

红壤丘陵小区域不同利用方式下 土壤变化的评价和预测*

王效举 龚子同

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

ASSESSMENT AND PREDICTION OF SOIL CHANGES UNDER DIFFERENT LAND USE PATTERNS AT A SMALL AREA LEVEL IN RED SOIL HILLY REGION

Wang Xiao-ju and Gong Zi-tong

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008, China)

摘 要

本研究以中国科学院千烟洲试验站为例,为小区域水平上土壤时空变化的定量化评价提供了一种方法,并用于千烟洲试验站开垦利用11年后土壤性质和质量变化的评价。通过土壤信息系统和土壤变化数据库的建立,方便而有效地进行了不同土壤类型和不同土地利用方式下土壤变化的定量化评价、监测和制图。研究了该区不同土壤开垦利用为水田、旱地、桔园、马尾松、湿地松、杉树、天然林、枫香、牧草、荒草地等二十多种土地利用类型后土壤性质和土壤质量的变化特征。通过建立数学模型,模拟和预测了研究区内C、N等养分含量以及降雨、林冠透雨、树干流、径流和淋溶引起的元素输入和输出。提出了相对土壤质量指数(RSQI)的概念,并且依据土壤RSQI的变化值 Δ RSQI较好地研究和评价了研究区内土壤质量变化。

关键词 土地利用,土壤变化,土壤质量,评价

人类诱导的土壤变化已经引起人们广泛的重视^[6,7]。不同土地利用方式和管理措施影响着土壤变化的方向和程度^[8,9,10]。土壤变化是土壤性质在时间上的动态^[1,11],因此只有通过两个或多个时段土壤性质的差异,才能真正阐明某种利用方式下土壤变化的真实情况。目前,很多研究是通过同一时间不同利用方式土壤性状的差异进行的,以此判断某种土壤性质的变化以及土壤熟化或退化程度,这虽然也能说明一些问题,但不太符合严格意义上土壤变化的概念,只能是不同利用方式下土壤性质的相对比较。而且,由于不同研究者采用的参照土壤不同,所得结果难以比较。无论从土壤学理论还是从农业生产和生态环境

* 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”的应用部分。

收稿日期: 1995-12-21; 收到修改稿日期: 1996-03-15

保护的角度,对不同土地利用方式下不同时段土壤变化的研究都是非常必要的。本研究旨在通过 1983—1994 年两个时段的对比,以中科院千烟洲试验站为例,研究红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤变化的特征,在小区域水平上定量地评价土壤性质和质量的变化,模拟和预测土壤有关性质的变化过程。

千烟洲试验站位于江西省泰和县境内,土地总面积为 204.17 公顷。属于中亚热带季风气候,地形以丘陵岗地为主。1983 年之前,这里是一个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 年建站后,对千烟洲土地资源进行了科学规划和利用。目前该区有耕地、园地、林地、牧草地、草丛、灌丛以及少量荒地和裸土地等二十多种在当地有代表性的土地利用方式,而且几乎都采用该区普通的管理措施^[2]。这为本研究提供了独特的研究条件。

1 研究方法

1.1 样品采集与分析

于 1993 年 12 月至 1994 年 1 月以 75m×75m 为网格单元采集 0—20cm 土壤农化样品、典型土壤剖面样品。并根据具体情况补加采样点,同时调查记录植被类型、种类组成、覆盖度、土壤侵蚀状况等。本研究共采集土壤样品 126 个、水样 120 个、植物样品 84 个。

1.2 定位观测

为了研究不同利用系统对土壤变化的影响,选择了柑桔、马尾松、湿地松、杉树、枫香、天然林、荒草、牧草等 8 种利用方式进行为期一年的定位观测。观测和调查的主要内容包括:植被群落结构组成、生物量测定、凋落物的数量及其组成与分解、元素通过降水、林冠透透水、树干流水、地表径流水、土壤渗漏水的动态迁移。土壤、植物和水分样品的处理和分析均采用常规分析法。

1.3 土壤信息系统和土壤变化数据库的建立

以 PC-ARC / INFO (4.0) 为支持软件,以 foxbase 辅助属性数据的管理,建立了研究区土壤信息系统,有效而方便地实现了对不同土地利用系统中土壤变化的量化评价、监测和制图。输入的数据包括图形数据(如地形图、土壤图、土地利用现状图等)和属性数据(主要包括 1983 年和 1994 年的土壤基本理化性质、多年有关的气象资料、土壤剖面特征、物质循环等数据)。该信息系统具有数据库管理、图形的输入、编辑、修改、显示和输出、土壤变化的自动查询和评价以及系统空间应用分析等功能。

1.4 土壤变化的评价

1.4.1 土壤性质变化的评价 将表示土壤性质的 1994 年土壤中有有机质、氮、磷、钾、盐基饱和度、酸度等量减去 1983 年土壤相应的量,得出开垦利用前后土壤性质的变化量。以此变化量为依据,评价不同利用方式下土壤变化的结果,建立了土壤变化数据库,绘出了土壤变化图,具体地表示出了千烟洲试验站内各种地形,各种土壤和各种利用方式下土壤变化的结果。

1.4.2 土壤质量变化评价 在参考该区有关研究工作的基础上^[3,4,5],根据红壤丘陵地区的自然特点,选择了土层厚度、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、阳离子交换量、pH 共 12 个评价因子。采用经验法确定了各指标的权重,其数值采用百分制。将每种评价因子从最适宜到不适宜分为 4 个等级。

通过引入相对土壤质量指数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。而且, RSQI 的变化量还可以表示土壤质量的升降程度, 从而可以定量地评价土壤质量的变化。

首先计算要评价土壤的土壤质量指数 SQI, 计算公式为

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

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)。SQI 的最大值 $SQIm = 400$, 这是所假设的理想土壤的质量指数值。实际上, 一般土壤很难达到这一数值。相对土壤质量指数值 RSQI 按下式计算:

$$RSQI = (SQI / SQIm) \times 100 \quad (2)$$

根据 RSQI 值将千烟洲土壤质量分为优、良、中、差、劣五个等级。

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 $\Delta RSQI$, 以此作为土壤质量变化的结果的评价依据, 建立了土壤质量变化数据库, 绘出了土壤质量变化图。将土壤质量变化程度分为 6 个范围 (表 1), $\Delta RSQI$ 大于零表示土壤质量有所提高, 0—5 表示少量提高, 5—10 表示中量提高, 大于 10 表示多量提高。 $\Delta RSQI$ 小于零表示土壤质量有所下降, -5—0 范围内表示少量下降, -10—-5 表示中量下降, 小于 -10 时表示多量下降。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。

2 结果与讨论

2.1 土壤性质变化的评价

总的说来, 开垦利用 11 年后, 该区有机质、全氮和水解氮含量很高或很低的土壤均明显减少, 含量中等的土壤明显增加。速效磷和速效钾缺乏较严重的土壤 (速效磷 $< 5\text{mg} / \text{kg}$, 速效钾 $< 50\text{mg} / \text{kg}$) 面积明显减少。土壤酸度有一定程度加重。pH 值低于 5.0 的土壤比原来增加了 2.4 倍。pH 大于 5.5 的土壤比原来减少了 53.29%。

就不同利用方式而言, 水田、菜地、牧草地、草丛地、灌丛地中土壤有机质和氮素状况明显改善。荒草地、薪炭林 (枫香)、裸地中土壤有机质和氮素含量明显减少。主要是由于后几种利用方式下土壤有机碳输入量较前几种利用类型少。

由于人为适用磷肥, 水田、旱地、菜地和桔园土壤中速效磷和速效钾大都明显增加。而针叶林、天然林、荒草地等则变化不太明显。

绝大多数马尾松、湿地松、杉树和竹丛林土壤的 pH 值降低, 总酸度和交换性氢铝增加。这种酸化程度高于裸土地。针阔混交林酸化程度低于针叶纯林。

2.2 土壤质量变化的评价

总的说来, 经过 11 年的开垦利用, 四等地和五等地面积有所减少, 分别比原来减少了 26% 和 13%。三等地的面积增加到原来的 3 倍。二等地数量也明显减少。表明经过人为开垦利用, 该区不少低质量土壤得到改良提高, 但同时高质量的土壤没有得到维持。说明土壤质量越高, 维持起来就较困难。

在各种利用方式中, 水田、桔园、牧草地、草丛地中土壤质量明显改善。草被稀疏的荒草地和裸地土壤质量明显降低。人工针叶林和阔叶林地中土壤质量变化不太明显 (表 1)。

2.3 土壤变化的模拟和预测模型

土壤中 P、K、Ca、Mg、Al 等矿质元素的变化可以通过物质循环过程中元素的输入和输出平衡进行估算。

表1 不同利用方式下土壤质量相对指数变化(Δ RSQI)的评价结果

利用类型 Land use patterns	总面积 (ha) Total area	Δ RSQI					
		>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	0.995	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	0.611	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	1.599	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	0.077
面积总计	204.174						

预测土壤有机碳时,将其分为三个组分: 土表凋落物碳(LC), 土壤中活性态有机碳(AC)和土壤中稳定态有机碳(SC)。

各组分有机碳的分解用下列指数方程^[12]计算: $C=C_0 e^{-kt}$ (3)

式中 C 是分解 t 时间后剩余的碳量, C_0 是原来的土壤有机碳量, k 是分解系数, t 是时间。我们重点模拟了不同类型土壤开垦为桔园、马尾松、湿地松和牧草地后土壤有机碳的变化过程, 1994 年的模拟值与实测值拟合较好¹⁾。

土壤氮素变化在土壤有机碳预测的基础上, 通过土壤 C-N 之间的相关方程预测。千烟洲试区全氮和水解氮的拟合方程分别为:

$$N_t = 0.3497 + 0.0318OM (r = 0.9051^{***}, n = 99)$$

$$N_h = 5.7879 + 0.2280OM + 3.1063N_t (R = 0.9542^{***}, n = 99)$$

1) 王效举, 1995: 红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤变化的监测和评价(博士学位论文)。

式中 N_t 为土壤全氮含量 (g / kg), N_n 为土壤水解氮含量 (mg / kg), OM 为土壤有机质含量 (g / kg)。

月降雨量与林冠透雨、树干流、径流、不同深度的土壤淋溶水和淋溶总量之间均呈极显著正相关。据此,建立了水分与降雨量的一元线性相关方程¹⁾。

3 结 语

通过建立土壤信息系统和土壤变化数据库可以有效而方便地实现对不同土地利用系统中土壤变化的评价和监测。这一研究为该区土壤变化进一步监测和评价提供了重要的基础数据和方法。此方法还可用于较大区域范围内土壤变化、土壤熟化和退化、土壤质量以及持续能力评价和监测等方面的研究。

在人为种植过程中,土壤肥力受制于利用方式和管理水平。草本植被(如牧草、荒草等)在南方红壤丘陵区人工林地系统中对提高土壤有机质和氮素水平,抑制土壤酸化有重要作用;马尾松、湿地松、杉树等针叶林生长迅速,但容易导致土壤酸化和养分贫瘠化;桔园和水田土壤肥力变化主要取决于人为管理和投入水平。

相对土壤质量指数(RSQI)可以明显而直观地表示土壤质量状况。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。研究土壤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。将土壤有机质分为三个部分,可以较好地模拟和预测不同利用方式下十年左右土壤C、N的变化程度和过程。

参 考 文 献

1. 李保国, 1995: 土壤变化及其过程的定量化。土壤学进展, 第 23 卷 2 期, 33—42 页。
2. 程 彤, 1993: 红壤丘陵综合开发与治理——千烟洲开发治理试点经验。红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展研究, 1—5 页, 地震出版社。
3. 何圆球、王明珠、周瑞荣, 1989: 泰和县千烟洲土壤详查及土壤资源评价。土壤专报, 42 期, 221—234 页。
4. 倪绍祥, 1992: 土壤类型与土地评价。高等教育出版社。
5. 王明珠, 1992: 红壤生态站土壤生态环境质量评价。红壤生态系统研究, 102—107 页, 科学出版社。
6. Lal, R., 1990: Soil erosion and land degradation: the global risks. Adv. Soil Sci. 11: 169—172.
7. Rozanov, B. G., 1990: Human impacts on the evolution of soils under various ecological conditions of world. Trans. of 14th ICSS. Kyoto. 53—62.
8. Smith, R. A., Alexander, R. B. and Wolman, M. G., 1987: Water-quality trends in the nation's rivers. Science (Washington, DC) 235: 1607—1615.
9. Thomas, M. L., Lal, R., Logan, T. and Fausey, N. R., 1992: Land use and management effects on nonpoint loading from Miamian soil. Soil. Sci. Am. J. 56: 1871—1875.
10. Wang, X. J. and Gong, Z. T., 1995: Ecological effects of different land use patterns in red soil hilly region. Pedosphere 5(2): 163—170.
11. Jenny, H., 1961: Derivation of the state factor equations of soils and ecosystems. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 25: 385—388.
12. Jenkinson, D. S., 1990: The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 329: 361—368.

1) 王效举, 1995: 红壤丘陵区不同土地利用方式下土壤变化的监测和评价(博士学位论文)。