

江苏省张家港市耕地地力定量化评价及其意义*

顾志权¹ 邵学新^{2,3} 钱卫飞¹ 黄春祥¹ 陆建华¹ 李意坚¹
黄 标^{2†} 张洪雁¹

(1 江苏省张家港市土壤肥料技术指导站,江苏张家港 215600)

(2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所),南京 210008)

(3 中国科学院研究生院,北京 100039)

QUANTITATIVE EVALUATION OF SOIL PRODUCTIVITY OF FARMLAND IN ZHANGJIAGANG CITY,JIANGSU PROVINCE AND ITS SIGNIFICANCE

Gu Zhiquan¹ Shao Xuexin^{2,3} Qian Weifei¹ Huang Chunxiang¹ Lu Jianhua¹ Li Yijian¹
Huang Biao^{2†} Zhang Hongyan¹

(1 Station of Soil and Fertilizer Technology in Zhangjiagang City, Zhangjiagang, Jiangsu 215600, China)

(2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

关键词 张家港市;耕地地力;定量化;评价
中图分类号 S158 文献标识码 A

耕地是土地的精华,是农业生产不可替代的重要生产资料,是保持社会和国民经济可持续发展的重要资源^[1]。耕地地力是指在当前管理水平下,由土壤本身特性、自然背景条件和基础设施水平等要素综合构成的耕地生产能力^[1]。对耕地地力进行评价是提高资源利用效率,推进农业结构调整,降低农业生产成本,指导科学施肥等工作的需要。

对耕地资源的评价方法很多,大体可归为两类:一类是定性的评价方法,如分级划等的等级法,另一类是半定量的,如指数法或参数法^[2,3]。定性的评价方法往往只给出一个比较抽象的概念性指标,如高、中、低,而不能进行数量化的评判^[4];在以往的半定量评价方法中,大多人为划分评价指标的数量级别以及各指标的权重系数,然后利用简单的加法、乘法合成一项综合性的指标评价耕地地力的高低^[5,6]。这些方法简便明确,直观性强,但其评价结果的准确性很大程度上取决于评价者的专业水平^[7]。近年来,定量

化评价土壤的方法越来越多^[8~10],特别是采用层次分析(AHP)法,特尔斐法和模糊综合评价法来研究和评价耕地地力逐渐兴起^[11,12],国家农业部也在一些典型地区运用该方法相继开展了耕地地力等级评价的试点工作^[13],这些方法可以在一定程度上减少评价者主观因素的影响^[14],同时又避免把专家的经验 and 理性判定排斥在外。

目前,对评价所需的土壤基础分析数据,大部分来源于全国 20 世纪 80 年代初的第二次土壤普查资料^[7,15],然而,自第二次土壤普查以来,随着农业生产和社会经济的不断发展,耕地的数量、质量及其利用已经发生了巨大的变化,原有的资料已不能满足现实的需要。因此,本研究以江苏省张家港市为例,在第二次土壤普查的基础上,开展新一轮的土壤调查,根据最新的耕地地力调查数据,运用层次分析法、特尔斐法和模糊综合评价法对该市的耕地地力现状进行了定量化评价研究,并比较了二次耕地地

* 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB410810)、中国地质科学院生态地球化学重点实验室项目(KL05-15)资助

† 通讯作者, E-mail: bhuang@issas.ac.cn

作者简介:顾志权(1955~),男,张家港市土壤肥料技术指导站站长,高级农艺师,长期从事土壤肥料技术与推广工作

收稿日期:2005-10-08;收到修改稿日期:2006-01-05

力评价的结果。

1 研究区域及方法

1.1 研究区域概况

张家港市位于江苏省南部长江三角洲冲积平原

上(图 1),北纬 $31^{\circ}43' \sim 32^{\circ}01'$,东经 $120^{\circ}22' \sim 120^{\circ}49'$,濒临长江,境内地势平坦,南部略高于北部的沿江地区。属北亚热带季风气候,年平均气温 15.5°C ,平均年降雨量 $1\,039\text{ mm}$ 。全市总面积 999 km^2 ,其中耕地面积约 $40\,915.5\text{ hm}^2$,人口约 85 万人。

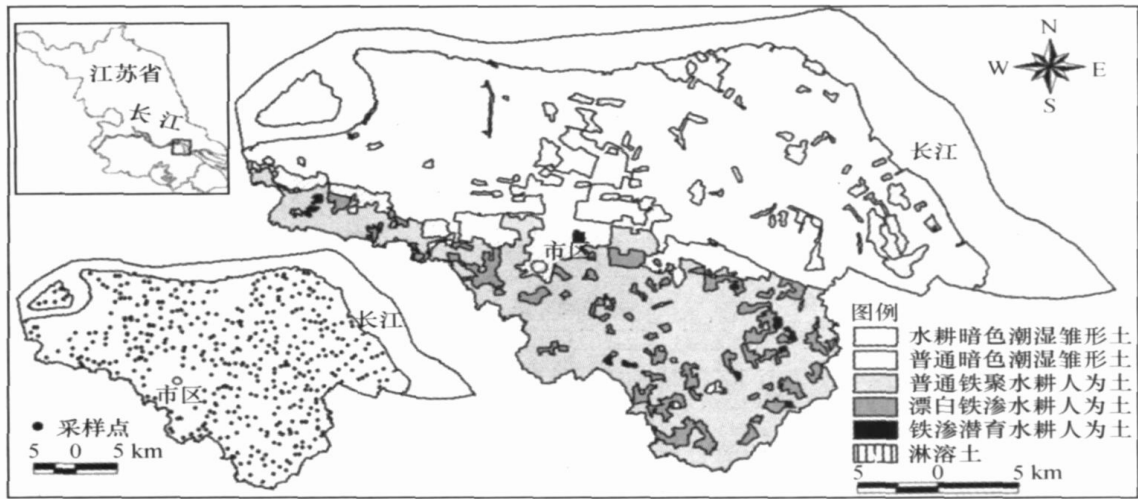


图 1 张家港市地理位置、采样点及土壤类型分布图

土壤类型主要有潮湿锥形土和水耕人为土两个亚纲^[16],前者主要分布于北部的沿江圩田地区,由长江冲积物母质发育而成,土壤一般呈碱性,质地为中、轻壤质,绝大部分为水耕暗色潮湿锥形土亚类,少部分普通暗色潮湿锥形土亚类。后者主要分布于南部的平田地区,由泻湖相沉积母质发育而成,土壤呈中至微酸性,质地较粘,为重壤和轻粘土,绝大部分为普通铁聚水耕人为土,少量漂白铁渗水耕人为土、铁渗潜育水耕人为土(图 1)。

1.2 资料来源

耕地地力评价资料主要包括三方面:(1)专题图件(包括张家港市 1:5 万的土壤图、土地利用现状图、行政区划图等)和土壤母质、质地、耕地排灌条件等资料来源于第二次土壤普查和相关的土地管理与水利等政府部门;(2)野外调查资料:在全国第二次土壤普查农化样点的基础上,根据每个样点代表约 10 hm^2 耕地面积的精度,确定不同土壤类型和不同地区的采样点,共采集土壤耕层样品 431 个(图 1)。采样的同时尽可能详细地获取该地的地形地貌、土

层厚度、灌溉条件等信息,同时用 GPS 记录采样点的经纬度;(3)室内分析资料:对采集的样品经过相应处理后,按标准方法^[17]分析和测定评价所需的指标,包括土壤 pH、有机质、CEC、有效磷、缓效钾、有效硅、水溶态硼、有效锌等。

1.3 耕地地力综合评价方法

耕地地力评价是在已经建立的张家港市耕地资源数据库的基础上进行的。评价方法主要参考文献[11],但对某些步骤稍作调整。具体步骤包括:1)选择评价要素;2)计算单因素评价评语;3)计算单因素的权重;4)运用加法模型计算每个采样点耕地地力综合指数(IFDI),采用逆距离加权法(IDW),借助 Arcview GIS(3.2)软件进行空间插值及制图;5)确定地力综合指数分级方案,计算出每个等级的耕地面积。

2 结果与讨论

2.1 张家港市耕地地力综合评价要素及其评价评语
根据省级专家组从全国地力指标体系中进行筛

(1) 沙洲县土壤普查办公室,苏州市农业局,江苏省土壤普查办公室. 江苏省沙洲县土壤志. 1984

选,再结合当地的实际情况,选取了16项指标(地貌类型、耕层厚度、质地、pH、CEC、有机质、有效磷、缓效钾、有效锌、水溶态硼、有效硅、障碍层类型、障碍层出现位置、障碍层厚度、灌溉保证率和排涝模数)作为该市耕地地力评价的要素。

根据模糊数学的理论,将选定的评价指标与耕地地力的关系分为戒上型(有效磷、缓效钾、有效锌、水溶态硼、有效硅、障碍层出现位置、CEC、有机质、耕层厚度、灌溉保证率)、直线型(障碍层厚度)、峰型(pH)和概念型(障碍层类型、质地、地貌类型、排涝模数)4种。对前三种类型,用特尔斐法对每个评价指标的一组实测值评估出相应的一组隶属度^[18],然后运用模糊评价法将每个指标的二

组数据进行隶属函数的拟合^[7, 19]。对概念型指标,采用特尔斐法直接给出隶属度。对前三种隶属函数进行了显著性检验,均达到0.05概率水平上的显著相关性。

2.2 耕地地力的主要影响指标

首先,采用层次分析法^[20, 21],根据专家确定的指标体系和几个指标之间的关系构造一个层次结构(图2)。然后,请专家比较同一层次各因素对上一层次的相对重要性,给出数量化的评估。专家们评估的初步结果经合适的数学处理后反馈给各位专家进行修改或确认。经过多轮反复形成最终的判断矩阵。最后进行层次总排序一致性检验,检验通过后,计算出每项要素的组合权重(表1)。

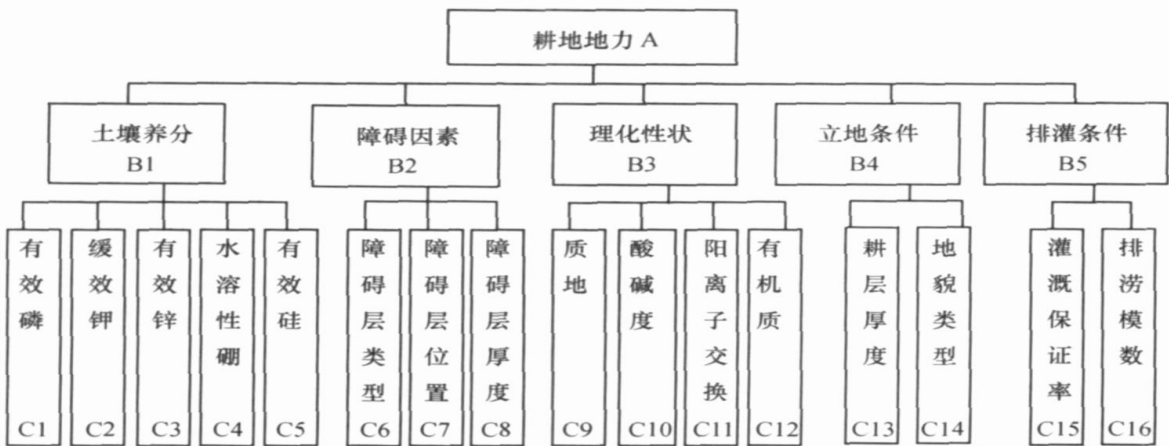


图2 张家港市耕地地力评价要素层次结构图

表1 层次分析结果表

层次	土壤养分 B1	障碍因素 B2	理化性状 B3	立地条件 B4	排灌条件 B5	组合权重
层次	0.0604	0.1701	0.2632	0.2126	0.2936	C_iA_i
有效磷 C1	0.1426					0.0086
缓效钾 C2	0.4809					0.0291
有效锌 C3	0.1190					0.0072
水溶态硼 C4	0.1005					0.0061
有效硅 C5	0.1570					0.0095
障碍层类型 C6		0.1238				0.0211
障碍层位置 C7		0.4398				0.0748
障碍层厚度 C8		0.4365				0.0743
质地 C9			0.0856			0.0225
pH C10			0.1875			0.0494
阳离子交换 C11			0.2216			0.0583
有机质 C12			0.5053			0.1330
耕层厚度 C13				0.2941		0.0625
地貌类型 C14				0.7059		0.1501
灌溉保证率 C15					0.2410	0.0707
排涝模数 C16					0.7590	0.2228

如表 1 所示,土壤管理(B5)、理化性状(B3)、立地条件(B4)这三个准则层(B)对耕地地力指数(A)的权重分别为 29.36%、26.32%、21.26%,合计贡献达 76.94%。

在排灌条件中,排涝模数(C16)的权重最大,达 75.9%,对耕地地力指数的组合权重为 22.28%;立地条件中的地貌类型(C14)对耕地地力指数的组合权重为 15.01%。有机质(C12)在理化性状的贡献最大,达 50%以上,它对耕地地力指数的组合权重为 13.30%。排涝模数、地貌类型和有机质三项指标对耕地地力的合计权重达 50%以上,在 16 项评价指标中影响最大。

张家港市境内水系纵横密布,是一个复杂的河网地区,由于地处长江河口段,境内河流水位受长江潮汐影响十分显著,作物产量遭受夏季汛期威胁,因而需要一个较好的排水系统来保证作物的产量,从而使得排涝模数对耕地地力指数具有较高的权重。地貌上张家港市可分三种类型:小丘陵、平田和圩区。由于地貌类型与成土母质的差异,形成了耕地土壤的不同种类,也造成了耕地地力的明显差异。土壤有机质的含量水平直接影响着土壤对作物的供肥能力、土壤耕性、通气性和透水性等,从而影响耕地的生产能力。因此,以上三者构成了评价张家港

市耕地地力的三大重要指标。

尽管土壤养分特别是土壤速效养分与作物生长及产量密切相关,但本研究发现,土壤养分(B1)对耕地地力指数的权重很小,仅为 6.04%。在该组中的有效磷(C1)、缓效钾(C2)、有效锌(C3)、水溶态硼(C4)和有效硅(C5)这五项指标不是耕地地力的主要限制因子。这是因为耕地地力反映的是耕地在土壤本身特性、自然背景条件和基础设施水平等要素综合构成下的潜在生产能力,而根据专家的经验,以上这些土壤养分的平衡都可以通过施肥来实现^[22]。

2.3 耕地地力的空间分布

采用加法模型计算出每个采样点土壤的 IFI(综合地力指数)值,其计算公式为: $IFI = F_i \times C_i$ ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$),式中, F_i 为第 i 个因素评语; C_i 为第 i 个因素的组合权重。

根据每个样点的 IFI 值,借助 Arcview GIS (3.2) 软件,采用逆距离加权法(IDW)进行空间插值及制图(图 3),再根据定级标准计算出每个等级的耕地面积(表 2)。各等级地力指数范围划分采用均匀等级法^[12]:一等地 $IFI \geq 0.91$,二等地 $0.81 \leq IFI < 0.90$,三等地 $0.71 \leq IFI < 0.80$,四等地 $0.61 \leq IFI < 0.70$ 。

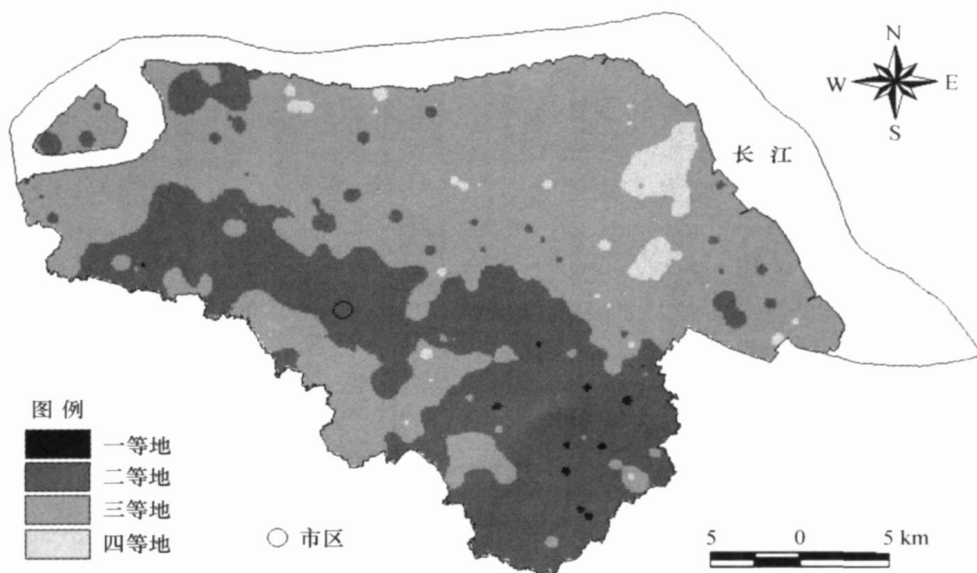


图 3 张家港市综合地力评价地力等级分布图

表2 张家港市耕地综合地力评价各等级的分布面积及比例(hm²)

级别	雏形土		人为土		全市	
	面积	%	面积	%	面积	%
一等地	0.2	0.00	75.3	0.57	75.4	0.18
二等地	4649.8	16.74	9253.9	70.47	13903.7	33.98
三等地	21523.0	77.46	3785.2	28.83	25308.1	61.85
四等地	1611.6	5.80	16.6	0.13	1628.2	3.98

从评价结果看(表2),张家港市耕地资源以三等地为主,约25308.1 hm²,占整个耕地面积的61.85%,其次为二等地,面积为13903.7 hm²,占整个耕地面积的33.98%,约1628.2 hm²的四等地,一等地则更少。地力等级在不同的土壤类型中的分布不均匀,二等地以人为土为主,占张家港市总人为土面积的70.47%,三等地以雏形土为主,占张家港市总雏形土面积的77.46%,有一定面积的四等地主要是雏形土(表2)。

耕地地力在不同土壤类型中的分布差异与地貌类型、有机质等评价因素在空间上分布的变化关系密切。由于地貌类型与成土母质的差异,形成了耕地土壤的不同种类。土壤有机质含量的变化受耕作制度和耕地土壤有机物投入数量的影响,在张家港市人为土区由于长期实行稻麦(水旱)轮作,多年进行秸秆全量机械化还田,对土壤有机质的积累有利;而雏形土区历史上曾经长期实行麦棉轮作耕作制度,不利于土壤有机质的积累。土壤有机质含量人为土区明显高于雏形土区。

2.4 耕地地力的时间变化

在1980年第二次土壤普查时也进行过土壤质量评价^[1],虽然当时考虑的评级项目比本次研究得要少,但主要项目及评级标准差别不大,各等级的判断标准和范围也较接近,为了解20多年来土壤整体的变化情况,将二次评价结果作一简单的比较。1980年土壤质量主要为三级,占普查面积的64.9%,其次为四级,占20%,二级占15%,一级很少,仅0.13%。可见,20多年来,土壤的地力质量趋于好转,二等地明显增加,四等地明显减少。

各评价项目中,除了障碍因素和立地条件与第二次土壤普查时变化不大外,其他因子都有了一定的变化。张家港市自第二次土壤普查以来进行了以灌排工程和平整土地为主的耕地基础设施建设,进入20世纪90年代,在大搞丰产方的过程中,推广了水泥衬砌的永久性渠道,并作为标准化农田建设的重要内容,达到易灌易排的要求,这使农田的排灌条

件有了很大的改进;据本研究431个耕层土样的分析结果,土壤有机质平均含量与1980年的相比增加1 g kg⁻¹,土壤有效磷、有效锌、水溶态硼含量和阳离子交换量总体也表现上升趋势,这些都有利于耕地地力的提高。虽然土壤缓效钾、pH的降低会导致耕地地力降低,但它们的权重较小,并没有对耕地地力产生明显的影响。

研究结果表明在经济高速发展和人口压力增大的情况下,通过合理的农业生产管理,可以在一定程度上提高耕地的生产能力,促进粮食产量的增加,从而缓解由于耕地资源减少和人口增加导致的人粮矛盾。此外,在人地、人粮矛盾异常尖锐的长三角地区^[23],除关注影响粮食生产产量因素的变化外,还应关注土壤中某些影响粮食生产安全因素的变化,例如,人为土pH的降低应引起足够重视。因为pH的降低会提高土壤重金属的有效性,从而增加农产品中有害成分的含量^[24]。

总之,为了促进今后该地区耕地地力的进一步提高,应将重点放在完善农田基础设施和提高土壤有机质含量上,同时挖掘其他因子的潜力,如提高土壤缓效钾的含量,控制人为土pH的较大幅度降低等。

参考文献

- [1] 李涛. 山东省耕地类型区划分及地力评价研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 2003, 34(2): 217~222
- [2] 朱鹤健, 何宜庚主编. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1991. 276~280
- [3] 王克孟, 马玉军. 生态指数法在土壤评价中的应用. 土壤, 1992, 24(6): 289~292
- [4] 耿兴元, 毛达如, 曹一平. 土壤肥力模糊量化评价(判)系统的建立. 北京农业大学学报, 1995, 21: 23~28
- [5] 杨艳生, 屈家铭. 县一级土壤资源评价的研究. 土壤专报, 1983, 37: 57~66
- [6] 陆彦春, 蔡祖聪, 徐琪. 太湖地区水稻土肥力的综合评价. 农村生态环境, 1987, 1: 7~11
- [7] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995, 32(4): 363~369
- [8] 秦明周, 赵杰. 城乡结合部土壤质量变化特点与可持续利用

- 对策——以开封市为例. 地理学报, 2000, 55(5): 545~554
- [9] 张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 等. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价. 土壤通报, 2003, 34(6): 493~497
- [10] Sun B, Zhou S L, Zhao Q G. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma*, 2003, 115: 85~99
- [11] 张炳宁, 张月平, 张秀美, 等. 基本农田信息系统的建立及其应用 I. 耕地地力等级体系研究. 土壤学报, 1999, 36(4): 510~521
- [12] 牛彦斌, 许翀, 秦双月, 等. GIS 支持下的耕地地力评价方法研究. 河北农业大学学报, 2004, 27(3): 84~88
- [13] 王瑞燕, 赵庚星, 李涛. 山东省青州市耕地地力等级评价研究. 土壤, 2004, 36(1): 76~80
- [14] 靳之更, 曲新华, 孙平. 土地资源评价方法浅析. 国土与自然资源研究, 1997, 3: 20~22
- [15] 唐晓平. 四川紫色土肥力的 Fuzzy 综合评判. 土壤通报, 1997, 28(3): 107~109
- [16] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类检索. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001
- [17] 鲁如坤编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [18] Richey J S, Mar B W, Horth R R. The Delphi technique in environmental assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 1985, 23: 89~94
- [19] McBratney A B, Odeh I O A. Application of fuzzy sets in soil science: Fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma*, 1997, 77: 85~113
- [20] 傅伯杰. 土地评价的理论与实践. 北京: 中国科学技术出版社, 1991
- [21] 石常蕴, 周慧珍. GIS 技术在土地质量评价中的应用——以苏州市水田为例. 土壤学报, 2001, 38(3): 248~255
- [22] Zhang B, Zhang Y, Chen D, *et al.* A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*, 2004, 123: 319~331
- [23] 徐梦洁, 赵其国. 长江三角洲地区农业可持续发展评价及研究. 土壤, 2000, 32(3): 135~139
- [24] 黄昌勇主编. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000