

# 土地利用对土壤性质影响的区域差异研究

吴文斌<sup>1,2</sup>, 杨鹏<sup>1,3</sup>, 唐华俊<sup>1</sup>, Ongaro Luca<sup>4</sup>, Shibasaki Ryosuke<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081; <sup>2</sup>东京大学空间情报科学研究中心, 日本东京 153-8505; <sup>3</sup>东京大学气候研究中心, 日本千叶 277-8568; <sup>4</sup>意大利海外农业研究所, 意大利佛罗伦萨 4-50131)

**摘要:** 【目的】研究探讨土地利用对土壤性质影响的区域差异性。【方法】选择4类土地利用方式(天然林、人工林、灌丛和耕地),分别在山西寿阳县和四川丹棱县野外采集土壤样方进行测定,利用统计分析法研究土地利用对土壤性质影响的区域差异。【结果】不同土地利用方式对土壤性质的影响差异显著。人类活动干扰小的土地利用方式的土壤有机质、全氮含量和含盐量等普遍高于人类影响较强的土地利用方式。相同的土地利用方式对土壤性质的影响具有空间差异。即便在相同的土地利用方式下,不同的耕作制度和田间管理措施(灌溉、施肥、农药等)也会造成土壤特性的区域异质性。【结论】不同土地利用方式对土壤性质影响的区域差异揭示了人类活动对环境变化影响的区域差异,可以在一定程度上解释“人-地”的复杂性关系,研究结果可为国家在区域土地规划、作物栽培布局 and 水土保持政策制订等提供科学依据。

**关键词:** 土地利用方式; 土壤性质; 区域; 差异; 人类活动

## Regional Variability of Effects of Land Use System on Soil Properties

WU Wen-bin<sup>1,2</sup>, YANG Peng<sup>1,3</sup>, TANG Hua-jun<sup>1</sup>, ONGARO Luca<sup>4</sup>, SHIBASAKI Ryosuke<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Agricultural Resources and Regional Planning/Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, Ministry of Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; <sup>2</sup>Center for Spatial Information Science, University of Tokyo, Tokyo 153-8505, Japan; <sup>3</sup>Center for Climate System Research, University of Tokyo, Chiba 277-8568, Japan; <sup>4</sup>Istituto Agronomico Per L'Oltremare, Florence 4-50131, Italy)

**Abstract:** 【Objective】 Shouyang County, Shanxi Province and Danling County, Sichuan Province were selected as investigative areas to evaluate the regional variability of effects of different land use systems on soil properties. 【Method】 Field soil sampling was carried out for four land use systems in both target areas, and classical statistical tools were applied to analyze the soil data so as to investigate the effects of land use system on soil properties and its regional variability. 【Result】 Influence of land use systems on soil properties was significant. Soils in slightly human-disturbed land use systems presented a higher fertility level than those of strongly human-disturbed land use systems in both regions. The impacts of the land use system on soil properties showed a distinct regional variability, and even in the same land use system, different cropping system and site management measure (irrigation, fertilizer, and pesticide) could lead to the regional heterogeneity in soil properties. 【Conclusion】 Regional variability of effects of land use systems on soil properties reveals the regional variability of effects of human activities on environment, and explained the complex relations between human society and the nature.

**Key words:** Land use system; Soil property; Regional; Variability; Human activity

## 0 引言

【研究意义】土地利用与土地覆盖变化(LUCC)是全球环境变化的重要组成部分和主要原因<sup>[1]</sup>。大量

研究表明,土地利用变化可以引起陆地生态以及生物地球化学循环过程的变化,导致土壤性质变化和土地生产力改变,进而影响土壤质量和土壤环境变迁<sup>[2]</sup>。土壤性质是一系列土壤水分、物理和化学性质等的综

收稿日期: 2007-02-05; 接受日期: 2007-04-14

基金项目: 国家高技术发展计划(863)(2003AA131020)资助

作者简介: 吴文斌(1976-),男,湖北潜江人,研究方向为土地利用/土地覆盖变化、土地评价、农业遥感。Tel: 010-68919614; Fax: 010-68919615; E-mail: wwbyn@yahoo.com

合反映,体现了土壤环境的基本状况<sup>[3]</sup>。土壤是在自然因素(如母质、气候、生物、地形等)以及人为因素长期共同作用下形成的,其性质具有时间和空间尺度上的变异性。土地利用与土壤性质关系研究是全球环境变化研究核心内容之一。【前人研究进展】部分国内学者在不同区域,如青藏高原草甸区<sup>[4]</sup>、云南岩溶区<sup>[5]</sup>、新疆天山绿洲区<sup>[6]</sup>、黄土高原区<sup>[7-9]</sup>、华北平原区<sup>[10,11]</sup>、广西红壤低山区<sup>[12]</sup>和喀斯特峰丛洼地<sup>[13]</sup>等,分析研究了不同土地利用对土壤性质的影响作用。Sarno 等<sup>[14]</sup>和 Islam 等<sup>[15]</sup>分别在印度尼西亚和孟加拉国进行了类似研究。这些研究表明,土地利用对土壤性质具有重要的影响作用。【本研究的切入点】但分析发现,这些已有研究往往侧重于研究某一特定区域中土地利用和土壤性质的相互关系,很少研究不同区域土壤性质的差异性以及土地利用对土壤性质影响的区域差异性。【拟解决的关键问题】基于此,本文选择山西省寿阳县和四川省丹棱县两个研究区域,比较分析两个区域土壤性质差异,旨在研究土地利用方式对土壤性质影响的区域差异,揭示人类活动对环境变化影响的空间差异。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域概况

图 1 显示了两个研究区域(寿阳县和丹棱县)的地理位置。寿阳县位于黄土高原,东经 112°46'~113°28'和北纬 37°32'~38°05'之间,面积约 2 112 km<sup>2</sup>。气候为温带半干旱大陆性季风气候,夏季凉爽,冬季寒冷漫长,年均温度为 6.5~9℃,降雨量偏少,年均降水 462 mm,集中在夏季。寿阳县北部以山区为主,太行山脉从西北向东南蜿蜒,植被覆盖度高;中部广大地区为黄土高原的梁、峁和沟等地貌,严重的水土流失将黄土塬侵蚀成深沟独峁的独特景观;南部地区呈现出裸露岩层的沙岩丘陵地貌,植被稀少。寿阳县以旱作农业为主要土地利用方式,种植作物以玉米、大豆、马铃薯为主,还有部分菜地和园地;以牲畜耕作为主,化肥大量施用,杀虫剂施用量少。该区域内灌丛分布广泛,面积约占整个地区的 40%,以沙棘、蒿属,蔷薇和杜荆为主。天然林面积较小,仅占寿阳县面积的 2%,以中国红松为主。人工林比重为 4%,树种以杨树为主,主要分布在冲积平原和黄土高原起伏丘陵地带;还有部分针叶林(松树和杜松为主)分布在山区陡峭的坡面上。

丹棱县地处四川盆地西南边缘,东经 103°14'~

113°35'和北纬 29°52'~30°08'之间,面积约 449 km<sup>2</sup>。丹棱县属亚热带湿润区季风气候,四季温和,冬无严寒,夏无酷暑,年均温度为 16.9℃,年均降水量 1 233 mm,但集中在夏季 7、8 两月。丹棱县西北部为地形陡峭的山区,海拔范围为 890~1 144 m;中部和南部是广阔的冲积平原,安溪河和丹棱河从西北向东南贯穿试验区,汇入到岷江和青衣江。农业用地是丹棱县主要土地利用方式,农用地面积占全县面积的 70%,主要分布在东南部的平原,南部起伏的梯田和北部山区的缓坡地带,耕作作物以水稻为主。全县植被覆盖度高,天然植被占该区域面积的 22%,国家西部地区“退耕还林还草”政策的实施,人工林面积增加,占全县面积 7%。天然林树种主要有马尾松、杉木、柏树、楠木等;人工林以马尾松为主。灌丛中锦鸡儿、木姜子、蔷薇、八仙花属和赤杨等生长旺盛。

### 1.2 土壤样品采集与测定

研究土地利用方式对土壤性质影响的区域差异,需要在两个区域选择相同土地利用方式进行比较。本研究选择了两个区域都有分布的 4 种土地利用方式,即天然林、人工林、灌丛和耕地。

对每类土地利用方式,依据其在研究区域内的空间分布状况均匀地选择样点进行土壤采样,每类土地利用方式采样数不少于 10 个。为了保证土样的代表性,野外采样深度为 60 cm,每个土壤样点 3 次重复取样,充分混合,选取 300 g 的混合样放入采集带中,并利用 GPS 记录采样点的空间位置(土壤采样点空间分布见图)。野外采样工作分两个时间进行,2005 年 4 月完成寿阳县土壤采样,共 64 个土壤样品,天然林、灌丛、人工林和耕地的采样数分别为:13、14、15 和 22 个。2006 年 3 月完成丹棱县采样工作,共 59 个土样,天然林、灌丛、人工林和耕地的采样数分别为 15、14、14 和 16 个。

野外采集的混合样经自然风干和过 2 mm 筛处理后,进行分析测定。土壤性质测定项目包括:pH、有机质、全氮、阳离子交换量(CEC)和含盐量。实验室测定工作是在意大利海外农业研究所(IAO)土壤实验室进行,2005 年 6 月完成寿阳县土样的测定,2006 年 6 月完成丹棱县土样的测定。

### 1.3 数据分析处理

采用 Microsoft Excel 的汇总统计功能分析土壤性质指标的基本描述性信息。采用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫(K-S 检验)方法进行正态分布检验<sup>[8,12]</sup>,利用相关分析法研究土壤性质和不同土地利用的相关性,均采

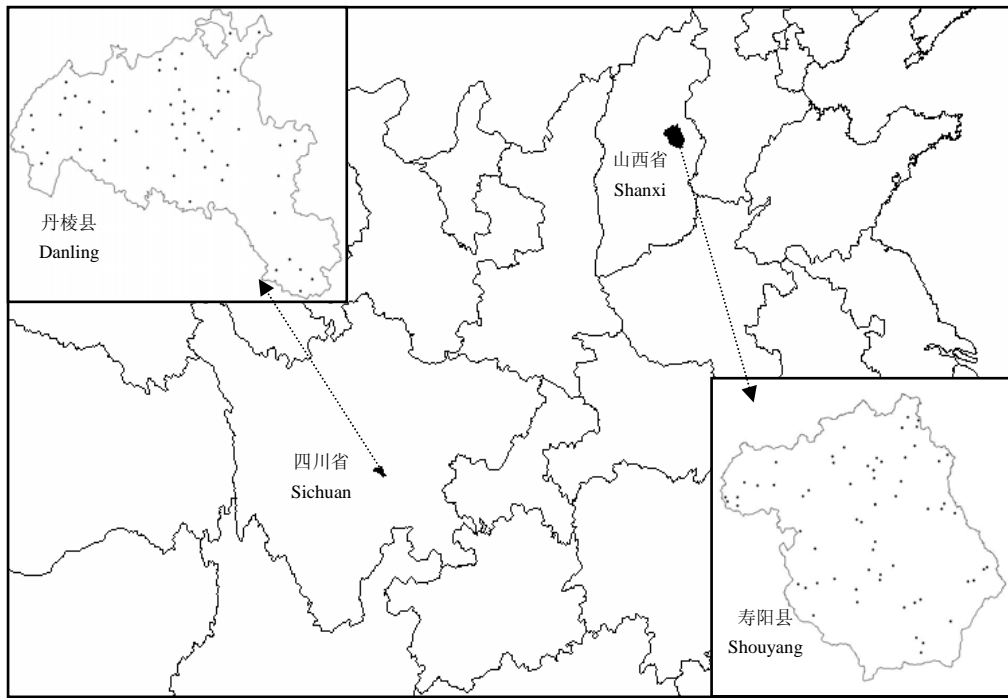


图 研究区域位置及其土壤采样点分布

Fig. Locations of two study areas and soil sampling sites

用 SPSS13.0 软件包中的相应程序进行。相关分析前, 采用 0/1 赋值法对土地利用变量进行定量化处理。1 表示该土地利用方式存在, 0 表示不存在。例如, 如果某个采样点土地利用为耕地, 则赋值 1, 其余 3 种土地利用方式都赋值 0。相关性分析结果中, 正值表示该土地利用方式的土壤性质指标大于其它类型, 负值则相反; 绝对值越大, 表示不同土地利用方式之间的土壤性质差异越显著<sup>[16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤性质描述性信息的区域差异

表 1 反映了两个区域土壤性质的描述性信息。可以看出, 两个区域土壤有机质性质较为一致, 平均含量分别为 0.99% 和 0.96%; 有机质含量的变异系数也基本相同 (分别为 67% 和 60%), 明显比其它土壤性质的变异系数大, 说明两个区域内土壤有机质的空间变异程度大。两区域土壤全氮含量十分接近, 分别为 0.07% 和 0.09%, 空间变异系数也一致, 分别为 43% 和 45%, 这种全氮含量的区域一致性和有机质的区域一致性有很大关系。但比较 K-S 检验值发现, 丹陵县土壤有机质和全氮在总体分布上表现为正态分布, 而寿阳县土壤有机质和全氮的中心趋向分布可能被异常值所影响, 呈现非正态分布。

寿阳县土壤 pH 平均值为 7.82, 区域内 pH 变化小, 土壤呈碱性; 丹陵县土壤 pH 平均值为 6.45, 土壤酸碱性变化较大, 酸性和中性土壤都有分布。这种土壤 pH 值大小的区域差异和中国土壤 pH 由北向南 pH 减小的地理分布是一致的<sup>[17]</sup>。两个区域土壤酸碱性分布的差异是丹陵县土壤 pH 空间变异系数 (20%) 大于寿阳县土壤 pH 变异系数 (4%) 的主要原因。两个区域土壤 CEC 和含盐量含量差异显著, 最大值和极值几乎相差一倍, 不同的是丹陵县土壤 CEC 含量比寿阳县大, 而寿阳县土壤含盐量比丹陵县高。从变异系数看, 丹陵县土壤 CEC 空间变异系数为 47%, 高于寿阳县的 32%, 这种区域差异和土壤 pH 的区域差异有关; 两个区域含盐量呈现为非正态分布, 变异系数都是 61%, 仅次于土壤有机质含量变异系数, 说明其空间变异程度大。

### 2.2 土地利用对土壤性质影响的区域差异

表 2 描述了两个区域土壤性质与 4 种土地利用方式的相关性分析结果。可以看出, 土地利用方式对土壤性质影响存在显著的区域差异。

寿阳县天然林和灌丛土壤的有机质含量、全氮含量和含盐量明显高于其它土地利用方式土壤, 而耕地和人工林用地土壤 pH 与 CEC 值则高于其它土地利用类型。天然林和灌丛植被覆盖度高, 人为干扰少, 土

表 1 土壤性质的描述性统计值

Table 1 The descriptive statistics of soil properties for Shouyang and Danling County

土壤性质	区域	最大值	最小值	平均值	中数	标准差	变异系数	K-S 值
Soil property	Region	Maximum	Minimum	Mean	Median	SD	CV(%)	P
pH	寿阳县 Shouyang	8.25	6.39	7.82	7.91	0.32	4	0.120*
	丹陵县 Danling	8.28	4.25	6.45	6.56	1.27	20	0.367*
有机质 Organic matter (%)	寿阳县 Shouyang	4.39	0.34	0.99	0.80	0.66	67	0.021
	丹陵县 Danling	3.57	0.23	0.96	0.80	0.57	60	0.086*
全氮 TN (%)	寿阳县 Shouyang	0.19	0.02	0.07	0.06	0.03	43	0.048
	丹陵县 Danling	0.24	0.04	0.09	0.09	0.04	45	0.521*
CEC (cmol·kg <sup>-1</sup> )	寿阳县 Shouyang	19.31	3.64	10.70	10.26	3.43	32	0.157*
	丹陵县 Danling	33.81	2.13	13.66	11.95	6.39	47	0.293*
含盐量 Salinity (%)	寿阳县 Shouyang	1.27	0.08	0.25	0.22	0.15	61	0.002
	丹陵县 Danling	0.54	0.03	0.13	0.12	0.08	61	0.046

\* 表示 K-S 检验达到显著水平 ( $P>0.05$ )\* Means normal distribution by one-sample Kolmogorov-Smirnov test ( $P>0.05$ )

表 2 土壤性质与土地利用系统的相关性分析

Table 2 Correlation between soil properties and different land use systems

土壤性质	区域	天然林	灌丛	人工林	耕地
Soil property	Region	Natural forest	Scrubland	Forest plantation	Cropland
pH	寿阳县 Shouyang	-0.26*	-0.01	-0.14	0.20
	丹陵县 Danling	0.07	-0.09	0.08	-0.08
有机质 Organic matter	寿阳县 Shouyang	0.06	0.09	-0.03	-0.09
	丹陵县 Danling	0.25	-0.09	-0.18	-0.07
全氮 TN	寿阳县 Shouyang	0.33**	0.02	-0.11	-0.10
	丹陵县 Danling	0.11	-0.14	-0.11	0.03
CEC	寿阳县 Shouyang	-0.09	-0.27*	0.46**	0.05
	丹陵县 Danling	0.20	-0.02	0.15	-0.26*
含盐量 Salinity	寿阳县 Shouyang	0.24	0.08	-0.15	-0.10
	丹陵县 Danling	0.15	-0.20	-0.05	-0.03

\* 表示显著水平为 0.05; \*\*表示显著水平为 0.01

\* Significant at 0.05 level; \*\* significant at 0.01 level

壤侵蚀弱, 植物残体和枯枝落叶物多年积累在土壤表层, 腐质化作用明显, 土壤有机质含量因而较高<sup>[5]</sup>。土壤有机质是全氮的主要来源, 有机质矿化会释放大量的氮素, 有机质含量高促使土壤全氮含量较高。土壤含盐量高也是因为受到人类活动影响较弱的缘故。农业耕地土壤虽然有肥料投入, 但土壤表层没有残留的枝叶存在, 加上农业翻耕等人为因素影响, 土壤侵蚀比较严重, 有机质易迅速分解, 造成土壤有机质含量较低; 而有机质矿化释放的氮素很快被农作物大量吸收同化, 造成土壤全氮含量偏低。人工林介于天然林和耕地之间, 受到人类活动作用力小于耕地, 但没有耕地承受的影响力大, 其土壤有机质、全氮与含盐量等特性和耕地相似, 但指标值略高于耕地。寿阳县降

雨量少, 与其它土地利用方式比, 耕地和人工林土壤微环境相对干燥, 土壤淋溶作用弱; 而且 CO<sub>2</sub> 含量低, 引起土壤中 H<sup>+</sup> 浓度的降低, 因此耕地和人工林土壤 pH 值比其它土地利用系统高。CEC 与 pH 值有关, pH 值高, 土壤能够固定更多的阳离子, 耕地和人工林土壤 CEC 含量因而较高。

在丹陵区域, 天然林土壤的有机质含量、全氮含量和含盐量高于其它土地利用类型, 灌丛土壤有机质、全氮和含盐量等较低, 耕地土壤 pH 和 CEC 明显低于其它土地利用方式。丹陵县天然林土壤养分特征原因和寿阳县类似。灌丛地主要分布在废弃的原有耕作的梯田上, 这种地形下的土壤水土流失大, 土壤保肥性能差; 另外, 灌丛地上的冬青属、八仙花属和赤杨等

植物生长旺盛, 吸收同化了大量的营养元素, 也会一定程度上造成灌丛地土壤养分含量低。丹棱县耕地土壤的有机质、全氮含量和含盐量等较低, 这与频繁的人类活动有密切关系。耕地以种植水稻为主, 土壤微环境潮湿, 土壤盐基离子被淋失, 导致  $H^+$  积累在土壤胶体上, 土壤 pH 值较低。此外, 耕地土壤 pH 值比其它土地利用方式低也与水稻施肥管理有一定关系, 丹棱县土壤多为中性, 生理酸性肥料和半腐熟有机肥料的施用, 导致土壤逐渐酸化, 造成耕地 pH 值的降低。

### 3 讨论

以上分析发现, 两个区域的土壤性质存在差异, 这些差异除和不同的自然生态环境(如气候、地形、水文等)的相关外, 还很大程度上与土地利用有关。不同土地利用方式反映人类活动的不同作用力, 不同的作用力对土壤性质的影响不一。天然林作为一种自然植被覆盖, 受人为活动的干扰最小, 两个区域天然林土壤的有机质、全氮含量和含盐量等都较其它土地利用高。人工林是人工种植营造的林地, 包括用材林、防护林、经济林、薪炭林、特种用途等几类, 和天然林与灌丛比, 人工林受到人类干扰多, 如砍伐和再造林等, 两个区域人工林土壤的有机质、全氮等含量低于天然林和灌丛。两个区域耕地土壤的有机质、全氮含量和含盐量等都比其它土地利用方式低, 这与很多学者的研究结果一样<sup>[18,19]</sup>, 主要是因为受到长期、频繁的农业翻耕等人为因素影响, 土壤保肥性能低, 土壤养分流失多。

在相同的土地利用方式下, 人类作用力具有空间差异性, 这种差异很大程度上会造成区域土壤性质的区域差异。在同一人工林用地系统中, 丹棱县所处的四川盆地是四川省主要用材林产地, 砍伐活动频繁; 而寿阳县人工林主要用于黄土高原生态环境治理和水土保持, 政府提倡造林护林、砍伐活动少。因此, 在相同的人工林用地下, 丹棱县土壤受到的人类干扰作用更大, 土地利用对该区域土壤性质影响力较大。又如, 在相同的耕地系统中, 寿阳县耕地位于黄土高原, 生态环境脆弱, 土壤自身承受力低, 丹棱县耕地位于平原盆地, 即便人类施加相同的作用力, 也会给寿阳县土壤环境带来更多影响。两个区域土壤 pH 和 CEC 性质差异表明, 即便在相同的农业土地利用方式下, 不同的农业耕作制度和作物管理(如灌溉、施肥、农药等)也会造成土壤性质的区域异质性。可见, 自然生态环境和人类活动影响的区域差异是土壤性质空间

变异的主要原因。

### 4 结论

土地利用与土壤性质变化关系是全球环境变化研究核心内容之一。本文以山西寿阳县和四川丹棱县为研究区域, 选择 4 种土地利用方式, 通过采集不同土地利用方式的土样, 分析研究不同土地利用方式对土壤性质影响的区域差异, 探讨人类活动作用力在不同区域的差异性。

研究表明, 土地利用方式对土壤性质产生了显著的影响, 人类活动干扰小的土地利用系统(如天然林)土壤有机质、全氮含量和含盐量等普遍高于人类活动干扰大(如耕地)的土地利用系统; 人类活动作用力强的区域的土壤养分总体低于人类活动作用力较弱的区域。同一土地利用方式对土壤性质的影响具有明显的区域差异性。即便在相同的农业土地利用方式下, 不同的耕作制度和田间管理措施(灌溉、施肥、农药等)也会造成土壤性质的区域异质性。这种人类作用力和自然生态环境的空间差异是土壤性质分布空间差异的主要原因。

显然, 不同土地利用方式下土壤性质的区域差异性揭示了人类活动对环境变化影响的区域差异, 可以在一定程度上解释“人-地”的复杂性关系, 研究结果也可为国家在区域土地规划、作物栽培布局和水土保持政策制订等方面提供科学依据<sup>[20,21]</sup>。

### References

- [1] Lambin E F, Geist H. *Land-use and Land-cover Change-local Processes and Global Impacts*. Springer, 2006: 71-113.
- [2] Braimoh A K, Vlek P L G. The impact of land-cover change on soil property in Northern Ghana. *Land Degradation and Development*, 2004, 15: 65-74.
- [3] 路 鹏, 彭佩钦, 宋变兰, 唐国勇, 邹 焱, 黄道友, 肖和艾, 吴金水, 苏以荣. 洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和GIS分析. *中国农业科学*, 2005, 38(6): 1204-1212.  
Lu P, Peng P Q, Song B L, Tang G Y, Zou Y, Huang D Y, Xiao H A, Wu J S, Su Y R. Geostatistical and GIS analyses on soil total P in the typical area of Dongting Lake Plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(6): 1204-1212. (in Chinese)
- [4] 王根绪, 程国栋, 沈永平, 钱 鞠. 土地覆盖变化对高山草甸土壤特性的影响. *科学通报*, 2002, 47(23): 1771-1777.  
Wang G X, Cheng G D, Shen Y P, Qian J. Impact to the alpine meadow soil from the change of the soil cover. *Chinese Science*

- Bulletin*, 2002, 47(23): 1771-1777. (in Chinese)
- [5] 蒋勇军, 袁道先, 章程, 况明生, 王建力, 谢世友, 张贵, 何绕生. 典型岩溶农业区土地利用变化对土壤性质的影响. *地理学报*, 2005, 60(5): 751-760.
- Jiang Y J, Yuan D X, Zhang C, Kuang M S, Wang J L, Xie S Y, Zhang G, He R S. Impact of land use change on soil properties in a typical Karst agricultural region: a case study of Xiaojiang watershed, Yunan. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 751-760. (in Chinese)
- [6] 罗格平, 许文强, 陈曦. 天山北坡绿洲不同土地利用对土壤特性的影响. *地理学报*, 2005, 60(5): 779-790.
- Luo G P, Xu W Q, Chen X. Effect of different land-use systems on soil properties in the alluvial plain-oasis in the arid land. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 779-790. (in Chinese)
- [7] Fu B J, Wang J, Chen L D, Qiu Y. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China. *Catena*, 2003, 54: 197-213.
- [8] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 陈利顶, 余莉. 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, Chen L D, Yu L. Spatial heterogeneity of soil nutrients in a small catchment of the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1173-1178. (in Chinese)
- [9] Wang J, Fu B J, Qiu Y, Chen L D. Soil nutrient in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China. *Journal of Arid Environments*, 2001, 48: 537-550.
- [10] Kong X B, Zhang F R, Wei Q, Xu Y, Hui J G. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China. *Soil and Tillage Research*, 2006, 88: 85-94.
- [11] 胡克林, 余艳, 张凤荣, 王茹. 北京郊区土壤有机质含量的时空变异及其影响因素. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 764-771.
- Hu K L, Yu Y, Zhang F R, Wang R. The spatial-temporal variability of soil organic matter and its influencing factors in suburban area of Beijing. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 764-771. (in Chinese)
- [12] 王小利, 苏以荣, 黄道友, 肖和艾, 汪立刚, 吴金水. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 750-757.
- Wang X L, Su Y R, Huang D Y, Xiao H A, Wang L G, Wu J S. Effects of land use on soil organic C and microbial biomass C in hilly red soil region in subtropical China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 750-757. (in Chinese)
- [13] 张伟, 陈洪松, 王克林, 苏以荣, 张继光, 易爱军. 喀斯特丛洼地土壤养分空间分异特征及其影响因子. *中国农业科学*, 2006, 39(9): 1828-1835.
- Zhang W, Chen H S, Wang K L, Su Y R, Zhang J G, Yi A J. The heterogeneity of soil nutrients and their influencing factors in peak-cluster depression areas of Karst region. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(9): 1828-1835. (in Chinese)
- [14] Sarno, Iijima M, Lumbanraja J, Sunyoto, Yuliadi E, Izumi Y, Watanabe A. Soil chemical properties of an Indonesian red acid soil as affected by land use and crop management. *Soil and Tillage Research*, 2004, 76: 115-124.
- [15] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 79: 9-16.
- [16] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 陈利顶. 黄土高原小流域土壤养分的时空变异及其影响因子. *自然科学进展*, 2004, 14(3): 294-298.
- Qiu Y, Fu B J, Wang J, Chen L D. Spatial-temporal variability of soil nutrients and its influence factors. *Progress in Nature Science*, 2004, 14(3): 294-298. (in Chinese)
- [17] 张甲坤, 陶澍, 曹军. 中国东部土壤水溶性有机物荧光特征及地域分异. *地理学报*, 2001, 56(4): 409-416.
- Zhang J S, Tao S, Cao J. Spatial variation of fluorescence excitation of water soluble organic matter in Eastern China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(4): 409-416. (in Chinese)
- [18] 刘世梁, 傅伯杰, 陈利顶, 吕一河, 马克明. 卧龙自然保护区土地利用变化对土壤性质的影响. *地理研究*, 2002, 21(6): 682-688.
- Liu S L, Fu B J, Chen L D, Lü Y H, Ma K M. Effects of land use changes on soil properties in Wolong Nature Reserve. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 682-688. (in Chinese)
- [19] Celik I. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*, 2005, 83: 270-277.
- [20] 许泉, 芮雯奕, 何航, 吴峰, 罗鸿, 卞新民, 张卫建. 不同利用方式下中国农田土壤有机碳密度特征及区域差异. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2505-2510.
- Xu Q, Rui W Y, He H, Wu F, Luo H, Bian X M, Zhang W J. Characteristics and regional differences of soil organic carbon density in farmland under different land use patterns in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(12): 2505-2510. (in Chinese)
- [21] 黄绍文, 金继运. 土壤特性空间变异研究进展. *土壤肥料*, 2002, (1): 8-14.
- Huang S W, Jin J Y. Advance in study on spatial variability of soil properties. *Soils and Fertilizers*, 2002, (1): 8-14. (in Chinese)