



稻秆打捆

青贮收获技术及装备研究

王德福 著

 中国农业出版社

稻秆打捆青贮收获技术及 装备研究

王德福 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

稻秆打捆青贮收获技术及装备研究 / 王德福著. —
北京: 中国农业出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-109-22378-3

I. ①稻… II. ①王… III. ①稻—青贮饲料—水稻收
获机—研究 IV. ①S225.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 278089 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 王玉英

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 4.75

字数: 115 千字

定价: 50.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

我国农作物秸秆总产量已达约 8 亿吨，其中稻秆约有 2 亿吨。目前，农作物秸秆主要应用于饲料化、肥料化、能源化、工业原料化、食用菌基料化等方面。在饲料化方面，在自然状态下农作物秸秆是一种劣质粗饲料，其粗蛋白质含量仅为 2%~7%，仅饲喂秸秆不能满足动物的营养需要。因此，秸秆需要处理，以提高其营养价值并改善其适口性。农作物秸秆常用的处理方法有物理法、化学法和微生物处理法等 3 种，目前最受青睐的是微生物处理法中的青贮（具有营养价值高、适口性强、消化率高、饲料来源广等特点）。

但我国稻秆青贮饲料化应用还处于起步阶段，急需开展其青贮收获技术及装备研究。按照稻秆青贮的技术要求，针对我国目前应用的全喂入水稻收获机、半喂入（包括割前摘脱）水稻收获机，本书分别研究了稻秆打捆同时添加乳酸菌进行打捆袋贮、打捆堆贮、打捆窖贮、打捆包膜青贮的收获工艺，并提出了可延长稻秆青贮收获期的割前摘脱水稻收获、稻秆切割打捆、圆捆袋装（或包膜）青贮技术；通过圆捆机研究，分析了完整稻秆形成圆捆的过程，研制了适于稻秆青贮收获的配置液体添加剂装置的钢辊式圆捆机；通过圆捆包膜机研究，研制了用于稻秆圆捆包膜

青贮的圆捆包膜机，优化确定了其主要技术参数。这将有利于促进我国稻秆青贮收获技术及其关键装备的发展。

本书可供水稻种植专业户、规模化养牛场、农业工程领域有关人员参考。

由于作者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2016年10月

目 录

前言

第一章 稻秆青贮利用情况 1

第一节 我国农作物秸秆的资源与利用情况 1

第二节 青贮利于提高农作物秸秆的饲用价值 3

第三节 稻秆可作青贮饲料 5

第四节 国内外研究现状概述 7

第二章 稻秆青贮收获工艺研究 11

第一节 国内外研究情况 12

一、国内研究情况 12

二、国外研究情况 13

第二节 稻秆青贮收获工艺试验 15

一、稻秆打捆袋贮工艺试验 15

二、稻秆方捆堆贮工艺试验 26

三、稻秆打捆窖贮工艺试验 29

四、稻秆打捆包膜青贮工艺试验 30

五、稻秆切碎青贮工艺试验 32

六、稻秆青贮喂饲试验 35

七、总结 37

第三章 圆捆机研究 38

第一节 国内外研究现状 38

一、国外研究现状	38
二、国内研究现状	41
第二节 钢辊式圆捆机设计	43
一、钢辊式圆捆机总体设计	44
二、钢辊式圆捆机捡拾器设计	46
三、钢辊式圆捆机卷捆机构设计	47
四、钢辊式圆捆机捆绳机构设计	49
五、钢辊式圆捆机喷液体添加剂系统设计	54
第三节 钢辊式圆捆机卷捆过程分析	58
一、旋转草芯形成过程力学分析	59
二、旋转草芯形成过程高速摄像分析	62
三、旋转草芯形成过程力学测试	74
四、总结	76
第四节 钢辊式圆捆机旋转草芯形成试验研究	77
一、试验准备	77
二、试验结果与分析	78
三、结论	84
第五节 钢辊式圆捆机捆绳机构试验研究	84
一、稻秆圆捆力学特性研究	84
二、钢辊式圆捆机捆绳机构试验	89
第六节 钢辊式圆捆机研制	106
第四章 圆捆包膜机研究	109
第一节 国内外研究现状	109
一、国外研究现状	109
二、国内研究现状	111
第二节 转臂式圆捆包膜机设计	114
一、转臂式圆捆包膜机总体设计	114

二、转臂式圆捆包膜机关键机构设计	115
第三节 转臂式圆捆包膜机参数优化试验	128
一、试验准备	129
二、试验因素与评价指标分析	129
三、试验设计方案	130
四、试验结果与分析	130
五、参数优化与试验验证	137
第四节 转臂式圆捆包膜机研制	138
参考文献	140

第一章 稻秆青贮利用情况

第一节 我国农作物秸秆的资源与利用情况

我国农作物秸秆资源丰富，年总产量已达约 8 亿 t，占全球秸秆总资源量的 1/5，秸秆产量位居世界第一。我国的农作物秸秆资源主要有以下三种类型：玉米秸秆、稻秆和麦秆，但由于秸秆自身结构特点造成其收贮运成本较高，长期以来多数秸秆被随意抛弃或就地焚烧，这不仅造成了大量资源损失，而且焚烧秸秆还会产生大量 CO_2 、 NO_x 、 CO 、颗粒物、苯及多环芳烃等有害气体，对环境造成严重污染。近年来，随着经济技术的快速发展以及国家对环境保护的高度重视，秸秆作为一种可再生资源正在得到广泛地深入利用。

从国外情况看，发达国家普遍注重资源的综合利用，对于农作物秸秆的开发利用研究出多种途径。美国 24 个农业州每年能收集的秸秆量大约有 4 500 万吨，但 50% 的秸秆被就地粉碎还田，剩下的 50% 才被用作饲料、燃料、建材等。丹麦的秸秆主要用于发电，其电厂每年可利用 15 万吨秸秆，秸秆燃烧发电后的草木灰还可用作肥料，其电厂和农耕者之间形成了一个完整的工业与农业相结合的循环经济圈。在日本，秸秆大多被用作粗饲料等，或者粉碎还田。

我国秸秆资源再利用主要围绕秸秆资源的饲料化、能源化、肥料化、工业原料化和基料化进行。

1. 饲料化 农作物秸秆可以作饲料，但其特殊的结构使之

适口性差，动物对其的消化率低。近年的研究发现有如下 4 种途径，可使秸秆类饲料质量得到改善。

①秸秆氨化，即以密闭方式将液氨、氨水、尿素等作为氮源，将秸秆在特定环境下发酵处理，使其变软、变香。

②秸秆青贮及微贮，青贮是在农作物腊熟期完成收获后，立即粉碎秸秆并装入塑料袋或青贮池中，密封贮存，可保留秸秆中的营养成分、提高适口性和消化率；微贮是在存贮过程中加入微生物菌剂等，通过贮藏发酵过程使秸秆更适口。

③秸秆颗粒饲料，即将秸秆制成颗粒饲料，使其适口性、采食率和营养价值均得到提高。

④秸秆单细胞蛋白饲料，即通过微生物的发酵将秸秆转化为蛋白质饲料，提高其消化率和营养价值。

2. 能源化 秸秆直燃是最为传统、直接的秸秆处理方式，如做饭、取暖、直燃发电、直燃烧锅炉等。同时，秸秆作为生物质，可通过微生物的发酵产生沼气从而被转化为其他能量，以备利用；可通过气化过程（秸秆气化利用是指固态生物质原料在高温下部分氧化的转化过程）将秸秆固体燃料转化为气体燃料的热化学过程，将其高温气化为可燃气体如 H_2 、 CO 、 CH_4 等；由于秸秆内含有丰富的纤维素和半纤维素，还可通过降解变成发酵性的葡萄糖和木糖等，然后用来制取醇类，其发酵乙醇有着广阔的前景。

3. 肥料化 秸秆粉碎还田后可作为天然肥料，这种处理方式简单方便。近年来，随着秸秆速腐技术的应用，可以高温型菌种制剂将秸秆作物快速堆沤成优质的有机肥。相关研究表明，除了土壤本身的有机质和微量元素外，每吨稻麦秸秆对土壤氮、磷、钾养分的贡献量相当于 11kg 的尿素、21kg 的过磷酸钙和 30kg 的硫酸钾。

4. 工业原料化 秸秆本身的化学成分主要包括纤维素、半纤维素、木质素等，在工业中可用作纤维复合材料，如人造板

等。同时秸秆也可被加工成一次性餐具，如饭盒、盘碟等，成本更低，更容易降解，对环境的污染更小。而且，秸秆纤维也是我国造纸行业的重要原材料。

5. 基料化 即以秸秆为原料栽培食用菌，使食用菌吸收秸秆中的营养物质，对秸秆充分利用，同时收获菌类作物。作为基料，秸秆主要提供的营养物质来自纤维素和木质素。目前秸秆基料能生产的菌类非常丰富，包括平菇、香菇、木耳、金针菇、猴头菇、灵芝等，有很好且稳定的市场发展前景。

然而在进一步对农作物秸秆进行开发利用的过程中，由于其体积蓬松而导致其密度比较小，不便于运输、储存，且在收集过程中营养成分损失严重。因此，对于任何一种农作物秸秆来说，要想使其得到进一步的充分利用，首先要解决的问题是如何对其进行有效回收以降低运输成本和物质损失，农作物秸秆资源的有效回收不仅可以促进秸秆资源的综合利用，还可以推动农业的可持续发展及生态环境的保护。因而，本书针对稻秆饲料化应用开展打捆青贮收获技术及装备研究，以为其饲料化利用提供技术支持。

第二节 青贮利于提高农作物秸秆的 饲用价值

农作物秸秆在自然状态下是一种劣质粗饲料，其粗蛋白质含量一般为2%~7%，酸性洗涤纤维（ADF）为41%~56%（以干物质计，DM），且品质不佳，仅饲喂秸秆不能满足动物的营养需要。因此，秸秆需要处理，以提高其营养价值并改善其适口性，进而增加动物的采食量及秸秆消化率。农作物秸秆常用的处理方法有物理法、化学法和微生物处理法等3种。其中，应用最为广泛的是化学法中的氨化、微生物法中的青贮和微贮，目前最受青睐的是青贮，因为它具有以下几个主要的优点（潘继修，

1997):

(1) 青贮饲料可以有效地保持青绿植物的青鲜状态, 所含水分几乎保持原有水平。

(2) 青贮可有效地保存原料中的营养物质, 尤其是原料中的蛋白和维生素; 可以使粗硬秸秆, 如玉米秸秆、高粱秸秆、稻秆及某些野草的茎秆变软、变熟, 增加青贮原料所没有的维生素等营养成分。

(3) 青贮饲料是牛、羊, 尤其是奶牛冬春季节良好的多汁饲料。

(4) 青贮饲料中含有丰富的蛋白质、维生素、矿物质, 而纤维含量少, 易于咀嚼, 在家畜胃内停留时间短, 减轻了对前胃的压力, 加强了肠道对饲料的消化能力, 从而提高了饲料的消化率。

(5) 青贮是发展畜牧业的有效措施, 既经济, 又安全; 并且青贮占的空间面积小, 存取方便。

由国内外的研究可知, 青贮饲料是反刍动物重要的粗饲料。因此, 利用农作物秸秆制作青贮饲料是提高其营养价值的重要手段。青贮饲料质量与青贮原料的水分、糖分、收获期、缓冲能力、密封程度、粉碎程度、青贮的温度及添加剂的施加均匀性等诸多因素相关:

①通常青贮原料的含水量应在 $60\% \sim 75\%$, 含水量过低或过高都不利。含水量过高使渗出液增加, 可溶性营养物质损失, 并导致梭菌发酵, 污染环境, 影响青贮饲料的品质; 含水量不足, 不易压实, 藏有空气, 引起发霉变质。另外, 水分少将导致收获损失和过度产热, 减少可发酵物数量, 引起 pH 升高和水溶性碳水化合物增加, 以及乳酸和其他发酵物减少。此外, 低水分青贮将减少乳酸菌的生长率和酸的产生率。

②当青贮原料中具有足够数量的糖时, 才能使乳酸菌形成足够数量的乳酸。发酵过程与水溶性碳水化合物有关, 若青贮原料中水溶性碳水化合物含量很少, 即使其他条件都具备, 也不能获

得优质的青贮饲料。为了将不宜青贮或难青贮的原料也能制成优质青贮饲料，可以采取改变原料中含糖量。一般采用添加含糖或含淀粉多的饲料（如马铃薯、禾本科谷实粉等）来提高青贮原料中的含糖量。

③青贮原料的缓冲能力或抗 pH 变化的能力是影响青贮的重要因素。饲草作物的缓冲性能由阴离子（有机酸盐、氯化物等）和植物蛋白共同来完成。青贮过程中产生的酸对 pH 的降低程度受青贮饲料缓冲能力的影响。当其他条件相同而缓冲能力低时，青贮更易成功。

④青贮饲料品质受贮藏发酵温度的影响，乳酸菌发酵的适宜温度为 19~37℃。封窖时基础窖温过高（超过 38℃），或压紧封严不够，往往形成适合丁酸发酵的高温青贮，品质极差。因此，制作青贮时应尽量缩短入窖时间、充分压紧封严和降低封窖时的基础窖温，以便尽快形成以乳酸菌发酵为优势的厌氧条件。

⑤美国的研究表明，青贮饲料的质量决定于青贮原料的品种、籽实的成熟度、叶及秆中碳水化合物和粗蛋白质含量、收获期、发酵条件等。

第三节 稻秆可作青贮饲料

近年来我国反刍动物饲养业持续发展，仅就奶牛饲养业而言，我国目前奶牛存栏已超过 1 500 万头。但长期以来我国反刍动物饲养业的粗饲料一直以各种农作物秸秆为主，由于农作物秸秆纤维化严重，导致其品质较差，加之落后的饲养方式，致使反刍动物饲养业的发展与国外先进水平相比相差甚远。因此，开发优质的粗饲料资源非常重要。同时，我国是世界上的主要稻谷产区，稻秆是我国主要的农作物秸秆，其年产量约达 2 亿吨。并且随着我国机械化收获的水稻田面积的扩大，水稻收获期也可以适度地提前，水稻收获时稻秆还处于青绿状态，其各项指标较适于

作青贮饲料，主要成分见表 1-1（华金玲，2006）。

表 1-1 稻秆的化学成分

原料	DM %	CP %DM	NDF %DM	ADF %DM	WSC %DM
稻秆	31.12	4.58	64.70	36.66	3.95

注：DM——干物质；CP——粗蛋白；NDF——中性洗涤纤维；ADF——酸性洗涤纤维；WSC——水溶性碳水化合物。

同时，考虑到稻秆青贮的原料便宜、加工工序简单、运输量少、稻秆青贮成本较低，因此，青绿稻秆作青贮很有希望。为获得稻秆青贮饲料，本书对稻秆青贮收获的主要工艺及其装备进行研究。

在已进行的稻秆青贮试验中发现，水稻机械化收获方式对稻秆青贮影响很大，其中全喂入水稻收获机作业时，由于稻秆受收获机脱粒滚筒的碾折揉搓严重（图 1-1），其水分散失非常快，同时其营养物质（粗蛋白、可溶性碳水化合物等）损失较快（稻秆的酸性洗涤纤维上升）。因此，稻秆青贮适收期非常短（以天计）；否则，稻秆青贮质量就会降低。这就要求及时进行稻秆的青贮收获，因而稻秆的打捆青贮收获极其重要。



图 1-1 全喂入水稻收获机获得的稻秆



图 1-2 半喂入水稻收获机获得的稻秆

半喂入水稻收获机作业时,由于稻秆未受机器的处理而保持完整(图1-2),其水分散失较慢,同时其营养物质损失较少,这样的稻秆青贮适收期稍长(可在一周内收获);同时考虑到水稻收获的时间短、劳动力成本高、运输费用高等因素。因此,稻秆打捆青贮收获非常必要。

对割前摘脱水稻收获机因收获籽粒时稻秆仍站立于田间,稻秆的水分及营养能较长时间保持,稻秆青贮适收期很长(可达数周),稻秆青贮收获时还是青绿的,其营养物质得到了保留,经切割、打捆并同时喷施乳酸菌,密封发酵,可成优质的青贮饲料。图1-3显示的是割前摘脱水稻收获机收获后的稻秆情况。由图1-3可以看出,这么大片青绿、高湿度、较优质的稻秆,若不制成青贮饲料,白白任其干枯,浪费了资源非常可惜。



图1-3 割前摘脱水稻收获机获得的稻秆

随着我国经济的快速发展,水稻收获机械化程度越来越高,这为稻秆做青贮饲料提供了可能。因此,稻秆机械化青贮收获技术及其装备研究具有重大现实意义,将促进规模化稻秆青贮收获作业。

第四节 国内外研究现状概述

国内关于稻秆氨化及微贮的研究报道很多,在这两方面的研究已进行了很多年。但仅在近些年见到关于切碎稻秆添加乳酸菌

(或添加酶制剂与麸皮)进行青贮,以及本书涉及的稻秆青贮收获的研究报道,从已进行的研究中可知稻秆青贮在实践中是可行的。但至今为止,国内关于稻秆青贮收获方面的研究报道还较少,尤其是稻秆青贮收获技术及其装备的研究报道更少。

目前,关于稻秆青贮的研究与应用报道主要见于日本、韩国、美国、匈牙利等国家。

美国加利福尼亚大学的学者 Daniel J. Drake, Glenn Nader, Larry Forero 在《Feeding Rice Straw to Cattle》中指出,稻秆营养价值变化较大,其中含 2%~3%粗蛋白的稻秆不应被用做牛饲料,由于其粗饲料价值通常少于其打捆、运输的成本,而且还可能引起动物健康变差或死亡。研究还不能彻底解释稻秆营养价值变化的原因,但一些重要的因素有:①水稻收获与稻秆打捆间隔的天数;②水稻施加的氮肥量;③在水稻种植区稻田的地理位置。由于稻秆拥有有限的营养价值(粗蛋白低、消化率低),稻秆仅应用做日粮中粗纤维饲料的部分替代料,而不应被用来替代日粮中的所有粗纤维饲料。喂饲稻秆的研究显示出,饲养效果完全取决于其质量及如何在日粮中应用。当稻秆是唯一的饲料时,会产生较差的动物饲养性能。喂饲稻秆饲料的挑战包括:①适口性。如果水稻收获与稻秆打捆之间的间隔时间短,则牛更愿意吃稻秆。此外,稻秆有一点小毛,牛可能需要时间来适应。②消化率低。相比于苜蓿草(硅含量为 1%~2%),稻秆有很高的硅含量(8%~14%)。硅是难消化的,它会降低稻秆的消化率,尤其是在稻秆的叶片中(包含了最高水平的硅含量)。高含量的硅组合其他的矿物质复合物,产生了稻秆平均 17%的灰分,而苜蓿草仅为 7%~8%。③蛋白低。稻秆中粗蛋白以干物质计为 2%~7%,因此需要补充蛋白质,以满足大部分牛的营养需要。④草酸盐高。稻秆中草酸盐降低钙的吸收。

美国 Daniel J. Drake 等学者也指出,水稻种植者通常认为稻秆为废物,因而常在水稻收获后方便时才进行稻秆打捆。目前,

已成功将稻秆用做牛饲料的牧场，其关键之一是水稻收获后 1~3 天内进行稻秆打捆收获（图 1-4，其中酸性洗涤纤维越高则稻秆质量越差），这改善了稻秆的适口性（气味、风味、颜色），而且研究认为这也能防止稻秆质量的实质降低。在牛场饲喂运行中，应用稻秆的关键点包括：①保证稻秆在水稻收获后的 10 天内完成打捆；②测试稻秆的粗蛋白、酸性洗涤纤维；③确定其他需添加的饲料或增补料，以满足动物的营养需要；④比较饲料选择或替代料的成本。

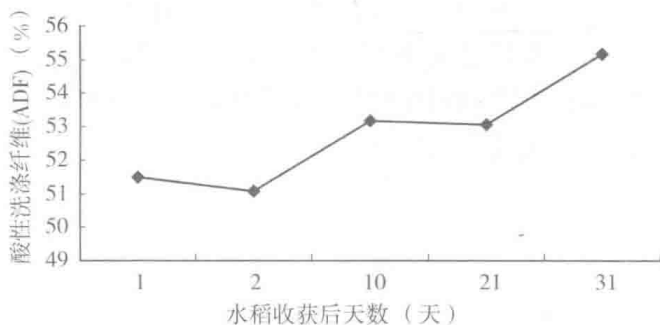


图 1-4 稻秆收获时间对质量的影响

在稻秆打捆设备方面，日本、韩国研制了专门的圆型打捆机（以下简称圆捆机）及包膜机，而其他国家主要是应用现有的秸秆打捆机。在稻秆青贮收获中，美国等国家主要是应用大型圆捆机或方捆打捆机在水稻收获后将稻秆打捆贮存，其所打圆捆的直径均在 $\Phi 1200\text{mm}$ 以上。因此，打捆青贮收获效率高、成本低，青贮效果也较好；以水稻种植面积占世界 90% 的亚洲为例，较发达国家如日本和韩国，在水稻收获后，通常都是利用研制的圆捆机、包膜机对稻秆进行打捆、包膜青贮收获。这依赖于国外家庭农牧场普遍拥有大型拖拉机及配套的农牧机械的支撑。

目前，我国秸秆机械化收获程度处于极低的水平。我国对打捆机的研究开始于 30 多年前，研制的打捆机以跟踪国外已有的中小机型为主（适于我国的拖拉机动力），且主要用于经济性较