

基于理想亩的耕地资源价值评分模型的构建^① ——以上海崇明区建设镇为例

李飞鹏¹, 贾玉宝¹, 顾竹珺¹, 毛凌晨^{1*}, 施柳¹, 陆志波²

(1 上海理工大学环境与建筑学院, 上海 200093; 2 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘要: 综合采用农用地分等理论和内梅罗指数法, 将地力指数(基于基础养分含量)和清洁指数(基于重金属含量)作为 2 个限制性因素, 提出了耕地资源价值评分模型, 采用该模型对上海市崇明区 6 个乡镇的典型耕地进行评分, 结果表明 6 个乡镇得分介于 81.90 ~ 91.80, 平均为 86.05, 均达到良好线标准(≥ 80), 差异是由清洁指标和地力指标共同均衡作用的结果, 尤其是建设镇, 清洁指数得分较低。在此基础上, 以现状理想亩为基准, 对耕地几何面积进行修正。与仅采用地力指标或清洁指标的单一判定法相比, 本模型能更真实地反映耕地的价值, 可为相关行政部门提供便捷有效的管理手段, 达到提升耕地质量和保障农产品健康的目标。

关键词: 理想亩; 耕地资源; 评分模型; 土地价值

中图分类号: F301 **文献标识码:** A

耕地资源价值不仅是利用耕地肥力产出粮食或经济作物而形成的价值, 还应包含社会价值和生态价值, 这在耕地保护补偿和征收补偿中已逐步形成共识^[1-3]。但我国现有的耕地资源价值评价中, 或是由于缺少对耕地具体地块投入产出情况的历史记录无法采用收益还原法^[4-6], 或是由于生态环境资料不易获取^[7]而只能多关注生产力和质量指标^[8-10], 或是采用的评价方法^[11-13]较为繁琐复杂而不便相关部门的应用。近年来, 对耕地生态环境质量的高度重视以及土壤污染物便携式检测设备出现^[14-17], 使得能够综合考虑耕地地力和生态环境质量两个方面进行耕地资源价值评价。为此, 本文尝试以现状理想耕地为基准, 将耕地地力指数和清洁指数作为限制性因素引入到农用地评分体系中, 构建了便捷的耕地资源价值评分模型, 并对便携式方法取得的大量数据引入模型进行比对和验证, 保障结果的科学性, 以期对耕地资源价值评估和管理提供更为便捷的工具和科学的依据。

1 材料与方法

1.1 基础数据来源

地力指标选择对当地肥力影响较大的有机质、有

效磷和速效钾^[18], 数据来自 2015 年崇明区农业局进行的相关调查和检测结果。同时, 选取能够代表崇明区耕地地力情况的 6 个乡镇的 34 个典型农田耕作层样点进行重金属含量测定, 每个乡镇水田和旱田各选取 2 ~ 3 块, 共 4 ~ 6 个采样点, 采样点分布如图 1 所示。根据已有对崇明耕地污染的调查和研究^[19-20], 相关的污染物数据以可检测出的重金属 As、Cu、Cr、Pb 和 Zn 为代表(便携式 X 射线荧光光谱仪(XRF)进行检测^[21]), 《土壤环境质量标准》(GB1568-2008)中规定的 Hg 和 Cd 等其他重金属元素检出浓度很低或未检出, 故本文未作考虑。

1.2 地力指数

地力指数以有机质、有效磷和速效钾为例进行计算, 权重(C)参照《耕地地力调查与质量评价技术规程》(NY/T1634-2008)中的层次分析法^[22]确定, 有机质为 0.6, 有效磷为 0.2, 速效钾为 0.2。值得指出的是为避免耕地评价实际操作时暂时的人为施肥等因素的干扰, 判断矩阵中有机质的取值应比氮、磷、钾等指标大一个等级。

有机质(mg/kg)、有效磷(mg/kg)、速效钾(mg/kg)隶属度为戒上型函数^[23], 隶属度计算公式如下:

①基金项目: 上海市科委科研项目(15dz1208103)资助。

* 通讯作者(mao.lingchen@usst.edu.cn)

作者简介: 李飞鹏(1983—), 男, 河南偃师人, 副教授, 主要从事重金属污染防治技术和评价研究。E-mail: leefp@126.com

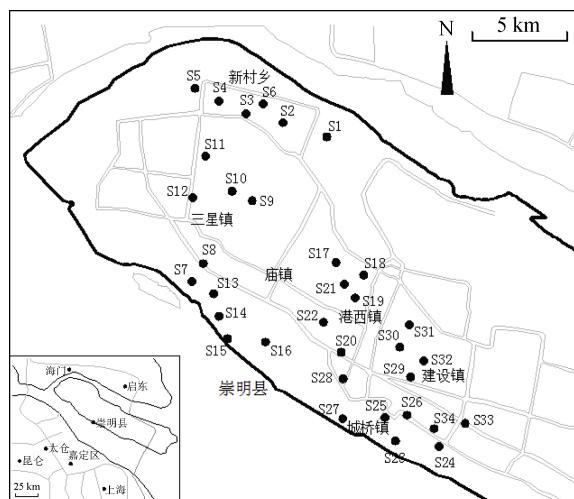


图1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

$$F_i = \begin{cases} 0 & u_i \leq u_l \\ 1/(1 + \alpha_i(u_i - c_i)^2) & u_l < u_i < c_i (i=1, 2, \dots, m) \\ 1 & u_i \geq c_i \end{cases}$$

式中： F_i 为第*i*个因素隶属度； u_i 为样品观测值； c_i 为标准指标； α_i 为常数； u_l 为指标下限值。根据专家评估和SPSS分析，分别得出其 α 、 c 和 u_l 值。其中有机质的隶属函数中 $\alpha = 0.04$ ， $c = 14.37$ ， $u_l = 2$ ；有效磷的隶属函数中 $\alpha = 0.019$ ， $c = 20.32$ ， $u_l = 3$ ；速效钾的隶属函数中 $\alpha = 0.0007$ ， $c = 137.56$ ， $u_l = 20$ 。

地力指数IFI采用加权模型计算：

$$IFI = 100 \sum F_i \times C_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

1.3 清洁指数

参考《耕地地力调查与质量评价技术规程》(NY/T1634-2008)，采用内梅罗指数法^[24]计算单项污染指数和综合污染指数。

单项污染指数 P_i 计算公式为：

$$P_i = C_i/S_i$$

式中： P_i 为单项污染指数； C_i 为污染物实测值； S_i 为污染物指标限值，一般采用《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)Ⅱ类标准。 $P_i \leq 1$ ，表示单项污染指数未超标； $P_i > 1$ ，表示单项污染指数超标。

综合污染指数 $P_{\text{综}}$ 计算公式为：

$$P_{\text{综}} = \sqrt{(P_{\text{平均}}^2 + P_{\text{max}}^2)/2}$$

式中： $P_{\text{综}}$ 为土壤综合污染指数； $P_{\text{平均}}$ 为各单项污染指数平均值； P_{max} 为各单项污染指数中最大值。污染程度判断标准： $P_{\text{综}} \leq 0.7$ ，清洁； $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1$ ，尚清洁； $1 < P_{\text{综}} \leq 2$ ，轻污染； $2 < P_{\text{综}} \leq 3$ ，中污染； $P_{\text{综}} > 3$ ，重污染。

清洁指数 K 参考路婕等^[25]提出的土壤环境质量评价系数计算公式的构造方法，并按污染程度判断标

准加以优化，计算公式为：

$$K_i = \begin{cases} 100 & P_{\text{综}} < 0.7 \\ 100 \frac{3 - P_{\text{综}}}{3 - 0.7} & 0.7 \leq P_{\text{综}} < 3 \\ 0 & P_{\text{综}} \geq 3 \end{cases}$$

式中： K_i 为*i*单元清洁指数； $P_{\text{综}}$ 为*i*单元土壤综合污染指数；某区域的清洁指数采用区域内各采样点清洁指数的平均值进行计算。

1.4 土壤综合评价指数

耕地资源价值评价采用土壤综合评价指数SCEI进行，计算公式为：

$$SCEI = \frac{IFI + K}{2}$$

SCEI及格线为60分、良好线为80分、优秀线为90分。

1.5 现状理想亩

耕地理想土壤是指有机质、有效磷、速效钾等养分含量丰富，且重金属等污染物含量低、不会制约作物的生长发育和对品质产生不良影响。“现状理想亩”定义为：土壤综合评价指数为100分的一亩耕地。

基于“现状理想亩”概念，提出耕地面积修正公式如下：

$$S_{\text{真}} = SCEI \times S / 100$$

式中： $S_{\text{真}}$ 为基于“现状理想亩”的修正后面积值， S 为某耕地测量的几何面积值。

2 结果与讨论

以建设镇包含的采样点为例，基于“现状理想亩”概念应用耕地资源价值评分模型打分，并对耕地面积进行修正。

2.1 地力指数和清洁指数计算结果

建设镇各取样点地力数据值如表1所示。6个点的各点有机质因素隶属度平均值 $F_1 = 1$ ；各点有效磷因素隶属度平均值 $F_2 = 0.668$ ；各点速效钾因素隶属度平均值 $F_3 = 0.355$ ；因此，地力指数 $IFI = 80.46$ 分。

建设镇各取样点重金属数据值如表2所示。计算得，单项污染指数中 $P_{1\text{max}} = 0.85$ ， $P_{2\text{max}} = 0.203$ ， $P_{3\text{max}} = 0.85$ ， $P_{4\text{max}} = 4.25$ ， $P_{5\text{max}} = 0.80$ ， $P_{6\text{max}} = 0.80$ ；综合污染指数中 $P_{\text{综}1} = 0.662$ ； $P_{\text{综}2} = 0.171$ ； $P_{\text{综}3} = 0.643$ ； $P_{\text{综}4} = 3.084$ ； $P_{\text{综}5} = 0.636$ ； $P_{\text{综}6} = 0.610$ ； $K_1 = K_2 = K_3 = K_5 = K_6 = 100$ ， $K_4 = 0$ ；因此，清洁指数 $K = 83.33$ 。由此可知，建设镇的耕地土壤重金属污染情况较轻，达到良好的标准。

表 1 建设镇各取样点地力数据值
Table1 Contents of SOM, available P and rapid available K of sampling sites in Jianshe town

编号	有机质		有效磷		速效钾	
	含量(mg/kg)	$F_{\text{有机质 } i}$	含量 (mg/kg)	$F_{\text{有效磷 } i}$	含量 (mg/kg)	$F_{\text{速效钾 } i}$
1	27.21	1	30.1	1	118	0.788
2	20.90	1	8.2	0.262	65	0.213
3	16.20	1	12.0	0.429	63	0.204
4	16.14	1	9.9	0.324	54	0.169
5	27.60	1	19.7	0.993	86	0.349
6	30.65	1	28.2	1	92	0.407
F_i	—	1	—	0.668	—	0.355

表 2 建设镇各取样点重金属数据值
Table 2 Concentrations of heavy metals of sampling sites in Jianshe town

编号	pH	Cr(mg/kg)	Cu(mg/kg)	Zn(mg/kg)	As(mg/kg)	Pb(mg/kg)	P_{max}	$P_{\text{综 } i}$	K_i
1	7.86	82	52	82	17	28	0.85	0.662	100
2	7.91	47	—	61	—	21	0.203	0.171	100
3	7.82	71	23	79	17	23	0.85	0.643	100
4	7.70	55	25	54	85	17	4.25	3.084	0
5	7.73	74	35	83	16	—	0.80	0.636	100
6	7.60	60	33	78	16	18	0.80	0.610	100

依据公式计算得出，建设镇土壤综合评价指数 SCEI = 81.90 分。类似地，可以得到其他乡镇的土壤综合评价指数 SCEI，各乡镇得分对比如图 2 所示。

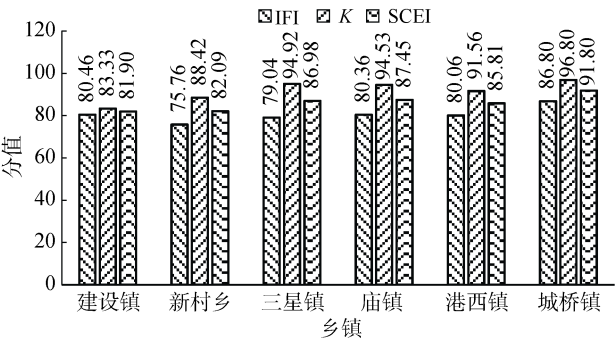


图 2 各乡镇 SCEI、IFI 和 K 分值图
Fig. 2 SCEI, IFI and K scores of different towns

由图 2 可知，IFI 由高到低依次为城桥镇、建设镇、庙镇、港西镇、三星镇和新村乡，K 依次为城桥镇、三星镇、庙镇、港西镇、新村乡和建设镇，SCEI 依次为城桥镇、庙镇、三星镇、港西镇、新村乡和建设镇。首先，在仅考虑地力指标或清洁指标的情况下进行耕地价值评价，各乡镇的得分排序将大不相同；其次，以 SCEI = 80 分为良好线，6 个乡镇均达到良好线标准，建设镇 SCEI 最低是由于清洁指数 K 较低。

2.2 基于现状理想亩的耕地面积修正

建设镇 2015 年年末耕地几何面积为 2 203 hm²，

按 SCEI 修正得到的 $S_{\text{实}}$ 为 1 987.8 hm²，相当于原面积的 90.23%。在耕地征收补偿等实际操作中，各地区只需确定“现状理想亩”的货币价格，然后依据面积的修正结果即可得到相应耕地的补偿金额，或进行等量的“现状理想亩”耕地补偿，这更能反映耕地资源的实际价值，可为相关行政部门提供便捷有效的管理手段，达到提升耕地质量和保障农产品健康的目标。

3 结论与展望

1) 崇明区 6 个乡镇代表性耕地综合评价指数 SCEI 介于 81.90 ~ 91.8。平均值为 86.01，均达到良好线标准(≥80)。

2) 构建的耕地资源价值评分模型通过地力指数和清洁指数的均衡作用对耕地质量进行评价，能够更加真实地反映出耕地土壤的地力和污染综合状况，另外评分模型同样适用于具有更多地力指标和清洁指标的耕地价值评价，地力指数只需依据层次分析法构建出新的层次结构和矩阵，清洁指数只需增加计算项，这为耕地价值评价和土地可持续利用提供了新的思路和方法。

3) 通过“现状理想亩”概念，只需通过对“现状理想亩”的货币价格进行确定，依据面积修正结果即可得到相应耕地的补偿金额或补偿等量“现状理想亩”的耕地，这有助于引导管理者和农户更加注意

耕地保护与质量管控,也有助于指导合理的耕地征收补偿。

致谢:感谢北京绿色未来环境基金会对本研究给予的肯定和奖学金支持。

参考文献:

- [1] 刘彦随, 乔陆印. 中国新型城镇化背景下耕地保护制度与政策创新[J]. 经济地理, 2014, 34(4): 1-6
- [2] 覃事娅, 尹惠斌, 熊鹰. 基于不同价值构成的耕地资源价值评估——以湖南省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(4): 466-471
- [3] 唐莹, 穆怀申. 我国耕地资源价值核算研究综述[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(5): 73-79
- [4] Cui Q, Wu Y, Li Q. Construction of the classification and grading index system of cultivated land based on the viewpoint of sustainable development[J]. Asian Journal of Agricultural Research, 2010, 2(9): 45-48, 52
- [5] 罗文光, 丛艳静, 邢世和. 基于 GIS 技术的福建省耕地价值评价及其空间分异[J]. 土壤, 2009, 41(2): 295-302
- [6] 吴兆娟, 魏朝富, 尚慧. 基于农户层面的耕地经济产出价值研究[J]. 经济地理, 2011, 31(9): 1516-1522
- [7] 任平, 吴涛, 周介铭. 耕地资源非农化价值损失评价模型与补偿机制研究[J]. 中国农业科学, 2013, 47(4): 786-795
- [8] Liu Z, Wei Z, Shen J, et al. Soil quality assessment of yellow clayey paddy soils with different productivity[J]. Biology & Fertility of Soils, 2014, 50(3): 1-12
- [9] 姚赫男, 李艳, 曹宇. 基于 RS 和 GIS 的耕地资源质量评价——以浙江省富阳市为例[J]. 土壤, 2013, 45(4): 732-738
- [10] Ge H, Feng Y, Liao F, et al. Soil diagnosis and land suitability assessment for vegetation restoration on coal waste piles in Liupanshui, Guizhou, China[J]. International Journal of Mining, Reclamation & Environment, 2016, 30(3): 209-216
- [11] 牛善栋, 吕晓, 李振波. 中国耕地集约利用研究的文献计量分析[J]. 土壤, 2016, 48(2): 306-313
- [12] 王良杰, 赵玉国, 郭敏, 等. 基于 GIS 与模糊数学的县级耕地地力质量评价研究[J]. 土壤, 2010, 42(1): 131-135
- [13] 潘润秋, 刘珺, 宋丹婷. 基于模糊综合分析法的农用地分等方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(18): 257-265
- [14] 贾生尧. 基于光谱分析技术的土壤养分检测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015
- [15] 鲁翠萍, 汪六三, 庄重, 等. 便携式农田土壤肥力在线检测仪: 中国, 103091288 A[P]. 2013-05-08
- [16] 刘燕德, 万常澜, 孙旭东, 等. X 射线荧光光谱技术在重金属检测中的应用[J]. 激光与红外, 2011, 41(6): 605-611
- [17] 吴才武, 夏建新, 段峥嵘. 土壤有机质测定方法述评与展望[J]. 土壤, 2015, 47(3): 453-460
- [18] 王贵政. 基于 GIS 技术的土壤养分空间分布分析及应用[J]. 中国农学通报, 2010, 26(10): 187-191
- [19] Shen G, Huang X, Qian Z, et al. Heavy metal contamination in arable land of Chongming based on GIS and Geostatistics[C]. Beijing: Peking University Press, 2010: 1-5
- [20] Ma C, Zheng R, Zhao J, et al. Relationships between heavy metal concentrations in soils and reclamation history in the reclaimed coastal area of Chongming Dongtan of the Yangtze River Estuary, China[J]. Journal of Soils & Sediments, 2015, 15(1): 139-152
- [21] 韩平, 王纪华, 陆安祥, 等. 便携式 X 射线荧光光谱分析仪测定土壤中重金属[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(3): 826-829
- [22] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7): 93-100
- [23] 田有国, 辛景树, 栗铁申, 等. 耕地地力评价指南[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006
- [24] Wang L F, Bai Y X, Gai S N. Single-factor and nemerow multi-factor index to assess heavy metals contamination in soils on railway side of Harbin-Suifenhe railway in Northeastern China[J]. Applied Mechanics & Materials, 2011, 71-78(6637): 3033-3036
- [25] 路婕, 李玲, 吴克宁, 等. 基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 323-329

A New Resource Assessment Model for Arable Land Based on Idea of ‘Ideal Mu’ —— A Case Study of Jianshe Town in Chongming District of Shanghai

LI Feipeng¹, JIA Yubao¹, GU Zhujun¹, MAO Lingchen^{1*}, SHI Liu¹, LU Zhibo²

(1 School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2 College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In this study, a new resource assessment model was developed based on the theory of arable land classification and Nemerow index method. The model was parameterized using the values of soil fertility and clean indexes which were calculated from the concentrations of major nutrients and heavy metals respectively. The model was tested on the arable lands in six towns in Chongming of Shanghai. The output showed that all lands reached the standard line (≥ 80), with an average score of 86.01 in the range of 81.90–91.80. The lowest value, from Jianshe Town, was the result of relatively high heavy metal contamination. Based on this theory, a unit of ‘ideal mu’ was introduced into the model as a correction factor to the values of geometric area. This resource assessment model gives decision makers comprehensive information for better management of the arable lands with regard to food security and quality.

Key words: Ideal mu; Arable land; Assessment model; Value of land