

华南丘陵区村级景观下土地利用/土地覆盖对土壤质量的影响*

焦加国^{1, 2} 武俊喜³ 李辉信² 杨林章^{1†} 肖红生⁴ Erle C Ellis⁵

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008) (2 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(3 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094) (4 华南农业大学热带亚热带生态研究所, 广州 510642)

(5 Department of Geography and Environmental Systems, University of Maryland, Baltimore County, Maryland 21250, USA)

摘要 利用 IKONOS 高分辨率(1m)卫星遥感图,根据 Ellis 提出的村级景观分类体系,研究华南丘陵区村级景观中的土壤容重、土壤有机质、土壤全氮和土壤全磷的含量和分布特征。结果表明:不同土地利用景观中,表层土壤(0~15 cm)的土壤容重、有机质和全氮均有显著差异,最大值分别为:1.42 g cm⁻³(建设用地)、18.67 g kg⁻¹(水田)和 0.95 g kg⁻¹(水田),而全磷差异不显著。由于林地面积最大,其土壤养分储量也最大,表层土壤有机质、全氮、全磷储量分别占整个地区表层总储量的 55.05%、53.88%、46.23%。不同土地覆盖景观中,表层土壤的土壤容重、有机质、全氮也都有显著差异,最大值分别为:1.42 g cm⁻³(硬化地面)、15.96 g kg⁻¹(混合植被)和 0.68 g kg⁻¹(混合植被),而全磷差异也不显著。多年生植被在土地覆盖景观中所占面积最大,其表层土壤有机质、全氮、全磷储量分别占整个地区表层总储量的 55.01%、54.53%、59.02%。由于下层受人为干扰较小,不论是在不同土地利用方式还是在土地覆盖下,下层土壤(15~30 cm)的土壤容重、有机质、全氮和全磷均无显著差异。人为强烈干扰下,植被覆盖度低的交通用地、房屋及其附近的干扰地和荒地与植被覆盖度高的林地、水田相比较,土壤容重高,而土壤有机质、土壤全氮和土壤全磷含量低。

关键词 华南;丘陵区;村级景观;土地利用;土地覆盖;土壤养分;土壤容重

中图分类号 S159 文献标识码 A

人口的增长和工业化的进程促进了我国人口密集的农村景观的土地利用和土地覆被的变化,使人口密集地区的农村景观正发生着史无前例的变化,进而影响了土壤中元素含量的变化和生态系统的进程。人口密集农村地区的范围会越来越广,人类活动对人口密集的农村地区影响将更加强烈,更多的自然植被区将转化为农田,这会释放更多的 CO₂、NO₂ 和 CH₄,同时还会导致农村生态环境的破坏。然而在现有关于土壤元素变化研究的报道中,大多数是集中在大尺度宏观区域和小尺度的小流域地区^[1~5],关于中等尺度村级景观的研究鲜有报道。庞大的农业人口和广阔的乡村面积使我国村级景观在全球变化研究中占有重要地位。农村景观,作为农业发展的主要空间,其人为干扰作用十分强烈,生态过程变化复杂,农户水平细微尺度的土地利用变化和资源管理行为多样化,小尺度的土地利用和覆被变化以及农户水平土地和

资源管理方式多样化,使得用通常大尺度的景观研究容易掩盖中小尺度景观的土地利用和覆被变化及其土壤养分含量的变化^[6~8]。

本研究区域位于广东省茂名市电白县的低山丘陵地区,是典型的人口密集的热带亚热带农业区域;借助高分辨率(IKONOS)卫星影像,采用 Ellis 等^[9,10]提出的多层次景观分类体系,研究该区域乡村景观中小尺度的土地利用和覆被特征及其不同景观单元中的土壤碳氮磷的含量和储量特点。

1 研究方法

1.1 研究区域的选取

研究区域选择热带亚热带低山丘陵农业区域,中心位于广东省电白县(北纬 111°18'48",东经 21°38'13")。人口密度约为 830 人 km⁻²。土壤类型

* 美国国家科学基金项目(grant:DEB-0075617)和中国国家科技部 973 项目(2005CB121108)资助

† 通讯作者, Tel: 025-86881591; E-mail: lzyang@issas.ac.cn

作者简介:焦加国(1981~),男,江苏连云港人,博士研究生,主要从事 GIS 和土壤生态的研究

收稿日期:2005-12-31;收到修改稿日期:2006-05-18

为砖红壤,质地较粗,并含有少量石英砂。基于项目能提供的 IKONOS 影像范围以及研究的可行性,区域面积为 100 km²左右,同时避免土地利用的变化过程受城市景观影响。在区域内,用 LANDSET 影像分类,以 500 × 500 m 进行网格分区,在剔除了水域面积 > 75 % 或城镇面积 > 25 % 的区格之后,筛选出能较好代表区域景观的 12 个 500 m × 500 m 单元格,最终实际研究的面积为 3 km²。

1.2 景观分类制图

Elis 等制定了地形(Landform)、土地利用(Land

use) 土地覆被(Land cover) 组别 + 类型(Group + Type) 四层次分层分类规则^[9,10]。生态立地表示景观中最小的均质斑块,并至少近期连续两年稳定的最小的同质斑块^[9],由上述四种属性共同组成。例如,生态立地“SLTPeb02”地形为斜坡(Landform = SL = Sloping),土地利用为林地(Land use = T = Forestry),土地覆盖为多年生(Land cover = P = Perennial)的次生阔叶林(Group + Type = eb02)。SLTPeb02 = Landform + Land use + Land cover + Group + Type(表 1,表 2)。

表 1 村级景观分级分类描述

Table 1 Classification of landform, land use, and land cover in village landscape

地形 Landform		土地利用 Land use		土地覆盖 Land cover	
代码 Code	描述 Description	代码 Code	描述 Description	代码 Code	描述 Description
AN	人工地段 Anthropogenic	C	建设用地 Constructed	A	一年生植被 Annual
EX	挖掘地 Excavated	D	干扰地 Disturbed	M	混合植被 Mixed
FS	山麓 Foot slope	M	开采地 Mine & Fill	P	多年生植被 Perennial
SL	斜坡 Sloping	P	水田 Paddy	S	硬化地面 Sealed
SS	陡坡 Steep slope	R	旱地 Rainfed	X	荒地 Barren
		T	林地 Forestry		

表 2 生态立地类型描述

Table 2 Description of ecotopes in village landscape

生态立地 Ecotope	注解 Description	生态立地 Ecotope	注解 Description
ANCSHo03	相连居民建筑	SLRMoe44	斜坡,大面积未成熟龙眼
ANDMdb07	人工地貌,草本和木本植物混杂的垃圾地	SLRPbe39	斜坡,小面积成熟荔枝
EXMXex04	开采用地(金矿)	SLRPbe40	斜坡,中等面积成熟荔枝
FSPAri01	山脚平地两季水田	SLRPbe41	斜坡,大面积成熟荔枝
SLDAdb06	斜坡,无植被垃圾地	SLTMw02	斜坡,天然木本植物
SLDMdb07	斜坡,草本,木本植物混杂的垃圾地	SLTPeb02	斜坡,天然阔叶林
SLDPdb08	斜坡,木本植物垃圾地	SLTPen01	斜坡,种植常绿针叶林
SLRAac04	斜坡,中等面积旱地	SLTPb01	斜坡,人工种植灌木
SLRMbe36	斜坡,小面积未成熟荔枝	SLTPb02	斜坡,天然灌木
SLRMbe37	斜坡,小面积未成熟荔枝	SLTPbt01	斜坡,人工种植敞开心
SLRMbe38	斜坡,大面积未成熟荔枝	SLTPwe02	斜坡,天然闭合常绿木本植物
SLRMbe43	斜坡,中等面积未成熟龙眼	SSTPbt01	陡坡,人工种植敞开心

1.3 样点布设及田间采样

土壤取样是基于生态立地为单元的景观分类图及景观分类组合的区域权重面积系数(IVWP)来设计。根据生态立地(Ecotope),地形与土地利用/覆被组合(FUC = FROM + USE + COVER)以及土地利用和

覆被组合(UC = USE + COVER)三种分类层次的区域权重面积比率(IVWP-Area %),确定并调整土壤取样点的在不同景观分类组合的数量。并按照此顺序先后进行取样,如果前面的取样结果包含后面的景观分类组合,则不再重复取样。各景观分类组合均按

照计算值取样,最少三个样,最多十个样,最后由 GIS 软件确定每个样点的具体位置。将由 GIS 生成的样点输入 GPS,根据 GPS 导航定位和每个样点所属的生态立地景观类型准确找到每个样点(Way-point)的位置。然后去除样点表面的杂草、石头等杂物,用直径 5.08 cm 的分裂式采样器(AMS, American Falls, Idaho)进行采样,土壤取样器是由一可以滑动的手柄和一圆柱体组成,土壤采样器是依靠手柄的自重用手慢慢敲打下去,装土样的圆柱体可以打开,但由于摩擦作用,土样长度均不足 30 cm,在野外记录了土柱的实际长度。采回的土壤采样深度为 30 cm,分为两层,分别为 0~15 cm 和 15~30 cm,然后分别装入定制的布袋中,采回的土样及时风干。

1.4 样品处理及实验室分析

过筛前,称量风干土重,然后全部过 2 mm 筛,过筛过程中,剔除植物根系、石子和昆虫等杂物,再次称量过筛后风干土重(用于计算 C、N、P 储量)。取约 80 g 过 2 mm 筛的土样,再过 0.25 mm 筛,用于实验室分析。容重测量用土壤烘干重(过 2 mm 筛)除以土钻体积($3.14 \times 2.54^2 \times 30 \text{ cm}^3$ 或 $3.14 \times 2.54^2 \times 15 \text{ cm}^3$);有机质测定采用外加热-重铬酸钾容量法;全氮测定采用半微量-开氏定氮法;全磷测定采用高氯酸消煮-钼锑抗比色法^[11]。为了确保测定的准确性,有机质和全氮的测定运用了标样 7 416,全磷测定运用了标样 7 412。

1.5 数据分析

土壤有机碳密度是有机碳含量、土壤容重和土壤深度的乘积,整个地区有机碳密度是由生态立地(最细分类水平)面积加权平均而得,有机碳储量是有机碳密度和面积的乘积,有机质和有机碳的转化系数为 1.724。土壤全氮和全磷密度的计算与土壤有机碳密度相同。

$$SOC = \sum_i BD_i \times C_i \% \times d_i \quad (1)$$

(1) 式中, SOC 为土壤有机碳密度(kg m^{-2}), BD_i 为土壤容重(g cm^{-3}), C_i % 为土壤有机碳含量(g kg^{-1}), d_i 为土壤深度(m),某种类型的养分储量为该养分的密度乘以该类型的面积。

采用单因素的方差分析(ANOVA)来检验土壤属性在不同土地利用类型之间的差异,如果有显著性差异,则进一步用 Duncan(符合正态性和方差其次性)或 Dunnett's C(不符合正态性和方差其次性)方法进行多重比较。

2 结果与讨论

2.1 土地利用方式对土壤容重和土壤养分的影响

由表 3 可知,建设用地(1.42 g cm^{-3})和居民区附近的干扰地(1.35 g cm^{-3})土壤容重最高,其次是开采用地(1.25 g cm^{-3})、旱地(1.24 g cm^{-3})和林地(1.12 g cm^{-3}),最低的是水田(1.03 g cm^{-3}),水田的土壤容重与其他 5 种土地利用方式的土壤容重均有显著差异。底层土壤容重在不同土地利用之间没有显著差异,其大小顺序为:建设用地 > 干扰地 > 开采用地 > 水田 > 旱地 > 林地。从表层和底层土壤容重比较情况来看,其中水田的表层土壤容重和底层土壤容重差别最大,底层增加了 29.6%,其他各种土地利用方式下的表层和底层土壤容重相差很小。一般来说,水田的耕作层厚度为 15~20 cm,由于耙地和翻耕,水田表层非常疏松,孔隙度增加,容重降低,甚至低于未开垦利用的林地;而水田底层,即犁底层,由于长期没有翻耕以及机械磨压作用,变得很紧实,导致容重增加^[12,13]。建设用地、干扰地、开采用地和旱地土壤容重高于林地,这是因为森林砍伐及随后的耕种,以及一些不合理的过度利用,破坏了土壤原有结构,使土壤变得易于侵蚀,表现为土壤容重增加^[14~16]。

表层土壤有机质含量在不同土地利用之间有明显差异,水田、林地的有机质含量均比较高,分别为 18.67 g kg^{-1} 、 16.50 g kg^{-1} ,旱地(13.97 g kg^{-1})、建设用地(10.84 g kg^{-1})和干扰地(1.150 g kg^{-1})居中,开采用地最低,为 3.29 g kg^{-1} 。开采用地的有机质含量与其他 5 种土地利用的有机质含量均达到显著差异,底层土壤有机质含量在不同土地利用之间没有明显差异,大小趋势与表层基本一致。表层土壤全氮和有机质含量变化完全相同,水田(0.95 g kg^{-1})最高,开采用地(0.16 g kg^{-1})最低,其他居中。

表层和底层土壤全磷含量在不同土地利用间均没有显著变化(表 3)。表层全磷含量最高的为干扰地(0.33 g kg^{-1})和旱地(0.22 g kg^{-1}),最低的为林地(0.20 g kg^{-1})。底层全磷含量最高的为干扰地(0.24 g kg^{-1}),最低的为水田(0.14 g kg^{-1})。在本研究所采样的区域内,旱地绝大部分为果园,由于果园施用磷肥较多,磷含量自然比较高。Saikh 等指出,一些森林土壤的全磷含量要小于农业用地的土壤全磷含量^[17],本试验也有相同结果。从两个层次的比较来看,在所有土地利用中,水田表层有机质、全氮和全磷含量与底层差别均为最大,分别较底层

高出 73.41 %、82.80 % 和 86.50 %。而其他土地利用方式下养分在表层和底层两土层间变化不大。

表 3 不同土地利用方式下土壤养分及容重平均值的比较

Table 3 Comparison between soils under different land use in mean soil nutrient content and bulk density

土地利用 Land use	样点数 Number of sampling points <i>n</i>	容重 Bulk density (g cm ⁻³)		有机质 Organic material (g kg ⁻¹)		全氮 Total nitrogen (g kg ⁻¹)		全磷 Total phosphorus (g kg ⁻¹)	
		0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm
		建设用地 Constructed	3	1.42 a	1.41	10.84 b	7.22	0.54 b	0.36
ANCSHo03	3	1.42	1.41	10.84	7.22	0.54	0.36	0.35	0.26
干扰地 Disturbed	13	1.35 ab	1.35	11.50 b	7.68	0.54 b	0.35	0.33	0.24
ANDMdb07	3	1.26	1.27	16.20	5.95	0.35	0.24	0.32	0.28
SLDAdb06	3	1.50	1.50	6.38	4.03	0.29	0.20	0.16	0.10
SLDMdb07	4	1.27	1.28	18.29	11.15	0.97	0.52	0.53	0.41
SLDPtb08	3	1.38	1.35	10.81	8.96	0.47	0.40	0.27	0.16
开采用地 Mine & Fill	3	1.25 ab	1.34	3.29 c	6.38	0.16 c	0.39	0.21	0.16
EXMXex04	3	1.25	1.34	3.29	6.38	0.16	0.39	0.21	0.16
水田 Paddy	10	1.03 c	1.33	18.67 a	10.78	0.95 a	0.52	0.26	0.14
FSPAri01	10	1.03	1.33	18.67	10.78	0.95	0.52	0.26	0.14
旱地 Rainfed	37	1.24 b	1.26	13.97 ab	9.94	0.60 b	0.43	0.32	0.19
SLRAac04	3	1.39	1.31	7.33	6.09	0.36	0.29	0.28	0.22
SLRMbe36	5	1.27	1.36	11.90	8.76	0.47	0.34	0.14	0.11
SLRMbe37	3	1.17	1.18	19.03	11.26	0.81	0.47	0.20	0.14
SLRMbe38	4	1.25	1.29	17.67	9.55	0.73	0.40	0.15	0.14
SLRMbe43	3	1.16	1.21	16.53	11.59	0.68	0.45	0.14	0.14
SLRMbe44	3	1.13	1.15	15.62	11.14	0.66	0.48	0.16	0.14
SLRPbe39	3	1.24	1.27	14.21	7.86	0.63	0.38	0.21	0.15
SLRPbe40	3	1.35	1.35	11.62	7.93	0.50	0.34	0.29	0.15
SLRPbe41	10	1.21	1.24	14.17	12.46	0.61	0.55	0.46	0.27
林地 Forestry	52	1.12 b	1.23	16.50 ab	11.03	0.71 ab	0.50	0.20	0.18
SLTMow02	10	1.22	1.28	17.45	11.24	0.71	0.47	0.16	0.14
SLTPeb02	7	1.19	1.11	21.72	14.22	1.01	0.65	0.21	0.18
SLTPen01	10	1.22	1.25	13.27	9.38	0.56	0.47	0.20	0.17
SLTPbb01	3	1.20	1.35	13.98	9.57	0.58	0.46	0.16	0.16
SLTPbb02	10	1.31	1.31	15.15	8.78	0.69	0.44	0.27	0.21
SLTPbt01	3	1.07	1.12	15.77	14.24	0.64	0.51	0.22	0.21
SLTPve02	6	1.18	1.17	18.98	13.12	0.80	0.59	0.20	0.20
SSTPbt01	3	1.12	1.15	15.34	12.03	0.65	0.55	0.15	0.18
所有样点 All samples	118	1.24	1.27	14.10	9.70	0.62	0.44	0.24	0.18

注: 显著性检验用 Duncan 方法, 表中英文字母 a, b, c 标明 ANOVA 检验的显著程度 ($p < 0.05$)。同表 4 Note: Different letters in the same column mean significant statistical difference ($p < 0.05$) of the ANOVA test with the Duncan method. The same for Table 4

不同土地利用方式的生态环境有很大差异,水田土壤一般分布在坡度较缓、水源较好的阶地、浅丘、宽谷,农业生产条件较好,水稻根茬和有机肥使用较多。但由于耕作层较浅,且犁底层较为紧实,养分很难到达犁底层,所以犁底层养分含量远低于耕层;林地凋落物保护完整,没有人为破坏,且林地植物根系发达,对土层影响的深度远超过其他土地类型,表现为表层和底层养分含量变化不明显;旱地多分布于坡度较大、水源条件较差的山地、丘陵,水土流失及养分流失较严重,且收获物取出多,归还给土壤的少,有机质和全氮含量低于水稻土和林地;建筑用地、干扰地大多为客土,没有明显的土壤层次,有机质和全氮含量在表层和底层变化不明显,且含量都很低;开采用地由于是去除了表土(深度大于1 m)

的土壤,养分含量自然最低^[18,19]。

2.2 土地覆盖对土壤容重和土壤养分的影响

由表4可以看出,一年生植被土壤容重最低(1.19 g cm^{-3}),只与最高硬化地面的土壤容重(1.42 g cm^{-3})有显著差异,混合植被、多年生植被和荒地的土壤容重居中。底层土壤容重在不同土地覆盖之间没有显著变化。从表层和底层的土壤容重比较来看,除硬化地面外,其余4种土地覆盖的底层土壤容重均高于表层,这是因为表层土壤有机质含量较高,疏松多孔,所以土壤容重低,而底层土壤有机质含量低,比较紧实,所以土壤容重高^[17]。硬化地面主要由道路、房屋和房屋附近的荒地构成,人为践踏以及交通运输工具的长期机械磨压,导致底层土壤容重增加。

表4 不同土地覆盖间土壤养分及容重平均值的比较

Table 4 Comparison between soils under different land cover in mean soil nutrient content and bulk density

土地覆盖 Land cover	样点数 Number of sampling points <i>n</i>	容重 Bulk density (g cm^{-3})		有机质 Organic material (g kg^{-1})		全氮 Total nitrogen (g kg^{-1})		全磷 Total phosphorus (g kg^{-1})	
		0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm
		一年生植被 Annual	16	1.19 b	1.35	13.09 ab	8.41	0.65 a	0.41
FSPAri01	10	1.03	1.33	18.67	10.78	0.95	0.52	0.26	0.14
SLDAdb06	3	1.50	1.50	6.38	4.03	0.29	0.20	0.16	0.10
SLRAac04	3	1.39	1.31	7.33	6.09	0.36	0.29	0.28	0.22
混合植被 Mixed	35	1.22 ab	1.27	15.96 a	10.22	0.68 a	0.43	0.29	0.19
ANDMdb07	3	1.26	1.27	9.40	5.95	0.35	0.24	0.32	0.28
SLDMdb07	4	1.27	1.28	18.29	11.15	0.97	0.52	0.53	0.41
SLRMbe36	5	1.27	1.36	11.90	8.76	0.47	0.34	0.14	0.11
SLRMbe37	3	1.17	1.18	19.03	11.26	0.81	0.47	0.20	0.14
SLRMbe38	4	1.25	1.29	17.67	9.55	0.73	0.40	0.15	0.14
SLRMbe43	3	1.16	1.21	16.53	11.59	0.68	0.45	0.14	0.14
SLRMbe44	3	1.13	1.15	15.62	11.14	0.66	0.48	0.16	0.14
SLTMbw02	10	1.22	1.28	17.45	11.24	0.71	0.47	0.16	0.14
多年生植被 Perennial	61	1.23 ab	1.24	15.26 a	10.78	0.67 a	0.50	0.26	0.2
SLDPdb08	3	1.38	1.35	10.81	8.96	0.47	0.40	0.27	0.16
SLRPbe39	3	1.24	1.27	14.21	7.86	0.63	0.38	0.21	0.15
SLRPbe40	3	1.35	1.35	11.62	7.93	0.50	0.34	0.29	0.15
SLRPbe41	10	1.21	1.24	14.17	12.46	0.61	0.55	0.46	0.27
SLTPeb02	7	1.19	1.11	21.72	14.22	1.01	0.65	0.21	0.18
SLTPen01	10	1.22	1.25	13.27	9.38	0.56	0.47	0.20	0.17
SLTPbb01	3	1.20	1.35	13.98	9.57	0.58	0.46	0.16	0.16
SLTPbb02	10	1.31	1.31	15.15	8.78	0.69	0.44	0.27	0.21
SLTPbt01	3	1.07	1.12	15.77	14.24	0.64	0.51	0.22	0.21
SLTPwe02	6	1.18	1.17	18.98	13.12	0.80	0.59	0.20	0.20
SSTPbt01	3	1.12	1.15	15.34	12.03	0.65	0.55	0.15	0.18
硬化地面 Sealed	3	1.42 a	1.41	10.84 a	7.22	0.54 a	0.36	0.35	0.26
ANCSbo03	3	1.42	1.41	10.84	7.22	0.54	0.36	0.35	0.26
荒地 Barren	3	1.25 ab	1.34	3.29 b	6.38	0.16 b	0.39	0.21	0.16
EXMXex04	3	1.25	1.34	3.29	6.38	0.16	0.39	0.21	0.16
所有样点 All samples	118	1.24	1.27	14.10	9.70	0.62	0.44	0.24	0.18

土壤有机质、全氮、全磷在不同土地覆盖之间的含量变化没有在不同土地利用之间变化明显。由表 4 可知,表层土壤中,荒地的有机质含量 (3.29 g kg^{-1})和全氮含量 (0.16 g kg^{-1})均为最低,且分别与其他土地覆盖有显著差异,有机质和全氮含量在一年生植被、混合植被、多年生植被和硬化地面之间都没有显著差异。底层土壤中,有机质、全氮和全磷含量在不同土地覆盖中均没有显著变化。从本试验结果来看,有植被的土壤有机质和全氮含量高于没有植被的土壤有机质和全氮含量。这是因为地表植被可以改变生态系统生物量 and 微环境条件,如光、热、水和土壤生物等,增加微生物活动,同时还会降低土壤侵蚀,改善土壤质量,进而可以提高有机质水平^[5,20]。

由表 2 和表 3 可知,由于生态立地的分类很细,生态立地的种类要多于土地利用方式和土地覆盖的种类,且土壤养分在生态立地水平的变化情况比在不同土地利用方式和土地覆盖水平下的变化要更为复杂。如果用传统的土地利用和土地覆盖分类方法进行分类,则每个样方均被视为农田或林地,其中房屋、道路等小面积的土地利用方式将被忽略。而本文所采用的多层次分类方法能够较好真实反映出人口密集农村地区的生态结构和土壤养分的分布情况。

2.3 不同土地利用方式和土地覆盖对土壤养分储量的影响

土壤养分储量由两个因素决定,即土壤的养分密度和该土壤的面积。土地利用景观中,林地的养分储量最大,其面积百分数为 52.05%,表层土壤有机碳、全氮、全磷的储量为 2 740 t、207.0 t 和 65.78 t,分别占表层总储量的 55.05%、53.88% 和 46.23%。水田、干扰地和旱地养分储量居中,建筑用地和开采用地最小。土地覆盖景观中,多年生植被养分储量最高,表层有机碳、全氮、全磷的储量分别占总储量的 55.01%、54.53% 和 59.02%,一年生植被和混合植被次之,硬化地面和荒地最小。

从研究结果来看,电白地区的土壤有机质、全氮、全磷的含量均较低(表 3,表 4)。主要有以下原因:一是气候条件的影响,电白地区年平均气温高,养分循环快,蒸发作用强,雨量充足且集中,易造成土壤和养分流失;二是人为活动和不合理的耕作措施,当地村民为了追求更大的经济利益,不惜以开山毁林来种植果树,坡地表土裸露,水土流失非常严重,有些坡地的地表只剩下些大颗粒的石英砂,养分十分匮乏。当地金矿的附近寸草不生,只剩下大面积的荒地。人们为了眼前的经济利益而破坏了长久的生态平衡。

表 5 不同分类层次下养分储量比较

Table 5 Estimates of soil nutrient pools in different classification levels

分类 级别 Level	类型 Types	面积 Area (km^2)	面积百分数 Area percentage (%)	有机碳储量		全氮储量		全磷储量	
				Soil organic carbon stock (t)		Soil total nitrogen stock (t)		Soil total phosphorus stock (t)	
				0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm	0~15 cm	15~30 cm
土地 利用 Land use	林地 Forestry	1.56	52.05	2 740.28	1 750.22	207.03	142.46	65.78	55.20
	旱地 Rainfed	0.67	22.30	996.67	760.61	73.381	56.33	36.40	24.44
	水田 Paddy	0.35	11.60	580.06	433.57	50.94	36.11	14.13	9.82
	干扰地 Disturbed	0.20	6.61	287.39	189.49	23.78	14.89	14.14	10.60
	建设用地 Constructed	0.02	0.73	29.33	19.30	2.51	1.67	1.64	1.18
	开采用地 Mine & Fill	0.01	0.41	4.43	9.25	0.36	0.98	0.50	0.40
土地 覆盖 Land cover	一年生植被 Annual	1.64	54.50	2 738.57	1 840.79	209.53	150.79	83.99	63.37
	混合植被 Mixed	0.69	22.92	1 185.57	787.3	87.05	57.29	26.01	21.91
	多年生植被 Perennial	0.45	15.15	680.27	505.81	58.55	41.71	20.45	14.78
	硬化地面 Sealed	0.02	0.73	29.33	19.30	2.51	1.67	1.64	1.18
	荒地 Barren	0.01	0.41	4.43	9.25	0.36	0.98	0.50	0.40

3 结论

研究结果表明,由于气候(气温和降雨量)条件和耕作措施的影响,电白地区的土壤有机质、全氮和全磷含量均较低。表层土壤的土壤容重、土壤有机质和土壤全氮在不同土地利用方式、不同土地覆盖下均有显著差异,而底层均没有显著差异;不论是表层还是底层,土壤全磷含量在不同土地利用方式、不同土地覆盖下均没有明显变化。人为活动对土壤养分分布的影响主要集中在表层。低覆盖度的交通用地、房屋及其附近的干扰地、荒地的土壤容重高;林地和水田的土壤容重低,养分含量高,且林地的养分储量最大。林地,作为自然植被的最好代表,受人为干扰最小,且土壤养分含量高,所以植树造林是提高土壤质量的有效途径,可防止水土流失,增加土壤碳库,同时还可以吸收 CO₂, 排放 O₂, 对全球气候变暖问题的解决有非常重要的意义。

采用单一的土地利用或土地覆盖分类方法估算区域性的土壤养分储量易造成较大的偏差。本研究是采用 Ellis 等提出的地形(Landform)、土地覆被(Land cover)、土地利用(Land use)、生态立地(Eco-type)四级分类和景观制图方法,用生态立地(Eco-type)来表述土地利用和土地覆盖的组成,能够精确地反映村级景观格局实际^[21],对不同层次景观的养分含量变化及其储量能够作更细致精确的研究。

致谢 本文以美国国家科学基金项目(grant: DEB-0075617)研究工作为基础。该项目由美国马里兰大学 Ellis 博士主持,与中国科学院南京土壤研究所杨林章研究员、中国科学院地理科学与资源研究所欧阳华研究员、中国农业大学农学与生物技术学院程序教授合作,特此致谢。

本文之见解不一定完全反映美国国家科学基金项目的观点。

参考文献

- [1] Amaia G, Gonzalo A. Organic carbon storage in soils of the Basque Country (Spain): The effect of climate, vegetation type and edaphic variables. *Biol. Fertil. Soils*, 2003, 37: 154~162
- [2] 徐俊兵. 扬州市土壤有机质和速效磷钾的分布研究. *土壤*, 2004, 36(1): 99~103. Xu J B. Distribution of soil organic matter, available phosphorus and available potassium in soils of Yangzhou (In Chinese). *Soils*, 2004, 36(1): 99~103
- [3] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析. *土壤学报*, 2004, 41(1): 35~43. Xie X L, Sun B, Zhou H Z, *et al.* Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(1): 35~43
- [4] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性. *生态学报*, 2002, 22(8): 1173~1178. Wang J, Fu B J, Qiu Y, *et al.* Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of the Loess Plateau (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1173~1178
- [5] Su Z Y, Xiong Y M, Zhu J Y, *et al.* Soil organic carbon content and distribution in a small landscape of Dongguan, South China. *Pedosphere*, 2006, 16(1): 10~17
- [6] Ellis E C, Li R G, Yang L Z, *et al.* Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. 95~104
- [7] Ellis E C, Wang S M. Sustainable traditional agriculture in the Tai Lake region of China. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1997, 61: 177~193
- [8] Vitousek P M. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(25): 494~499
- [9] Ellis E C, Li R G, Yang L Z, *et al.* Long-term change in village scale ecosystems in China using landscape and statistical methods. *Ecol. Apply*, 2000, 10(4): 1057~1073
- [10] Ellis E C. Long-term ecological changes in the densely populated rural landscapes of China. In: DeFries R S, Asner G P, Houghton R A. eds. *Ecosystems and Land Use Change*. Washington, DC: American Geophysical Union, 2004. 303~320
- [11] Olsen S R, Sommers L E. Phosphorus. In: Page A L, Miller R H, Keeney D R. eds. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1982. 403~430
- [12] 龙健, 黄昌勇, 李娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响. *水土保持学报*, 2002, 16(1): 76~79. Long J, Huang C Y, Li J. Effects of land use on soil quality in karst hilly area (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(1): 76~79
- [13] 张凤荣主编. *土壤地理学*. 北京: 中国农业出版社, 2002. 261~264. Zhang F R. ed. *Soil Geography (In Chinese)*. Beijing: China Agricultural Press, 2002. 261~264
- [14] 李新宇, 唐海萍, 赵云龙, 等. 怀来盆地不同土地利用方式对土壤质量的影响分析. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 103~107. Li X Y, Tang H P, Zhao Y L, *et al.* Effects of land use on soil quality in Huailai Basin, Hebei Province (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(6): 103~107
- [15] Hajabbasi M A, Ahm A J, Hamid R K. Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil*, 1997, 190: 301~308
- [16] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响——以河北省遵化市为例. *地理学报*, 2001, 56(4): 447~455. Guo X D, Fu B J, Chen L D, *et al.* Effects of land use on soil quality in a hilly area: A case study in Zunhua County of Hebei Province (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4): 447~455
- [17] Saikh H, Varadachari C, Ghosh K. Changes in carbon, nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation: A case study in

- Simlipal National Park, India. *Plant and Soil*, 1998, 198: 137 ~ 145
- [18] 李跃林, 彭少麟, 赵平, 等. 鹤山几种不同土地利用方式的土壤碳储量研究. *山地学报*, 2002, 20(5): 548 ~ 552. Li YL, Peng SL, Zhao P, *et al.* A study on the soil carbon storage of some land use types in Heshan, Guangdong, China (In Chinese). *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(5): 548 ~ 552
- [19] Jana E, Compton E D, Boone G, *et al.* Foster. Soil carbon and nitrogen in a pine-oak sand plain in central Massachusetts: Role of vegetation and land-use history. *Oecologia*, 1998, 116:526 ~ 542
- [20] Sainju U M, Whitehead W F, Singh B P. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Can. J. Soil Sci.*, 2003, 83:155 ~ 165
- [21] Ellis E C, Wang H, Xiao H S, *et al.* Measuring long-term ecological changes within densely populated landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 100:457 ~ 473

SOIL QUALITY IN RELATION TO LAND USE/ COVER IN LANDSCAPE AT A VILLAGE LEVEL IN HILLY REGIONS SOUTH CHINA

Jiao Jiaguo^{1,2} Wu Junxi³ Li Huixin² Yang Linzhang^{1†} Xiao Hongsheng⁴ Erle C Ellis⁵

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(2 College of Resources & Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(3 College of Agronomy & Agroecology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

(4 Institute of Tropical & Subtropical Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(5 Department of Geography and Environmental Systems, University of Maryland, Baltimore County, Maryland 21250, USA)

Abstract To analyze soil quality in relationship to land use/ cover in landscape at a village level in hilly regions South China, village landscape maps were plotted out of high resolution (1 m) IKONOS satellite imagery using a standardized ecological landscape classification (land form, land use, land cover, ecotope) and mapping system. Results demonstrate that: Under different land use landscapes, soils in the 0 ~ 15 cm layer differ sharply in soil bulk density (SBD) (highest in Constructed of 1.42 g cm^{-3}), soil organic material (SOM) (highest in Paddy soil of 18.67 g kg^{-1}) and soil total nitrogen (TN) (highest in Paddy soil of 0.95 g kg^{-1}). The land use landscape of the region mostly consists of Forests (52.05%), Rainfed land (22.30%) and Paddy soil (11.6%). The stock of soil nutrients is mainly affected by soil area. In the 0 ~ 15 cm soil layer, the Forest has the highest soil nutrient stock, about 55.05% in SOM, 53.88% in TN, and 46.23% in soil total phosphorus (TP) of total region, respectively. Under different land cover landscapes, there also are significant differences in SBD (highest in Sealed cover of 1.42 g cm^{-3}), SOM (highest in Mixed cover of 15.96 g kg^{-1}) and TN (highest in Mixed cover of 0.68 g kg^{-1}). The land cover landscape of the region is composed of Perennial cover (54.50%), Annual cover (15.15%) and Mixed cover (22.92%). The soils nutrient stock in the 0 ~ 15 cm layer under Perennial cover are the highest, about 55.01%, 54.53%, and 59.02% in SOM, TN and TP of total region, respectively. Because of little human disturbance, no significant difference is found in SBD, SOM, TN and TP of 15 ~ 30 cm soil layer in different types of land use/ cover. Compared with soils in woodlands and paddy fields with high in vegetation cover, soils in residential areas, barelands under intensive human disturbance and lands with low in vegetation cover are high in SBD but low in soil nutrient content.

Key words South China; Hilly region; Village landscape; Land use; Land cover; Soil nutrient; Soil bulk density