

岷江上游山地森林—干旱河谷交错带不同土地利用类型土壤有机碳储量

王宪帅, 黄从德, 王勇军

(四川农业大学 林学院, 四川 雅安 625014)

摘要:生态交错带是全球气候变化的最敏感区域, 因而对生态交错带不同土地利用类型土壤有机碳的研究, 可为生态交错带土地利用和有效管理提供基础数据。岷江上游山地森林—干旱河谷交错带6种土地利用类型的土壤有机碳含量和有机碳储量均随土壤深度的增加而降低; 土壤有机碳储量的大小顺序为天然川滇高山栎次生林($104.15 \pm 4.84 \text{ t/hm}^2$) > 灌木林地($100.84 \pm 2.43 \text{ t/hm}^2$) > 灌丛地($97.35 \pm 15.21 \text{ t/hm}^2$) > 经济林($85.16 \pm 10.58 \text{ t/hm}^2$) > 人工刺槐林($70.78 \pm 12.43 \text{ t/hm}^2$) > 农耕地($56.56 \pm 7.21 \text{ t/hm}^2$); 农耕地转变为人工刺槐林和经济林后, 其土壤有机碳储量分别增加了25.13%和50.56%; 人为干扰以及交错带生态系统的脆弱性及其叠加效应是导致岷江上游山地森林—干旱河谷交错带不同土地利用类型土壤有机碳储量偏低的重要原因。

关键词:生态交错带; 土地利用类型; 土壤有机碳含量; 土壤有机碳储量; 干旱河谷

中图分类号: S153.61; F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0148-05

Soil Organic Carbon Storage under Different Land Use Types at Mountain Forest-Drought Valley Ecotone in the Upper Reaches of Minjiang River

WANG Xian-shuai, HUANG Cong-de, WANG Yong-jun

(College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

Abstract: Ecotone is a sensitive region for global climate change, and study on soil organic carbon under different land use types at ecotone could provide basic data for land management. Soil organic carbon content and storage were decreased with the soil depth increment under 6 land use types at mountain forest-drought valley ecotone in the upper reaches of Minjiang River. Soil organic storage followed the order of *Quercus semicarpifolia* secondary forest ($104.15 \pm 4.84 \text{ t/hm}^2$) > shrubbery ($100.84 \pm 2.43 \text{ t/hm}^2$) > shrub ($97.35 \pm 15.21 \text{ t/hm}^2$) > economic forest ($85.16 \pm 10.58 \text{ t/hm}^2$) > *Robinia pseudoacacia* plantation ($70.78 \pm 12.43 \text{ t/hm}^2$) > farmland ($56.56 \pm 7.21 \text{ t/hm}^2$). Soil organic carbon storage increased by 25.13% and 50.56%, respectively after farmland was converted into *Robinia pseudoacacia* plantation and economic forest. Jamming and frangibility of ecotone were the main reason for lower soil organic carbon storage under different land use types at mountain forest-drought valley ecotone in the upper reaches of Minjiang River.

Key words: ecotone; land use; soil organic carbon content; soil organic carbon storage; drought valley

土地利用类型是影响陆地生态系统碳循环的最大因素之一, 也是仅次于化石燃料燃烧而使大气 CO_2 浓度急剧增加的最主要的人为活动。通过改变土地利用类型和土地管理方式来固定大气 CO_2 , 以保护和增加土壤碳汇功能是减缓全球温室效应至关重要的策略, 也是土壤中潜在碳固定的关键。因此, 准确确定土地利用变化对土壤有机碳储量的影响, 对科学认

识陆地生态系统碳循环规律及制定缓解和应对气候变暖的对策方面都具有重要的理论和现实意义。目前, 国外学者系统的研究了不同土地利用类型相互转变后土壤碳储量的变化^[1]。我国学者主要对华北地区、华南地区、东北地区及喀斯特地区的不同土地利用类型/方式下土壤有机碳进行了研究^[2-5]。但由于土地经营方式、气候和土壤类型等方面的差异, 研究

收稿日期: 2010-03-14

资助项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAC01A11, 2008BADC2B01)

作者简介: 王宪帅(1985—), 男, 山东兖州人, 硕士研究生, 主要从事森林培育和碳循环研究。E-mail: wxs_ff@163.com

通信作者: 黄从德(1969—), 男, 四川威远人, 博士, 教授, 研究方向: 森林碳储量与碳循环。E-mail: lyyxq100@yahoo.com.cn

结果差异性还较大。

生态交错带(Ecotone)是全球气候变化的最敏感地区,其主要特征就是生态系统的脆弱性,这种脆弱性集中反映在交错带是人地关系紧张区,区域内土地利用类型易受人为干扰。因此,对生态交错带不同土地利用类型土壤有机碳的研究,可以在全球气候变暖的背景下,预测交错带土壤有机碳的变化,可为生态交错带土地利用和有效管理提供理论依据。但目前对交错带不同土地利用类型土壤有机碳的研究多集中在农牧交错带。如张平良的研究表明,在高寒农牧交错带种植老芒麦草和撂荒两种植被恢复措施均能提高土壤有机碳含量^[6]。李裕元的研究表明,在北方水蚀风蚀交错带,农田转变为人工草地以后,以及人工草地向次生天然草地的演替过程中,土壤表现为明显的碳汇^[7]。岷江上游山地森林—干旱河谷交错带作为典型的生态过渡区,在抑制干旱河谷上延和延伸亚高山森林生态系统的功能等方面具有十分重要的作用,有关这一区域的土壤有机碳尚缺乏研究。因此,本文以四川省理县山地森林—干旱河谷交错带的 6 种不同土地利用类型为研究对象,初步研究了 6 种土地利用类型的土壤有机碳含量和碳储量及其在土壤剖面上的分布差异,旨在为山地森林与干旱河谷交

错带土地利用和管理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究地点位于岷江上游理县桃坪乡,海拔 1 800 ~2 600 m,属典型的岷江上游山地森林与干旱河谷的交错区。该区属山地季风气候,垂直气候带明显,年平均气温 11. 0℃,> 10℃ 活动积温 3 200 ~3 800 ℃,无霜期 190 d,年降水量 400~600 mm;地表起伏巨大,相对高差达 1 000 m 以上,地质活动频繁,地形地貌类型复杂多样;土壤受地貌、气候和植被等因素的影响,在海拔梯度上发育了褐土、棕壤、暗棕壤、灌丛草甸土、草甸土、亚高山草甸土、高山草甸土、高山寒漠土;植被类型主要为干旱河谷灌草丛、常绿阔叶与落叶阔叶混交林、高山灌丛草甸。

1.2 标准地设置和样品采集

在研究区域内的 6 种主要土地利用类型中分别设置面积为 20 m×20 m 的标准地 3 个(标准地概况见表 1)。在每个标准地内按典型方式挖取土壤剖面 3 个,每个剖面按Ⅰ层(0—20 cm)、Ⅱ层(20—40 cm)和Ⅲ层(40—60 cm)采集土壤样品(60 cm 为研究区域内 6 种土地利用类型的涵盖厚度)。

表 1 标准地概况

土地利用类型	坡度/(°)	坡向	海拔/m	地理坐标	植物种类	土壤类型	备注
天然川滇高山 栎次生林	20	N	2238	E103°26'293" N31°32'724"	川滇高山栎 (<i>Quercus aquifo- lioides</i>)	褐土	
灌丛地	20	N	2200	E103°26'320" N31°32'977"	主要为豆科(<i>Leguminosae</i>)、 马鞭草科(<i>Verbenaceae</i>)植物	褐土	
灌木林地	25	NE38°	2407	E103°27'208" N31°32'171"	主要为蔷薇科(<i>Rosaceae</i>)、 杨柳科(<i>Salicaceae</i>)植物	灌丛草甸土	
经济林(花椒)	10	NE55°	2148	E103°27'369" N31°32'465"	花椒 (<i>Zanthoxylum bungeanum</i>)	褐土	2000 年 退耕
人工刺槐林	25	NE25°	2220	E103°27'091" N31°32'515"	刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	褐土	还林地
农耕地	15	NE40°	2130	E103°27'257" N31°32'608"	玉米(<i>Zea mays</i>)和白菜 (<i>Brassica rapa pekinensis</i>)	褐土	

1.3 土壤容重、有机碳含量的测定及碳储量的计算

参照国家标准^[8],采用环刀法测定样品容重(g/cm³)和重铬酸钾氧化—外加热法测定样品有机碳含量(g/kg)。

土壤剖面碳储量: $SOC = \sum 0.1H_i B_i O_i (1 - f)$
式中: H_i ——第 i 层土壤的厚度(cm); B_i ——第 i 层土壤容重(g/cm³); O_i —— i 层土壤有机碳含量(g/kg); f ——第 i 层土壤的石砾含量(%),0.1 为单位换算系数。

数据处理和分析采用 SPSS13.0 软件和 Excel 进行。

2 结果与分析

2.1 土壤有机碳含量及垂直分布

由表 2 可见,6 种土地利用类型的土壤剖面平均有机碳含量的大小顺序为:天然川滇高山栎次生林(17.52±7.77 g/kg)>灌木林地(17.06±7.31 g/kg)>灌丛地(15.52±6.22 g/kg)>经济林(12.12±4.16 g/kg)>人工刺槐林(10.81±2.86 g/kg)>农耕地(8.86±3.99 g/kg),平均为 13.65±3.56 g/kg。5 种林地(天然川滇高山栎次生林、灌木林地、灌丛地、人工刺

槐林和经济林)类型中,天然川滇高山栎次生林的土壤剖面平均有机碳含量高于灌木林地和灌丛地,显著高于经济林和人工刺槐林。5 种林地类型的土壤剖面平均有机碳含量都高于农耕地,方差分析表明,除人工刺槐林外,其余 4 种林地类型的土壤剖面平均有机碳含量与农耕地均有显著差异。可见,在交错带 6 种土地利用类型中,林地有机碳含量都大于耕地,而林地中以天然川滇高山栎次生林的土壤有机碳含量最大。

经济林(花椒)和刺槐林是研究区域内两种主要的退耕还林植被类型。与农耕地的土壤剖面有机碳含量($8.86\pm3.99\text{ g/kg}$)相比,经济林和刺槐林的土壤剖面平均有机碳含量分别高 36.73%和 21.93%,而经济林的土壤剖面平均有机碳含量高于人工刺槐林。原因是为了提高经济林的产量,经营者每年向林下施用有机肥,增加了有机碳的输入。差异性检验表

明,人工刺槐林的土壤有机碳含量高于农耕地,但差异不显著,而经济林的土壤剖面有机碳含量显著高于农耕地。这说明,农耕地转变为有林地后,其土壤有机碳含量将增加,但土壤有机碳含量增加的程度与农耕地转变为林地后紧接着采取的人为措施有关。

6 种土地利用类型各层土壤有机碳含量介于(4.57 ± 1.08)~(27.69 ± 2.65) g/kg 之间,均由土壤表层向深层依次降低,且各土地利用类型 0—20 cm 土层的土壤有机碳含量显著高于 20—40 cm 和 40—60 cm 土层的土壤有机碳含量。6 种土地利用类型有机碳含量在 0—20 cm 土层的差异较大,介于(13.39 ± 2.37)~(27.69 ± 2.65) g/kg 之间,而 40—60 cm 土层的土壤有机碳含量差异较小,介于(4.57 ± 1.08)~(11.11 ± 0.25) g/kg 之间。这表明 6 种不同土地利用类型的土壤有机碳含量差异主要体现在土壤表层。

表 2 不同土地利用类型的土壤有机碳含量 g/kg

土地利用类型	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	剖面平均碳含量
天然川滇高山栎次生林	$27.69\pm2.65\text{Aa}$	$14.52\pm1.13\text{Ba}$	$10.34\pm0.20\text{Bab}$	$17.52\pm7.77\text{BCa}$
灌木林地	$26.99\pm1.32\text{Aa}$	$13.08\pm0.75\text{Bab}$	$11.11\pm0.25\text{Ba}$	$17.06\pm7.31\text{Bca}$
灌丛地	$23.05\pm2.67\text{Ab}$	$13.68\pm3.37\text{Bab}$	$9.82\pm1.90\text{Cab}$	$15.52\pm6.22\text{Ba}$
经济林(花椒)	$16.31\pm2.59\text{Ac}$	$12.34\pm1.25\text{Bb}$	$7.71\pm2.56\text{Cc}$	$12.12\pm4.16\text{Bb}$
人工刺槐林	$13.54\pm1.53\text{Ad}$	$10.03\pm2.37\text{Bc}$	$8.86\pm2.20\text{Bbc}$	$10.81\pm2.86\text{Bbc}$
农耕地	$13.39\pm2.37\text{Ad}$	$8.62\pm1.11\text{Bc}$	$4.57\pm1.08\text{Cd}$	$8.86\pm3.99\text{Bc}$
平均	20.16 ± 6.57	12.05 ± 2.27	8.74 ± 2.36	13.65 ± 3.56

注:“±”号后数值为对应数据的标准差;每行中有相同大写字母表示差异不显著($p<0.05$),反之显著;每列中有相同小写字母表示差异不显著($p<0.05$),反之显著。下同。

2.2 土壤有机碳储量及垂直分布

6 种土地利用类型的土壤剖面平均有机碳储量差异也较大,介于(56.56 ± 7.21) t/hm²~(104.15 ± 4.84) t/hm² 之间(表 3)。6 种不同土地利用类土壤剖面平均有机碳储量从大到小的序列为:天然川滇高山栎次生林($104.15\pm4.84\text{ t/hm}^2$)>灌木林地($100.84\pm2.43\text{ t/hm}^2$)>灌丛地($97.35\pm15.21\text{ t/hm}^2$)>经济林($85.16\pm10.58\text{ t/hm}^2$)>人工刺槐林($70.78\pm12.43\text{ t/hm}^2$)>农耕地($56.56\pm7.21\text{ t/hm}^2$)。与天然川滇高山栎次生林相比,灌木林地、灌丛地、经济林、人工刺槐林和农耕地的土壤剖面碳储量分别降低 3.18%,6.53%,18.23%,32.04%和 45.69%。这是因为天然川滇高山栎次生林转变为其他土地利用类型后,各项人为措施破坏了土壤的结构和功能,增加了土壤通气性,提高了土壤微生物活性,加速了土壤有机碳的分解。差异性检验表明,天然川滇高山栎次生林土壤剖面平均有机碳储量显著高于经济林、人工刺槐林和农耕地,高于灌木林地,但差异不显著;农耕地的土壤剖面平均有机碳储量显著低于其它 5 种土地利用类型。可见,在 6 种土地利用类型

中,以天然川滇高山栎次生林的土壤有机碳储量最大,农耕地的土壤有机碳储量最小。

采取植被恢复措施后,与农耕地相比,经济林和人工刺槐林的土壤剖面有机碳储量分别增加了 50.56%和 25.13%。这与植被恢复后经济林和人工刺槐林土壤有机碳含量的变化相一致。进一步分析表明,经济林和人工刺槐林与农耕地的有机碳储量有显著差异,而经济林的有机碳储量显著高于人工刺槐林。可见,农耕地转变为森林后,其土壤有机碳储量会增加,但不同植被恢复类型下的土壤有机碳储量增加的程度是不相同的。

6 种土地利用类型的土壤各层有机碳储量介于(10.50 ± 2.37)~(49.22 ± 4.79) t/hm² 之间,并随土壤深度的增加而减小。除人工刺槐林外,其他 5 种土地利用类型各土层的有机碳储量差异显著。在 0—20 cm 土层中,天然川滇高山栎次生林、灌木林地和灌丛地的土壤有机碳储量显著高于其它 3 种土地利用类型,而在 20—40 cm 和 40—60 cm 土层中,除人工刺槐林和农耕地外,其它 4 种土地利用类型土壤有机碳

储量差异不显著。这说明 6 种土地利用类型土壤有机碳储量的差异也主要体现在土壤表层。

表 3 不同土地利用类型的土壤有机碳储量 t/hm²

土地利用类型	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	剖面碳储量
天然川滇高山栎次生林	49.22±4.79Aa	31.68±2.43Ba	23.25±0.64Ca	104.15±4.84a
灌木林地	48.97±1.72Aa	27.67±0.97Ba	24.20±0.79Ca	100.84±2.43a
灌丛地	46.18±5.70Aa	28.82±6.45Ba	22.36±4.32Ca	97.35±15.21a
经济林(花椒)	35.89±3.50Ab	29.18±1.84Ba	20.09±8.49Ca	85.16±10.58b
人工刺槐林	28.88±3.80Ac	21.99±6.81Bb	19.91±5.27Ba	70.78±12.43c
农耕地	26.90±3.50Ac	19.16±2.17Bb	10.50±2.37Cb	56.56±7.21d

3 结论与讨论

3.1 不同土地利用类型的土壤有机碳储量特征

国内外研究者大多认为,不同土地利用和覆被变化将不同程度的影响土壤有机碳储量。如 Lugo 等^[9]研究表明,森林砍伐开垦 10 年后有机碳流失 46%,80 年后流失 70%;Knops 等^[10]得出森林砍伐、耕作平均导致土壤有机碳流失 89%;Murty 等^[11]总结发现,森林变成农田后土壤有机碳含量下降 30%。天然川滇高山栎次生林转变为灌木林地、灌丛地、经济林、人工刺槐林和农耕地后,土壤剖面有机碳储量分别降低 3.18%,6.53%,18.23%,32.04%和 45.69%。可见,森林转变为其他土地利用类型后,土壤有机碳储量会降低。这是因为森林砍伐不仅影响森林的固碳能力,而且影响土壤碳排放。由于森林砍伐使得土壤温度和水分条件都发生变化,土壤呼吸在许多年内都超过幼年树木同化固碳能力,土壤有机碳含量降低。同时,森林采伐后,在形成的不同土地利用类型中,整地改变了土壤结构,增加了土壤通气性,提高了土壤微生物活性,加速了土壤有机碳的释放。

同时,吴建国^[12]等研究表明,当灌木林、山杨林变成农田后,土壤表层(0—40 cm)有机碳含量和碳密度下降,而土壤剖面底层的有机碳含量及碳密度受土地利用变化的影响较小。土地利用的变化,特别是森林砍伐所引起的变化,减少土壤上层的有机碳达 20%~50%。岷江上游山地森林—干旱河谷交错带 6 种土地利用类型中,土壤有机碳含量和碳储量差异也主要发生在土壤表层。这意味着土壤表层有机碳储量的稳定性较差,人为干扰容易造成土壤有机碳的损失。

3.2 山地森林与干旱河谷交错带土壤有机碳储量特征

生态交错带是全球变化敏感区,对生态交错带的研究是人类进行早期生态预警和生态管理理论探索与实践的核心问题。岷江上游山地森林—干旱河谷交错带 6 种土地利用类型土壤平均有机碳含量为(13.65±3.56) g/kg,小于岷江上游米亚罗林区 4 种土地利用类型(原始冷杉林、20 世纪 60 年代云杉人工林、20 世纪 80 年代云杉人工林和农耕地)土壤平

均有机碳含量(17 g/kg)^[13],同时研究的 5 种林地(天然川滇高山栎次生林、灌木林地、灌丛地、人工刺槐林和经济林)0—60 cm 土壤的有机碳储量都低于四川森林 0—50 cm 土壤的平均有机碳储量(117.63 t/hm²)^[14]。原因是这一区域是岷江上游山地森林—干旱河谷交错带主要的人口集居区,人口密度大,长期的人类活动干扰(森林采伐、毁林开荒、过度放牧、陡坡耕作等),原生植被破坏严重,造成植物群落逆向演替,使其森林生态系统结构和功能退化,加之山地森林—干旱河谷交错带是典型生态脆弱区,生态系统天然的脆弱性及其叠加效应导致严重的水土流失,进而造成林地土壤碳大量流失。邱建军等对北方农牧交错带耕地土壤有机碳储量的研究也得出了与本研究相似的结论,即北方农牧交错带耕地土壤有机碳库处于严重负平衡状态,有机碳储量不断减少^[15]。而山地森林—干旱河谷交错带是干旱河谷继续扩大的缓冲地段,因而加强对该区域现有灌丛、灌木以及天然次生林的保护,将有助于土壤有机碳的积累,并能有效防止或减缓干旱河谷的上延。

3.3 植被恢复对土壤有机碳储量的影响

《京都议定书》认可世界主要工业国家可以通过国家增加森林的碳汇功能来履行温室气体减排义务,而草地、农业等植被类型并不在其列,于是各国纷纷通过改善现有森林生态系统的管理和扩大森林面积以增加本国森林碳汇。目前,许多欧美国家正在将大面积的弃耕地恢复成森林植被,而且加大了造林碳吸收、碳有效储存时间和碳增汇对策技术研究力度,以面对国际碳贸易和履行《京都议定书》。岷江上游山地森林—干旱河谷交错带是指干旱河谷向亚高山、高山区过渡区域,它是目前“天然林保护”与“退耕还林(草)”工程的重点实施区之一。本研究进一步表明,农耕地转变为人工刺槐林和经济林后,其土壤有机碳含量和碳储量都增加。这是因为农耕地转变为森林后,林下和林地表面将积累更多的灌草层和枯落物层,可以部分抵消地表碳的损失,增加生态系统中土壤的碳汇功能;其次,凋落层是土壤有机碳的主要来源,也是土壤—植物系统碳循环的联结库,而且因覆

盖于地面,有效地减少或防止了土壤的碳流失;第三,灌草层和枯落物层对土壤理化性质和活性具有重要的调节作用,并有利于土壤有机碳的形成。但农耕地转变为人工刺槐林和经济林后,土壤有机碳含量和碳储量增加的程度却不尽相同。农耕地转变为人工刺槐林后,土壤有机碳含量和储量分别增加了 21.93%和 25.13%;转变为经济林(花椒)后,土壤有机碳含量和储量分别增加了 36.73%和 50.56%。这是由于植被恢复类型不同,造成其枯枝落叶数量和化学组成的差异,导致土壤有机碳矿化特征各异,从而影响土壤有机碳的积累和周转。可见,植被恢复类型对土壤有机碳含量和碳储量有重要的影响。此外,有研究表明在干旱半干旱农牧交错区推行免耕、休耕等保护性耕作措施,对提高土壤有机碳储量具有非常显著的效果。由于山地森林—干旱河谷交错带的生态环境脆弱,人口相对集中,因则在该区域内寻求适合的植被恢复类型,使之朝一个有利于土壤有机碳积累而又能有效遏制土地退化的方向发展,对于缓解大气 CO₂ 浓度上升及改善当地居民的生存环境有重要意义。

参考文献:

[1] Lal R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 353-362.

[2] 张心昱,陈利顶,傅伯杰,等.不同农业土地利用方式和管理对土壤有机碳的影响:以北京市延庆盆地为例[J]. *生态学报*, 2006, 26(10): 3198-3204.

[3] 许信旺,潘根兴,侯鹏程.不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(6): 193-200.

[4] 宇万太,姜子绍,李新宇,等.不同土地利用方式对潮棕壤有机碳含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(12):

2760-2764.

[5] 李新爱,肖和艾,吴金水,等.喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1827-1831.

[6] 张平良,李小刚,李银科,等.高寒农牧交错带植被恢复对土壤有机碳、全氮含量的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2007, 42(2): 98-102.

[7] 李裕元,邵明安,郑纪勇,等.黄土高原北部草地的恢复与重建对土壤有机碳的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(6): 2279-2287.

[8] 中华人民共和国国家标准.森林土壤分析方法(第三分册)[S]. 1988.

[9] Lugo A E, Sanchez A J, Brown S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils[J]. *Plant and Soil*, 1986, 96(2): 185-196.

[10] Knopes J, Tilman D. Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment[J]. *Ecology*, 2000, 81(1): 88-98.

[11] Murty D, Kirsehbauin M U F, Mcmurtrie R E, et al. Dose conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature[J]. *Global Change Biol*, 2002, 8: 105-123.

[12] 吴建国,张小全,徐德应.土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 593-599.

[13] 张于光,张小全,肖烨.米亚罗林区土地利用变化对土壤有机碳和微生物量碳的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(11): 2029-2033.

[14] 黄从德,张健,杨万勤,等.四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1217-1225.

[15] 邱建军,唐华俊.北方农牧交错带耕地土壤有机碳储量变化模拟研究:以内蒙古自治区为例[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(4): 86-88.

(上接第 147 页)

[3] Lambin E F, Bsulies X, Bockstael N, et al. Land use and land-cover change(LUCC) implementation strategy[R]. IGBP Report No. 48 and HDP Report No. 10. Stockholm; IGBP, 1999.

[4] 唐华俊,陈佑启,邱建军,等.中国土地利用/土地覆盖变化研究[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004.

[5] 陈其春,吕成文,李壁成,等.县级尺度土地利用结构特征定量分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 223-230.

[6] 王思远,刘纪远,张增详,等.中国土地利用时空特征分析[J]. *地理学报*, 2001, 56(6): 631-639.

[7] 王秀兰,包玉梅.土地利用动态变化研究方法探讨[J]. *地球科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.

[8] 朱会义,李秀彬.环渤海地区土地利用时空变换分析[J]. *地理学报*, 2001, 56(3): 253-260.

[9] 张军涛,李颖.近 10 年来东北农牧交错区土地利用变化研究[J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6): 551-559.

[10] 陈文波,崔丽娟,赵小汎.江西新建县土地利用时空动态特征分析[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 873-877.

[11] 何书金,王秀红,邓祥征,等.中国西部典型地区土地利用变化对比分析[J]. *地理研究*, 2006, 25(1): 80-86.

[12] 汕头市统计局.汕头市统计年鉴[Z]. 2000—2007.

[13] 邓红兵,王英明,张巧显,等.江西省土地利用变化及其驱动力定量研究[J]. *江西农业大学学报*, 2006, 28(6): 933-938.