

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

张炳宁 张月平 张秀美 刘宝喜

(扬州市土壤肥料站, 江苏扬州 225002)

刘林旺 徐茂 王绪奎 沈其荣

(江苏省土壤肥料站, 江苏南京 210008)

(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210019)

摘要 本文以高邮市为评价区,建立了GIS支持下的基本农田信息系统,对拥有的资料进行系统的动态的管理;应用相关分析、因子分析、模糊评价、层次分析等数学分析原理,选择评价要素、构造层次结构、建立单因素评价模型以及计算单因素的权重,建立了一种定性与定量相结合的耕地地力等级评价的方法。评价结果表明:利用计算机技术可以完全依据耕地自然要素评价地力,由此获得的评价结果既克服了凭经验确定分级指数主观方法的弊端,又避免了纯数学方法带有较大盲目性的弱点,能更准确地反映耕地的地力等级差异。

关键词 基本农田,信息系统,地力等级,评价,高邮市

中图分类号 S126, F301.2

地力等级评价涉及的影响因素多,而且许多因素难以用定量的方法研究,评价方法的标准化一直是世界各国学术界重点研究的课题,美国、加拿大等发达国家以及联合国粮农组织(FAO)已建立了各自的耕地评价体系^[1~2]。建国几十年来,我国在耕地地力等级评价方面也做了大量的工作,并在不同的区域进行着广泛的应用与实践^[3~5]。但是,由于我国人多地少,耕地极度地分散,评价的难度及工作量都非常大,迄今没有一个统一的地力等级评价方法。作者通过对高邮市基本农田地力等级的评价,对耕地地力等级的评价方法进行了初步的探索。

1 评价区概况及资料采集

1.1 评价区概况

高邮市地处淮河下游,京杭大运河纵贯南北,为河网平原地区,副热带湿润气候,四季分明,雨量充沛,雨热同季,十分有利于农业生产,是我国重要的粮、棉、油生产基地之一。全市总人口83.15万人,总面积1962.58km²,耕地8.16万hm²。近10多年来,由于土壤的产出长期大于投入,土壤肥力持续下降,土壤退化已成为农业持续发展的主要限制因素之

一。

1.2 资料来源

土壤资料主要取自全国第二次土壤普查(1979年)成果资料以及自1979年以来土壤肥力定位监测点资料和5年一次的土壤农化样品普查资料。鉴于近10多年来由于生产体制的改变,耕地的部分性状发生了较大的变化,1996年10月组织了6个专业组,对评价区内的32个乡镇进行了实地踏勘,共开挖典型剖面26个,采集农化样品2612个。对耕层厚度,速效磷、速效钾、有效锌、有效硼、有效硅的含量进行了测定,而土壤质地等较稳定的性状仍用第二次土壤普查的资料。

环境及社会经济等要素的资料来源于各有关部门1997年底统计资料。如土地管理部门的土地利用总体规划、基本农田保护区划定资料;水利部门的水系及农田基本建设情况;统计部门的人口、产量统计资料等等。

2 评价方法及技术流程

通过建立GIS支持下的基本农田管理信息系统,对收集的资料进行系统的动态的管理,并综合应用相关分析、因子分析、模糊评价、层次分析等数学原理,建立了一种定性与定量相结合的耕地生产潜力评价方法(图1)。

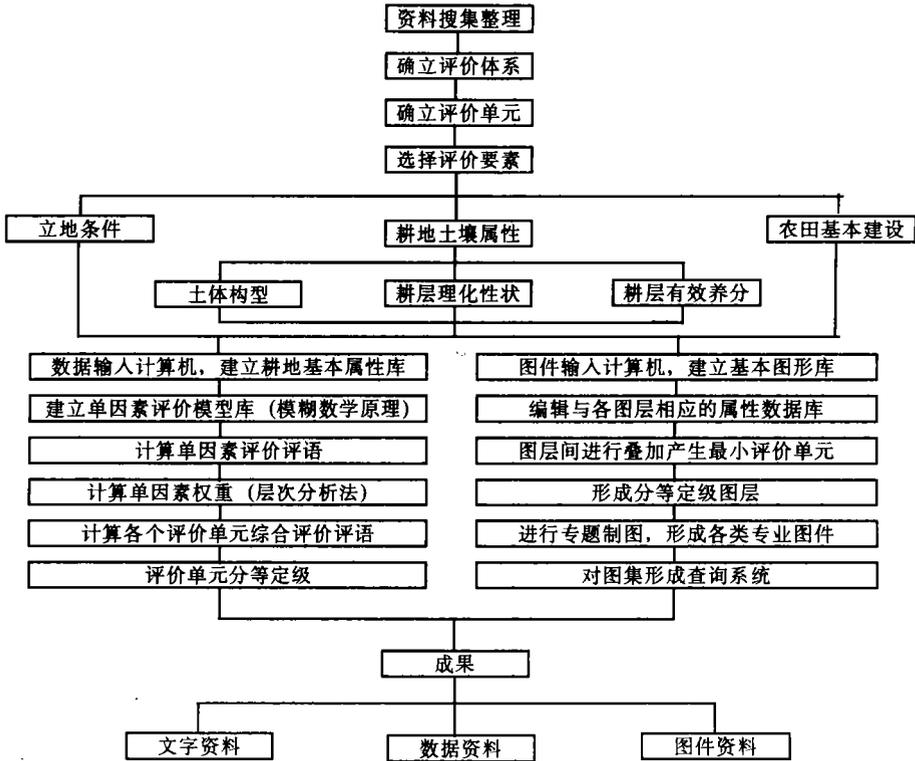


图1 耕地分等定级技术流程图

Fig.1 Technique procedure on the grade of cultivated land

2.1 建立基本农田管理信息系统(图 2)

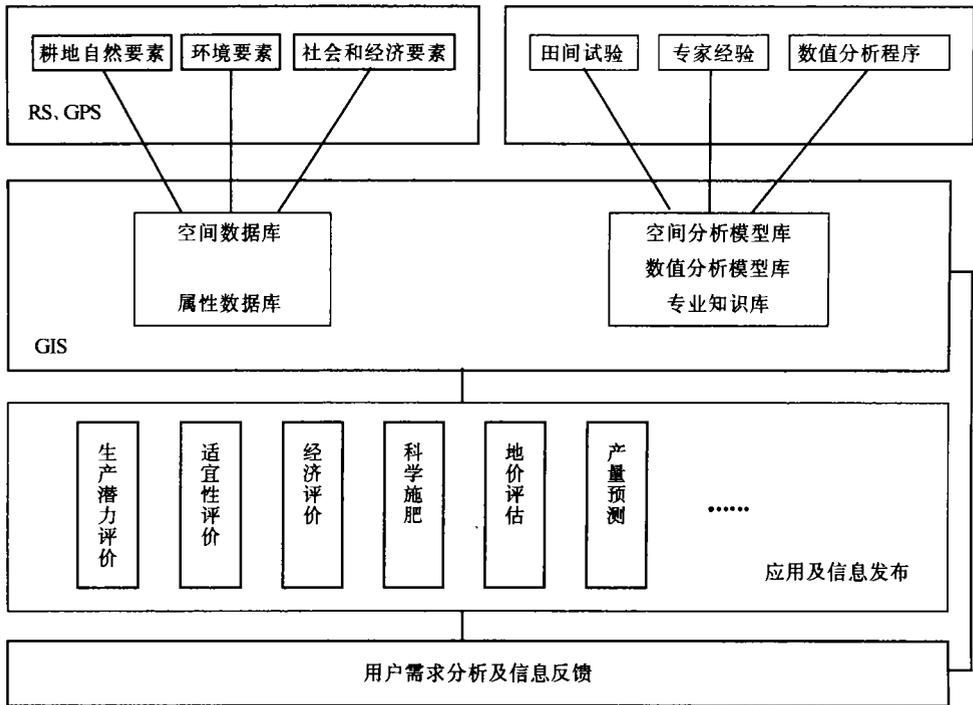


图2 基本农田管理信息系统

Fig.2 Management information system on the basic farmland

2.2 确定评价单元

本文以土壤图(土种)、基本农田保护块图以及土地利用现状图叠加产生的图作为耕地地力等级评价底图,底图的图斑即为基础评价单元。每个单元空间界线及行政隶属关系明确,地貌类型及土壤类型一致,利用方式及耕作方法基本相同。

2.3 选择评价要素

通过与产量的相关程序,选择了 19 个自然性状作为评价的要素,并根据各要素在因子载荷矩阵中的分布,构造所选要素的层次结构(图 3)。

2.4 资料处理

数字化各个专题图层并建立相应的属性数据库。将土壤图、基本农田保护块图以及土地利用现状图叠加,生成基本评价单元图及其属性数据库。用基本评价单元图与其它专题图(如水利分区图、地貌类型图等)叠加,获取挂接在这些图层上的属性数据,使得基本评价单元图的每个图斑都有相应的 19 个评价要素的属性资料。

2.5 单因素评价模型:模糊评价法^[6~7]

各要素与耕地生产能力的关系主要分为戒上型曲线^[3]、戒下型曲线、峰型曲线、直线以及概念型 5 种类型。对于前四种类型,可根据唯一差异原则,通过田间试验的方法拟合经验公式(表 1),概念型要素的评价通过请专家打分的方法直接给出评语。鉴于质地对某些

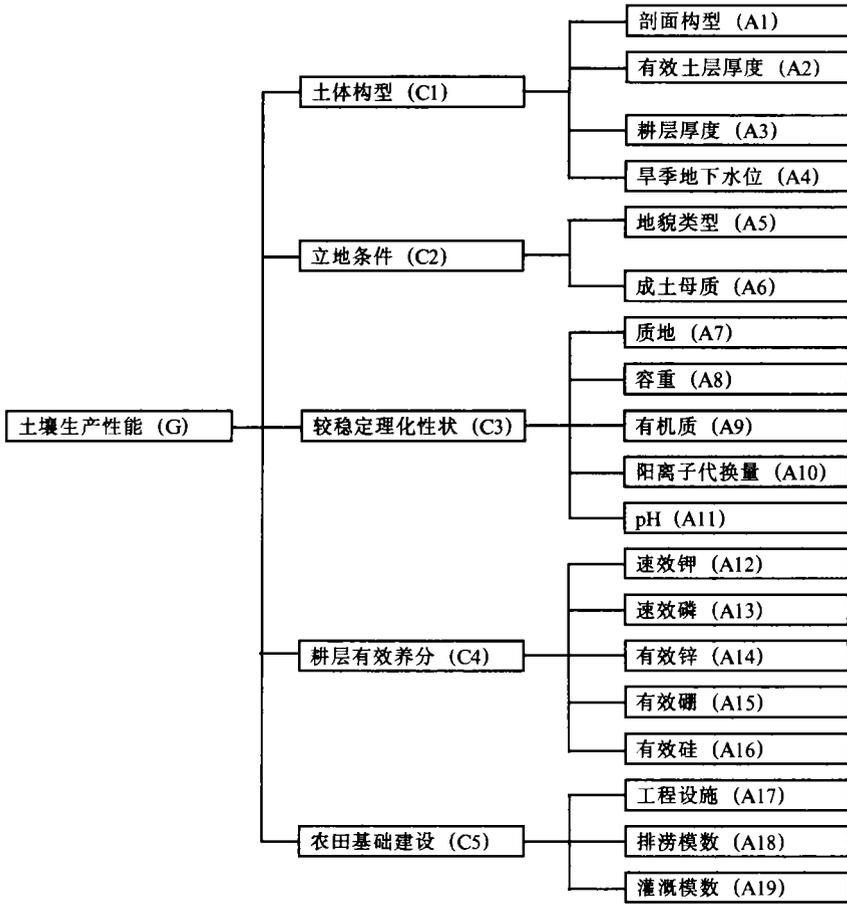


图3 耕地要素层次结构图

Fig.3 Hierarchic structure of cultivated land factors

要素的影响,对有机质、阳离子代换量、速效钾等要素分别按不同质地类型拟合经验公式。

(1) 戒上型函数模型

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

式中, y_i 为第 i 个因素评语; u_i 为样品观测值; c_i 为标准指标; a_i 为系数; u_i 为指标下限值。

(2) 戒下型函数模型

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

式中, u_i 为指标上限值。

(3) 峰型函数模型

$$y_i = \begin{cases} 0, & u_i > u_{i1} \text{ 或 } u_i < u_{i2} \\ 1/(1 + a_i(u_i - c_i)^2), & u_{i1} < u_i < u_{i2} \\ 1, & u_i = c_i \end{cases}$$

式中, u_{i1} 、 u_{i2} 分别为指标上、下限值。

表1 要素的类型及其经验公式

Table 1 Type and model of the factors

函数类型	项目	经验公式	C	U_i
Function	Item	Empirical formula		
戒上型	有效土层厚度 (cm)	$y=1/(1+4.29 \times 10^{-4}(u-c)^2)$	$c=100$	$u_i < 10$
戒上型	耕层厚度 (cm)	$y=1/(1+0.0077(u-c)^2)$	$c=20$	$u_i < 5$
戒上型	旱季地下水深度(平田) (cm)	$y=1/(1+5.73 \times 10^{-4}(u-c)^2)$	$c=80$	$u_i < 10$
戒上型	旱季地下水深度(低洼田) (cm)	$y=1/(1+5.73 \times 10^{-4}(u-c)^2)$	$c=80$	$u_i < 10$
戒上型	旱季地下水深度(低丘平岗) (cm)	$y=0.6$		
戒上型	有机质(中壤-紧砂) (%)	$y=1/(1+1.0735(u-c)^2)$	$c=2.0$	$u_i < 0.5$
戒上型	有机质(重壤-重粘) (%)	$y=1/(1+1.0735(u-c)^2)$	$c=2.6$	$u_i < 1$
戒上型	阳离子交换量(中壤-紧砂) (cmol/kg)	$y=1/(8.98 \times 10^{-3}(u-c)^2)$	$c=20$	$u_i < 2$
戒上型	阳离子交换量(重壤-重粘) (cmol/kg)	$y=1/(4.16 \times 10^{-3}(u-c)^2)$	$c=25$	$u_i < 5$
戒上型	速效钾(中壤-紧砂) (mg/kg)	$y=1/(1+5.84 \times 10^{-4}(u-c)^2)$	$c=100$	$u_i < 10$
戒上型	速效钾(重壤-重粘) (mg/kg)	$y=1/(1+5.84 \times 10^{-4}(u-c)^2)$	$c=120$	$u_i < 20$
戒上型	速效磷(中壤-紧砂) (mg/kg)	$y=1/(1+4.29 \times (u-c)^2)$	$c=10$	$u_i < 2$
戒上型	速效磷(重壤-重粘) (mg/kg)	$y=1/(1+4.29 \times (u-c)^2)$	$c=12$	$u_i < 5$
戒上型	有效锌(mg/kg)	$y=1/(1+4.29(u-c)^2)$	$c=1.0$	$u_i < 0.2$
戒上型	有效硼(mg/kg)	$y=1/(1+17.18(u-c)^2)$	$c=0.5$	$u_i < 0.05$
戒上型	有效硅(mg/kg)	$y=1/(4.29 \times 10^{-4}(u-c)^2)$	$c=100$	$u_i < 20$
戒下型	容重(中壤-紧砂) (g/cm ³)	$y=1/(1+17.18(u-c)^2)$	$c=1.2$	$u_i > 1.6$
戒下型	容重(重壤-重粘) (g/cm ³)	$y=1/(1+17.18(u-c)^2)$	$c=1.1$	$u_i > 1.8$
峰型	pH	$y=1/(1+1.0734(u-c)^2)$	$c=7$	$u_i=2, u_i=12$
直线型	排涝模数 (m ³ /(s · km ²))	$y=u$	$c=1$	$u_i < 0.1$
直线型	灌溉模数 (m ³ /(s · hm ²))	$y=0.1u$	$c=0.15$	$u_i < 0.015$

(4) 概念型要素描述, 见表 2~表 6。

表2 地貌类型隶属函数及其描述

Table 2 Membership function and description of topographical features type

隶属函数	描述	隶属函数	描述
Membership function	Description	Membership function	Description
1	沿运高平田	0.4	荡田
0.8	南片沙土平田区	0.2	岗地
0.6	低洼圩区		

表3 成土母质隶属函数及其描述

Table 3 Membership function and description of parent material

隶属函数 Membership function	描述 Description	隶属函数 Membership function	描述 Description
1	黄泛冲积物;湖相沉积物	0.6	长江老冲积物
0.8	下蜀黄土		

表4 剖面构型隶属函数及其描述

Table 4 Membership function and description of profile configuration

隶属函数 Membership function	描述 Description	
1	A-P-W-B	A-B ₁ -B ₂
0.8	A-P-W _g -B _g (60cm以下出现障碍层)	
0.6	A-P-W _g -G	A-P-W-E
0.4	A-P-E-B	A-P-S-B
0.2	A-P _a -B _a	A-P _g -G
0.1	A-G	A-C

(土壤层次尚未分化)

表5 质地隶属函数及其描述

Table 5 Membership function and description of texture

隶属函数 Membership function	描述 Description	隶属函数 Membership function	描述 Description	隶属函数 Membership function	描述 Description
1	重壤	0.6	中粘	0.3	砂壤
0.8	中壤	0.5	轻壤	0.2	紧砂
0.7	轻粘	0.4	重粘	0.1	松砂

表6 工程设施隶属函数及其描述

Table 6 Membership function and description of engineering

隶属函数 Membership function	描述 Description
1	工程设施很好,沟渠配套、标准高,灌排动力足,无旱涝灾害
0.8	工程设施好,沟渠标准较高,灌排动力较足,可能发生短时间旱、涝或渍害
0.6	工程设施较好,沟渠标准一般,灌排动力尚可,易发生短期旱、涝灾害
0.4	工程设施较差,灌排不分,水系标准较低,灌排动力不足,旱灾或渍害时间较长
0.2	工程设施差,沟渠不配套,水系标准差,无灌排动力,易旱易涝且持续时间长

2.6 计算单因素权重: 层次分析法^[8]

(1) 建立层次结构, 见图 3。

(2) 构造判断矩阵, 对于目标层 G(耕地生产性能)而言, 在准则层 C 中, 参照相关分析以及因子分析的结果, 请有关专家和有实践经验的老农, 分别对土体构型(C1)、立地条件(C2)、耕层较稳定理化性状(C3)、耕层有效养分(C4)、农田基础建设(C5)的重要性作出判断, 得到准则层 C 对于目标层 G 判断矩阵^[8]如下:

G	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	7	3	5	3
C2	1/7	1	3/7	5/7	3/7
C3	1/3	7/3	1	5/3	1
C4	1/5	7/5	3/5	1	3/5
C5	1/3	7/3	1	5/3	1

同理, 分别得到指标层 A 对于准则层 C 的判断矩阵如下:

C1	A1	A2	A3	A4	C2	A5	A6
A1	1	5	3	7	A5	1	3
A2	1/5	1	3/5	7/5	A6	1/3	1
A3	1/3	5/3	1	7/3			
A4	1/7	5/7	3/7	1			
C3	A7	A8	A9	A10	A11		
A7	1	5	3	5	7		
A8	1/5	1	3/5	1	7/5		
A9	1/3	5/3	1	5/3	7/3		
A10	1/5	1	3/5	1	7/5		
A11	1/7	5/7	3/7	5/7	1		
C4	A12	A13	A14	A15	A16		
A12	1	3	5	5	7		
A13	1/3	1	5/3	5/3	7/3		
A14	1/5	3/5	1	1	7/5		
A15	1/5	3/5	1	1	7/5		
A16	1/7	3/7	5/7	5/7	1		
C5	A17	A18	A19				
A17	1	3	3				
A18	1/3	1	1				
A19	1/3	1	1				

(3) 层次单排序及层次总排序, 见表 7。

表7 层次分析结果表

Table 7 The result of analytic hierarchy process (AHP)

层次A Hierarchy A	层次C Hierarchy C					组合权重 Combinatorial weight
	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum C_i A_i$
剖面构型	0.4976	0.0711	0.1659	0.0995	0.1659	0.2968
土层厚度	0.11932					0.0593
耕层厚度	0.19886					0.0989
地下水水位	0.08523					0.0424
地貌类型		0.75				0.0533
成土母质		0.25				0.0177
质地			0.53299			0.0884
容重			0.10660			0.0176
有机质			0.17766			0.0294
代换量			0.10660			0.0176
pH			0.07615			0.0126
速效钾				0.53299		0.0530
速效磷				0.17766		0.0176
有效锌				0.10660		0.0106
有效硼				0.10660		0.0106
有效硅				0.076158		0.0075
工程设施					0.6	0.0995
排涝模数					0.2	0.0331
灌溉模数					0.2	0.0331

(4) 层次总排序的检验

$$CI = -0.0000033$$

$$RI = 0.58$$

$CR = CI/RI = 0.0000033/0.58 = 0.00000057 \ll 0.1$, 层次排序的计算结果具有满意的一致性。其中 CI = 判断矩阵的一致性指标, RI = 同阶平均随机一致性指标, CR = 随机一致性比率。

2.7 计算耕地生产性能综合指数 (IFI): 累加型模型

$$IFI = \sum B_i \times A_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: IFI (Integrated Fertility Index) 代表耕地生产性能综合指数; B_i = 第 i 个因素评语; A_i = 第 i 个因素的组合权重。

2.8 分级标准(表 8)

表8 耕地等级标准

Table 8 Criteria of cultivated land grade

级别 Grade	生产性能综合指数 IFI	级别 Grade	生产性能综合指数 IFI
一等地	≥0.91	六等地	0.41~0.50
二等地	0.81~0.90	七等地	0.31~0.40
三等地	0.71~0.80	八等地	0.21~0.30
四等地	0.61~0.70	九等地	0.11~0.20
五等地	0.51~0.60	十等地	≤0.10

3 结果与讨论

3.1 评价结果与检验

3.1.1 评价结果 将试区内 8.16 万 hm^2 耕地共划分为 7367 个评价单元,分别计算出每个单元的 IFI 值,对照 2.8 的分级标准,确定每个评价单元的地力等级,评价的汇总结果见表 9。

表9 高邮市耕地地力等级统计表

Table 9 Different grade of cultivated land of Gaoyou city (hm^2)

等级 Grade	一级保护区 Farm land-I	二级保护区 Farm land-II	小计 Total	%
一	2167.8	4.9	2172.7	2.7
二	27654.8	531.3	28186.1	34.5
三	32523.3	1004.5	33527.8	41.1
四	7960.6	64.1	8024.7	9.8
五	8885.2	262.6	9147.8	11.2
六	521.2	9.3	530.5	0.7
合计	79712.9	1876.7	81589.6	100.0

3.1.2 评价结果检验 农业部于 1996 年制定了“全国耕地类型区、耕地地力等级划分”农业行业标准(报批稿)。该标准根据粮食单产水平将全国耕地划分为十个地力等级。年单产大于 $13500\text{kg}/\text{hm}^2$ 为一等地;小于 $1500\text{kg}/\text{hm}^2$ 为十等地,每 1500kg 为一个等级。我们用产量划分的地力等级(某一产量水平上的行政村个数)与依据耕地自然要素划分的地力等级(某一地力等级基础评价单元的个数)进行相关分析的结果表明(表 10),两者的相关系数为 0.90,达极显著相关的水平($R_{(4,5;0.01)} = 0.811$)。实地踏勘的 26 个典型剖面经济产量(1997 年)与生产性能综合指数进行相关分析的结果与上述结果一致,剖面所在田块的生产性能综合指数与经济产量也呈极显著的直线相关,相关系数为 0.6541^{**} , $R_{(1,24;0.01)} = 0.496$ 。但就具体田块而言,一级地一块田的产量为 $14340\text{kg}/\text{hm}^2$,而五级地中最高产量也达到 $14205\text{kg}/\text{hm}^2$ (表 11)。以上结果说明,从宏观上看,在一个气候条件、耕作方法基本相同的地区范围内,依据经济产量了解本地区耕地生产性能是可行的。但是,对于具体田

块而言农民的经济能力、文化水平、思想意识以及采用的技术措施都对耕地的实际产量起着重要影响,适当的栽培措施能够在低产土壤上获得较高的产量;反之,不恰当的人为因素可能会限制土壤潜在肥力的发挥,用耕地自然属性评价的结果更能反映土壤潜在的生产能力。

表10 耕地分等定级结果与部颁标准对照表

Table 10 Comparison of the grade on the cultivated land with the standard issued by the Agriculture Department

部颁标准				当地标准			
Department standard				Local standard			
等级	产量	村(个)	%	等级	IFI	单元(个)	%
Grade	Output(kg/hm ²)	Village		Grade		Unit	
一	>15000	14	2.3	一	≥0.91	201	2.7
一	13500~15000	118	19.7	二	0.81~0.90	2283	31.0
二	12000~13500	373	62.2	三	0.71~0.80	3116	42.3
三	10500~12000	92	15.3	四	0.61~0.70	868	11.8
四	9000~10500	2	0.3	五	0.51~0.60	845	11.5
五	<9000	1	0.2	六	0.41~0.50	54	0.7
小计		600	100.0			7367	100.0

表11 典型剖面分等定级统计表

Table 11 Grade of the typical profile (kg/hm² · a)

等级	样点数	平均产量	变幅
Grade	Sample	Average output	Range
1	1	14340	14340
2	14	15120	13080~18195
3	4	13215	12540~15720
4	5	12255	10920~13260
5	2	12803	11400~14205
小计	26		

3.2 讨论

1. GIS 兼有管理空间数据和属性数据的能力,是进行地力等级评价和管理的有效工具。本文通过建立 GIS 支持下的基本农田管理信息系统,进行耕地地力等级的评价,使土壤本身的属性数据能在二维空间上表达,充分体现了土壤作为一个自然体在空间上自然分布的特征,也反映了社会因素的空间差异和人为因素对土壤的影响,其评价结果更加科学、合理。

2. 本文根据与产量相关的密切程度选择了 19 个自然要素作为参评因子;根据各个要素在因子载荷矩阵中的组合情况构造层次分析模型;分别应用模糊评价法计算单因素的隶属函数以及层次分析法计算单因素的权重,既克服了经验确定分级指数主观方法的弊端,又避免了纯数学方法带有较大盲目性的弱点。客观地反映了地力等级的差异。不同地区可以根据当地的自然条件及田间试验结果,选择当地的要素组合及计算相应的隶属函

数和权重系数。例如,对于滨海地区而言,土壤盐分含量是一个必不可少的评价要素,而地貌类型由于完全一致可以不予考虑。

3. 本文以土壤图、基本农田保护块图以及土地利用现状图叠加形成的图斑作为评价的基础单元,每一个田块都能在图上找到确切的位置,在属性库中找到相应的属性数据,极大地提高了评价结果的实用价值,并为开展其它各种专业性评价奠定了良好的基础。如为地产交易市场服务的土地价格评价;为土地利用总体规划服务的土地适宜性评价;为合理施肥服务的耕地营养状况评价等等。

4. 在一个县的范围内,气候因素的变异不大,未列入参评因子。在一个地区乃至一个省的范围内,气候的差异对耕地的生产能力将产生较大的影响,必须给予考虑。

5. 环境污染的程度对农产品的品质影响极大,目前对耕地产出量的影响还不小,评价标准也难以确定,如何评价有待进一步的工作。

参 考 文 献

1. FAO. Guidelines: Land Evaluation for Rainfed Agriculture. FAO Soil Bulletin 52, Rome, 1983
2. Burrough P A. Modelling land qualities in space and time: the role of geographical information systems. In: bouma J, Bregt A K. eds. Land Quality in Space and Time. Proc. ISSS Symp. Wageningen, 1989. 45~60
3. 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. 36~126
4. 朱德举. 土地评价. 北京:中国大地出版社, 1996. 73~87
5. 李孝芳. 土地资源评价的基本原理和方法. 北京:科学技术出版社, 1989. 112~121
6. 孙 波. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价. 土壤学报, 1995, 32(4):362~369
7. 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
8. 赵焕臣. 层次分析法. 北京:科学出版社, 1986. 28~44

ESTABLISHING AND APPLYING ON THE BASIC FARMLAND INFORMATION SYSTEM

I. STUDY ON THE PRODUCTIVITY GRADE OF CULTIVATED LAND

Zhang Bing-ning Zhang Yue-ping Zhang Xiu-mei Liu Bao-xi

(Yanzhou Soil and Fertilizer Station, Jiangsu Yangzhou 225002)

Liu Lin-wang Xu Mao Wang Xu-kui

(Jiangsu Soil and Fertilizer Station, Jiangsu Nanjing 210008)

Shen Qi-rong

(Nanjing Agricultural University, Resource and Environment College, Jiangsu Nanjing 210019)

Summary

The basic farmland information system (BFIS) supported by geographic information system (GIS) was established, which could manage the data systematically and dynamically. With the BFIS, a method in both quantitative and qualitative natures was developed to grade the farmland productive capacity. Evaluation factors were chosen, a hierarchic structure was constructed, single-factor evaluation models were built and the weight for each factor was calculated through correlation analysis, factor analysis, fuzzy evaluation, and hierarchic analysis respectively. The evaluation results indicated that the land productivity grade could be completely evaluated by the natural factors of farmland today with the quick development of computer technique. The results, tested on the farmland of Gaoyou city, was shown to be more objective and more accurate, avoiding the defects of subjectivity just by the empirical methods and the blindness of pure mathematical methods.

Key words Basic farmland, Information system, Land productivity grade, Evaluation, Gaoyou city