

秸秆饲料化集成技术模式及其区域适用性评价

杨增玲¹, 楚天舒¹, 韩鲁佳^{1*}, 李晓红², 刘 贤¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘 要: 农作物秸秆是一种重要的生物质资源, 其综合利用不仅保护产地环境、促进农民增收, 而且是农业可持续发展的重要保障。为了促进秸秆资源的饲料化利用与推广, 该文针对秸秆饲料化集成技术的区域适用性进行初步研究。根据技术流程进行秸秆收储运和饲料化转化技术分类, 进而总结出秸秆饲料化集成技术的多种模式; 然后, 根据评价原则进行指标筛选, 构建评价体系, 采用综合集成赋权法确定评价指标权重; 最后以沈阳市于洪区为例, 进行秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价研究, 找出适宜当地青绿玉米秸秆饲料化集成技术模式和适宜当地水稻秸秆饲料化集成技术模式。并结合未来畜牧业发展规划, 对现有模式提出改进建议。

关键词: 秸秆, 集成, 农作物, 饲料化利用, 区域适用性, 技术分类, 综合集成赋权法

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.026

中图分类号: S816.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0186-08

杨增玲, 楚天舒, 韩鲁佳, 等. 秸秆饲料化集成技术模式及其区域适用性评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 186-193.

Yang Zengling, Chu Tianshu, Han Lujia, et al. Regional applicability evaluation of technical integration for straw feed utilization[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 186-193. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

中国拥有丰富的秸秆资源。根据国家发展改革委、农业部、财政部共同编制的《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》的调查统计显示, 2010 年全国秸秆理论资源量为 8.4 亿 t, 可收集资源量约为 7 亿 t, 其中稻草秸约 2.11 亿 t, 麦秸约 1.54 亿 t, 玉米秸秆约 2.73 亿 t。秸秆资源的“五化”综合利用(即饲料化、燃料化、肥料化、基料化与材料化)不仅保护产地环境、促进农民增收, 而且是农业可持续发展的重要保障。其中, 秸秆饲料化技术的研究对“节粮型”畜牧业的发展, 解决“人畜争粮”, 保障中国粮食安全更有重要意义^[1]。

秸秆饲料化加工处理方式主要有: 秸秆青贮、秸秆氨化、秸秆微贮(黄贮)、秸秆揉搓丝化、秸秆膨化、秸秆压块、秸秆颗粒饲料加工等^[2], 其中青贮、氨化、微贮(黄贮)3 种加工处理方式, 除了改善饲料的适口性和提高消化率之外, 显著改善了秸秆饲料的营养价值, 是目前应用最为广泛的处

理技术, 也是政策鼓励推广的技术, 如《“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》中指出: “在秸秆资源丰富的牛羊养殖优势区, 鼓励养殖场(户)或秸秆饲料加工企业制作青贮、氨化、黄贮等秸秆饲料”; 农业部编制的《饲料工业“十二五”发展规划》中也同样提到“继续推进秸秆养畜, 改善秸秆收贮设施设备条件, 推广青贮、氨化、微贮等处理技术。”结合实地调研与文献研究^[3-11], 本文主要研究青贮、氨化、微贮(黄贮)3 种秸秆饲料化处理技术的集成模式。

秸秆饲料化集成技术的区域适用性评价旨在通过定性定量相结合的研究方法, 对各种技术模式的功能性、适用性、效益性(包括经济效益、环境效益、社会效益)等方面是否适用于当地区域进行评价。最终, 找出当地适用的秸秆的饲料化集成技术模式。目前尚未检索到相关研究。

本文首先对秸秆饲料化技术进行分类和集成, 总结出不同的技术模式; 然后根据评价原则、目标进行评价指标筛选与评价方法选择, 构建出秸秆饲料化集成技术模式区域适用性的评价方法。最后以沈阳市于洪区为例进行具体评价。

1 秸秆饲料化集成技术模式

根据一定的目标与准则, 在不同层次上集成优化各类技术要素, 最终得到集成技术^[12-15]。集成技术根据技术流程可先分为几个大类技术, 每个大类

收稿日期: 2013-02-27 修订日期: 2013-10-23

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(项目编号: 200903009)

作者简介: 杨增玲(1977—), 副教授, 博士, 博士生导师, 主要从事生物质工程研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: yangzengling@cau.edu.cn

*通信作者: 韩鲁佳(1964—), 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事生物质工程研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。

Email: hanlj@cau.edu.cn

技术下存在多个可供选择的中类技术。中类技术是由主体、实施主体、工艺、设施设备和辅助 5 大部分组成^[16-25]。在主体与实施主体确定的条件下，找到适宜的工艺，工艺可再细分为多个作业步骤。每个作业步骤配备相应的设施设备和辅助。辅助可能为辅助材料、辅助措施等。

首先，找出秸秆饲料化的主要流程：秸秆→秸秆的收储运→秸秆饲料化转化→饲料，分析出秸秆收储运与秸秆饲料化转化 2 大类技术，进而分析大类技术下可用的中类技术的工艺、设施设备、实施主体与辅助。秸秆饲料化技术集成时应遵循目的统一、功能匹配、社会协调、整体优化等原则^[26-27]。

1.1 秸秆饲料化集成的技术内容

秸秆饲料化集成技术主要包含秸秆收储运与秸秆饲料化转化 2 大类技术。收储运技术分为联合收获与分段收获 2 类工艺；饲料化转化技术分为青贮、氨化、黄贮等工艺。适宜饲料化的农作物秸秆主要有青绿玉米秸秆、干黄玉米秸秆、水稻秸秆、小麦秸秆 4 类。4 类秸秆在产地通过联合收获或分段收获后，再运送到饲料厂或养殖场，然后根据秸秆营养价值与水分含量的不同，选择适宜的秸秆饲料化转化技术对秸秆进行饲料化处理。秸秆饲料化集成技术示意图，详见图 1。

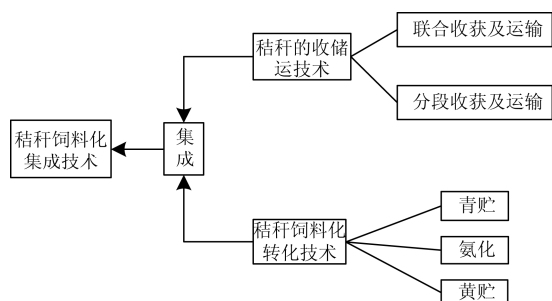


图 1 秸秆饲料化集成技术示意图

Fig.1 Schematic diagram for technical integration for straw feed utilization

1.1.1 秸秆收储运技术方案

秸秆收储运技术主要有联合收获与分段收获 2 类工艺：一是联合收获由联合收割机或青贮收割机进行秸秆收获，同步切碎；二是分段收获由人工进行秸秆收获，再通过机械进行切碎。2 类工艺与相应的设施设备的选择主要受到实施主体的制约。秸秆收储运的技术分类，详见图 2。

1.1.2 秸秆饲料化转化技术方案

秸秆饲料化转化技术主要考虑青贮、氨化、黄贮 3 类工艺。青贮分为青贮窖法、青贮壕法、青贮

袋法、拉伸膜裹包青贮法；青贮窖法和青贮壕法的作业过程为装填、压实、密封贮存；青贮袋法的作业过程为装袋、压实、密封贮存；拉伸膜裹包青贮法的作业过程为打捆、捆包、贮存。氨化分为堆垛法、氨化窖法。堆垛法的作业过程为秸秆堆垛、密封、注氨、贮存；氨化窖法的作业过程为喷洒氨液、装填、压实、密封贮存。黄贮分为黄贮壕法、黄贮窖法。黄贮壕法和黄贮窖法的作业过程为装填、压实、密封贮存。每个作业步骤配备相应的设施设备与辅助，并受到实施主体的限制。秸秆饲料化转化技术分类，详见图 3。

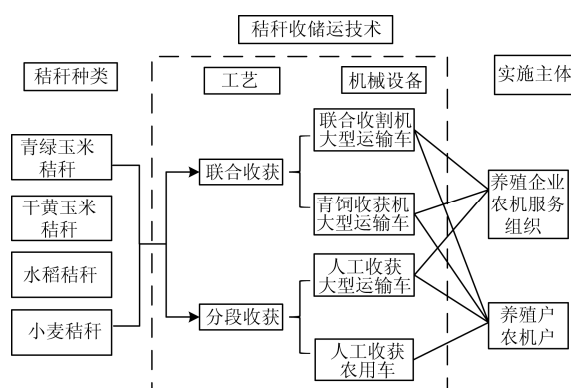


图 2 秸秆收储运技术分类

Fig.2 Technical classification of straw collection, storage and transportation

1.2 秸秆饲料化技术集成模式

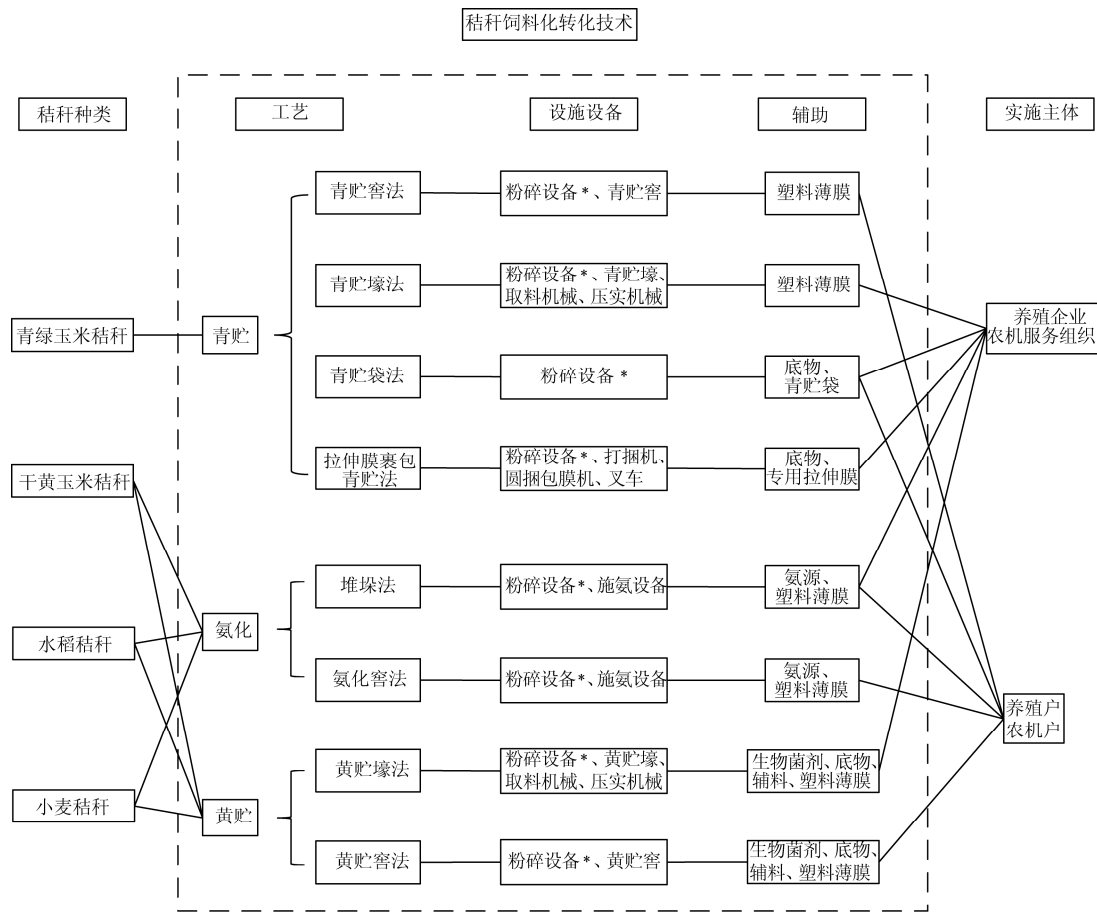
根据对秸秆收储运和秸秆饲料化转化技术的分类，按照能适应实际生产的要求，满足集成的技术具有先进、适用、经济、可靠等特性要求，进行秸秆饲料化技术集成，详见表 1。

2 秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价方法

由于受不同地区秸秆种类与资源密度、秸秆收储运发展水平和当地社会经济发展水平等多因素制约，不同地区的不同秸秆所适宜的饲料化集成技术不同。所以，本文通过构建秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价方法，对现有的 10 种秸秆饲料化集成技术（详见表 1）进行区域适用性评价，进而找出不同地区不同秸秆所适宜的集成技术。

2.1 评价指标体系

遵循一致性、科学性、可操作性、完备性、层次性、可比性、导向性、定性定量相结合、宏观微观相结合等原则^[28-29]，确立的秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价指标体系详见表 2。



注：* 当秸秆收储运为联合收获时，设施设备中不含粉碎设备；当为分段收获时，设施设备中包含粉碎设备。
Note: * If straw collection, storage and transportation are combine harvesting, breaking plant isn't included in equipment; If two-stage harvesting, breaking plant is included.

图 3 秸秆饲料化转化技术分类

Fig.3 Technical classification of straw feed utilization

表 1 秸秆饲料化集成技术模式

Table 1 Model of technology integration of straw feed utilization

模式 Model	实施主体 Implementing body	秸秆收储运技术 Straw collection, storage and transportation		秸秆饲料化转化技术 Straw feed utilization engineering				适宜秸 秆种类 Kinds of suitable straw
		工艺 Process	主要设备 Equipment	工艺 Process	主要设施 Facility	主要设备 Equipment	辅料消耗 Accessory	
1	养殖企业或农 机服务组织	联合 收获	青贮收获机或联合收 割机、大型运输车	青贮 壕法	青贮壕	取料机械、 压实机械	塑料薄膜	青绿玉 米秸秆
2	养殖企业或农 机服务组织	分段 收获	人工收获、大型运输车	青贮 壕法	青贮壕	粉碎设备、取料 机械、压实机械	塑料薄膜	
3	养殖户或农机户	分段 收获	人工收获、农用车	青贮 窖法	青贮窖	粉碎设备	塑料薄膜	
4	养殖户或农机户	分段 收获	人工收获、农用车	青贮 袋法	青贮袋	粉碎设备	底物、青贮袋	
5	养殖企业或农 机服务组织	联合 收获	青贮收获机或联合收 割机、大型运输车	拉伸膜裹 包青贮 法	拉伸膜裹 包 青贮	打捆机、 圆捆包膜机、叉 车	底物、专用拉伸膜	
6	养殖企业或农 机服务组织	分段 收获	人工收获、大型运输车	堆垛法	堆垛	粉碎设备、 施氮设备	氮源、塑料薄膜	干黄玉 米、水 稻、小 麦 秸秆
7	养殖企业或农 机服务组织	联合 收获	联合收割机、 大型运输车	堆垛法	堆垛	施氮设备	氮源、塑料薄膜	
8	养殖户或农机户	分段 收获	人工收获、农用车	氨化 窖法	氨化窖	粉碎设备	氮源、塑料薄膜	
9	养殖企业或农 机服务组织	分段 收获	人工收获、大型运输车	黄贮 壕法	黄贮壕	粉碎设备、取料 机械、压实机械	生物菌剂、底物、 辅料、塑料薄膜	
10	养殖户或农机户	分段 收获	人工收获、农用车	黄贮 窖法	黄贮窖	粉碎设备	生物菌剂、底物、 辅料、塑料薄膜	

表 2 秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价指标体系

Table 2 Regional applicability evaluation index system of straw feed utilization integration technology model

目标层 Target layer	一级指标 First-class index layer	二级指标 Second-class index layer	解释 Construction
秸秆饲料化集成 技术模式的区域 适用性评价	技术指标 A_1	技术成熟度 B_1	技术是否稳定、成熟、先进
		秸秆饲料转化效果 B_2	技术应用后秸秆饲料营养成分、消化率与适口性的提高程度
	经济指标 A_2	吨秸秆的总投资 B_3	处理一吨秸秆的总投资
		单位投资节约饲料成本 B_4	一万元的投资额所节约的精饲料的成本
		单位投资处理秸秆量 B_5	一万元的投资额所处理秸秆的量
	社会与环境指标 A_3	吨秸秆投资额增加就业岗位数 B_6	处理一吨秸秆的总投资所增加的就业岗位数
		二次污染程度 B_7	技术应用后带来的二次污染程度
		与区域秸秆种类与密度的协调程度 B_8	技术与区域秸秆种类与密度的协调程度
	适用性指标 A_4	与区域主要养殖场养殖种类与规模的协调程度 B_9	技术与区域主要养殖场养殖种类与规模的协调程度
		与区域农业机械化发展水平的协调程度 B_{10}	技术与区域秸秆收获、运输、加工的机械化发展水平的协调程度

2.2 评价指标的赋值方法与数据标准化方法

二级指标中的定量指标，包括： B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 ，进行定量描述；定性指标，包括 B_1 、 B_2 、 B_7 、 B_8 、 B_9 、 B_{10} ，采用多位专家进行 9 级分值赋值^[30]。

对成本型负向指标，如吨废弃物总投资 B_3 ，需采用正向化方法处理，详见式（1）。

$$x'_{ij} = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\} - x_{ij}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

式中， x_{ij}^* 表示原始值； x'_{ij} 表示正向化后值。

所有指标均需进行标准化处理。标准化处理方法采用的是均值化方法，详见式（2）。该方法在消除量纲和数量影响的同时，保留了各变量取值差异程度上的信息^[31]。

$$x_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (2)$$

式中， x_{ij} 表示标准化后值。

2.3 评价指标权重的确定

秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价属于多属性评价，评价指标权重的确定对于评价不同区域秸秆饲料化集成技术模式起着至关重要的作用。所以，应用基于功能驱动原理与基于差异驱动原理的综合集成赋权法^[32-34]来对秸秆饲料化集成技术模式的评价指标权重进行确定。

G1 法（G1 method）是基于功能驱动原理的赋权法，主要体现了评价指标的相对重要程度，详见式（3）、式（4）。若决策者给出 r_k 的理性赋值，

满足关系式 $r_{k-1} > \frac{1}{r_k}$ ，则 ω_j 为

$$\omega_j = (1 + \sum_{k=2}^m \prod_{i=k}^m r_i)^{-1} \quad (3)$$

$$\omega_{k-1} = r_k \omega_k \quad (4)$$

$$k = m, m-1, \dots, 3, 2$$

式中， r_k 表示决策者对指标权重相对重要程度的赋值， ω_j 表示指标权重。当 m 较大时，上述关系式 r_k 可取 1。 r_k 的赋值见表 3。

表 3 r_k 赋值参考Table 3 Valuation reference of r_k

指标相对重要程度赋值 r_k	说明 Construction
1	指标 x_{k-1} 与指标 x_k 具有同样重要性
1.2	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 稍微重要
1.4	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 明显重要
1.6	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 强烈重要
1.8	指标 x_{k-1} 比指标 x_k 极端重要

而熵值法（entropy method）是基于差异驱动原理的赋权法，主要体现了被评价对象之间的差异，详见式（5）~式（9）。设 x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) 为第 i 个被评价对象中的第 j 项指标的数据。假定

$$x_{ij} \geq 0, \sum_{i=1}^n x_{ij} > 0$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (5)$$

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), k > 0, e_j > 0 \quad (6)$$

$$k = \frac{1}{\ln n} \quad (7)$$

$$g_j = 1 - e_j \quad (8)$$

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (9)$$

式中， p_{ij} 表示在第 j 项指标下，第 i 个被评价对象

的特征比重; e_j 表示第 j 项指标的熵值; g_j 表示指标 x_j 的差异性系数。

2 种赋权法的有机结合, 使所确定的权重系数同时体现出主观与客观信息, 避免因为评价者或者评价方法单方面所带来的误差, 详见式 (10) ~ 式 (13)。

记由 G1 法得到的权重向量: $\omega' = (\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_m)$, $0 \leq \omega'_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^m \omega'_j = 1$; 记由熵值法得到的权重向量: $\omega'' = (\omega''_1, \omega''_2, \dots, \omega''_m)$, $0 \leq \omega''_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^m \omega''_j = 1$ 。记 α 、 β 分别表示 ω' 、 ω'' 的重要程度, 将 G1 法的权重向量与熵值法的权重向量进行综合, 得到

$$\omega = \alpha\omega' + \beta\omega'' \quad (10)$$

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1 \quad (11)$$

该模型的最优解 α^* 、 β^*

$$\alpha^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \omega'_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} (\omega'_j + \omega''_j)} \quad (12)$$

$$\beta^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \omega''_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} (\omega'_j + \omega''_j)} \quad (13)$$

将 α^* 、 β^* 带入式 (10), 得到基于综合集成赋权法的指标权值。

2.4 评价对象的评价值计算

根据多属性决策分析的加权法则, 可求得各评价对象的评价值 d_i 为

$$d_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \omega_j = \sum_{j=1}^m x_{ij} (\alpha\omega'_j + \beta\omega''_j) \quad (14)$$

3 实例应用

沈阳市于洪区位于沈阳市区西北部, 地势平坦, 四季分明, 农业现代化水平、畜牧业发展水平在全市领先。根据《沈阳市统计年鉴 2012》数据显示, 2011 年于洪区稻谷产量 72 776 t; 玉米产量 96 699 t。按照草谷比^[8]换算, 稻谷秸秆产量 69 137.2 t, 玉米秸秆产量 106 368.9 t。当年出栏肉牛 17 040 头, 存栏肉牛 14 539 头, 存栏奶牛 9 077 头, 牛奶产量 21 801 t。农用运输车 4 954 台, 畜牧养殖机械动力 0.26 万 kW, 饲草料加工机械 288 台。从数据可看出当地秸秆资源以玉米秸秆和水稻秸秆为主, 秸秆收获、运输、加工相关机械设备较为充足。按饲养期 12 个月, 每头成年牛粗饲料日用量 20 kg 计算, 则需要 172 396.8 t 粗饲料, 若均由秸秆饲料提供, 除了青绿玉米秸秆做优质青贮饲料之外, 还需要部分稻谷秸秆处理作为粗饲料。

3.1 评价指标赋值

将表 1 中集成技术 1~5 作为于洪区青绿玉米秸秆饲料化集成技术优选的基础模式; 表 1 中集成

技术 6~10 作为于洪区干黄玉米秸秆、水稻秸秆饲料化集成技术优选的基础模式。吨秸秆总投资 B_3 、单位投资节约饲料成本 B_4 、单位投资处理秸秆量 B_5 、吨秸秆投资额增加就业岗位数 B_6 , 通过实际工程数据核算进行量化赋值。技术成熟度 B_1 、秸秆饲料转化效果 B_2 、二次污染程度 B_7 、与区域秸秆种类与密度的协调程度 B_8 、与区域主要养殖场养殖种类与规模的协调程度 B_9 、与区域农业机械化发展水平的协调程度 B_{10} 指标由长期从事秸秆饲料化研究的专家, 结合《沈阳市统计年鉴 2012》中的统计数据与《于洪区农业发展第十一个五年规划》等政策规划, 针对于洪区实际情况进行 9 级分值赋值。首先对成本型负向指标 B_3 , 按照式 (1) 采用正向化方法处理, 然后对所有数值按照式 (2) 进行标准化处理, 得到评价矩阵, 详见表 4、表 5。

表 4 青绿玉米秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价矩阵

模式 Model	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
1	1.11	1.25	1.72	1.32	1.32	0.85	1.19	1.06	1.22	1.01
2	1.11	1.25	1.18	1.02	1.02	1.03	1.19	1.06	1.22	1.16
3	1.11	1.25	0.81	0.89	0.89	0.37	1.19	1.06	1.22	0.87
4	1.11	1.25	0.81	0.89	0.89	0.37	0.9	1.06	1.22	0.87
5	0.86	1.25	0	0.69	0.69	1.58	0.9	1.06	1.22	1.01

表 5 水稻秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价矩阵
Table 5 Regional applicability evaluation matrix of rice straw feed utilization integration technology model

模式 Model	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
6	0.99	0.69	1.29	1.07	1.07	1.72	0.75	0.76	0.68	1.16
7	0.99	0.69	1.93	1.49	1.49	1.43	0.75	0.76	0.68	1.01
8	0.86	0.69	0.78	0.88	0.88	0.72	0.75	0.76	0.68	0.87
9	0.99	0.83	0.75	0.87	0.87	1.43	1.19	1.21	0.95	1.16
10	0.86	0.83	0.75	0.87	0.87	0.52	1.19	1.21	0.95	0.87

3.2 评价指标权重

利用专家分别对一级指标与二级指标的相对重要性进行排序, 使用 G1 法, 按照式 (3)、式 (4) 进行计算得到二级指标的权重

$$\omega' = (0.12, 0.15, 0.12, 0.09, 0.07, 0.04, 0.06, 0.12, 0.12, 0.12)$$

利用评价矩阵, 使用熵值法, 按照式 (5) ~ 式 (9) 计算得到二级指标的权重

$$\omega'' = (0.01, 0.07, 0.38, 0.05, 0.05, 0.27, 0.05, 0.27, 0.05, 0.03)$$

按照式 (10) ~ 式 (13) 计算出: $\alpha^* = 0.5$, $\beta^* = 0.5$, 计算的综合集成赋权法得到的二级指标的权重向量

$$\omega = (0.07, 0.11, 0.25, 0.07, 0.06, 0.15, 0.05, 0.08, 0.09, 0.07)$$

3.3 评价结果

按照式 (14) 计算出 d_i , 详见表 6、表 7。

表 6 青绿玉米秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价得分

Table 6 Regional applicability evaluation score of fresh corn straw feed utilization technical integration model

模式 Model	1	2	3	4	5
评价得分 Score	1.269	1.132	0.901	0.885	0.837

表 7 水稻秸秆饲料化集成技术模式的区域适用性评价得分
Table 7 Regional applicability evaluation score of rice straw feed utilization technical integration model

模式 Model	6	7	8	9	10
评价得分 Score	1.106	1.266	0.774	0.998	0.830

采用综合集成赋权法针对于洪区不同秸秆饲料化集成技术模式进行区域适用性评价, 最后得出适宜当地青绿玉米秸秆饲料化集成技术模式的排序: $1 > 2 > 3 > 4 > 5$; 适宜当地水稻秸秆饲料化集成技术模式的排序: $7 > 6 > 9 > 10 > 8$ 。

模式 1、模式 7 不仅针对特定秸秆种类的转化技术成熟度高、秸秆收获、运输、处理机械化程度高、秸秆处理量大、成本低、与区域秸秆种类与密度相适宜等特点, 而且与该地区奶牛、肉牛养殖业发展需要相契合。所以, 当地应着力推广青绿玉米秸秆青饲收获机收获、大型运输车运输、壕式青贮模式, 与水稻秸秆联合收割机收获、大型运输车运输、堆垛氨化模式, 并提供相关的政策与经济支持, 促使奶牛、肉牛养殖基地采用合理的秸秆饲料转化工艺、实施主体、匹配设施设备。

4 结 论

本文在进行秸秆收储运和秸秆饲料化转化 2 大类技术分类的基础上, 归纳出秸秆饲料化集成技术模式; 根据确立的秸秆饲料化集成技术模式的评价体系, 采用综合集成赋权法确定指标权重, 并以沈阳市于洪区为例, 进行区域适用性示例评价研究, 找出青绿玉米秸秆饲料化集成技术模式的排序: $1 > 2 > 3 > 4 > 5$; 水稻秸秆饲料化集成技术模式的排序: $7 > 6 > 9 > 10 > 8$ 。结合当地未来畜牧业发展规划, 对现有模式提出改进建议。需扩容相应的设施设备, 以适应大规模青绿玉米秸秆和水稻秸秆饲料化处理的需求。

【参 考 文 献】

[1] 郭庭双. 秸秆畜牧业[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1996.

- [2] 毕于运, 寇建平, 王道龙. 中国秸秆资源综合利用技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [3] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87—91. Han Lujia, Yan Qiaojuan, Liu Xiangyang, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 18(3): 87—91. (in Chinese with English abstract)
- [4] 韩鲁佳, 刘向阳, 李道娥, 等. 我国秸秆饲料资源开发利用的研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(5): 127—131. Han Lujia, Liu Xiangyang, Li Dao'e, et al. Survey on the utilization of straw resources as feed[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1997, 13(5): 127—131. (in Chinese with English abstract)
- [5] 朱明, 郭红宇, 周新群. 现代农业产业工程体系建设方案研究[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 1—5. Zhu Ming, Guo Hongyu, Zhou Xinqun. Implementing scheme for establishment of modern agricultural engineering system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘罡, 邢爱华, 王垚, 等. 生物质利用优化生产规模分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(09): 1494—1498. Liu Gang, Xing Aihua, Wang Yao, et al. Analysis of the optimum production scale for biomass utilization[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(9): 1494—1498. (in Chinese with English abstract)
- [7] 邢爱华, 刘罡, 王垚, 等. 生物质资源收集过程成本、能耗及环境影响分析[J]. 过程工程学报, 2008, 8(2): 305—313. Xing Aihua, Liu Gang, Wang Yao, et al. Economic, energy and environment analysis on biomass collection process[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2008, 8(2): 305—313. (in Chinese with English abstract)
- [8] 沈玉君, 张玉华, 向欣, 等. 农业废弃物资源化利用工程模式构建[J]. 农业工程学报, 2013, 29(11): 210—216. Shen Yujun, Zhang Yuhua, Xiang Xin, et al. Construction of resource utilization engineering mode for agricultural residues[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(11): 210—216. (in Chinese with English abstract)
- [9] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010. Bi Yuyun. Study on Straw Resources Evaluation and Utilization[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [10] 毕于运, 王道龙, 高春雨, 等. 中国秸秆资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.

- [11] 于春燕. 黑龙江作物秸秆不同利用模式下的效益评价[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
Yu Chunyan. Benefit Evaluation on Different Utilization Modes of Crop Straw in Heilongjiang[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李文清. 工程中技术集成的技术单元评估与选择研究[J]. 科技与管理, 2010, 12(4): 66—69.
Li Wenqing. Study of assessment and selection of technology unit of technology integration in engineering[J]. Science-Technology and Management, 2010, 12(4): 66—69. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王众托. 系统集成创新与知识的集成和生成[J]. 管理学报, 2007, 4(5): 542—548.
Wang Zhongtuo. The innovation by systematic integration and the integration and creation of knowledge[J]. Chinese Journal of Management, 2007, 4(5): 542—548. (in Chinese with English abstract)
- [14] 张光前, 张米尔. 基于系统观的技术集成过程模型研究[J]. 管理科学, 2008, 21(4): 31—36.
Zhang Guangqian, Zhang Mier. Study on the model of the procedure of technology integration based on system engineering[J]. Journal of Management Sciences, 2008, 21(4): 31—36. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张扬, 常立农. 工程中的技术集成问题初探[J]. 自然辩证法研究, 2007, 23(10): 47—51.
Zhang Yang, Chang Li'nong. Preliminary study of the problem of technology integration in engineering[J]. Studies in Dialectics of Nature, 2007, 23(10): 47—51. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王国利, 张长峰, 王家敏. 分类农产品温控物流技术集成理论体系构建[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 133—138.
Wang Guoli, Zhang Changfeng, Wang Jiamin. Construction of technology integration theoretical system for temperature-controlled logistics of classified agricultural products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2012, 28(5): 133—138. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李纪岳, 陈志, 杨敏丽, 等. 基于农机农艺结合的玉米生产机械化系统研究[J]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 83—88.
Li Jiyue, Chen Zhi, Yang Minli, et al. Mechanized corn production systems based on combination of machinery and agronomy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(8): 83—88. (in Chinese with English abstract)
- [18] 黄光群, 韩鲁佳, 刘贤, 等. 农业机械化工程集成技术评价体系的建立[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 74—79.
Huang Guangqun, Han Lujia, Liu Xian, et al. Establish of evaluation system for integrated agricultural mechanization engineering technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(16): 74—79. (in Chinese with English abstract)
- [19] 齐飞, 周新群, 丁小明, 等. 设施农业工程技术分类方法探讨[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 1—7.
Qi Fei, Zhou Xinqun, Ding Xiaoming, et al. Discussion on classification method of protected agricultural engineering technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [20] 齐飞, 周新群, 鲍顺淑, 等. 设施园艺工程集成模式的表达方式和评价方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 195—202.
Qi Fei, Zhou Xinqun, Bao Shunshu, et al. Expression and evaluation method of integrated modes for protected horticulture engineering[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(8): 195—202. (in Chinese with English abstract)
- [21] 施正香, 许云丽, 李保明, 等. 我国奶牛养殖小区生产工艺与工程配套技术体系研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(14): 50—55.
Shi Zhengxiang, Xu Yunli, Li Baoming, et al. Production technology and related engineering technology in dairy villages in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(14): 50—55 (in Chinese with English abstract)
- [22] 沈丰菊, 张克强, 杨鹏. 西南地区农业废弃物污染现状及其综合利用工程技术模式[J]. 现代农业科技, 2013(7): 236—240, 243.
Shen Fengju, Zhang Keqiang, Yang Peng. Agricultural wastes pollution and model of integrated utilization engineering technology in southwest of China[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2013(7): 236—240, 243. (in Chinese with English abstract)
- [23] 侯军岐. 论农业产业化组织形式与农民利益的保护[J]. 农业经济问题, 2003(2): 51—54, 80.
- [24] 王凯, 颜加勇. 中国农业产业链的组织形式研究[J]. 现代经济探讨, 2004(11): 28—32.
- [25] 杨明洪. 农业产业化经营组织形式演进: 一种基于内生交易费用的理论解释[J]. 中国农村经济, 2002(10): 11—15, 20.
- [26] 张扬. 工程中的技术集成研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
Zhang Yang. The Research on Technology Integration in Engineering[D]. Changsha: Hunan University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [27] 齐飞, 周新群, 丁小明, 等. 设施园艺工程集成模式构建方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 1—7.
Qi Fei, Zhou Xinqun, Ding Xiaoming, et al. Constructing methods of engineering integrative mode for protected horticulture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 1—7. (in Chinese with English abstract)

- [28] 张志泉, 王军, 林增. 综述区域环境影响评价原则及方法[J]. 中国科技信息, 2005(9): 178—181.
- [29] 王章豹, 徐枫巍. 高校科技创新能力综合评价: 原则、指标、模型与方法[J]. 中国科技论坛, 2005(2): 56—60.
- [30] 苏为华. 多指标综合评价理论与方法问题研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2000.
- [31] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J]. 浙江统计, 2003(4): 25—26.
- [32] 吴玉秀, 苏海涛, 艾合买提江·肉孜. 综合集成赋权法在节水灌溉工程方案优选中的应用[J]. 水资源与水利工程学报, 2009, 20(3): 105—107, 110.
Wu Yuxiu, Su Haitao, Aihemaitijiang·rouzi. Application of combining weights method on schemes optimization for water-saving irrigation project[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2009, 20(3): 105—107, 110. (in Chinese with English abstract)
- [33] 王书吉, 费良军, 雷雁斌, 等. 综合集成赋权法在灌区节水改造效益评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 48—51.
Wang Shuji, Fei Liangjun, Lei Yanbin, et al. Application of combination weighting method on benefit evaluation of water saving improvement in irrigation districts[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 48—51. (in Chinese with English abstract)
- [34] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

Regional applicability evaluation of technical integration for straw feed utilization

Yang Zengling¹, Chu Tianshu¹, Han Lujia^{1*}, Li Xiaohong², Liu Xian¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Straw is an important biomass resource. The comprehensive utilization of straw not only acts to protect the environment of producing areas and to increase farmers' income, but also is an important guarantee of agricultural sustainable development. In order to prompt straw feed utilization, this paper investigates the method of regional applicability evaluation for the technical integration of straw feed utilization. Technical classification and technical integration are studied based on the technical processes, such as the collection, storage, transportation, and feed utilization of straw. The technical classification of feed utilization of straw lays a foundation on the different corn stalk types, which includes the green corn stalk, dried corn stalk, rich stalk, and wheat stalk. It is divided in three ways, silage, ammonization, and yellow corn silage. The technical classification of collection, storage, and transportation lays a foundation on two types of stalk collection, which includes the harvest-shred and collection. Then, with an appropriate organization form, ten types of the technical integration of straw feed utilization were summarized. Furthermore, an evaluation index system was established, and the weighting factors of an evaluation index were calculated by a combination weighting method. The evaluation indices were formed by functional indices, economical beneficial indices, social and environment beneficial indices, and applicability indices. The functional indices were formed by the maturity of engineering and the transformation effective of straw feed utilization. The economical beneficial indices were formed by the total investment of crop straw per ton, and the reduced cost of feed per unit investment. The social and environment beneficial indices were formed by the amount of straw feed utilization per unit of investment, the increased number of jobs per unit of investment and per ton, and the degree of secondary pollution per ton. The applicability indices were formed by the coordination degree of regional crop straw variety and density, the coordination degree of regional livestock farms' type, each farm's scale, and the coordination degree of organization form. Based on the entropy and G1 method, the combination weights method was used to obtain the weights of evaluation index. Finally, taking Yuhong district, Shenyang province as an example, the regional applicability of technical integration for the straw feed utilization was evaluated. The result showed that the highest score is the first model, which uses the silage harvester to harvest and shred green corn stalk, and uses the trench silo to ensile stalk. The technical integration that is optimized and suitable for local development is chosen, based on a development scheme of animal husbandry, creating recommendations to improve the current situation.

Key words: straw, integration, crops, straw feed utilization, regional applicability, technical classification, combination weighting method

(责任编辑: 刘丽英)