

# 低丘红壤肥力退化与评价指标体系研究

柳云龙<sup>1,3</sup>, 胡宏韬<sup>2</sup>, 陈永强<sup>3</sup>

(1. 上海师范大学 城市生态与环境研究中心, 上海 200234;

2. 上海应用技术学院, 上海 200235; 3. 浙江大学 资环学院资源科学系, 浙江 杭州 310029)

**摘要:** 以对侵蚀红壤肥力退化过程分析为基础, 通过因子分析和相关分析对评价红壤肥力退化的指标体系进行了分析研究。结果表明, 侵蚀退化红壤复垦后土壤肥力得到不同程度的恢复, 时间和生物因素是影响土壤肥力恢复的主要因素。复垦时间长, 发展林业均有助于土壤物理、化学和微生物性质的恢复。因子分析能有效地减少土壤性质指标间的重复信息, 起到筛选和精简指标的作用。精简的 6 项指标(有机质含量、水稳性团聚体、过氧化氢酶、土壤物理性黏粒含量、土壤阳离子交换量、土壤微生物量碳)能概括所测定的全部 16 项指标包含信息的 90% 以上, 能以较少的指标来反映土壤肥力的整体状况。

**关键词:** 侵蚀红壤; 红壤退化; 评价指标

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)05-0063-04

中图分类号: S158.1

## Degradation and Evaluation Indexes of Eroded Red Soil Fertility

LIU Yun-long<sup>1,3</sup>, HU Hong-tao<sup>2</sup>, CHEN Yong-qiang<sup>3</sup>

(1. *Research Center of Urban Ecology and Environment, Shanghai Normal University,*

*Shanghai 200234, China;* 2. *Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China;*

3. *College of Natural Resources and Environmental Sciences, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China)*

**Abstract:** Based on the analysis of eroded red soil deterioration processes, research on evaluation index system of red soil deterioration is carried out. Influenced mainly by time and biological factors, soil fertility has been restored gradually with the reclamation of eroded soil. The process of soil restoration can be promoted with much longer time and forest plantation. Correlation and factorial analyses are used to reduce the iterated information and simplify soil indexes. Six indexes are selected to indicate more than 90 percent information of all 16 soil indexes, and thus soil fertility status can be expressed by fewer indexes.

**Keywords:** eroded red soil; red soil degradation; evaluation index

浙江省兰溪市地处亚热带季风气候区, 年降雨量 1 333~1 915 mm, 地形为海拔 50~70 m 的缓坡。坡度 15° 以下, 土壤为经中更新世湿热气候形成的富铁铝、低硅、强酸、黏重的红色古土壤。由于长期以来农业中存在低投入, 高产出以及管理不善的问题, 自然植被破坏严重。同时受季风气候的影响, 该区降雨集中, 雨强大, 造成该区水土流失严重, 土壤肥力衰退, 农业土壤的产投率下降, 已经引起了有关部门的高度重视。

我国红壤地区的退化研究主要集中在宏观的土壤退化分类, 各种退化类型面积的估算, 区域水土流失量的分析及退化防治的经验总结等方面, 对红壤退化的机理研究却较少, 导致了红壤退化类型划分的不

一致, 很难对红壤退化程度进行定量描述<sup>[1, 6-9]</sup>。本文以浙江省兰溪市上华茶场国家红壤试验区为研究区域, 以种植的牧草产量来反映侵蚀红壤的基础生产力, 在研究红壤肥力退化过程和形成机理的基础上, 试图通过因子分析和相关分析来精选指标, 建立能够反映退化红壤肥力演化的评价指标体系。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样小区

以世行贷款建设的 6 个地表径流观测小区为研究对象, 各小区具有相同的土壤起始条件, 地表径流场的投影面积为 100 m<sup>2</sup>, 坡度为 13°, 四周用砖块隔离, 砖块的一半埋入土中, 一半露出地表, 每个小区下

收稿日期: 2007-01-20

修回日期: 2007-06-13

基金项目: 上海市教委资助项目(05DZ32); 国家自然科学基金资助项目(49671050); 上海师范大学青年基金项目(DQL410)

作者简介: 柳云龙(1971—), 男(汉族), 安徽省青阳县人, 博士, 主要从事土壤学和环境科学的研究。E-mail: @126.com。

端配置蓄水池收集地表径流,蓄水池的长、宽、高各为 1 m,可以进行地表径流量和水土流失量的观测记录。小区内土地的利用方式分别为裸地、杉木林、草地、橘园、香樟、阔叶林。

采样小区土壤母质为第四纪红色黏土发育的黄筋泥,其中香樟和阔叶林种于 1985 年,杉木林、草地、柑橘种于 1993 年,在各小区内进行多点混合采样,采样深度 0—20 cm,对样品进行室内分析。

### 1.2 土壤性质分析方法

土壤有机质用浓硫酸重铬酸钾法,土壤全 N 用半微量开氏法,土壤速效 K 用火焰光度计法,水解 N 用碱解蒸馏法,机械组成用吸管法,土壤结构性质用萨维诺夫干筛法和湿筛法测定,土壤容重用环刀法,多酚氧化酶用比色法测定,过氧化氢酶用滴定法,蔗糖酶用滴定法,纤维素酶用比色法,土壤微生物碳用熏蒸法测定,其余土壤性质由常规分析方法测定。

### 1.3 土壤基础生产力的试验设计

实验采用双套层盆钵,下面的盆钵为储水盆装水以供给作物水分需要。上层盆钵(盆钵直径 10 cm,高为 8.5 cm)内装土样 400 g,并播种 25 棵经过催芽的一年生黑麦草种子,出苗前浇足够的水以保证出苗,出苗后上下层盆钵之间是通过过滤嘴的毛细管作用来稳定地供给水分,出苗整齐后进行间苗,每盆留 17 株健壮的幼苗,在不施肥只灌水的情况下,观测牧草生长情况,定期收割牧草,用牧草产量来反映土壤的基础生产力,盆钵内土样分别采自 6 个不同的观测小区,3 次重复,牧草产量取其平均值。

### 1.4 统计分析

采用 SPSS 统计分析软件进行多元相关分析和因子分析<sup>[3-4]</sup>。因子分析是主成分分析的发展和延伸。能够将多个变量综合为少数几个因子,通过新因子的线性组合来构造一个结构尽可能简单的模型,同时,能够再现研究体内变量之间内在联系,能够达到筛选和精简指标体系的作用。

## 2 结果与讨论

### 2.1 侵蚀退化红壤物理性质演化与评价指标

2.1.1 退化红壤物理性质 由表 1 可知,侵蚀红壤在不同利用方式下土壤的物理性质有明显变化。从土壤容重来看,相比较而言,裸地容重最大,土壤紧实,这是裸露红壤遭受强烈侵蚀退化的结果。侵蚀红壤复垦后,土壤变得疏松,其中林地的容重较低,橘园和草地次之。

从侵蚀红壤水稳性团聚体数量的变化来看,时间和生物因素影响明显,垦种 15 a 的混交林和香樟林比其它利用方式高出 3 倍左右,这与混交林和香樟林参与土壤生物小循环的生物量大,土壤有机质含量高有关,土壤有机质有促进较大粒径的稳定性团聚体和较大孔隙孔隙形成的作用。

在垦种年限相近的情况下,水稳性团聚体数量变化不大。微团聚体的数量(结构系数)在熟化程度高的混交林和香樟林中出现低值,这种状况与红壤熟化过程中土壤中无定形铁铝氧化物的形态转化和迁移有关<sup>[8]</sup>。

表 1 侵蚀红壤的基本物理性质

观测小区	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	孔度/%	结构系数/%	水稳性团聚体/%	物理性黏粒/%	质地
杉木林	0.98	63.80	99.10	5.75	53.85	重壤土
橘园	1.18	56.30	98.16	6.43	54.59	重壤土
裸地	1.37	49.30	99.39	5.87	63.40	轻黏土
混交林	1.10	59.30	57.55	17.46	49.00	重壤土
香樟	0.92	65.90	73.24	17.19	60.41	重壤土
草地	1.22	54.80	96.95	6.24	40.92	中壤土

2.1.2 表征红壤退化的物理性质指标 土壤物理指标中主要有 2 个主因子影响其肥力特征,其贡献率分别为 60.4%,25.2%,这两个主因子包含了土壤退化中物理指标 85.6%的信息。从各变量在主因子上的载荷系数来看,这两个主因子主要是反映土壤结构状况的因子和土壤质地状况的因子。

土壤质地因子可用土壤物理性黏粒含量来表征,土壤结构因子可用水稳性团聚体数量、土壤孔度、土

壤容重之一来反映。它们在第一主因子的载荷均大于 0.9。为了保持所选指标的独立性和实用性,对各指标变量进行了相关性分析。分析表明,土壤孔度和土壤容重之间显著相关,土壤基础肥力(牧草产量)和水稳性团聚体数量在 0.01 水平上显著相关,相关系数为 0.960,而土壤基础肥力与土壤孔度和土壤容重相关性较差,因此在选择反映土壤肥力水平的土壤物理指标时,可以考虑土壤结构因子以水稳性团聚体来

反映,土壤质地因子以物理性黏粒含量来反映,尽管土壤基础肥力和物理性黏粒含量相关性较差,这可能与研究区域土壤质地基本类似(表1),未能充分显示质地对土壤肥力状况的影响有关(表2)。

## 2.2 侵蚀退化红壤化学性质演化与评价指标

2.2.1 侵蚀退化红壤化学性质 表3是侵蚀红壤的化学性质,分析表明,土壤有机质、有机碳、土壤全N,速效P,交换性K含量的变化极为相似。裸地中土壤有机质、有机碳、土壤全N的含量出现极度贫瘠化,其它养分含量也出现低值,这是裸地土壤长期遭受强烈侵蚀的必然结果。混交林和香樟林由于垦种年限长,植被覆盖度高,红壤熟化程度高,其养分含量比其它利用方式高出4~5倍,同时杉木林养分含量要高于草地,橘园由于受到人为耕种施肥的影响其养分含量要高于杉木林。土壤pH值影响土壤的其它性质,但它的变化比较缓慢,在红壤坡地不同利用系统中pH(H<sub>2</sub>O)在4.6~4.9之间变化,水提pH的变化幅度小于0.3个单位。裸地系统中由于土壤的强烈侵蚀和淋溶作用,其pH值小于其它利用方式。而混交林和香樟林由于垦种年限长,其pH值要高于其

它利用方式,酸性稍弱。杉木林、草地和橘园的pH值相当。

2.2.2 表征退化红壤化学性质的指标 对退化红壤化学性质指标因子分析的结果表明,土壤化学指标中有2个主要因子影响其肥力特征,其贡献百分率分别为75.6%,16.4%,累积百分率为91.79%。这两个主因子都是反映土壤养分状况,包含了土壤化学性质指标信息的91.79%,其中第一主因子主要反映土壤有机质、土壤全N含量、速效P和交换性K的状况,它们在第一主因子上的载荷均大于0.97,第二主因子主要反映土壤阳离子交换量(CEC)值。

对各化学指标变量进行阳离子交换量相关分析(表4)。分析结果表明,土壤有机质,pH,全N,速效P,交换性K之间相关性较好,可以选择其中之一来表征第一主因子,而土壤有机质一般可以作为土壤肥力水平高低的标志,它能够改善土壤通气性、结构性,有很强的缓冲作用和阳离子交换能力,而且土壤基础肥力(牧草产量)和有机质含量在0.01水平上显著相关,相关系数0.941,可以将土壤有机质含量作为红壤肥力退化评价时化学性质方面的主要评价因子。

表2 土壤基础肥力和土壤物理指标之间的相关性系数

项目	容重	孔度	结构系数	水稳性团聚体	物理性黏粒
牧草产量	-0.501	0.498	-0.963**	0.960**	-0.204

注:土壤基础肥力以牧草产量反映,在0.01的水平下显著相关。

表3 侵蚀红壤的基本化学性质

观测小区	pH (H <sub>2</sub> O)	有机质/ %	全N/ %	速效P/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	交换性K/ (cmol·kg <sup>-1</sup> )	阳离子交换量/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
杉木林	4.75	0.52	0.14	1.52	0.179	1.68
橘园	4.73	0.56	0.31	1.52	0.202	1.11
裸地	4.65	0.10	0.01	1.33	0.148	0.78
混交林	4.86	2.25	0.17	2.86	0.271	1.24
香樟	4.89	2.35	0.27	2.29	0.238	0.97
草地	4.71	0.31	0.13	1.33	0.173	0.94

表4 土壤化学指标变量之间相关性分析

相关系数	有机质	pH	全N	速效P	交换性K	阳离子交换量
有机质	1.000 0	0.972 2	0.809 3	0.946 0	0.934 6	0.071 1
pH	—	1.000 0	0.909 4	0.887 7	0.917 7	0.231 2
全N	—	—	1.000 0	0.627 0	0.740 3	0.229 0
速效P	—	—	—	1.000 0	0.956 4	0.145 7
交换性K	—	—	—	—	1.000 0	0.189 1
阳离子交换量	—	—	—	—	—	1.000 0

### 2.3 侵蚀退化红壤微生物学性质与评价指标

2.3.1 侵蚀退化红壤微生物学性质 土壤酶主要来自微生物和植物,也来自土壤动物,土壤中生活着的微生物细胞与酶一起推动着土壤的物质转化和能量流动,土壤微生物及酶的活性可以代表土壤中物质代谢的旺盛程度,其活性的高低表征了土壤中营养物质的储量和转化强度,可用土壤酶活性的总体来评价土壤肥力水平和供肥能力。由表 5 可知,侵蚀红壤垦种熟化后土壤酶活性有较大的提高,其中垦种年限长的混交林和香樟林过氧化氢酶、蔗糖酶、纤维素酶活性和微生物碳都明显高于其它利用方式,而耕作年限相近的杉木、橘园、草地土壤酶的活性比较相近,裸地则由于遭受强烈侵蚀其土壤酶活性和微生物碳含量都比较低。

2.3.2 表征退化红壤微生物学性质的指标 对土壤微生物学指标进行因子分析,结果表明,土壤微生物学指标中有 2 个主因子影响其肥力特征,其贡献百分率分别为 75.2%,22.4%,累积百分率为 97.7%。第

一主因子主要是反映土壤酶的状况,它们在第一主因子上的载荷均大于 0.98,第二主因子主要反映土壤微生物量碳和多酚氧化酶的含量,它们在第二主因子上的载荷均大于 0.6。

在各化学指标变量、土壤微生物量碳之间进行了相关分析(表 6)。结果表明,土壤过氧化氢酶、蔗糖酶、纤维素酶之间相关性较好,可以选择其中之一来表征第一主因子,而土壤基础肥力和过氧化氢酶、蔗糖酶、纤维素酶的相关系数分别为 0.823 7,0.777 6,0.776 8。一般来说,蔗糖酶活性能够反映土壤的呼吸强度,其酶促产物——葡萄糖是植物和微生物的营养源,过氧化氢酶与土壤有机质的转化速度有关,多酚氧化酶则能反映土壤的腐殖化状况<sup>[5]</sup>,这些酶都能直接影响土壤有机质的分解、转化和合成过程,一般常用土壤酶活性的总体来反映土壤肥力状况。考虑到所选指标的实用性和减少指标信息的重复性,可以选择相关性大的过氧化氢酶来作为土壤酶方面的指标。

表 5 侵蚀红壤的生物指标及基础生产力

观测小区	多酚氧化酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	过氧化氢酶/ ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	蔗糖酶/ ( $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$ )	纤维素酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	微生物量酶/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	牧草产量/ g
杉木林	0.98	63.8	99.10	5.75	53.85	0.56
橘园	1.18	56.3	98.16	6.43	54.59	0.68
裸地	1.37	49.3	99.39	5.87	63.40	0.35
混交林	1.10	59.3	57.55	17.46	49.00	3.18
香樟	0.92	65.9	73.24	17.19	60.41	2.70
草地	1.22	54.8	96.95	6.24	40.92	1.34

注:基础生产力以牧草产量反映。

表 6 土壤微生物指标变量之间相关性分析

相关系数	多酚氧化酶	过氧化氢酶	蔗糖酶	纤维素酶	微生物碳
多酚氧化酶	1.000 0	0.206 8	0.180 3	0.085 8	0.625 2
过氧化氢酶	—	1.000 0	0.963 9	0.984 5	0.823 7
蔗糖酶	—	—	1.000 0	0.975 2	0.777 6
纤维素酶	—	—	—	1.000 0	0.776 8
微生物碳	—	—	—	—	1.000 0

## 3 结语

本研究以侵蚀红壤肥力退化过程的分析为基础,以牧草产量来反映红壤基础生产力,通过因子分析和相关分析对评价红壤肥力退化的指标体系进行了分析研究。结果表明,侵蚀退化红壤复垦后土壤肥力得到不同程度的恢复,时间和生物因素是影响土壤肥力恢复的主要因素,复垦时间长,发展林业均有助于土

壤物理、化学和微生物性质的恢复。因子分析能有效地减少土壤性质指标间的重复信息,起到筛选和精简指标的作用,文中精简的 6 项指标(有机质含量、水稳性团聚体、过氧化氢酶、土壤物理性黏粒含量、土壤阳离子交换量、土壤微生物量碳)能概括所测定的全部 16 项指标包含信息的 90%以上,能以较少的指标来反映土壤肥力的整体状况。

(下转第 70 页)

### 3 结论

(1) 陇东南长江流域的泥石流频发,主要是历史地理原因,但人类活动也加剧了其发生的次数,尤其森林的过度采伐及矿产资源的大量开发,使原有的植被遭到了严重的破坏。森林覆盖率已由 20 世纪 60 年代的 50%,降低到 28.6%。其中武都林地由 173 000hm<sup>2</sup> 减少到 94 000 hm<sup>2</sup>,覆盖率由 37%降到 23.7%。礼县林地由 173 000 hm<sup>2</sup> 减少到 41 000 hm<sup>2</sup>,覆盖率由 16.5%降到 9.8%。植被的减少增加了泥石流发生的可能性,因此减少在发展经济的过程中对当地生态环境的不利影响,促使当地经济可持续发展,将是一项长期艰巨的工作。

(2) 大(暴)雨引发陇东南长江流域泥石流暴发的评价指数的构建,以大(暴)雨出现的频率为依据,结合当时的土壤水分可容纳量,在评价当地泥石流的暴发程度时,有一定的实用价值。但不同的地形、坡度、集流面积等引发泥石流的临界雨量是不同的,在实际应用时还需做进一步的修订。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 匡乐红,刘宝琛,姚金成. 基于模糊可拓方法的泥石流危险度区划研究[J]. 灾害学,2006,21(1):68—71.
- [2] 刘希林. 云南昭通地区泥石流灾害及危险程度评价[J]. 灾害学,1991,6(4):47—51.
- [3] 张春山. 北京地区泥石流灾害危险性评价[J]. 地质灾害与环境保护,1995,6(3):33—40.
- [4] 韦方强,谢洪,钟敦伦. 四川省泥石流危险度区划[J]. 水土保持学报,2000,4(1):59—63.
- [5] 钟敦伦,谢洪,王士革,等. 北京山区泥石流[M]. 北京:商务印书馆,2004.
- [6] 朱静,唐川. 云南省泥石流灾害危险度分布研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,1996,7(2):86—93.
- [7] 蒲金涌,苗具全,姚小英,等. 甘肃省暴雨洪水灾害分布特征研究[J]. 灾害学,2006,21(1):27—31.
- [8] 马琨,唐少卿. 甘肃省自然灾害及其防治对策[J]. 灾害学,1990,5(4):35—41.
- [9] 温克刚,董安祥. 中国气象灾害大典. 甘肃卷[M]. 北京:气象出版社,2005. 169—220.
- [10] 杨具瑞,方铎,成自勇,等. 甘肃泥石流灾害及其分布研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2):45—48.
- [11] 白龙江流域第四纪以来地貌发育基本模式研究[J]. 重庆交通学院学报,1997(1):25—28.
- [12] 宋连春,张存杰. 20 世纪西北地区降水变化特征[J]. 冰川冻土,2003,25(2):143—148.
- [13] 林纾,陆登荣. 近 40 年来甘肃省降水的变化特征[J]. 高原气象,2004,23(6):898—904.
- [14] 赵庆云,李栋梁,李耀辉. 西北区降水异常的时空特征分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),1999,35(4):512—516.
- [15] 董三孝. 黄土丘陵区退耕坡地植被自然恢复过程及其对土壤入渗的影响[J]. 水土保持通报,2004,24(4):1—5.
- [16] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 甘肃泥石流[M]. 北京:人民交通出版社,1983. 188—234.

(上接第 66 页)

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 谢正苗,吕军. 红壤退化过程与生态位的研究[J]. 应用生态学报,1998,9(6):42—46.
- [2] 孙波,张桃林. 我国中亚热带缓丘区红黏土红壤肥力的演化[J]. 土壤学报,1999,36(1):36—46.
- [3] 安希忠,林秀梅. 实用多元统计分析方法[M]. 长春:吉林科学出版社,1992.
- [4] 阮桂海,蔡建平,苏红,等. SPSS 实用教程[M]. 北京:电子工业出版社,2000.
- [5] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [6] 吴蔚东,郑诗樟,卢志红,等. 江西省丘陵山区红壤非耕地土壤退化的研究[J]. 江西农学报,1997,19(1):27—31.
- [7] 何毓蓉. 我国南方山区土壤退化及其防治[J]. 山地研究,1996,14(2):110—116.
- [8] 史德民,韦启藩,梁音. 关于侵蚀土壤退化及其机理[J]. 土壤,1996,28(3):46—50.
- [9] Sims J T, Cunningham S D, Sumner M E. Assessing soil quality for environmental purposes; roles and challenges for soil scientist[J]. J. Environ. Qual,1997(26):20—25.