $280\sim 285^\circ\text{C}$ ）处理4.5秒，则热处理时间只有20秒，喷料时间约5秒，总计25秒，此时单罐周期主要决定于进料时间，当进料控制在 $1\sim 1.5$ 分钟，则日产可达60吨，如果进料时间增加 $1\sim 1.5$ 分钟，则日产量就降低 $1/4$ 至 $1/3$ 。

为了简化设备，提高装罐速度，同时排除罐内空气，以采取高速蒸汽输送方式为宜。这种方式的要点是，将中压或高压蒸汽从罐上部以切线方向喷入罐内，同时将碎草“带”入锅内。这样的进料方式要比人工或机械装填省工省时。

（二）温度和压力的调节

热喷工艺是以热蒸汽在密闭容器内直接处理原料的加工方法，蒸汽的温度、压力与处理效果密切相关。

蒸汽分为饱和蒸汽和过热蒸汽两种。饱和蒸汽的温度与压力之间有固定的对应值，例如 17 Kg/cm^2 的饱和蒸汽温度为 203.35°C ； 30 Kg/cm^2 饱和蒸汽温度为 232°C ， 40 Kg/cm^2 的饱和蒸汽的温度为 249°C 等等。但是过热蒸汽的温度与压力之间没有固定的对应值，例如， 17 Kg/cm^2 的过热蒸汽的温度可以是 230°C （含热量 684.5 大卡/公斤）、 250°C （含热量 695.9 大卡/公斤）、 300°C （含热量 723.3 大卡/公斤）、 350°C （含热量 750.2 大卡/公斤）、 400°C （含热量 776.7 大卡/公斤）等等。

当采用饱和蒸汽加热时，可通过压力指示来控制温度。当采用过热蒸汽加热时，则除依靠压力仪表外还需要计温仪表。

研究工作中，应当从完成工艺目标所需最短的时间出发来探求最佳温度、压力值。换句话说，在最佳温度与压力范围内，工艺目标应当能够在最短时间内实现。

最佳温度值，应从下列目标出发来确定：其一，使木素尽快塑化；其二，使纤维原料尽快达到较高的吸湿率；其三，减少有害的分解反应与毒物的产生；其四，有利于木素之水解，而不利于木素之凝聚。

最佳压力值，应从下列目标出发来确定：其一，有利于水蒸汽尽快向细胞壁细微结构渗透；其二，足以使喷放后细胞达到游离点。

但是在试验中，上述目标被满足的程度不易——直接测定，只能根据对处理后产品的显微检验和消化试验的结果来判断温度、压力是否适当。

加热加压的方式：可以是一次达到最高值；也可以是由低而高分几个阶段达到最高值。

对于草类原料，温度的试验范围可以从 150° 至 250°C ，压力的试验范围可以从 5 Kg/cm^2 至 40 Kg/cm^2 。

(三) 喷放平均速度

1. 加热结束时, 木质素已呈熔化状态, 成为细胞间结合薄弱区。这时开放压力罐排料球心阀, 物料全压喷放, 在罐内压力作用下, 物料高速运行可能使细胞互搓或撕裂, 达到细胞游离的状态。喷放的作用方式可能是两种: 其一, 高速喷射的物料在管道中运行, 由于运行方向和速度的改变, 发生强烈的内摩擦, 使细胞与细胞之间互相搓位或撕裂; 其二, 在细胞之间、细胞腔内及细胞壁的微细空隙处, 存在有高压的水蒸汽、 CO_2 、 O_2 、 N_2 等气体, 当外环境突然减压时, 细胞间以及细胞内部的气体就急速向外膨大, 撑裂细胞壁或使细胞壁疏松。

2. 上述两种作用方式, 其作用效果的大小可能与喷料速度有关。

物料喷放速度的计算: 喷料开始后, 压力逐步减低, 料速逐渐减慢, 整个料速的变化是一个微分过程, 即由一定值到无限小。为了计算的方便, 在此采用平均速度来表示。平均速度的计算方法:

为简化计算程序, 第一, 将罐内气体全部视为水蒸汽; 第二, 采用理想气体状态方程而未采用范德华气体方程。

根据洛伦公式: 体积 = $S \cdot t \cdot \bar{V}$ (1)

又据等温条件下的理想气体方程:

$$V_1 P_1 = V_2 P_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 P_1}{P_2} \quad (2)$$

将(1)式代入(2)式, 则 $S \cdot t \cdot \bar{V} = \frac{V_1 P_1}{P_2}$

$$\bar{V} = \frac{V_1 P_1}{P_2 \cdot S \cdot t}$$

若平均速度 $\bar{V}$ 以米/秒为单位, 则得:

$$\bar{V} = \frac{V_1 P_1}{P_2 \cdot S \cdot t \times 100} \quad (3)$$

(3) 式即为平均速度的计算公式。式中:

$\bar{V}$ ————— 平均速度, 米/秒;

V_1 ————— 压力罐体积, 厘米³;

P_1 ————— 喷料前罐内压力, 公斤/厘米²;