

基于 PSR 模型的四川省耕地集约利用评价及分区研究

黄露滴, 黄美菱 (长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054)

摘要 以耕地资源集约利用中的人地关系为依据, 构建基于 PSR 模型的耕地集约利用评价指标体系。结合四川省实际情况, 共选取 15 个评价指标, 采用改进的熵值法确定各指标权重, 运用综合指数方法分析四川省 21 个市(州)的耕地集约利用度, 并将其划分为高度集约区、中度集约区、一般集约区和不集约区。结果表明: 在不同区域间, 耕地集约利用水平具有明显差异; 平原地区如成都等地的耕地集约利用水平较高, 甘孜、阿坝等地较为典型, 耕地集约利用水平较低; 引起区域差异的主要原因是各市(州)自然条件和社会经济发展程度不同; 采用 PSR 模型、熵值法和综合指数方法评价耕地集约利用水平是合理的, 研究结果为四川省耕地集约利用提供进一步指导。

关键词 PSR; 熵值法; 耕地集约利用; 四川省

中图分类号 F301.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)01-0204-04

Cultivated Land Intensive Utilization and Regional Research Based on PSR Model in Sichuan Province

HUANG Lu-di, HUANG Mei-ling (School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054)

Abstract Based on the man-land relationship of cultivated land intensive utilization, the index system of cultivated land intensive utilization based on PSR model was established. Combined with the actual situation in Sichuan Province, A total of 15 indexes were selected. To calculate the weight of each index, the improved entropy weight method will be used. Then the cultivated land intensive utilization of 21 cities in Sichuan Province was calculated with comprehensive index method. And it was divided into highly intensive area, moderate intensive area, generally intensive area and non-intensive area. The results indicated that; there were obvious differences in the level of cultivated land intensive utilization between different areas. The level of cultivated land intensive utilization in plain areas such as Chengdu is higher than that in Ganzi and Aba. The main reason for regional difference is that the natural conditions and socio-economic development are different in each city. It is reasonable to evaluate the level of cultivated land intensive utilization by using the PSR model, the entropy method and comprehensive index method. The results will provide a further guidance for cultivated land intensive utilization in Sichuan Province.

Key words PSR; Entropy method; Cultivated land intensive utilization; Sichuan Province

我国正处于经济发展的关键时期, 一方面, 随着城镇化进程的不断加快和工业的快速发展, 耕地面积不断减少^[1]; 另一方面, 人口的增多导致需要的农产品也越来越多, 从而使人地之间的矛盾日益加剧^[2]。耕地集约利用, 是指在区域内耕地资源合理配置和结构优化考虑的前提之上, 为有限的耕地投入相关生产要素, 从而提高耕地利用的综合效益, 进一步充分发掘耕地资源的利用潜力, 使耕地资源走可持续发展道路^[3-4]。因此, 集约利用土地引起了国土资源部门的重视, 并促进了集约节约型社会的建设^[5]。同时, 大力开展耕地集约利用土地研究, 使得宝贵耕地资源得以充分利用, 这对于缓解人地矛盾, 保障粮食安全、国家安全及社会经济可持续发展也具有很重要的理论意义和现实意义^[6]。

目前, 对耕地集约利用分析研究大多数是通过构建评价指标体系来进行定性、定量分析研究。国内外学者大多从生态资源、环境角度入手构建评价指标^[7-9]。评价指标权重确定的方法比较广泛, 如物元分析法^[6]、层次分析法^[8]、组合赋权法等。耕地集约利用研究分析涉及区域也较广泛, 彭尔瑞等^[10]对云南耕地保护现状进行了分析; 赵宏波等^[11]对河南省耕地集约利用情况进行了分析; 史丽君等^[12]研究评价了徐州市城市土地集约利用。总体来看, 国内外学者对耕地集约利用主要在分析评价^[13-14]、时空变化趋势^[3, 15-16]、驱动力^[11, 17-18]等方面较多。但目前来看, 在 1999 年国家出台基本农田保护政策的引领下, 耕地集约利用评价研究已较成熟, 但定性分析较多、定量研究相对较少。耕地集约利用评

价指标构建大多集中在生态资源与环境状况方面, 对从人地关系入手的人类活动、社会经济发展方面对耕地集约利用评价考虑较少, 故该研究使用 PSR 模型方法选取评价指标, 另外, 评价指标权重多采用层次分析法, 主观性较强, 该研究采用熵值法确定权重, 较好地保证了评价的客观性。

四川省是我国农业大省、人口大省和粮食主产区。近 50 年来, 经济发展导致四川省大量非农用地对耕地占用的增加, 造成耕地面积的减少^[18]。为了更加充分利用四川省的耕地资源, 保障粮食安全, 笔者以四川省 21 个市(州)为研究对象, 采用 PSR 模型选取耕地集约利用评价指标, 熵值法确定评价指标权重, 并结合 GIS 技术, 对各市(州)进行空间分区, 探寻空间差异现象, 研究影响耕地集约利用的因素。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况 四川省位于我国西南腹地, 地处长江上游, 介于 92°21' ~ 108°12' E、26°03' ~ 34°19' N, 东西长约 1 075 km, 南北宽约 900 km。东连重庆, 南邻滇、黔, 西接西藏, 北界青海、甘肃、陕西 3 省。全省地貌东西差异大, 地形复杂多样, 可分为成都平原、川西高原和川东山地丘陵地区三大部分。全省辖 18 地级市、3 个自治州、183 个县(区)。2015 年末全省总人口 9 102 万, 其中农业人口约 6 316.8 万, 占总人口的 69.4%。全省土地总面积 48.6 万 km², 其中耕地面积约 673.608 万 hm², 人均耕地面积约 0.074 hm², 低于联合国粮农组织 (FAO) 所确定的人均耕地 0.08 hm² 的警戒线, 形势较为严峻。四川省人多地少的矛盾十分突出, 为了满足四川省人民生活、经济建设用地需求, 对耕地进行集约利用评价刻不容缓。

1.2 数据来源 数据主要来源于 2016 年《四川统计年鉴》。

作者简介 黄露滴(1992—), 女, 四川达州人, 硕士研究生, 研究方向: 土地集约利用。

收稿日期 2017-09-20

1.3 研究方法

1.3.1 PSR 模型。使用 PSR 模型构建四川省耕地集约利用评价指标体系。PSR 模型即“压力(P) - 状态(S) - 响应(R)”模型,联合国粮农组织(FAO)于 1993 年提出,耕地集约利用面临的压力(Pressure)主要是指来自人口、城市扩张以及粮食需求所带来的压力;耕地集约利用所表现出来的状态(States)主要是指耕地的利用强度所带来的效益;社会响应(Response)主要是指人对耕地集约利用面临的压力和所表现出来的状态所做出的响应^[19]。由于 PSR 模型可以涉及人地关系稳定,社会积极发展方面,加之也具有较为丰富的

含义和较强的逻辑关系,被广泛研究耕地集约利用学者专家使用^[12,20]。PSR 模型描述了耕地集约利用评价指标之间的因果关系,并揭示了人地之间的相互作用关系,经过“作用 - 反馈 - 再作用”的循环过程,达到耕地集约利用的目的。该研究根据四川省的实际情况,参考已有研究成果^[12],遵照完全、非相容、简洁和客观性原则,从“压力 - 状态 - 响应”系统中选取了体现耕地的利用效率、耕作状态和投入强度的评价指标体系 15 个选取符合 PSR 模型依据的耕地集约利用评价指标,具体指标及其含义见表 1。

表 1 四川省耕地集约利用评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of cultivated land intensive use in Sichuan Province

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	指标层 Index layer	指标说明 Indicator description
耕地集约利用水平 Cultivated land intensive use level	压力指标	人均耕地	耕地总面积/人口总数(hm ²)
		人均 GDP	区域生产总值/人口总数(万元)
		劳均产值	种植业总产值/种植业就业人口(万元/人)
		粮食安全系数	人均实际粮食占有量/400 kg(%)
		非农指数	非农业人口总数/人口总数(%)
	状态指标	垦殖率	耕地总面积/土地总面积(%)
		复种指数	农作物总播种面积/耕地总面积(%)
		灌溉指数	有效灌溉面积/耕地总面积(%)
		粮食单产	粮食总产/耕地总面积(kg/hm ²)
		地均产值	种植业总产值/耕地总面积(万元/hm ²)
	响应指标	农民人均收入	农民总收入/农村总人口(元)
		劳力投入指数	农业就业人口/耕地总面积(人/hm ²)
		化肥投入指数	化肥总量/耕地总面积(t/hm ²)
		电力投入指数	农村用电量/耕地总面积(kW·h/hm ²)
		耕地平衡指数	年末耕地总量/年初耕地总量(%)

1.3.2 确定指标权重。在评价过程中,评价指标的权重的确定方法分为主观和客观,主观赋权法主要有特尔斐法、层次分析法等;而客观赋权法主要有熵值法、主成分分析法等,客观赋权法排除了主观意识,故该研究选取客观的熵值法进行赋权。在确定权重之前对各指标进行量纲处理,以保证数据一致性。

(1)量纲一致性处理。由于各评价指标类型不一致和量纲不一致的差异,该研究在综合评价耕地集约利用时,为了避免出现较大的误差,对指标进行量纲一致性处理。该研究选用极值处理法对评价指标进行无量纲化处理^[21],方法具体描如下:

$$\text{正向指标: } X_{ij} = \frac{X_{ij} - X_i^{\min}}{X_i^{\max} - X_i^{\min}} \quad (1)$$

$$\text{逆向指标: } X_{ij}^* = \frac{X_i^{\max} - X_{ij}}{X_i^{\max} - X_i^{\min}} \quad (2)$$

式中, X_i^{\max} 为第 i 个评价指标的最大值; X_i^{\min} 为第 i 个评价指标的最小值; X_{ij} 为 j 区域第 i 个评价指标的实际值。

(2)熵值法。在对评价指标进行无量纲化后,采用改进的熵值法确定权重。在确定权重方法中,直接利用决策矩阵所给矩阵计算权重是其最大的特点,排除了决策者的主观判断带来的影响,这样确定的权重更为客观。在耕地集约利用

评价系统中,对于指标值来说,指标值变化愈慢,得到的指标信息熵就愈大,效用值就愈小,指标权重就愈小;反之,指标权重就愈大^[22]。由公式(1)、(2)可知,极值法无量纲化处理的数据会存在负值或极值,而在熵值法中要求 $X_{ij} > 0$,需要将 X_{ij}^* 平移改进,得到改进后的数据 $X_{ij}^{[23]}$ 。

第一步:评价指标进行平移。

$$X_{ij} = X_{ij}^* + H \quad (3)$$

式中, X_{ij}^* 为原始评价指标无量纲化处理后的值; H 为平移单位。

第二步:评价指标标准化。

$$P_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^n X_{ij} \quad (4)$$

式中, P_{ij} 为标准化后的值; X_{ij} 为平移后的值, $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$ 。

第三步:计算参评指标熵值。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (5)$$

式中, e_j 为第 j 项评价指标的熵值; k 为调节系数, $k = 1/\ln m$,则 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

第四步:计算指标差异系数。

$$h_j = 1 - e_j \quad (6)$$

式中, h_j 为指标差异系数。

第五步:计算评价指标权重。

$$w_j = h_j / \sum_{i=1}^n h_i \quad (7)$$

式中, w_j 为指标权重; h_j 为指标差异系数。

1.3.3 耕地集约利用度的计算。 确定评价指标和权重之后, 根据统计年鉴数据结合表 1 指标含义计算出四川省 21 个市(州)的指标值。进一步运用综合指数模型计算四川省耕地集约利用各准则层或目标层得分。其公式为:

$$S_j = \sum_{i=1}^n X_{ij} \times w_j \quad (8)$$

式中, S_j 为第 j 个区域的耕地集约利用度; X_{ij} 为平移后的值; W_j 为指标权重。

1.3.4 空间分区评价。 根据以上指标权重值计算出的目标层得分为改区域的总体耕地集约利用度, 根据文献[24]提供的耕地集约利用等级划分标准划分 4 个等级, 即高度集约区(集约度 > 0.6)、中度集约区(集约度 0.5 ~ 0.6)、一般集约区(集约度 0.4 ~ 0.5)和不集约区(集约度 < 0.4)。结合四川省实际情况根据划分标准将 21 个市(州)的耕地集约利用度进行空间分区平均, 并运用 ArcGIS 空间分析工具, 使具体分级结果与空间信息进行叠加显示。

2 结果与分析

2.1 评价指标权重 运用改进的熵值法确定四川省耕地集约利用 15 个评价指标的权重, 如表 2 所示。按指标权重由大到小排序为: 非农指数、粮食安全系数、复种指数、耕地平衡指数、人均耕地、垦殖率、粮食单产、化肥投入指数、地均产值、灌溉指数、劳力投入、劳均产值、农民人均收入、人均 GDP、电力投入指数。其中, 非农指数表明四川省农业人口是影响耕地集约利用的最关键性因素。农民人均收入和人均 GDP 在耕地集约利用指标排名靠后, 说明生产总产值和农民收入的重要程度较低。总体而言, 得出以下结论: ①城市人口、粮食需求以及城市扩张带来的压力对耕地集约利用水平有着重要的影响; ②耕地利用强度所带来效益的影响较低; ③耕地投入强度影响耕地集约利用的重要性最低。

表 2 四川省耕地集约利用评价指标的权重

Table 2 Weight of cultivated land intensive use evaluation index in Sichuan Province

准则层 Criteria layer	指标层 Index layer	指标权重 Index weight	指标层权重 Index layer weight
压力指标 Pressure indicator(0.43)	人均耕地	0.08	0.19
	人均 GDP	0.04	0.08
	劳均产值	0.05	0.11
	粮食安全系数	0.09	0.20
	非农指数	0.10	0.23
状态指标 Status indicator (0.33)	垦殖率	0.08	0.18
	复种指数	0.09	0.26
	灌溉指数	0.05	0.16
	粮食单产	0.08	0.23
	地均产值	0.07	0.21
响应指标 Response indicator(0.23)	农民人均收入	0.05	0.14
	劳力投入指数	0.05	0.21
	化肥投入指数	0.07	0.30
	电力投入指数	0.03	0.13
	耕地平衡指数	0.08	0.36

2.2 各准则层指数 根据耕地集约利用评价的方法, 可得

出四川省 21 个市(州)准则层压力指数、状态指数、响应指数见图 1。

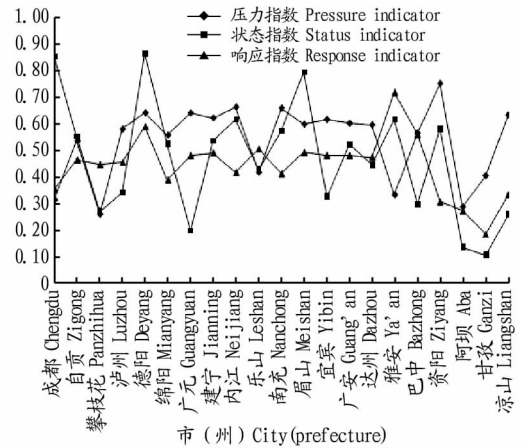


图 1 四川省耕地集约利用指数

Fig. 1 Intensive use index of cultivated land in Sichuan Province

由图 1 可知, 四川省 21 个市(州)之间的耕地集约利用压力指数、状态指数、响应指数的差异较大。从压力指数来看, 资阳的指数值最高为 0.75, 相较其他市(州)高的原因是资阳市的常住人口增加, 相比 2014 年增加了 2.21 万, 导致对粮食的需求量增多。从状态指数来看, 最高值出现在德阳, 达到 0.86, 成都其次, 为 0.85, 2015 年德阳粮食单产为 7 743.01 kg/hm², 成都粮食单产为 5 459.74 kg/hm², 说明德阳与成都的单位耕地粮食产量和产值水平较高; 最低值出现在甘孜, 为 0.11, 阿坝其次, 为 0.14, 甘孜和阿坝的灌溉指数、粮食单产等值也处于低等水平, 表明甘孜和阿坝耕地资源的利用强度较低。从响应指数来看, 雅安、德阳响应指数较高, 分别为 0.72、0.59, 劳力投入指数最高的是雅安为 5.09 人/hm², 化肥投入指数最高的是德阳为 0.76 t/hm², 甘孜和阿坝响应指数较低为 0.18、0.27, 最低的耕地平衡指数是甘孜为 1.15%。综上所述, 甘孜与阿坝耕地集约利用状态指数与响应指数较低的原因可能是阿坝和甘孜位于四川省西部地区, 农业发展所需的水热条件较差, 人口稀疏, 技术水平落后, 对农业投入的劳动力、机械力、肥力等不足。

2.3 目标层耕地集约利用分区评价 根据耕地集约利用等级划分标准统计四川省各市(州)耕地集约利用等级, 德阳、眉山为高度集约区; 内江、资阳、南充、遂宁、广安、自贡、达州、雅安、绵阳、成都为中度集约区; 宜宾、巴中、泸州、广元、乐山、凉山为一般集约区; 攀枝花、甘孜、阿坝为不集约地区。通过 ArcGIS 空间可视化得到四川省耕地集约利用分级图(图 2)。

由图 2 可知, 四川省耕地集约利用空间分区呈现出以下特征。

(1) 德阳、眉山、成都市等主要市区及周边市区的耕地集约利用度较高, 随着与这些城市之间距离的增加, 耕地的集约利用度逐渐降低。这一结论符合杜能区位理论, 即城市直接影响周边耕地集约, 其耕地集约度随距离的增加而衰减^[25]。

(2) 成都平原的耕地集约利用度较高,主要是由于这些区域具有优越的自然条件:气候温和湿润,地势平坦,水域遍布,河网纵横,经济发达,农作物产量高。

(3) 阿坝州和甘孜州属于川西高原地区,该地区气候奇寒,地广人稀,经济不发达,利用强度较低,劳力和肥力的投入明显低于其他地区。凉山州地貌复杂多样,水田少,坡土多,农田基本条件差,生产水平较低。

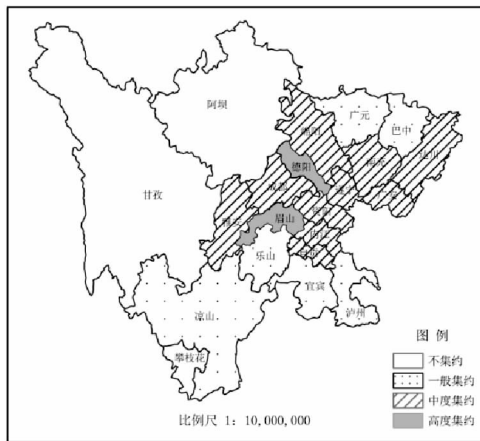


图 2 四川省耕地集约利用分级

Fig. 2 Grade of cultivated land intensive use in Sichuan Province

3 结论

该研究采用 PSR 模型、熵值法和综合指数模型,并结合 GIS 技术,深入了解四川省的耕地集约利用现状,并分析影响其空间差异的原因。四川省的实证评价结果表明,依据 PSR 模型构建评价指标体系,利用熵值法确定权重和综合指数模型的方法评价耕地集约利用水平是合理的。

(1) 基于 PSR 模型选取的耕地集约利用评价指标体系能充分表现出人地之间关系。该研究从“压力-状态-响应”系统中选取了体现耕地的利用效率、耕作状态和投入强度的评价指标体系。

(2) 利用改进的熵值法确定耕地集约利用评价指标权重,避免了人的主观因素的影响,这样评价出来的结果更加客观具体,得到的指标权重大小存在差异。

(3) 通过评价指标计算出的耕地集约利用度水平影响程度在空间上有差异,德阳、眉山属于高度集约区;内江、资阳、南充、遂宁、广安、自贡、达州、雅安、绵阳、成都为中度集约区;宜宾、巴中、泸州、广元、乐山、凉山为一般集约区;攀枝花、甘孜、阿坝为不集约地区。分析发现,成都平原附近地区的耕地集约利用水平较高,甘孜阿坝等地由于气候条件差,人口稀疏农业生产条件落后耕地集约利用水平较低,较为典

型。这一空间分区结果与实际情况基本相符。

研究存在如下不足:一些具有研究意义的数由于难以获取未被选为评价指标;仅对 2015 年四川 21 个市(州)耕地集约利用水平进行评价,研究时间尺度不够全面。因此,有待进一步展开四川省时间序列的耕地集约利用水平变化研究,为四川省耕地集约化发展提供参考。

参考文献

- [1] 吴泽斌,刘卫东,罗文斌,等. 我国耕地保护的绩效评价及其省际差异分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(10): 1785 - 1793.
- [2] 王玲,孙洁,吕新. 基于主成分分析的耕地集约利用评价[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(3): 607 - 611.
- [3] 何国松,黄莉敏,金赞,等. 2000—2009 年鄂南丘陵山区耕地集约利用变化分析[J]. 资源开发与市场, 2011, 27(12): 1073 - 1074, 1100.
- [4] 钟大洋,黄贤金,马其芳,等. 省级区域耕地保有量测算研究:以江苏省为例[J]. 资源开发与市场, 2007, 23(5): 404 - 407.
- [5] 温家宝. 高度重视 加强领导 加快建设节约型社会[J]. 国土资源通讯, 2005(14): 4 - 7.
- [6] 张锐,郑华伟,刘友兆. 基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 5090 - 5100.
- [7] 王干,金晓斌,周安康,等. 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 247 - 256.
- [8] 朱红波,张安录. 我国耕地资源生态安全的时空差异分析[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6): 754 - 758.
- [9] 钟大洋,黄贤金,陈逸. 基本农田保护政策的耕地保护效果评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 90 - 95.
- [10] 彭尔瑞,王穗,郝莉莎,等. 云南耕地与基本农田保护现状分析及对策研究[J]. 资源与产业, 2009, 11(4): 59 - 63.
- [11] 赵宏波,宋戈,孙丽娜. 河南省耕地集约利用的驱动力分析[J]. 农业现代化研究, 2010, 31(6): 729 - 732.
- [12] 史丽君,张绍良,王浩宇,等. 基于 PSR 框架的徐州市城市土地集约利用评价研究[J]. 国土与自然资源研究, 2006(1): 4 - 5.
- [13] HERZOG F, STEINER B, BAILEY D, et al. Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale[J]. European journal of agronomy, 2006, 24(2): 165 - 181.
- [14] 胡志朋,杨凤海,周晓飞. 肇源县耕地集约利用评价及障碍度诊断[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 148 - 155.
- [15] 于丹丹,刘淑英,王平,等. 甘肃省耕地集约利用空间分析[J]. 土壤通报, 2015, 46(6): 1299 - 1306.
- [16] 张志功,刘淑英,王平,等. 民勤县耕地集约利用空间格局分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 44 - 50.
- [17] 王喜,彭宏杰,樊鹏飞,等. 耕地集约利用评价及障碍因素分析研究基于突变级数模型[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(8): 902 - 906.
- [18] 彭文甫,周介铭. 近 50 年四川省耕地变化分析[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 79 - 85.
- [19] 袁妍,南灵. 基于 PSR 框架的耕地集约利用评价及驱动力研究:以关中地区为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(5): 615 - 618.
- [20] SMYTH A J, DUMASKY J, FELSM: An international framework for evaluating sustainable land management [M]. Rome: FAO, 1993.
- [21] 朱喜安,魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策, 2015(2): 12 - 15.
- [22] 孙男男,郑华伟,张兰,等. 耕地集约利用动态评价及障碍因素诊断研究:以河北省为例[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(1): 90 - 94.
- [23] 郑华伟. 基于改进熵值法的耕地利用集约度评价[J]. 新疆农垦经济, 2010(4): 53 - 58.
- [24] 费罗成,吴次芳,程久苗,等. 资源城市转型期工业用地集约利用评价:以枣庄市为例[J]. 城市问题, 2013(2): 29 - 36.
- [25] 杜国明,刘彦随. 黑龙江省耕地集约利用评价及分区研究[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 554 - 560.

(上接第 185 页)

- [3] 张京平,张华. 往复式竹根挖掘机: CN101112167 [P]. 2008 - 01 - 30.
- [4] 吴君琦. 基于国际贸易的中国竹产业竞争力研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [5] 张京平. 筒形竹根挖掘机: CN201107951 [P]. 2008 - 09 - 03.
- [6] 传媒湖州网. 竹蒲头挖掘机在湖州亮相[EB/OL]. (2009 - 10 - 26) [2014 - 06 - 22]. [http://www.hugd.com/xinixun/2009-10/16/](http://www.hugd.com/xinixun/2009-10/16/cms70795article.shtml)

cms70795article.shtml.

- [7] 邓小雷,李欣,夏鑫鑫,等. DX1B 型竹根挖掘机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 29 - 35.
- [8] 江子和,姚立健,朱世威,等. 一种毛竹根挖掘机的设计和优化[J]. 林业工程学报, 2017, 2(4): 121 - 127.
- [9] 周本智,傅懋毅. 粗放经营毛竹林根系和根系结构研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 217 - 221.