

地理信息系统辅助土壤质量变化图的编制*

王效举 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

张西森

(山东省潍坊市农业局)

摘 要

通过应用地理信息系统和数据库技术,并引入相对土壤质量指数(RSQI)的概念,以千烟洲试验站为例,建立了在小区域水平上编制土壤质量变化图的方法。研究表明,地理信息系统与多时段土壤变化数据库相连,可以方便有效地实现土壤质量变化图的编制。土壤相对质量指数可以使得区域土壤有一个统一的比较标准,其变化量 Δ RSQI可以作为在区域水平上编制土壤质量变化图和评价土壤质量变化的依据。本研究为土壤质量变化图的编制提供了借鉴,也为该区土壤质量和性质的进一步监测和评价提供了重要的基础数据方法。

关键词 地理信息系统; 土壤质量; 土地利用

土壤质量是维持全球生物圈最重要的因素,是农业持续发展的基础,是评价和判断农业措施长期持续能力的工具。土壤质量及其在农业持续发展中的重要性近年来正受到世界范围的广泛关注^(1,2)。

为了更好地揭示土壤退化和熟化的机理与过程,评价和监测土地利用和管理对土壤质量影响的方向和程度,利用地理信息系统技术编制土壤质量变化图,并建立土壤质量变化数据库是非常必要的。但这方面的研究尚不多见,在研究方法上也有待进一步探讨。

土壤变化是土壤性质在时间上的动态⁽³⁻⁵⁾。因此,只有通过两个或多个时段土壤性质的差异,才能真正阐明土壤变化的实质和机理。但是,以往区域水平上土壤变化评价方面的工作未能真正体现出时间上的变化。如联合国环境署和国际土壤参比信息中心开展的全球土壤退化评价和世界土壤退化图的编制^(6,7)、我国土壤退化图的编制⁽⁸⁾以及近年来我国南方红壤退化评价^(9,10)等方面的工作,均是根据土壤现状性质进行制图和评价的,没有真正体现出土壤退化是时间和空间的动态平衡这一实质性的内涵,难以区分人为过程和自然过程,影响了评价的精度和对土壤退化机理与过程的深入了解。

本研究旨在以中国科学院综考会千烟洲试验站为例(简称千烟洲试验站),探索在小区域水平上编制不同时段土壤质量变化图的有效方法,为评价和监测土壤质量,优化土地利用,揭示土壤退化机理,持续发展农业生产提供科学依据。

千烟洲试验站位于江西省泰和县境内,土地面积为204.174公顷,其中裸岩、水域和各类建筑占11.813公顷,用于生长植被的土壤面积为192.361公顷。属中亚热带季风气候,地形以丘陵岗地为主。参照中国土壤系统分类首次方案,该区土壤分属于铁铝土、水耕人为

* 本研究属于中国科学院特别支持,国家自然科学基金重点资助项目“中国土壤系统分类研究”中的应用部分。

土和潮湿土3个土纲,下分为红壤、水稻土、潮土和暗潮土4个土类,50个土种。1983年之前,千烟洲是一个少林、缺水、低产、土地大量荒芜的贫穷落后地区。其自然条件和社会经济条件在我国南方红壤丘陵区颇具代表性。1983年在千烟洲进行了土壤详查,积累了大量土壤背景资料。之后,对其土地资源进行了科学规划和利用。目前该区有耕地、园地、多种林地、牧草地、草丛地、灌丛以及少量荒地和裸土地等二十多种土地利用方式,而且几乎都采用该区普通的管理措施。这为本研究提供了独特的条件。

1 地理信息系统的建立和应用

应用地理信息系统和数据库技术,建立了千烟洲土壤质量信息系统(QYZSQIS),进行图形的编辑、修改、输出以及属性数据的分析、统计和管理。

1.1 支持软件

应用美国环境系统研究所(ESRI)开发的PC-ARC/INFO作为支持软件,以Foxbase辅助属性数据的管理。

ARC/INFO是世界上非常先进和流行的地理信息系统软件之一,它由管理地图特征和拓扑关系的ARC系统和记录属性数据的关系数据库管理系统INFO两部分组成。它兼顾了空间数据和属性数据两种不同性质的数据特征,能有效地实现两种不同性质数据的操作和管理,在结构上采用由基本模块组成的工具箱,有利于用户二次开发。Foxbase是一个应用广泛的属性数据库管理系统,与ARC/INFO结合在一起,可以更方便,更有效地对地理信息系统中的数据进行编辑、分析、查询、统计和管理。

1.2 数据来源

输入的数据包括图形数据和属性数据。图形数据主要有比例尺为1:2000的千烟洲地形图、土壤图、土层厚度图和经过校正的土地利用现状图。属性数据主要包括1983年和1994年的土壤理化性质和环境条件(如土壤有机质、氮、磷、钾、酸度、质地、土壤侵蚀状况、植被盖度等)、多年有关的气象资料、经济数据以及土壤剖面特征等数据。1983年的数据来自当时土壤详查的分析结果。1994年的数据是以75m×75m为网格单元采集土壤样品,并根据具体情况补加采样点,使得每种制图单元内均有样点分布,同时记录植被的类型、种类组成、覆盖度、土壤侵蚀状况等。共采集土壤样品126个,分析了有机质、氮、磷、钾、pH、盐基饱和度、容重等16项有关的土壤理化性质,总计2500多标本次。分析方法采用与1983年相同的常规分析^[11]。

1.3 建立步骤

地形图、土壤图、土地利用现状图等基本图件通过数字化仪数字化输入计算机—图形编辑和修改—产生数字高程模型(DEM)—土壤图、地形图、土地利用现状图叠加产生新的信息复合图—复合图的编辑—以复合图为基础底图,将不同时段的土壤信息(1983和1994年)添加到复合图的属性数据库(PAT)中—土壤质量指数计算—产生土壤质量评价图和土壤质量变化图—统计和评价土壤质量变化结果。

1.4 主要功能

该信息系统具有以下一些主要功能:(1)数据库管理,包括数据的输入、处理、更新、显示和输出等。(2)图形的输入、编辑、修改、显示和输出等。(3)土壤质量及其参评因子变化的自动查询和评价功能。(4)系统的空间应用分析功能。

2 土壤质量变化的评价模式

2.1 土壤评价指标的选择

选取与土壤质量直接有关的土壤性质作为评价指标。根据红壤丘陵区自然资源特点,选择了以下12个因子:土层厚度、土壤质地、坡度、土壤有机质、全氮、水解氮、速效磷、速效钾、全磷、全钾、CEC、pH。

2.2 指标值和权重的确定

将每种土壤指标分为4个等级(I、II、III、IV)。I级是作物生长最适宜的等级,II级对作物生长稍有限制,III、IV级对作物生长限制程度依次增加。每种等级的数值范围都参考我国多年来在红壤丘陵区有关的研究工作确定。

在参考其它一些研究者在红壤丘陵区土壤评价中所用权重的基础上,采用经验法确定了各指标的权重,其数值采用百分制。

2.3 土壤质量变化的评价

通过引入相对土壤质量指数(Relative Soil Quality Index, RSQI)评价土壤质量的变化。这种方法首先是假设研究区有一种理想土壤,其各项评价指标均能完全满足植物生长需要。以这种土壤的质量指数为标准,其它土壤的质量指数与之相比,得出土壤的相对质量指数,从而定量地表示所评价土壤的质量与理想土壤质量的差距。这样,从一种土壤的RSQI值就可以明显地看出其质量状况,使红壤丘陵区土壤质量有了一个统一的比较标准。而且,RSQI的变化量还可以表示土壤质量的升降程度,从而也可以定量地评价土壤质量的变化。

相对土壤质量指数值RSQI按下式计算:

$$RSQI = (SQI / SQIm) \times 100 \quad (1)$$

式中SQI是要评价土壤的质量指数, SQIm是所假设的理想土壤的质量指数,也是评价系统的最大质量指数。SQI的计算公式为:

$$SQI = \sum W_i I_i \quad (i=1-12), \sum W_i = 100 \quad (2)$$

式中 W_i 为各评价指标的权重, I_i 为评价指标等级的分数(1、2、3、4)。

这样,RSQI的数值直接表示了评价土壤的土壤质量与理想土壤之间的差距程度。其最大值为100。如果一种土壤的RSQI为95,说明它和理想土壤的差距很小,土壤质量较高;如果其RSQI为40,则说明其与理想土壤差距很远,质量较低。采用这种方法,不管评价者采用什么评价系统,将评价指标划分多少等级,都可以根据RSQI值进行比较。

2.4 土壤质量变化等级的划分

将1994年土壤的RSQI值与1983年的相减,得出开垦利用前后RSQI的变化量 $\Delta RSQI$ 。以据 $\Delta RSQI$ 值将土壤质量变化程度分为6个等级:

$\Delta RSQI$ 变化等级: 0—5 少量提高; 5—10 中量提高; >10 多量提高; -5—0 少量降低; -10—-5 中量降低; <-10 多量降低。

3 土壤质量变化图的编制与结果统计

利用地理信息系统中的PC-Overlay子系统中IDENTITY命令将1:2000的地形图与同样比例尺的土地利用现状图和土壤图(精确到土种)叠加,经过编辑之后产生评价单元图并自动生成了具有地理编码的属性数据库。评价单元图中共有953个制图单元,以此图为底图,以其属性数据库为基础,分别将1983年和1994年的土壤质量评价因子的数值添加到该数据

库中相应的评价单元中，这样就生产了土壤质量变化数据库。根据评价模式和方法，利用 Foxbase 和 ARC/INFO 中的 PAT 数据库管理系统计算不同时段的 RSQI 值及其从 1983 年到 1994 年的变化量 Δ RSQI 值。以 Δ RSQI 值为依据，通过系统内绘图系统命令如 Draw、Plot 等完成土壤质量变化图的编制、显示和输出(图 1)。

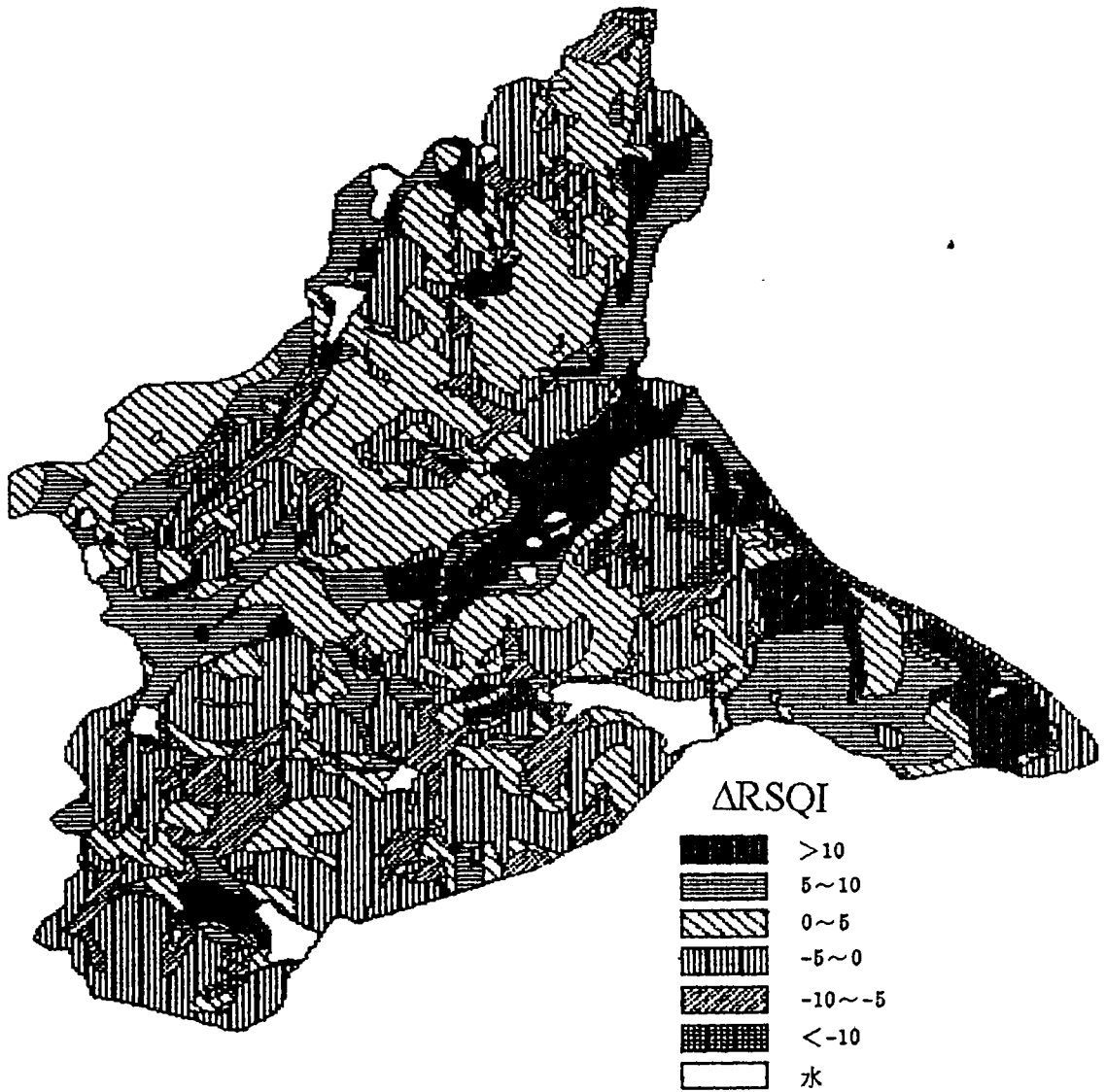


图 1 千烟洲试验站开垦利用 11 年后(1983—1994)土壤质量变化图

土壤质量变化图以及与其相连的土壤质量变化数据库具体地表示出了研究区内各种利用方式、各种土壤类型和地形条件下土壤质量变化的情况。可以根据用户需要进行统计或查询。例如，我们要了解不同土地利用方式下土壤质量的变化情况，就可以从数据库中统计出各利用类型下土壤质量的变化结果(表 1)。

表 1 的结果表明，经过 11 年的开垦利用，在研究区内 192.361 公顷的土壤中，有

109.783公顷土壤质量有所提高($\Delta RSQI > 0$), 占土壤总面积的 57.05%; 有 82.588公顷的土壤质量有所降低($\Delta RSQI < 0$), 占 42.93%。其中, 有 51.984公顷的土壤质量提高较明显($\Delta RSQI > 5$), 占土壤总面积的 27.02%; 有 18.699公顷的土壤质量下降较为明显($\Delta RSQI < -5$), 占 9.27%。由此可见, 开垦利用后, 研究区内土壤质量总的说来有一定程度的提高。

就各种利用方式下土壤质量变化情况而言, 研究区内水田土壤的质量有明显提高。75.63%(6.23公顷)的水田 $\Delta RSQI$ 大于零, 72.48%(5.97公顷)的 $\Delta RSQI$ 大于 5。大多数菜地土壤质量也明显提高。而绝大部分旱地(90.06%)土壤质量有所降低。

桔园土壤质量也以提高为主。桔园土壤中 $\Delta RSQI$ 大于 10 的占桔园面积的 39.95%(14.657公顷), 大于 5 的占 66.97%(24.569公顷), 大于 0 的占 71.97%(24.604公顷)。但也有约 28%的柑桔园土壤质量有所降低, 近 5%的降低较为明显, 这些柑桔园大都分布在坡地的红壤上, 有的是土壤原来肥力较高, 不容易维持, 有的是缺乏投入和管理。

表 1 干烟洲试验站各利用方式下土壤相对质量指数变化($\Delta RSQI$)结果

利用类型	总面积(ha)	> 10	5-10	0-5	-5-0	-10--5	< -10
水田	8.237	0.893	5.077	0.260	2.007	0	0
旱地	0.789	0	0.029	0.045	0.485	0.230	0
菜地	0.631	0.321	0.128	0	0.078	0.104	0
柑桔园	36.69	14.657	9.912	1.835	8.548	1.645	0.093
山里红园	0.194	0	0	0	0.194	0	0
板栗园	0.228	0	0	0	0.228	0	0
马尾松林	47.809	0.998	0.726	26.923	13.34	5.574	0.248
湿地松林	41.165	0.493	6.296	9.254	23.562	1.452	0.108
杉树林	5.378	0.090	0.203	2.185	1.656	1.137	0.107
针阔混交林	12.183	0.461	0.261	2.812	7.771	0.878	0
风景林	5.910	0	0.661	2.622	1.862	0	0.765
薪炭林	2.451	0	0	1.674	0.617	0	0.160
竹丛林	12.386	0.388	6.935	4.032	0.330	0.494	0.207
灌木林	0.426	0	0.426	0	0	0	0
泡桐林	0.235	0	0	0.235	0	0	0
油茶林	1.669	0	0.179	0.939	0.551	0	0
油桐林	0.613	0	0	0.413	0.200	0	0
牧草地	2.780	1.803	0.241	0.181	0.555	0	0
荒草地	9.959	0	0	3.167	1.591	4.500	0.701
草丛地	2.329	0.726	0.080	1.222	0.239	0.062	0
裸地	0.299	0	0	0	0.075	0.147	0.077
面积总计	192.361	20.830	31.154	57.799	63.889	16.223	2.466

针叶林和针阔混交林都有一定面积的土壤质量提高或退化, 但大部分属于变化不明显的范围, 亦即 $\Delta RSQI$ 处于-5—5之间。但我们发现, 原来土壤肥力较低的土壤如侵蚀红壤、粗骨红壤等种植针叶林后土壤质量一般有所提高, 而原来肥力较高的土壤, 如有机质含量较高的红壤种植针叶林后土壤质量一般降低。说明在质量较低的土壤上针叶林是良好的先锋树种, 它们可以改善土壤质量, 而在肥力较高的土壤上, 反会导致土壤质量降低。

牧草地大量的地下生物量和地上残余物使其土壤质量有显著提高, 73.25%的土壤其 $\Delta RSQI > 5$, 64.86%的 $\Delta RSQI > 10$ 。仅有少量土壤的 $\Delta RSQI$ 处于-5—0之间, 这些草地

是原来有机质含量很高的暗潮土开垦成的,暗潮土开垦后有机质氧化分解很快,影响了土壤质量。草丛地植被较稠密,土壤质量也以上升为主,但上升程度逊于牧草地。荒草地由于植被稀疏,土壤质量以退化为主。而裸地土壤质量都发生了退化,有半数以上的面积退化非常明显。

4 结 语

(1)研究土壤质量变化必须有时间和起点概念,否则就难以确切说明土壤质量的升高和降低,肥力的退化与熟化。土壤质量变化图应该从图上反映出土壤质量在时间和空间上的变化情况。

(2)相对土壤质量指数(RSQI)可以明显而直观地表示出土壤质量的高低,RSQI值可使区域土壤质量有一个统一的比较标准。RSQI的变化量 Δ RSQI表示了土壤质量的升降程度,可以作为评价土壤质量变化的定量依据。

(3)利用地理信息系统和数据库技术可以有效而方便地实现不同时段土壤质量变化图的编制。这一研究为土壤质量变化图的编制以及该区土壤质量和土壤性质的进一步监测和评价提供了重要的基础数据和方法。也为区域水平上土壤质量变化的评价和监测工作提供了借鉴。

参 考 文 献

- [1] Smith, J. L., J. J. Halvaorson, and R. I. Papendick, Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 57: 743-749.
- [2] Karlen, D. L. et al., Long-term tillage effects on soil quality, *Soil and tillage Research*, 1994, 32: 313-327.
- [3] Jenny, H., Derivation of the state factor equations of soils and ecosystems, *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 1961, 25: 385-388.
- [4] Hoosbeek, M. R. and R. B. Bryant., Towards the quantitative modelling of pedogenesis—a review. *Geoderma*, 1992, 55: 183-210.
- [5] 李保国, 土壤变化及其过程的定量化, *土壤学进展*, 1995, 23(2): 33-42.
- [6] Oldeman, L. R., *Guidliness for Global Assessment of The Status of Human-induced Soil Degradation, GLASOD*, 1988.
- [7] UNEP, *World Map on Status of Human-induced Soil Degradation*, Boomruygrok, Harlterm, the Netherlands, 1990.
- [8] 刘良梧, 龚子同, 全球土壤退化评价, *自然资源*, 1995, 1: 10-15.
- [9] 赵其国, 我国红壤的退化问题, *土壤*, 1995, 27(6): 281-285.
- [10] 孙波等, 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价, *土壤*, 1995, 27(3): 119-128.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所, *土壤理化分析*, 科学技术出版社, 1977.