

灰色关联理想解法在秸秆综合利用方案优选中的应用

杨增玲, 楚天舒, 韩鲁佳*, 刘 贤, 肖卫华, 黄光群

(中国农业大学工学院, 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, 而且是循环经济与新兴产业发展的基础与机遇。农作物秸秆综合利用方案主要分为秸秆用作饲料、食用菌基料、肥料、燃料和工业原料。为了对农作物秸秆综合利用方案进行合理优选, 根据文献信息对评价指标体系进行赋值, 应用基于序关系分析法和熵值法的综合集成赋权方法进行指标权重确定, 采用灰色关联理想解法将指标权重和指标属性值进行集结, 并将该方法应用于黑龙江地区的农作物秸秆综合利用方案优选中。该文分析的适宜黑龙江地区农作物秸秆综合利用方案排序为: 饲料化利用>肥料化利用>燃料化利用>食用菌基料化利用>工业原料化利用, 优选结果与黑龙江地区的实际情况及发展规划相吻合, 同时优选结果为按照多元利用原则规划黑龙江地区农作物秸秆综合利用模式提供支持。此外该文评价指标的赋值根据已有文献信息进行9级赋值, 方法具有较好的适应性, 可很方便的用于不同区域农作物秸秆的综合利用评价。

关键词: 秸秆, 优选, 排序, 综合利用, 综合集成赋权法, 灰色关联理想解法

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.20.024

中图分类号: S216.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-20-0179-13

杨增玲, 楚天舒, 韩鲁佳, 等. 灰色关联理想解法在秸秆综合利用方案优选中的应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 179-191.

Yang Zengling, Chu Tianshu, Han Lujia, et al. Application of GC-TOPSIS on optimizing choice of utilization programs of crop straw[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(20): 179-191. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国农作物秸秆产量大、分布广、种类多, 是一种重要的生物质资源, 但近年来, 一些地区焚烧农作物秸秆现象频发, 不仅污染环境、严重威胁交通运输安全, 还造成资源浪费。因此加快推进农作物秸秆综合利用, 对保护产地环境、稳定农业生态平衡、缓解资源约束、促进农民增收都具有十分重要的意义。

《国务院办公厅关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》(国办发[2008]105号)将秸秆的利用途径分为秸秆用作肥料、饲料、食用菌基料、燃料和工业原料等。由于不同利用途径所达到的功效、产生的经济和社会环境效益等都存在较大差异^[1-3], 并且不同地区农作物秸秆种类与资源量分布、政策导向、秸秆收储运发展水平及当地经济发展水平等

制约因素也存在较大差异^[4-10], 致使不同区域秸秆综合利用方案的优先发展顺序不同。目前尚未检索到对农作物秸秆综合利用方案进行优选的研究。

本文针对秸秆用作肥料、饲料、食用菌基料、燃料和工业原料等5种利用方案, 以黑龙江地区为例, 探讨基于组合权重的灰色关联理想解法在秸秆综合利用方案优选决策中应用的可行性, 以期达到根据评价地自然资源禀赋和经济发展状况, 合理确定秸秆综合利用发展目标, 为统筹考虑综合利用项目和产业布局奠定基础。

1 基于组合权重的灰色关联理想解法

1.1 评价指标权重确定方法——综合集成赋权法

选择基于序关系分析法—G1法(rank correlation analysis method)和熵值法(entropy method)的综合集成赋权方法进行指标权重确定^[11-12]。

G1法主要体现了评价指标的相对重要程度, 具体步骤如下:

若决策者给出 r_k 的理性赋值, 满足关系式

$$r_{k-1} > \frac{1}{r_k}, \text{ 则 } \omega_j (j=1, 2, \dots, m) \text{ 为}$$

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

收稿日期: 2013-03-13 修订日期: 2013-08-23

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

$$\omega_{k-1} = r_k \omega_k \quad k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (2)$$

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 表示第 j 项指标权重。当 m 较大时, 上述关系式 r_k 可取 1。 r_k 的赋值见表 1。

表 1 r_k 赋值参考
Table 1 Valuation reference of r_k

r_k	说明 Explain
1.0	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) 主要体现了被评价对象之间的差异, 具体步骤如下:

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

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), k > 0, e_j > 0 \quad (4)$$

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

$$\omega_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j} \quad (6)$$

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 表示差异性系数。

记由 G1 法得到的权重向量

$$\omega' = (\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_m), 0 \leq \omega'_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega'_j = 1$$

由熵值法得到的权重向量

$$\omega'' = (\omega''_1, \omega''_2, \dots, \omega''_m), 0 \leq \omega''_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega''_j = 1$$

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

$$\omega = \alpha \omega' + \beta \omega'' \quad (7)$$

$$\alpha^2 + \beta^2 = 1 \quad (8)$$

构造拉格朗日函数进行求解, 得到最优解 α^* 、 β^* 为

$$\alpha^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \omega'_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} (\omega'_j + \omega''_j)} \quad (9)$$

$$\beta^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} \omega''_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} (\omega'_j + \omega''_j)} \quad (10)$$

将 α^* 、 β^* 带入式 (7), 得到基于综合集成赋权法的指标权重值。

1.2 评价信息集结方式——灰色关联理想解法

评价信息集结是指将指标权重与指标属性值相集结, 从而得到评价值的过程。评价信息集结方式的选取对评价结果有着较大影响^[13]。本文选取灰色关联理想解法^[14-15]进行评价信息集结, 该方法不仅保留了理想解法^[16-17]计算简便、应用灵活、评价结果较合理、易解决负向指标转向问题等优点, 而且利用欧式距离与灰色关联度分别从位置和形状相似性上反映了备选方案与理想方案的接近程度。

基本思路: 首先按照传统理想解法确定理想方案与负理想方案, 然后一方面利用灰色关联理论去测评各方案与理想方案和负理想方案的关联程度, 另一方面利用欧氏距离去测评各方案与理想方案和负理想方案的位置距离。最后将灰色关联度和欧氏距离结合, 获得各方案的相对贴近度, 从而得到各方案的排序^[14-15]。

记第 i 个方案与理想方案的欧式距离为 D_i^+ , 与负理想方案的欧式距离为 D_i^- , 与理想方案的灰色关联度系数为 R_i^+ , 与负理想方案的灰色关联度系数为 R_i^- 。 D_i^- 和 R_i^+ 数值越大, 则备选方案与理想方案越接近, 因此选用 S_i^+ 反映方案与理想方案的接近程度, S_i^+ 越大, 备选方案与理想方案越接近。

$$S_i^+ = \alpha_1 D_i^- + \alpha_2 R_i^+ \quad (11)$$

S_i^- 反映方案与负理想方案的接近程度, S_i^- 越大, 备选方案与负理想方案越接近。

$$S_i^- = \alpha_1 D_i^+ + \alpha_2 R_i^- \quad (12)$$

其中, α_1 和 α_2 为偏好系数, 分别反映了决策者对位置和形状的偏好程度。 $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ 。若 $\alpha_1 + \alpha_2 \neq 1$,

则可进行归一化处理, 令 $\alpha'_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}$,

$\alpha'_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$, 此时 $\alpha'_1 + \alpha'_2 = 1$ 。

$$C_i = \frac{S_i^+}{S_i^+ + S_i^-}, (i=1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

式中, C_i 既反映了方案与理想和负理想方案之间距离的接近度, 又反映了与理想和负理想方案数据曲线的相似度, 对方案的决策更加科学和客观。

按照 C_i 的大小对方案进行排序, 贴近度越大方案越优, 贴近度越小方案越劣。

2 评价指标体系和指标赋值

2.1 评价指标体系

在对农作物秸秆综合利用方案进行优选时，主

要从方案的功能、效益（包括经济、环境效益）和适应性方面进行综合评价，根据评价目的，遵循系统性、合理性、数据处理具有可操作性、指标选取具有代表性等原则选择评价指标体系（表 2）。

表 2 农作物秸秆综合利用方案优选评价指标体系

Table 2 Evaluation index system for optimizing choice of utilization approaches of crop straw

目标层 Target layer	一级指标层 First-class index layer	二级指标层 Second-class index layer	解释 Explain
农作物秸秆综合利用方案优选评价	功能性指标 A ₁	工程的成熟度 B ₁	关键技术、工艺流程是否成熟，配套的设施设备是否成熟，工程是否能稳定运行
		工程的转化效果 B ₂	秸秆转化为可利用资源的效率，工程的生产效率
	经济效益指标 A ₂	每吨秸秆的利用成本 B ₃	1 t 秸秆的利用成本，包含秸秆收储运成本和转化处理成本
		单位资源替代的收益 B ₄	利用 1 t 秸秆替代原有资源为社会所带来的收益
	环境效益指标 A ₃	每吨秸秆降耗减排效益 B ₅	利用 1 t 秸秆替代原有资源减少资源的消耗和 CO ₂ 、SO ₂ 等气体排放所带来的效益
		每吨秸秆的二次污染程度 B ₆	1 t 秸秆处理过程中所产生的二次污染的程度
	适应性指标 A ₄	与区域秸秆种类的协调程度 B ₇	工程所利用的秸秆种类与区域秸秆种类的协调程度
		与区域秸秆资源密度的协调程度 B ₈	工程所利用的秸秆量与区域秸秆资源密度的协调程度
		与区域秸秆收储运发展水平的协调程度 B ₉	区域秸秆收储运发展水平是否能满足工程所需秸秆量
		与区域政策导向的协调程度 B ₁₀	区域政策是否支持工程的应用

2.2 评价指标赋值

评价指标分值的确定，采用将现有文献信息按九级分值赋值方法^[19]进行转化得到，9 级分值赋值标准为：1 分代表极差或者极低，3 分代表较差或者较低，5 分代表一般，7 分代表较好或较高，9 分代表极好或极高，其余分值均介于两者之间。

功能性指标、经济效益指标和环境效益指标根据秸秆用作肥料^[20-47]、饲料^[48-73]、食用菌基料^[74-86]、燃料^[87-140]、工业原料^[141-162]方面已公开发表文献确定，文献信息及赋值详见表 3。适应性指标，根据要评价的区域进行确定。

表 3 秸秆综合利用功能性、效益性评价指标赋值表

Table 3 Functional and beneficial assignment indices for utilization approaches of crop straw

利用方式 Utilization approaches	文献 Literature	工程的成熟度 B ₁ Maturity of engineering B ₁	工程的转化效果 B ₂ Transformation effective of engineering B ₂	每吨秸秆的利用成本 B ₃ Utilization cost of crop straw per ton B ₃	单位资源替代的收益 B ₄ Benefit of resource substitution per ton B ₄	每吨秸秆降耗减排效益 B ₅ Benefit of waste reduction per ton B ₅	每吨秸秆的二次污染程度 B ₆ Secondary pollution degree per ton B ₆
肥料 Fertilizer	[20-47]	6.84	7.36	5.40	7.33	6.44	2.36
饲料 Feed	[48-73]	8.15	8.46	3.64	8.09	6.60	1.00
食用菌基料 Material of edible fungi	[74-86]	7.46	7.69	5.00	7.00	7.33	1.45
燃料 Fuel	[87-140]	5.88	6.15	7.09	6.58	7.06	1.88
工业原料 Material of industry	[141-162]	5.73	6.26	7.11	5.00	7.21	1.40

3 实例应用

黑龙江省作为中国 13 个粮食主产省之一，秸秆资源量丰富，据《中国统计年鉴 2012》《黑龙江统计年鉴 2012》中数据，根据草谷比^[18]推算，稻秸约 1 959.0 万 t，麦秸 134.9 万 t，玉米秸约 2 943.4 万 t，玉米芯约 561.9 万 t，大豆秸秆约 866.1 万 t，薯类秸秆约 107.1 万 t，高粱秸秆约 17.8 万 t，谷子秸秆约 4.9 万 t，亚麻秸秆约 1.3 万 t。可见黑龙江地区具有农作物秸秆产量大、种类多、资源密度高等特点。

3.1 黑龙江地区秸秆综合利用适应性指标赋值

为对黑龙江地区农作物秸秆综合利用方案进行优选，需根据黑龙江地区的实际情况对评价指标体系中的适应性指标进行赋值。具体如下：以《中国统计年鉴 2012》和《黑龙江统计年鉴 2012》的统计数据为基础进行草谷比^[18]换算，进而得出与区域秸秆种类的协调程度 B₇、与区域秸秆资源密度的协调程度 B₈ 所对应的得分；与区域秸秆收储运发展水平的协调程度 B₉ 得分参照文献^[165]进行 9 级分值赋值；以《黑龙江省“十一五”资源综合利用专项规划》、《黑龙江省现代化大农业发展规

划(2011—2015年)》和《黑龙江省生物产业发展规划》的政策规划,对与区域政策导向的协调程度

B_{10} 进行9级分值赋值,区域适应性指标的赋值表如4所示。

表4 黑龙江地区秸秆综合利用适应性指标赋值表

Table 4 Adaptability assignment indices for comprehensive utilization of crop straw in Heilongjiang province

指标 Index	肥料 Fertilizer	饲料 Feed	食用菌基料 Material of edible fungi	燃料 Fuel	工业原料 Material of industry	文献 Literature
与区域秸秆种类的协调程度 B_7 Coordination degree of regional crop straw variety B_7	8	9	3	8	7	[163-164]
与区域秸秆资源密度的协调程度 B_8 Coordination degree of regional crop straw density B_8	9	9	3	9	9	[163-164]
与区域秸秆收储运发展水平的协调程度 B_9 Coordination degree of regional crop straw collection, transportation, storage B_9	8	8	8	8	8	[165]
与区域政策导向的协调程度 B_{10} Coordination degree of regional policy planning B_{10}	9	8	3	9	9	[166-168]

3.2 评价指标权重确定

1) G1法赋权权重

对一、二级指标层的相对重要性分别进行排序,使用G1法。

以一级指标权重确定为例。决策者给出功能性指标 A_1 、经济效益指标 A_2 、环境效益指标 A_3 和适应性指标 A_4 之间重要性程度有序关系: $A_1 > A_2 > A_3 > A_4$, 进而决策者给出 r_k 的理性赋值 $r_2=1.3$, $r_3=1.3$, $r_4=1.3$, 按照式(1)、(2)计算得到 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_4 的权重系数为 0.36、0.27、0.21 和 0.16。其余二级指标确定方法相同,不再赘述。

则G1法得到二级评价指标的权重向量为

$$\omega' = (0.15, 0.20, 0.15, 0.12, 0.12, 0.09, 0.04, 0.04, 0.04, 0.04)$$

2) 熵值法赋权权重

利用决策矩阵(表3、表4),然后使用熵值法,按照式(3—6)计算得到二级评价指标的权重:

$$\omega'' = (0.11, 0.12, 0.09, 0.11, 0.11, 0.02, 0.10, 0.10, 0.13, 0.11)$$

3) 综合集成法赋权权重

按照式(9)、(10)计算出: $\alpha^* = 0.53$, $\beta^* = 0.47$, 按照式(7)计算出二级评价指标的权重:

$$\omega = (0.13, 0.16, 0.12, 0.11, 0.12, 0.06, 0.07, 0.07, 0.09, 0.07)$$

3.3 评价结果

决策矩阵同表3、表4,按照式(11) — (13),计算出5种秸秆利用途径的相对贴近度 C_i ,详见表5。

表5 黑龙江省农作物秸秆综合利用方案优选结果

Table 5 Result of optimizing choice of utilization approaches of crop straw in Heilongjiang province

方案 Choice	肥料 Fertilizer	饲料 Feed	食用菌基料 Material of edible fungi	燃料 Fuel	工业原料 Material of industry
得分 Score	0.530	0.644	0.481	0.504	0.472
排序 Sorting	2	1	4	3	5

针对黑龙江地区的实际情况,对农作物秸秆综合利用方案进行了优选分析,得到适宜该区域农作物秸秆综合利用方案的排序为:饲料化利用 > 肥料化利用 > 燃料化利用 > 食用菌基料化利用 > 工业原料化利用。

从得分值可以看到秸秆饲料化利用具有明显的优势,黑龙江省是中国重要的牛羊养殖优势区,是中国重要的奶牛、肉牛优势产业带,秸秆的饲料化利用途径具有技术成熟、成本低、效益高等突出优点,不仅能满足当地畜牧业可持续发展的需求,而且与国家大力发展“节粮型”畜牧业相契合;秸秆肥料化利用得分第二,大力开展秸秆还田能有效提高耕地质量,工程技术可行性强^[169-171],也符合《黑龙江省现代化大农业发展规划(2011—2015年)》的规划要求;黑龙江地区的秸秆资源密度较大,因此具有发展秸秆燃料化的巨大潜力,并逐渐得到当地政府的重视,但是,燃料化利用的“四化一电一气”(固化、液化、气化、炭化、直燃发电、沼气)工程技术发展不平衡、成熟不一、运行不稳定、运行成本高等问题,限制了其目前的发展利用,因此在评价中得分排位第三;黑龙江森林覆盖率为35.5%,林业用地占49.3%,林木资源丰富,林区的树木枝桠、加工业边角废料、木屑等均可利用作为食用菌基料^[172-173],这导致秸秆作为食用菌基料的需求并不迫切,但当地可利用丰富的稻草、玉米芯和畜禽粪便等资源发展草腐型食用菌;工业原料化利用途径多样化,如人造板、木塑复合材料、造纸、餐具等等,但是现阶段大部分工业化利用途径存在工程造价过高、关键技术尚未成熟等问题,导致其发展利用较为缓慢。秸秆的综合利用不可能依靠单一利用,本研究对不同的利用方案进行了排序,为按照多元利用的原则规划区域农作物秸秆综合

利用模式提供支持。

4 结 论

本文以黑龙江地区为例,对秸秆用作饲料、食用菌基料、肥料、燃料和工业原料等农作物秸秆综合利用方案进行综合评价和优选,根据文献信息对评价指标体系进行赋值,应用基于 G1 法和熵值法的综合集成赋权方法进行指标权重确定,采用灰色关联理想解法将指标权重和指标属性值进行集结,应用结果表明,适宜黑龙江地区的农作物秸秆综合利用方案排序为:饲料化利用>肥料化利用>燃料化利用>食用菌基料化利用>工业原料化利用,优选结果与黑龙江地区的实际情况及发展规划相吻合,该方法有较好的实际应用价值。同时优选结果为按照多元利用的原则规划黑龙江地区农作物秸秆综合利用模式提供支持。此外本文评价指标的赋值根据已有文献信息进行 9 级赋值,方法具有较好的适应性,可很方便的用于不同区域农作物秸秆的综合利用评价。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 田宜水,孟海波. 农作物秸秆开发利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [3] 农业部科技教育司, 中国农学会. 秸秆综合利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [4] 毕于运, 王亚静, 高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究, 2010, 32(3): 1—7. Bi Yuyun, Wang Yajing, Gao Chunyu. Straw resource quantity and its regional distribution in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(3): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [5] 高春雨, 王亚静, 李宝玉, 等. 我国秸秆资源短缺与过剩问题探讨[J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 209—212. Gao Chunyu, Wang Yajing, Li Baoyu, et al. Research on the shortage and surplus of straw resources in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4): 209—212. (in Chinese with English abstract)
- [6] 崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291—296. Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 291—296. (in Chinese with English abstract)
- [7] 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173—179. Gao Liwei, Ma Lin, Zhang Weifeng, et al. Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization

- situation in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 173—179. (in Chinese with English abstract)
- [8] 朱建春, 李荣华, 杨香云, 等. 近 30 年来中国农作物秸秆资源量的时空分布[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(4): 139—145. Zhu Jianchun, Li Ronghua, Yang Xiangyun, et al. Spatial and temporal distribution of crop straw resources in 30 years in China[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2012, 40(4): 139—145. (in Chinese with English abstract)
- [9] 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)
- [10] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242—247. Gao Xiangzhao, Ma Wenqi, Ma Changbao, et al. Analysis on the current status of utilization of crop straw in China[J]. Journal of Huazhong Agri. Univer, 2002, 21(3): 242—247. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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)
- [12] 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)
- [13] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [14] 孙晓东, 焦玥, 胡劲松. 基于灰色关联度和理想解法的决策方法研究[J]. 中国管理科学, 2005, 13(4): 63—68. Sun Xiaodong, Jiao Yue, Hu Jinsong. Research on decision-making method based on gray correlation degree and TOPSIS[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(4): 63—68. (in Chinese with English abstract)
- [15] 孙晓东, 焦玥, 胡劲松. 基于组合权重的灰色关联理想解法及其应用[J]. 工业工程与管理, 2006, 11(1): 62—66. Sun Xiaodong, Jiao Yue, Hu Jinsong. Grey correlation based on combinational weight and its application[J].

- Industrial Engineering and Management, 2006, 11(1): 62—66. (in Chinese with English abstract)
- [16] Shih Hsu-Shih, Shyur Huan-Jyh, Lee E Stanley. An extension of TOPSIS for group decision making[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2007, 45(7/8): 801—813.
- [17] Olson D.L. Comparison of weights in TOPSIS models[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2004, 40(7/8): 721—727.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 刘文志. 作物秸秆还田的综合评价[J]. 现代化农业, 2008(2): 17—19.
- [21] 郝辉林. 玉米秸秆机械粉碎还田前景分析[J]. 中国农机化, 2001, 18(2): 30—31.
- [22] 武志杰, 张海军, 许广山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 539—542. Wu Zhijie, Zhang Haijun, Xu Guangshan, et al. Effect of returning corn straw into soil on soil fertility[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2002, 13(5): 539—542. (in Chinese with English abstract)
- [23] 曾木祥, 王蓉芳, 彭世琪, 等. 我国主要农区秸秆还田试验总结[J]. 土壤通报, 2002, 33(5): 336—339. Zeng Muxiang, Wang Rongfang, Peng Shiqi, et al. Summary of returning straw into field of main agricultural areas in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(5): 336—339. (in Chinese with English abstract)
- [24] 陈小兵, 陈巧敏. 我国机械化秸秆还田技术现状及发展趋势[J]. 农业机械, 2000(4): 14—15.
- [25] 赵兰坡. 施用作物秸秆对土壤的培肥作用[J]. 土壤通报, 1996, 27(2): 76—78, 72.
- [26] 季兴华, 王宝金, 徐晓兰, 等. 麦秸全量还田水稻不同种植方式技术经济评价[J]. 耕作与栽培, 2011, 31(4): 28—29, 60.
- [27] 洪春来, 魏幼璋, 黄锦法, 等. 秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(6): 40—46. Hong Chunai, Wei Youzhang, Huang Jinfa, et al. Effects of total crop straw return on soil fertility and field ecological environment[J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2003, 29(6): 40—46. (in Chinese with English abstract)
- [28] 吴福良, 吴建浩, 缪士平. 秸秆机械化还田技术应用分析[J]. 农业装备技术, 2002, 28(6): 19.
- [29] 郑丹, 迟凤琴. 秸秆还田在农业可持续发展中的综合评价[J]. 黑龙江农业科学, 2012, 35(1): 133—138. Zheng Dan, Chi Fengqin. A comprehensive evaluation on straw return to soil in the sustainable development of agriculture[J]. Heilongjiang Agricultural sciences, 2012, 35(1): 133—138. (in Chinese with English abstract)
- [30] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209—213. Jiang Yonghong, Yu Zhenrong, Ma Yongliang. The effect or stubble return on agro-ecological system and crop growth[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(5): 209—213. (in Chinese with English abstract)
- [31] 吴婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2): 192—195. Wu Jie, Zhu Zhonglin, Zheng Jianguo, et al. Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(2): 192—195. (in Chinese with English abstract)
- [32] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(4): 54—61. Wang Xiaobin, Cai Dianxiong, Zhang Jingqing, et al. Effects of corn stover incorporated in dry farmland on soil fertility[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(4): 54—61. (in Chinese with English abstract)
- [33] 田雁飞, 马友华, 胡园园, 等. 秸秆肥料化生产的现状、问题及发展前景[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 158—163. Tian Yanfei, Ma Youhua, Hu Yuanyuan, et al. The present state, problems and developing perspectives on fertilizer production with straws[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(16): 158—163. (in Chinese with English abstract)
- [34] 刘世平, 陈后庆, 陈文林, 等. 不同耕作方式与秸秆还田周年生产力的综合评价[J]. 农业工程学报, 2009, 31(4): 82—85. Liu Shiping, Chen Houqing, Chen Wenlin, et al. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on yearly productivity[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 31(4): 82—85. (in Chinese with English abstract)
- [35] 高焕文, 李洪文, 李问盈. 保护性耕作的发展[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 43—48. Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 43—48. (in Chinese with English abstract)
- [36] 常春丽, 刘丽平, 张立峰, 等. 保护性耕作的发展研究现状及评述[J]. 中国农学通报, 2008, 24(2): 167—172. Chang Chunli, Liu Liping, Zhang Lifeng, et al. Development situations and comments on conservation tillage[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(2): 167—172. (in Chinese with English abstract)
- [37] 徐华军, 袁海燕. 保护性耕作的技术效应及存在问题探讨[J]. 现代农业科技, 2012, 40(24): 266—268.
- [38] 李其昫, 贾晓东. 保护性耕作技术现状与发展趋势[J]. 农机化研究, 2006, 28(11): 224.
- [39] 张磊, 王玉峰, 陈雪丽, 等. 保护性耕作条件下土壤物理性状的研究[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(9): 50—54. Zhang Lei, Wang Yufeng, Chen Xueli, et al. Study on soil physical properties under conservation tillage[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(9): 50—54. (in Chinese with English abstract)

- [40] 李安宁, 范学民, 吴传云, 等. 保护性耕作现状及发展趋势[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 177—180+111.
Li Anning, Fan Xuemin, Wu Chuanyun, et al. Situation and development trends of conservation tillage in the world[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(10): 177—180+111. (in Chinese with English abstract)
- [41] 师江澜, 刘建忠, 吴发启. 保护性耕作研究进展与评述[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 205—212.
Shi Jianglan, Liu Jianzhong, Wu Faqi. Research advances and comments on conservation tillage[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(1): 205—212. (in Chinese with English abstract)
- [42] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 等. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(1): 16—20.
Zhang Hailin, Gao Wangsheng, Chen Fu, et al. Prospects and present situation of conservation tillage[J]. Journal of China Agricultural University, 2005, 10(1): 16—20. (in Chinese with English abstract)
- [43] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 等. 中国保护性耕作研究分析——保护性耕作与作物生产[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1914—1924.
Xie Ruizhi, Li Shaokun, Li Xiaojun, et al. The analysis of conservation tillage in China: conservation tillage and crop production: reviewing the evidence[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1914—1924. (in Chinese with English abstract)
- [44] 汪建飞, 于群英, 陈世勇, 等. 农业固体有机废弃物的环境危害及堆肥化技术展望[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4720—4722.
- [45] 闫治斌, 秦嘉海, 张红菊, 等. 固体废弃物堆肥还田对制种玉米田理化性质和玉米产量及经济效益的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1314—1318.
Yan Zhibin, Qin Jiahai, Zhang Hongju, et al. Effects of returning solid waste compost to soil on physical and chemical properties of soil in seed corn field and its corn yield and economic benefits[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(6): 1314—1318. (in Chinese with English abstract)
- [46] 谭小琴. 利用堆肥处理规模化猪场粪污实现零排放研究[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2003.
- [47] 农业固体废弃物好氧堆肥示范工程[J]. 农业工程技术: 新能源产业, 2012, 6(1): 26—27.
- [48] 郭佩玉, 谭淑芳, 谭奈林, 等. 秸秆氨化技术的经济分析[J]. 北京农业工程大学学报, 1991, 11(2): 85—89.
Guo Peiyu, Tan Shufang, Tan Nailin, et al. Economic analysis on straw ammoniation techniques[J]. Journal of Beijing Agricultural Engineering University, 1991, 11(2): 85—89. (in Chinese with English abstract)
- [49] 胡蓉, 赵燕, 唐远亮, 等. 微贮对秸秆饲料主要营养成分的影响[J]. 西昌学院学报: 自然科学版, 2008, 22(2): 25—27.
Hu Rong, Zhao Yan, Tang Yuanliang, et al. Effects of microorganism disposal on the straw's main nutrient ingredients[J]. Journal of Xichang. Natural Science Edition, 2008, 22(2): 25—27. (in Chinese with English abstract)
- [50] 许丽, 韩友文, 张淑芳. 不同处理方法对玉米秸干物质和粗纤维瘤胃降解率的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2002(5): 15—16.
- [51] 张卫宪, 高永革, 李森, 等. 不同方法处理秸秆对肉牛生产性能及经济效益影响的比较研究[J]. 黄牛杂志, 2002, 28(6): 9—12.
- [52] 黄俊华, 李仕坚, 严高彰, 等. 玉米秸秆微贮技术与青贮技术生产奶牛粗饲料的对比试验研究[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(20): 33—34, 42.
- [53] 高立芳, 张健. 秸秆饲料在奶牛中的应用[C]//重庆: 第五届重庆饲料工业暨养殖行业发展战略研讨会, 2009.
- [54] 王彤佳, 刘园园, 张磊, 等. 不同微生物处理的秸秆饲料体外消化率的比较[J]. 饲料工业, 2008, 29(23): 27—29.
- [55] 王瑞谦. 玉米秸秆机械化青贮技术经济效益分析[J]. 山东农机, 2004(10): 5—8.
- [56] 孙冬霞. 玉米秸秆工厂化青贮的社会经济效益分析[J]. 现代农业科技, 2007, 35(20): 190—191.
- [57] 王瑜. 青贮黄贮效益在哪里[J]. 山西农业, 2008(12): 46—47.
- [58] 范文. 青贮玉米秸秆养畜效益分析[J]. 河北农业科技, 1992(6): 35.
- [59] 任广跃, 毛志怀, 李栋. 秸秆饲用处理及其有效利用的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2004, 27(7): 29—30.
Ren Guangyue, Mao Zhihui, Li Dong. Research progress in the feed oriented treatment of straw and its effective utilization[J]. Cereal and Feed Industry, 2004, 27(7): 29—30. (in Chinese with English abstract)
- [60] 晏向华, 瞿明仁, 黎观红, 等. 秸秆饲料资源的开发与应用研究的新进展[J]. 粮食与饲料工业, 2000, 23(5): 22—25.
- [61] 邓程君, 魏秀莲, 孟庆翔, 等. 北京市节粮饲料原料资源调查研究[J]. 中国畜牧杂志, 2012, 48(22): 31—33.
- [62] 孟海波, 曲峻岭, 刘依. 我国秸秆饲料加工机械现状及发展[J]. 农机化研究, 2002, 24(4): 29—31.
Meng Haibo, Qu Junling, Liu Yi. Status quo and the development of straw forage processor in our country[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2002, 24(4): 29—31. (in Chinese with English abstract)
- [63] 李军国, 徐英英, 王红英. 秸秆饲料商品化加工技术分析[J]. 饲料工业, 2005, 26(9): 6—8.
- [64] 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(增刊1): 127—131.
Han Lujia, Liu Xiangyang, Li Daoe, 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(Supp.1): 127—131. (in Chinese with English abstract)
- [65] 王晶, 周禾. 提高秸秆类饲料利用率研究进展[J]. 饲料工业, 2005, 26(3): 28—31.
- [66] 黄文忠, 魏玉文, 金荣圣, 等. 块状饲料加工的可行性分析[J]. 农业科技与装备, 2010, 32(2): 69—71.

- Huang Wenzhong, Wei Yuwen, Jin Rongsheng, et al. Feasibility study on the processing of lumpish feed[J]. *Agricultural Science and Technology and Equipment*, 2010, 32(2): 69—71. (in Chinese with English abstract)
- [67] 李彬, 高翔, 陈坤杰. 秸秆膨化技术的研究现状及发展展望[J]. *江西农业学报*, 2009, 21(12): 178—181. Li Bin, Gao Xiang, Chen Kunjie. Overview on processing technology of steam-exploded straw[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(12): 178—181. (in Chinese with English abstract)
- [68] 刘强. 各种秸秆饲料在舍饲养羊中应用的效果观察[J]. *养殖技术顾问*, 2010, 38(7): 69.
- [69] 王力生, 章孝荣, 马友华, 等. 安徽省秸秆饲料化利用现状、问题和对策[J]. *中国牛业科学*, 2010, 36(2): 46—48. Wang Lisheng, Zhang Xiaorong, Ma Youhua, et al. Utilization of straw fodder in Anhui province situation, problems and countermeasures[J]. *China Cattle Science*, 2010, 36(2): 46—48. (in Chinese with English abstract)
- [70] 刘祥友, 曾秀玲, 赵熙贵, 等. 农作物秸秆饲料的营养特点与微生物发酵秸秆类饲料的研究进展[J]. *贵州畜牧兽医*, 2010, 34(1): 11—14.
- [71] 饶辉. 国内外秸秆类微生物发酵饲料的研究及应用进展[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(1): 159—161, 179. Rao Hui. International research progress on the crops straws feed fermentation technology by microorganism[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.* 2009, 37(1): 159—161, 179. (in Chinese with English abstract)
- [72] 李野, Ma Lena, 周启星, 等. 平菇类食用菌对农作物秸秆生物降解转化饲料的研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2009, 29(3): 87—91. Li Ye, Ma Lena, Zhou Qixing, et al. Advance in utilization of pleurotus degrading crop straw into fodder[J]. *Journal of Microbiology*, 2009, 29(3): 87—91. (in Chinese with English abstract)
- [73] 何川, 陈艳乐, 蒋林树, 等. 农作物秸秆饲料处理技术的研究现状[J]. *畜牧与饲料科学*, 2010, 31(10): 26—28. He Chuan, Chen Yanle, Jiang Linshu, et al. Advances in processing technology of crop straw[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2010, 31(10): 26—28. (in Chinese with English abstract)
- [74] 周颖, 尹昌斌. 北京市房山区循环农业实践模式研究——以庙耳岗村食用菌产业模式为例[J]. *北京农业职业学院学报*, 2009, 23(1): 26—29.
- [75] 翁伯琦, 雷锦桂, 江枝和, 等. 东南地区农田秸秆菌业循环利用技术体系构建与应用前景[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2009, 25(2): 228—232. Weng Boqi, Lei Jingui, Jiang Zhihe, et al. The establishment and application of the technology supporting system of the crop straw-edible fungi industry recycling in southeast China[J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2009, 25(2): 228—232. (in Chinese with English abstract)
- [76] 翁伯琦, 廖建华, 罗涛, 等. 发展农田秸秆菌业的技术集成与资源循环利用管理对策[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(5): 1007—1011. Weng Boqi, Liao Jianhua, Luo Tao, et al. Integrative technology of straw-edible fungi industry and management countermeasure for resource recycling utilization[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(5): 1007—1011. (in Chinese with English abstract)
- [77] 史青山, 杨国俊, 诸化斌. 发展食用菌产业推动秸秆循环利用[J]. *上海农业科技*, 2004, 34(5): 17—18.
- [78] 吴登. 广西农作物秸秆栽培食用菌概况与前景[J]. *广西农学报*, 2008, 23(4): 80—81, 92.
- [79] 翁伯琦, 雷锦桂, 王义祥, 等. 秸秆菌业循环利用模式与低碳农业的发展对策[J]. *福建农林大学学报: 哲学社会科学版*, 2010, 13(1): 1—6. Weng Boqi, Lei Jingui, Wang Yixiang, et al. Strategy of the low-carbon agricultural development based on the circulating utilization model of straw-edible fungi industry[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Philosophy and Social Sciences*, 2010, 13(1): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [80] 任鹏飞, 刘岩, 任海霞, 等. 秸秆栽培食用菌基质研究进展[J]. *中国食用菌*, 2010, 29(6): 11—14. Ren Pengfei, Liu Yan, Ren Haixia, et al. Research advance on substrate of edible fungi cultivated by straw[J]. *Edible Fungi of China*, 2010, 29(6): 11—14. (in Chinese with English abstract)
- [81] 唐铁朝, 通占元. 利用农作物秸秆发展食用菌生产的实践及探讨[C]//北京: 2006年中国农学会学术年会, 2006.
- [82] 刘裕岭, 张圣旺. 利用农作物秸秆栽培食用菌变废为宝实现高效循环经济[C]//上海: 全国资源节约与环境友好型新农村建设研讨会论文集——立体农业、庭院经济与新农村建设, 2006.
- [83] 邹积华, 崔从光, 丁强, 等. 食用菌产业循环农业模式及关键技术[J]. *中国食用菌*, 2011, 30(1): 62—64+66.
- [84] 卢敏, 李玉. 中国食用菌产业发展新趋势[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(5): 3121—3124, 3127. Lu Min, Li Yu. New Development trend of edible fungus industry in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2012, 40(5): 3121—3124, 3127. (in Chinese with English abstract)
- [85] 张金霞, 黄晨阳, 高巍, 等. 中国食用菌产业的多功能性与展望[J]. *浙江食用菌*, 2009, 28(1): 8—11.
- [86] 胡清秀, 张金霞, 廖超子. 食用菌对工农业废弃物的循环利用[C]//北京: 2006年中国农学会学术年会, 2006.
- [87] 高文永. 中国农业生物质能源评价与产业发展模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [88] 杨海玉. 沼气与秸秆气化集中供气综合评价[J]. *中国沼气*, 2007, 25(2): 41—42.
- [89] 李宝玉, 毕于运, 高春雨, 等. 我国农业大中型沼气工程发展现状、存在问题与对策措施[J]. *中国农业资源与区划*, 2010, 31(2): 57—61. Li Baoyu, Bi Yuyun, Gao Chunyu, et al. The current situation, problems and countermeasures of agricultural large-and-medium-scale biogas project development in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2010, 31(2): 57—61. (in Chinese with English abstract)

English abstract)

- [90] 杜逾舸, 李永胜, 王亮, 等. 秸秆的综合利用探讨及案例分析[J]. 节能与环保, 2008, 26(4): 27-29.
- [91] 傅友红, 樊峰鸣, 傅玉清. 我国秸秆发电的影响因素及对策[J]. 沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2007, 3(3): 206-210.
Fu Youhong, Fan Fengming, Fu Yuqing. Influence factors and resolution about the straw power generation in China[J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science), 2007, 3(3): 206-210. (in Chinese with English abstract)
- [92] 王秀丽. 秸秆发电在我国的发展态势分析[J]. 水利电力机械, 2007, 29(7): 30-32.
- [93] 王胜曼. 秸秆发电工程技术经济分析[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2008.
- [94] 冯蕾. 江苏省秸秆资源评价与规模化能源利用发展研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [95] 马春红, 刘旭, 李运朝, 等. 秸秆转化为生物质能源利用研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(7): 4146-4147, 4150.
Ma Chunhong, Liu Xu, Li Yunchao, et al. Research and utilization on straw transformation to biomass energy[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2011, 39(7): 4146-4147, 4150. (in Chinese with English abstract)
- [96] 付才国, 黄光许, 郝英轩. 生物质型煤的工业性试验[J]. 中国煤炭, 2012, 38(8): 92-94.
Fu Caiguo, Huang Guangxu, Hao Yinxuan. Industrial experiment of biomass briquette[J]. China Coal, 2012, 38(8): 92-94. (in Chinese with English abstract)
- [97] 张旗, 袁溟, 李龙伟, 等. 玉米秸秆生产生物化工醇研究进展[J]. 广州化工, 2012, 40(18): 72-73, 86.
Zhang Qi, Yuan Hao, Li Longwei, Zhang Bingtuan, et al. Research progress of biological chemical polyols produced from corn stalk[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2012, 40(18): 72-73, 86. (in Chinese with English abstract)
- [98] 刘玉华. 天津秸秆固化燃料技术现状与应用前景[J]. 资源节约与环保, 2012, 30(3): 41-42.
- [99] 汤东明. 直燃发电是当前我国秸秆规模化利用的理想方式[J]. 能源工程, 2012, 32(6): 40-44.
Tang Dongming. Direct combustion for power is the ideal method to utilize China's straw resource at present[J]. Energy Engineering, 2012, 32(6): 40-44. (in Chinese with English abstract)
- [100] 齐天宇, 张希良, 欧训民, 等. 我国生物质直燃发电区域成本及发展潜力分析[J]. 可再生能源, 2011, 29(2): 115-118, 124.
Qi Tianyu, Zhang Xiliang, Ou Xunmin, et al. The regional cost of biomass direct combustion power generation in China and development potential analysis[J]. Renewable Energy Resources, 2011, 29(2): 115-118, 124. (in Chinese with English abstract)
- [101] 迟元, 王吉荣. 秸秆发电的实际意义[J]. 农村牧区机械化, 2011, 21(2): 42-43.
- [102] 崔和瑞, 马涛, 艾宁. 秸秆发电的环境价值分析[J]. 经济研究导刊, 2011, 7(11): 32-33.
- [103] 汪琼, 姚美香. 浅谈我国生物质能发电的现状及其产生的环境问题[J]. 环境科学导刊, 2011, 30(2): 30-32.
Wang Qiong, Yao Meixiang. Brief Talk on the present status of biomass energy power generation and environmental problems[J]. Environmental Science Survey, 2011, 30(2): 30-32. (in Chinese with English abstract)
- [104] 冯伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经济与环境分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(6): 350-354.
Feng Wei, Zhang Liqun, Pang Zhongwei, et al. The economic and environmental analysis of crop residues burning and reutilization in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(6): 350-354. (in Chinese with English abstract)
- [105] 杨艳, 朱庚富, 王圣. 秸秆发电环保性能及产业发展前景分析[J]. 环境保护科学, 2011, 37(3): 69-72.
Yang Yan, Zhu Gengfu, Wang Sheng. Analysis on environmental performance and prospects of straw power generation[J]. Environmental Protection Science, 2011, 37(3): 69-72. (in Chinese with English abstract)
- [106] 张兵, 张宁, 李丹, 等. 江苏省秸秆类农业生物质能源分布及其利用的效益[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 181-186.
Zhang Bing, Zhang Ning, Li Dan, et al. Distribution and use efficiency of straw bio-energy in Jiangsu province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(2): 181-186. (in Chinese with English abstract)
- [107] 魏曼, 李伟. 秸秆资源发电的经济效益分析与发展对策[J]. 商业文化(上半月), 2012, 19(5): 315.
- [108] 张钦, 周德群. 江苏省秸秆发电的现状分析及对策[J]. 中国软科学, 2010, 25(10): 104-111.
Zhang Qin, Zhou Dequn. Analysis on present situation of generating electricity by burning straw in Jiangsu province[J]. China Soft Science, 2010, 25(10): 104-111. (in Chinese with English abstract)
- [109] 李廉明, 余春江, 柏松松. 中国秸秆直燃发电技术现状[J]. 化工进展, 2010, 29(S1): 84-90.
- [110] 曹成茂, 马友华, 刘伟伟, 等. 安徽省秸秆能源化利用的实践与构想[J]. 生态经济, 2010, 26(8): 88-91.
Cao Chengmao, Ma Youhua, Liu Weiwei, et al. The practice and planning of the straw energy utilization in Anhui province[J]. Ecological Economy, 2010, 26(8): 88-91. (in Chinese with English abstract)
- [111] 邓晟, 陈波. 秸秆发电利弊分析[J]. 水利电力机械, 2006, 28(12): 42-44.
Den Sheng, Chen Bo. Analysis of the advantages and disadvantages of straw generation[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2006, 28(12): 42-44. (in Chinese with English abstract)
- [112] 张卫杰, 关海滨, 姜建国, 等. 我国秸秆发电技术的应用及前景[J]. 农机化研究, 2009, 31(5): 10-13.
Zhang Weijie, Guan Haibin, Jiang Jianguo, et al. Application and prospect of straw power generation in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(5): 10-13. (in Chinese with English abstract)
- [113] 王志伟, 白炜, 师新广, 等. 农作物秸秆气化发电系统经济性分析[J]. 可再生能源, 2007, 25(6): 25-28.

- Wang Zhiwei, Bai Wei, Shi Xinguang, et al. Economic analysis on crop straw gasification for power generation system[J]. *Renewable Energy Resources*, 2007(6): 25—28. (in Chinese with English abstract)
- [114] 蒋冬梅, 诸培新, 李效顺. 生物质秸秆资源发电的综合效益量化分析——以江苏省射阳县秸秆发电厂为例[J]. *资源科学*, 2008, 30(9): 1307—1312.
- Jiang Dongmei, Zhu Peixin, Li Xiaoshun. Quantitative research on the comprehensive benefits of straw biomass power generation: a case study of Sheyang county straw power plant in Jiangsu province[J]. *Resources Science*, 2008, 30(9): 1307—1312. (in Chinese with English abstract)
- [115] 王久臣, 戴林, 田宜水, 等. 中国生物质能产业发展现状及趋势分析[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(9): 276—282.
- Wang Jiuchen, Dai Lin, Tian Yishui, et al. Analysis of the development status and trends of biomass energy industry in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2007, 23(9): 276—282. (in Chinese with English abstract)
- [116] 周勇. 清洁生物质秸秆能源研究进展[J]. *应用化工*, 2005, 34(10): 8—10, 19.
- Zhou Yong. Advance in the study of clean straw biomass as energy[J]. *Applied Chemical Industry*, 2005, 34(10): 8—10, 19. (in Chinese with English abstract)
- [117] 刘首元, 余英, 赵碧光, 等. 我国秸秆发电产业化发展前景[J]. *水利电力机械*, 2007, 29(12): 207—210.
- Liu Shouyuan, Yu Yin, Zhao Biguang, et al. Development prospects of Chinese straw generation industrialization[J]. *Water Conservancy & Electric Power Machinery*, 2007, 29(12): 207—210. (in Chinese with English abstract)
- [118] 马永贵, 钟史明. 秸秆发电技术综述[J]. *沈阳工程学院学报: 自然科学版*, 2007, 3(3): 201—205.
- Ma Yonggui, Zhong Shiming. General discussion on straw power generation technology[J]. *Journal of Shenyang Institute of Engineering: Natural Science*, 2007, 3(3): 201—205. (in Chinese with English abstract)
- [119] 王红彦. 秸秆气化集中供气工程技术经济分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [120] 李剑锋, 胡亚山. 江苏省秸秆电厂投资运营状况分析[J]. *电力技术经济*, 2009, 21(5): 18—22.
- Li Jianfeng, Hu Yashan. Analysis on investment and operation of straw-fired power plants in Jiangsu province[J]. *Electric Power Technologic Economics*, 2009, 21(5): 18—22. (in Chinese with English abstract)
- [121] 彭湘. 秸秆发电项目的技术经济分析[J]. *中国电力教育*, 2008, 24(S3): 132—133, 138.
- [122] 张强, 蒋磊, 陆军, 等. 玉米秸秆发酵法生产燃料酒精的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2006, 28(10): 198—201.
- [123] 刘志强, 孙学峰. 25MW 生物质直燃发电项目及其效益分析评价[J]. *应用能源技术*, 2009, 26(6): 32—34, 37.
- Liu Zhiqiang, Sun Xuefeng. 25MW biomass direct combustion power generation project and its benefit analysis evaluation[J]. *Applied Energy Technology*, 2009, 26(6): 32—34, 37. (in Chinese with English abstract)
- [124] 魏延军, 秦德帅, 常永平. 30MW 生物质直燃发电项目及其效益分析[J]. *节能技术*, 2012, 30(3): 278—281.
- Wei Yanjun, Qin Deshuai, Chang Yongping. 30 MW biomass straight burning power projects and benefit analysis evaluation[J]. *Energy Conservation Technology*, 2012, 30(3): 278—281. (in Chinese with English abstract)
- [125] 陈立民, 徐征, 张贵山, 等. 小型生物质直燃发电工程及其效益分析[J]. *水利电力机械*, 2006, 28(12): 1—4.
- Chen Limin, Xu Zheng, Zhang Guishan, et al. A small-scale biomass combustion generation project and its benefits analysis[J]. *Water Conservancy & Electric Power Machinery*, 2006, 28(12): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [126] 马晶, 张鉴达, 申哲民. 秸秆生产燃料乙醇的研究进展[J]. *环境监测与预警*, 2010, 2(3): 45—49.
- Ma Jing, Zhang Jianda, Shen Zhemin. Advancement of research on fuel ethanol by straw[J]. *Environmental Monitoring and Forewarning*, 2010, 2(3): 45—49. (in Chinese with English abstract)
- [127] 许晓菁, 王祥河, 何雨青. 秸秆燃料乙醇的关键问题与对策[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(7): 108—113.
- Xu Xiaojing, Wang Xianghe, He Yuqing. The crucial problems and solutions on producing fuel ethanol by straw[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2010, 36(7): 108—113. (in Chinese with English abstract)
- [128] 张伟, 林燕, 刘妍, 等. 利用秸秆制备燃料乙醇的关键技术研究进展[J]. *化工进展*, 2011, 30(11): 2417—2423, 2432.
- Zhang Wei, Lin Yan, Liu Yan, et al. Research progress in the crucial techniques of fuel ethanol production from stalks[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2011, 30(11): 2417—2423, 2432. (in Chinese with English abstract)
- [129] 高慧, 马友华, 沈周高, 等. 安徽省秸秆原料炭化利用现状与展望[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(16): 8612—8613+8738.
- Gao Hui, Ma Youhua, Shen Zhougao, et al. Carbonized-used status and prospect of straw in Anhui province[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.* 2010, 38(16): 8612—8613+8738. (in Chinese with English abstract)
- [130] 杨卫星, 杨明. 淮安市秸秆固化利用技术推广工作初探[J]. *农业装备技术*, 2012, 38(6): 55—57.
- [131] 穆伟航, 陶雷, 戚锁红. 秸秆固化燃料技术现状与应用前景[J]. *农机科技推广*, 2009, 9(3): 41.
- [132] 张荣成, 李秀金. 作物秸秆能源转化技术研究进展[J]. *现代化工*, 2005, 25(6): 14—17.
- Zhang Rongcheng, Li Xiujin. Advances in research on energy conversion technologies for crop stalks[J]. *Modern Chemical Industry*, 2005, 25(6): 14—17. (in Chinese with English abstract)
- [133] 孔雪辉, 王述洋, 黎粤华. 生物质燃料固化成型设备发展现状及趋势[J]. *机电产品开发与创新*, 2010, 23(2): 12—13, 21.

- Kong Xuehui, Wang Shuyang, Li Yuehua. Biomass fuels curing equipment development status and trends[J]. *Development & Innovation of Machinery & Electrical Products*, 2010, 23(2): 12—13, 21. (in Chinese with English abstract)
- [134] 陈百明, 张正峰, 陈安宁. 农作物秸秆气化利用技术与商业化经营案例分析[J]. *农业工程学报*, 2005, 27(10): 124—128.
- Chen Baiming, Zhang Zhengfeng, Chen Anning. Case analysis of crop straw gasification use technology and commercialization operation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2005, 27(10): 124—128. (in Chinese with English abstract)
- [135] 陈百明, 陈安宁, 张正峰, 等. 秸秆气化商业化发展的驱动与制约因素分析[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 62—69.
- Chen Baiming, Chen Anning, Zhang Zhengfeng, et al. Analysis on the driving and constraint factors of crop straw gasification and commercialization development[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 62—69. (in Chinese with English abstract)
- [136] 张文斌, 张龙全. 秸秆气化技术研究现状与对策分析[J]. *中国农机化*, 2009, 26(6): 90—93.
- Zhang Wenbin, Zhang Longquan. Study on the present state of straw gasification and countermeasure analysis[J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2009, 26(6): 90—93. (in Chinese with English abstract)
- [137] 吕忠志, 张沈生. 农村秸秆气化项目的经济性分析[J]. *现代农业科学*, 2008, 15(8): 86—87.
- Lü Zhongzhi, Zhang Shensheng. Economic analysis of straws gasification project in the countryside[J]. *Modern Agricultural Sciences*, 2008, 15(8): 86—87. (in Chinese with English abstract)
- [138] 高春雨, 李铁林, 王亚静, 等. 中国秸秆气化集中供气工程发展现状·存在问题·对策[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(4): 2181—2183.
- Gao Chunyu, Li Tielin, Wang Yajing, et al. Current situation, existing problems and countermeasures of straw gasification and gas centralized supply in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(4): 2181—2183. (in Chinese with English abstract)
- [139] 曹莹, 王秀英, 孟军, 等. 秸秆利用现状及其生物炭化前景探析——以辽宁省彰武县为例[J]. *作物杂志*, 2012, 28(4): 9—12.
- Cao Ying, Wang Xiuying, Meng Jun, et al. Study on utilization of crop residue and prospect of biomaterial carbonized-taking Zhangwu of Liaoning as an example[J]. *Crops*, 2012, 28(4): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [140] 陈军, 秦永生. 秸秆生物质炭化生产项目可行性分析和探讨[J]. *资源与发展*, 2006, 21(4): 36—39.
- [141] 郑凤山, 何磊. 我国麦/稻秸秆板工业的发展与思考[J]. *木材工业*, 2006, 20(6): 30—32.
- Zheng Fengshan, He Lei. Review and discussion on development of the wheat/rice straw board industry in China[J]. *China Wood Industry*, 2006, 20(6): 30—32. (in Chinese with English abstract)
- [142] 杨金玲, 陈海涛. 农作物秸秆在造纸工业的应用[J]. *黑龙江造纸*, 2010, 38(1): 29—32.
- [143] 郑凤山, 马心. 农作物秸秆板工业在国内外的的发展近况[J]. *林产工业*, 2003, 30(6): 3—6.
- Zheng Fengshan, Ma Xin. Development situation of straw based panel at home and abroad[J]. *China Forest Products Industry*, 2003, 30(6): 3—6. (in Chinese with English abstract)
- [144] 姬正忠, 张戈. 我国秸秆人造板工业的现状及其存在问题[J]. *人造板通讯*, 2004, 11(10): 31—33.
- [145] 陈琳, 沈文星, 周定国. 我国秸秆人造板工业的发展现状与对策[J]. *福建林业科技*, 2006(3): 166—168.
- Chen Lin, Shen Wenxing, Zhou Dingguo. The current situation and countermeasures of straw-based artificial panel industry in China[J]. *Jour of Fujian Forestry Sci and Tech*, 2006(3): 166—168. (in Chinese with English abstract)
- [146] 段海燕, 贺小翠, 尚大军, 等. 我国秸秆人造板工业的发展现状及前景展望[J]. *农机化研究*, 2009, 31(5): 18—22.
- Duan Haiyan, He Xiaocui, Shang Dajun, et al. The present status and prospect of strawboard industry in China[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009, 31(5): 18—22. (in Chinese with English abstract)
- [147] 杨中平, 杨林青, 郭康权, 等. 玉米秸秆工业化处理技术的试验研究[J]. *农业工程学报*, 1996, 12(4): 189—192.
- Yang Zhongping, Yang Linqing, Guo Kangquan, et al. Study on the industrialized processing technology of cornstalks[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 1996, 12(4): 189—192. (in Chinese with English abstract)
- [148] 涂平涛. 以农业剩余物为原料生产的建筑板材及其发展现状[J]. *砖瓦*, 2004, 34(12): 30—36.
- [149] 龚挺. 秸秆板生产线系统、工艺及经济效益之研讨[J]. *人造板通讯*, 2004, 11(6): 22—24.
- Gong Ting. Discussion on production system, equipment, technology and economic performance of strawboard[J]. *China Wood-based Panels*, 2004, 11(6): 22—24. (in Chinese with English abstract)
- [150] 于文吉, 马红霞, 王天佑, 等. 农作物秸秆人造板发展现状与应用前景[J]. *木材工业*, 2005, 19(4): 5—8.
- Yu Wenji, Ma Hongxia, Wang Tianyou, et al. Current markets and potential applications for agri-fiber based panels in China[J]. *China Wood Industry*, 2005, 19(4): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [151] 樊菲, 周美华. 实现秸秆工业原料资源化利用[J]. *中国资源综合利用*, 2004, 23(4): 13—17.
- Fan Fei, Zhou Meihua. Make the use of straw resource as industrial raw and processed materials[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2004, 23(4): 13—17. (in Chinese with English abstract)
- [152] 周定国, 张洋. 我国农作物秸秆材料产业的形成与发展[J]. *木材工业*, 2007, 21(1): 5—8.
- Zhou Dingguo, Zhang Yang. The development of straw-based composites industry in China[J]. *China*

- Wood Industry, 2007, 21(1): 5—8. (in Chinese with English abstract)
- [153] 陈琳. 农作物秸秆资源综合利用的战略研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [154] 张小勇, 莫海涛, 江启沛, 等. 秸秆资源循环经济利用模式——纸浆与肥料联产的清洁生产体系[J]. 化学进展, 2007, 19(Z2): 1177—1184.
Zhang Xiaoyong, Mo Haitao, Jiang Qipei, et al. The mode of cycle economy utilization of stalk: the technique system of clean production by the co-production of pulp and organic fertilizer[J]. Progress in Chemistry, 2007, 19(Z2): 1177—1184. (in Chinese with English abstract)
- [155] 王清文, 郭垂根. 生物质资源高效利用模式探索——“生物质-生物质材料-生物质能源”产业链模式[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(6): 11—14.
Wang Qingwen, Guo Chuigen. Research on efficient utilization mode of bio-based resources on the chain of ‘biomass- biomass material-biomass energy’ industry[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2010, 30(6): 11—14. (in Chinese with English abstract)
- [156] 陈琳, 孙琦, 周定国. 我国人造板工业发展趋势预测与原料创新研究[J]. 林业科技, 2005, 30(5): 45—47.
Chen Lin. Forecast of the developing trend and raw materials innovation study of the wood-based panel industry in China[J]. Forestry Science & Technology, 2005, 30(5): 45—47. (in Chinese with English abstract)
- [157] 周定国. 关于稻秸秆人造板的几个问题[J]. 林产工业, 2008, 35(1): 3—6, 12.
Zhou Dingguo. Some problems about rice-straw based panel development[J]. China Forest Products Industry, 2008, 35(1): 3—6, 12. (in Chinese with English abstract)
- [158] 沈文星, 周定国. 秸秆人造板的产业化问题[J]. 林业科学, 2007, 43(3): 103—107.
Shen Wenxing, Zhou Dingguo. A research to the industrialization of straw-based panel[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(3): 103—107. (in Chinese with English abstract)
- [159] 周定国. 农作物秸秆人造板的研究[J]. 中国工程科学, 2009, 11(10): 115—121.
Zhou Dingguo. The development of straw-based panel[J]. Engineering Science, 2009, 11(10): 115—121. (in Chinese with English abstract)
- [160] 李晓平, 周定国. 稻草人造板的研究近况和发展前景[J]. 木材加工机械, 2008, 25(2): 43—46.
Li Xiaoping, Zhou Dingguo. Research on the present condition and developing prospect of the rice-straw board[J]. Wood Processing Machinery, 2008, 25(2): 43—46. (in Chinese with English abstract)
- [161] 何亮, 王朝全. 我国应用农作物秸秆板的问题与对策探讨[J]. 现代农业, 2010, 36(1): 67—70.
- [162] 刘天舒, 李树君, 周树辉. 我国一次性餐具技术发展方向: 植物纤维餐具[J]. 农业机械, 2011(4): 9—11.
- [163] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [164] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [165] 于兴军, 王黎明, 王锋德, 等. 我国东北地区玉米秸秆收储运技术模式研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(5): 24—28.
Yu Xingjun, Wang Liming, Wang Fengde, et al. Research on technology mode of corn straw collection and delivery in northeast area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(5): 24—28. (in Chinese with English abstract)
- [166] 黑龙江省“十一五”资源综合利用专项规划[EB/OL]. http://www.dqfgw.gov.cn/jnjp/show.asp?article_id=62[2010-9-15].
- [167] 黑龙江省现代化大农业发展规划(2011—2015年)[EB/OL]. <http://www.hlj.gov.cn/wjfg/system/2012/11/07/010447166.shtml>. [2012-10-11].
- [168] 黑龙江省生物产业发展规划[EB/OL]. http://www.ccpit.org/Contents/Channel_2898/2010/0831/267901/content_267901.htm. [2010-08-31].
- [169] 刘秀艳, 吕金庆, 林君堂, 等. 黑龙江省保护性耕作技术试验研究[J]. 农机化研究, 2009, 31(7): 26—29.
Liu Xiuyan, Lü Jinqing, Lin Juntang, et al. Experimental research on conservation tillage technology in Heilongjiang province[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(7): 26—29. (in Chinese with English abstract)
- [170] 马春梅, 马秀峰, 唐远征, 等. 保护性耕作技术在黑龙江省的应用[J]. 黑龙江农业科学, 2011, 35(7): 36—38.
Ma Chunmei, Ma Xiufeng, Tang Yuanzheng, et al. Application of conservation tillage technology in Heilongjiang province[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011, 35(7): 36—38. (in Chinese with English abstract)
- [171] 唐立新. 黑龙江省保护性耕作势在必行[J]. 黑龙江农业科学, 2010, 34(7): 156—158.
- [172] 张春风, 郑焕春, 汝守华, 等. 黑龙江省食用菌产业技术路线图[J]. 食用菌, 2010, 32(6): 1—4.
- [173] 郑焕春, 张文艳, 张春风, 等. 黑龙江省食用菌产业发展的SWOT分析[J]. 北方园艺, 2009, 33(11): 233—236.
Zheng Huanchun, Zhang Wenyan, Zhang Chunfeng, et al. SWOT analysis on development of edible mushroom industry in Heilongjiang province[J]. Northern Horticulture, 2009, 33(11): 233—236. (in Chinese with English abstract)

Application of GC-TOPSIS on optimizing choice of utilization programs of crop straw

Yang Zengling, Chu Tianshu, Han Lujia^{*}, Liu Xian, Xiao Weihua, Huang Guangqun

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Crop straw is an important biomass resource. The comprehensive utilization of crop straw not only protects the environment of producing areas and increases the farmers' income, but also lays foundation for circular economy and emerging industry. The main utilization approaches for crop straw are converting to animal feed, fertilizer, fuel, material of edible fungi, and material of industry. In order to optimize the utilization approaches of crop straw, the evaluation indices are assigned based on information from references, which are measured by nine grade assignment. The evaluation indices are formed by functional indices, economical beneficial indices, environment beneficial indices and adaptability indices. The functional indices are formed by maturity of engineering and effective transformation of engineering. The economical beneficial indices are formed by the utilization cost of crop straw per ton and the benefit of resource substitution per ton. The indices of environmental benefit are formed by the profit of waste reduction per ton and the secondary pollution degree per ton. The adaptability indices are formed by the coordination degree of regional crop straw variety, the coordination degree of regional crop straw density, the coordination degree of regional crop straw collection, transportation, storage and the coordination degree of regional policy planning. The combination weights method based on entropy and rank correlation analysis method is used to obtain the weights of evaluation index, and GC-TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution combined by grey correlation) serves as decision-making method. The combination weighting method gives consideration for both subjective and objective influencing factors, by comparing with simple subjective weighting method or objective weighting method, which is scientific, easy, and feasible. GC-TOPSIS method is a new kind of relative similarity degree by combining the Euclidean distance with grey correlation degree. It reflects the distances and the different shapes among a selected scheme, the ideal solution and negative ideal solution. The implication is clearer, valid and feasible. And these methods are applied to the optimization of utilization approaches of crop straw in Heilongjiang province. The preference order of five utilization approaches obtained for Heilongjiang province in this paper is: as feed > as fertilizer > as fuel > as material of edible fungi > as material of industry, which is consistent with actual development and scheme in Heilongjiang province. At the same time, the optimization method provides foundation to scheme the various choices of utilization approaches in Heilongjiang province. Furthermore, the evaluation indices are assigned by information from the reference, which is practicable and gives access to optimized choices.

Key words: straw, optimization, scheduling, comprehensive utilization, combination weights method, GC-TOPSIS

(责任编辑: 秦学敏)