

东北黑土区坡耕地治理过程中的水土保持效应^{*}

吕刚¹, 班小峰², 雷泽勇¹, 吴祥云¹

(1. 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁省阜新蒙古族自治县 水土保持总站, 辽宁 阜新 123100)

摘要:以传统顺垄耕作为对照, 研究了东北黑土区坡耕地治理过程中的水土保持效应。结果表明: 坡耕地不同治理措施的保水效应和保土效应以水平梯田最佳, 效应值分别为 70.64% 和 77.61%, 大小顺序为水平梯田> 地埂植物带> 横垄> 对照, 保土效应要优于保水效应, 对照和横垄的土壤侵蚀程度表现为轻度, 地埂植物带和水平梯田表现为微度; 容重、蓄水容量、有效蓄容和稳定入渗率表征坡耕地治理措施土壤水源涵养效应指标的大小顺序为地埂植物带> 水平梯田> 横垄> 对照。

关键词:水土保持; 土壤水源涵养; 坡耕地治理; 东北黑土区

中图分类号: S152.5, S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)06-0051-05

Benefit of Soil and Water Conservation in the Process of Harnessing a Sloping Farmland in the Black Soil Region, Northeast China

LÜ Gang¹, BAN Xiao-feng², LEI Ze-yong¹, WU Xiang-yun¹

(1. College of Resources and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000, China; 2. Fuxin Mongolian Autonomous County General Station of Soil and Water Conservation, Fuxin, Liaoning 123100, China)

Abstract: In comparison with traditional the ridge along slope, benefit of soil and water conservation in the process of harnessing a sloping farmland in the Black Soil region of Northeast China was carried out. The results indicate that benefit of soil and water conservation was the best in the level terrace of different measures, and the value were 70.64% and 77.61%. We can put the following items as such orders: level terrace> buffer strip> contour cultivation> the ridge along slope, and effects on soil conservation was better than water conservation, the degree of soil erosion on contour cultivation and the ridge along slope were mild, level terrace and buffer strip were weak. Soil bulk density, soil water storage effective capacity, and steady infiltration rate were indicators of the size of water conservation functions of soil, we can put the following items as such orders: buffer strip> level terrace> contour cultivation> the ridge along slope.

Key words: soil and water conservation; water conservation functions of soil; harnessing a sloping farmland; the Black Soil region of Northeast China

东北黑土区由于土地肥沃、地域辽阔、人口相对较少成为我国重要的商品粮基地, 被誉为粮食生产与供给的“稳压器”, 但保护不当或无保护开垦引发水土流失导致土地退化, 对土地生产力和粮食生产, 乃至国家粮食安全会造成严重威胁^[1]。坡耕地作为东北黑土区主要的耕地资源, 占耕地总面积的60%, 且多数分布在 3°~15°的坡面上, 是产生水土流失的主要源地, 占黑土区水土流失面积的80.3%^[2]。降雨集中且强度大是该区水蚀发生的先

决条件, 而耕地表层土壤疏松, 底土黏重渗透性差是土壤侵蚀发生的内在原因, 加之当地群众传统的顺坡耕作形成了集雨面积大, 径流集中、冲力增强等有利于水蚀发生的条件, 水土流失十分严重, 土壤退化加剧。因此, 加快东北黑土区坡耕地治理不仅对于减少该区水土流失和提高土地生产力具有重要意义, 同时也能达到保证粮食生产和生态安全的双重目标。以东北黑土区传统顺坡耕地为对照, 研究采取不同治理措施的坡耕地在治理过程中的水土保持

* 收稿日期: 2009-05-15

基金项目: 国家十一五科技支撑项目(2006BAD03A0203); 辽宁省教育厅项目(20060381, 2008289)

作者简介: 吕刚, (1979-), 男, 吉林九台人, 讲师, 主要从事土壤侵蚀与流域治理的教学和科研工作。E-mail: lvgang2637@126.com.

效应和土壤水源涵养效应, 以其为加快东北黑土区坡耕地治理提供理论指导和科学依据。

1 研究区自然概况

研究区位于辽宁省阜新蒙古族自治县境内的二道岭小流域(121°42′50″–121°49′05″E, 41°49′15″–41°53′12″N), 属土石质低山棕壤丘陵区。根据松辽水利委员会在关于东北黑土区水土流失情况的报告中将黑土区的土壤类型定义为包括黑土、黑钙土、暗棕壤、草甸土、白浆土、棕壤、棕色针叶林土、风沙土和沼泽土等^[3], 该流域 2003 年被国家列为东北黑土区水土流失综合防治试点工程, 是东北黑土区监测的重要组成部分。

流域面积约 21.276 km², 属典型的半干旱大陆性季风气候, 光照充足, 四季分明, 光热条件较好, 无霜期 150 d, 年日照时间在 2 866 h 左右。多年平均气温在 7.2℃, ≥10℃积温约 3 400℃, 多年平均降水量在 524 mm, 汛期多年平均降雨量为 407 mm, 70% 以上的降水都集中在夏季, 多年平均蒸发量在 1 848 mm。坡耕地为当地农业生产的主要来源, 占耕地总面积的 60%, 且土层较薄, 耕层砾石含量高, 保水保肥能力差, 加之长期以来不合理的耕作方式使得水土流失加剧, 土地生产力持续下降, 水土流失面积达到了 44%, 沟壑密度为 2.15 km/km², 多年平均土壤侵蚀模数为 1 216 t/(km²·a)。

2 研究方法

2.1 径流小区布设

试验径流小区设置二道岭小流域主河道北支沟、挡石沟口西坡、国新公路北侧 50 m 的同一坡面上, 海拔 250 m, 小区间距 0.5 m, 土层厚度 40–80 cm, 具有完善的观测降雨和径流的设备。每场降雨过后, 记录各小区集流装置中的径流深度, 并采集泥沙样品, 烘干称重, 分别计算各小区的径流量和泥沙含量。水土流失监测期始于主汛期之前的 5 月, 截至当年 10 月 15 日, 本研究共得到 2 a 连续观测的水土流失数据(2004–2005 年)。试验小区基本情况如表 1 所示。

2.2 指标测定与计算方法

(1) 保水效应和保土效应的计算^[4]。
保水效应: $C_w = (1 - W/W_{ck}) \times 100\%$
保土效应: $C_s = (1 - S/S_{ck}) \times 100\%$
式中: C_w 和 C_s 分别为保水效应和保土效应; W 和 S 分别为治理措施的径流量和产沙量; W_{ck} 和 S_{ck} 分别为对照地的径流量和产沙量。

表 1 试验小区基本情况

小区 编号	坡度/ (°)	面积/ m × m	坡向	措施 类型	种植 作物
3	12	5 × 30	东南	对照 (顺垄耕作)	种植大豆
2	12	5 × 30	东南	横垄耕作	种植大豆
4	12	5 × 30	东南	地埂植物带	地埂上 种植柠条
5	12	5 × 30	东南	水平梯田	种植大豆

(2) 土壤水分物理性质测定。于 2007 年 8 月采用环刀法在径流小区内取 0–20 cm 表层原状土壤, 取 3 个重复测定土壤水分物理性质。土壤含水量采用烘干法, 土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度、土壤渗透性测定采用环刀法。

(3) 土壤水源涵养效应计算。

蓄水容量(t/hm^2) = $10000\text{ m}^2 \times \text{土壤总孔隙度}(\%) \times \text{土层厚度}(\text{m}) \times \text{水比重}(t/hm^3)$

有效蓄容(t/hm^2) = $10000\text{ m}^2 \times \text{土壤非毛管孔隙度}(\%) \times \text{土层厚度}(\text{m}) \times \text{水比重}(t/hm^3)$

3 结果与分析

3.1 坡耕地治理措施的保水效应

降雨冲刷地表产生的径流是引起土壤流失的直接动力条件。坡耕地是东北黑土区宝贵的耕地资源, 但不合理的耕作技术导致在有降雨发生的时候极易产生地表径流并伴随着相应的养分流失, 土壤肥力逐年下降。因此, 在该区因地制宜地采取坡耕地治理措施不仅可以有效地减少地表径流量, 同时也恢复了土地生产力。

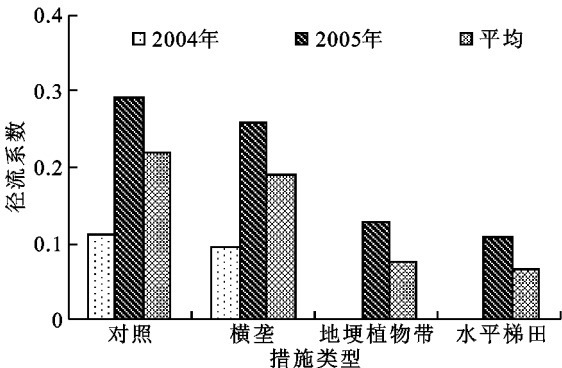


图 1 坡耕地不同治理措施下的径流系数

观测期内的降雨量为 532 mm, 其中 2004 年的降雨量为 217 mm, 2005 年的降雨量为 315 mm, 与多年同期降雨量相比有一定降低。2004 年对照和横垄产流次数均为 3 次, 而地埂植物带和水平梯田没有产流。2005 年对照和横垄产流次数均为 13 次, 地埂植物带和水平梯田产流次数为 9 次。径流系数指某时段的径流深度与该时段的降水深度的比值, 其大小与当地的干湿程度有很大关系。从图 1

可以看出, 2004 年降雨量少, 对照的径流系数为 0.110, 横垄的径流系数为 0.094, 二者之间仅相差 0.016, 而地埂植物带和水平梯田的径流系数则为 0, 没有产生坡面径流。2005 年降雨量的增大使得各小区的径流系数均增大, 对照为 0.294, 横垄降低了 0.034, 地埂植物带降低了 0.164, 水平梯田降低了 0.185, 可见, 径流系数随着降雨量的增大而增大, 并且对照与各治理措施间的差异也在增大。径流系数是反映坡面地表径流强度的重要指标, 并与坡面产沙量呈正比, 观测期内的地表径流强弱顺序为对照> 横垄> 地埂植物带> 水平梯田。

表 2 坡耕地不同治理措施下保水效应对比分析

措施类型	年份	产流 次数	径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	减少值/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	保水 效应/ %
对照	2004	3	238.2	0	0
	2005	13	926.7	0	0
	合计	16	1164.9	0	0
横垄	2004	3	204.6	33.6	14.11
	2005	13	818.7	108.0	11.66
	合计	16	1023.3	141.6	12.16
地埂植物带	2004	0	0	238.2	100.00
	2005	9	408.0	518.7	55.98
	合计	9	408.0	756.7	64.98
水平梯田	2004	0	0	238.2	100.00
	2005	9	342.0	584.7	63.09
	合计	9	342.0	822.9	70.64

径流量是评价坡耕地治理措施保水效应的重要指标。由表 2 可以看出, 在观测期间内, 对照的径流量为 $1\,164.867\text{ m}^3/\text{hm}^2$, 为横垄的 1.14 倍, 为地埂植物带的 2.86 倍, 为水平梯田的 3.41 倍, 其中地埂植物带和水平梯田在 2004 年没有产生径流, 这主要是由于该年观测期间内降雨量仅有 217 mm, 且雨

强小所致。不同治理措施下径流量的减少量为 $141.46\sim 822.867\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 其中横垄的保水效应为 12.16%, 地埂植物带的保水效应为 64.98%, 水平梯田的保水效应为 70.64%, 这说明坡耕地采取治理措施后可以减少径流损失, 起到一定的保水作用。水平梯田的保水效应最好, 主要是因为其沿等高线把田面修成水平的阶梯农田, 削减了坡长, 降低了坡度, 使得径流发生的动力强度受到了削弱, 并能层层拦蓄坡面径流, 因此保水效应最佳。地埂植物带沿着等高线方向修筑土埂, 埂上栽植柠条等灌木, 拦蓄了径流, 但与水平梯田相比, 并没有有效地降低坡度, 尤其是在坡度较大的坡地上, 其保水效应次之。横垄是将顺坡垄作改为等高耕种的治理措施, 虽然没有辅以其他的工程措施, 但由于其沿等高耕作, 与坡面径流的流向垂直, 因此也能起到拦蓄径流的作用, 但不是十分明显。

3.2 坡耕地治理措施的保土效应

单位面积的产沙量是反映坡耕地土壤流失强弱的基本指标。从表 3 可以看出, 观测期间内, 对照 2 a 内的产沙量为 $40.671\text{ t}/\text{hm}^2$, 为横垄的 1.418 倍, 为地埂植物带的 2.612 倍, 是水平梯田的 4.467 倍, 不同治理措施下产沙量的减少量为 $11.982\sim 31.566\text{ t}/\text{hm}^2$, 其中采取横垄的保土效应为 29.46%, 采取地埂植物带的保土效应为 61.72%, 采取水平梯田的保土效应为 77.613%, 不同治理措施的保土效应强弱顺序为水平梯田> 地埂植物地> 横垄> 对照, 与保水效应得出的结论相一致, 但保土效应值与保水效应值之间存在差异, 不同治理措施的保土效应优于保水效应, 能够更加有效地控制土壤侵蚀的发生与发展。

表 3 坡耕地不同治理措施下保土效应对比分析

措施类型	年份	产流次数	泥沙量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	减少值/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	保土效应/ %	土壤侵蚀模数/($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
对照	2004	3	7.576	0	0	757.60
	2005	13	33.095	0	0	3309.50
	合计	16	40.671	0	0	2033.55
横垄耕作	2004	3	6.622	0.954	12.59	662.20
	2005	13	22.067	11.028	33.32	2206.70
	合计	16	28.689	11.982	29.46	1434.45
地埂植物带	2004	0	0	7.576	100.00	0
	2005	9	15.569	17.526	52.96	1556.90
	合计	9	15.569	25.102	61.72	778.45
水平梯田	2004	0	0	7.576	100.00	0
	2005	9	9.105	23.990	72.49	910.50
	合计	9	9.105	31.566	77.62	455.25

通过产沙量推算各治理措施下的年均土壤侵蚀模数为: 对照 $2\,033.55\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、横垄 $1\,434.45\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、地埂植物带 $778.45\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、水平梯田 $455.25\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。根据水利部最新颁布的

《土壤侵蚀分类分级标准 SL190- 2007》中关于水力侵蚀强度分级标准的规定^[5], 对照和横垄表现为轻度侵蚀, 地埂植物带和水平梯田表现为微度侵蚀。其中 2005 年的降雨集中且强度大, 坡耕地的产沙量较大, 对照的侵蚀程度达到了中度, 横垄也接近中度, 地埂植物带和水平梯田均达到了轻度侵蚀, 由此可知, 高强度的降雨是造成坡面土壤侵蚀量大的主要原因。

3.3 坡耕地治理措施的下土壤水源涵养效应

坡耕地采取不同的治理措施后, 水土流失量减少, 保水保土效应增强, 土壤抗侵蚀能力得到提高。土壤水源涵养效应是坡耕地治理措施对土壤结构特征和蓄水能力影响的综合反映, 容重、蓄水容量、有效蓄容和土壤稳定入渗率是基本表征指标。坡耕地采取治理措施后其土壤水分物理性质的改变将直接影响坡面水文过程, 并间接影响土壤侵蚀潜在危险性程度。土壤容重是土壤在单位体积内排列松紧的程度, 它反映了土壤坚实度和孔隙度的大小, 对土壤的透气性、入渗性能、持水能力、溶质迁移特征以及

土壤的抗侵蚀能力都有非常大的影响^[6], 其值愈大表明土壤愈紧实, 紧实的土壤会显著降低土壤入渗速率和土壤蓄水量^[7]。从表 5 可以看出, 各试验小区土壤容重大小排序为地埂植物带< 水平梯田< 横垄< 对照, 以地埂植物带的容重最小, 为 1.34 g/cm³, 土壤表现最为疏松, 对照容重最大, 为 1.44 g/cm³, 但不同治理措施间的差异并不显著。土壤孔隙的大小、数量及分配是土壤物理性质的基础, 在一定土壤厚度条件下土壤的贮水量取决于土壤孔隙, 二者之间呈线性关系, 蓄水容量和有效蓄容是反映土壤孔隙状况和贮水能力的指标, 其值越大, 土壤涵养水源与保持水分的能力越强。不同治理措施的蓄水容量和有效蓄容均高于对照, 其中蓄水容量位于 987.4~ 999.2 t/hm² 之间, 平均值为 990.45 t/hm², 仅为对照的 1.003 倍, 相差很小, 大小排序为地埂植物带> 水平梯田> 横垄> 对照, 有效蓄容位于 504.2~ 532.0 t/hm² 之间, 平均值为 521.8 t/hm², 仅为对照的 1.035 倍, 大小排序为地埂植物带> 水平梯田> 横垄> 对照。

表 4 坡耕地不同治理措施下土壤水源涵养效应对比分析

措施类型	容重/(g·cm ⁻³)	蓄水容量/(t·hm ⁻²)	有效蓄容/(t·hm ⁻²)	土壤稳定入渗率/(mm·min ⁻¹)
对照	1.44	986.8	504.2	0.08
横垄耕作	1.40	987.4	521.8	0.27
地埂植物带	1.34	999.2	532.0	1.32
水平梯田	1.36	988.4	529.2	0.73

不同治理措施下的土壤容重、蓄水容量、有效蓄容差异不显著的主要原因在于试验小区的治理年限较短, 而土壤物理性质演变是一个长期的过程。土壤稳定入渗率是评价土壤水源涵养作用和抗侵蚀能力的重要指标, 也是模拟土壤侵蚀过程的基本输入变量, 其大小不但影响降水进入土壤的速率和数量, 同时还关系到地表径流的产生和地表土壤侵蚀的发生发展。一般来说, 土壤稳定入渗率越大, 土壤入渗速度越快, 将延缓坡面产流的时间, 进而减少水土流失量。不同治理措施的土壤稳定入渗率以地埂植物带最大, 为 1.32 mm/min, 为对照的 16.5 倍, 横垄的 4.89 倍, 水平梯田的 1.81 倍, 不同治理措施间的差异显著, 不同治理措施下只有土壤稳定入渗率之间的差异最为显著, 这主要是由于土壤结构、孔隙、根系、砾石、结皮等影响土壤渗透性的因素综合作用的结果。相关分析也表明, 土壤稳定入渗率(Y)与容重(x)呈显著负相关关系(相关方程为: $Y = -1.729x + 16.844$, $R^2 = 0.8874$, $n = 4$); 土壤稳定入渗率(Y)与总孔隙度(x)呈显著正相关关系(相关方程为: $Y = 0.0864x - 85.024$, $R^2 = 0.8448$, $n = 4$);

土壤稳渗率(Y)与非毛管孔隙度(x)呈显著正相关关系(相关方程为: $Y = 0.0373x - 18.842$, $R^2 = 0.7112$, $n = 4$), 这与以往的研究结论一致^[8-10]。分析容重、蓄水容量、有效蓄容和土壤稳定入渗率等反映土壤水源涵养效应的指标可知, 坡耕地治理措施的土壤水源涵养效应的大小均为地埂植物带> 水平梯田> 横垄> 对照, 与保水保土效应得到的结论并不一致, 主要差异体现为地埂植物带优于水平梯田, 这可能是由于地埂植物带上除了种植大豆等农作物外, 在地埂上还栽植了柠条, 柠条根系与大豆根系相比, 其根系穿插和分泌物更利于土壤结构和孔隙的改善, 因此地埂植物带的水源涵养效应要强于水平梯田。

4 结 论

(1) 观测期间内以对照的径流系数最大, 地表径流强弱顺序为对照> 横垄> 地埂植物带> 水平梯田。对照的径流量为 1 164.867 m³/hm², 为横垄的 1.14 倍, 为地埂植物带的 2.86 倍, 为水平梯田的 3.41 倍。横垄的保水效应为 12.16%, 地埂植物带的保水效应为 64.98%, 水平梯田的保水效应为

70.64%, 不同治理措施的保水效应强弱顺序为水平梯田> 地埂植物带> 横垄> 对照。

(2) 观测期间内, 对照的产沙量为 40.671 t/hm², 为横垄的 1.418 倍, 为地埂植物带的 2.612 倍, 为水平梯田的 4.467 倍。横垄的保土效应为 29.46%, 地埂植物带的保土效应为 61.72%, 水平梯田的保土效应为 77.613%, 不同治理措施的保土效应强弱顺序与保水效应得出的结论相一致, 但保土效应要优于保水效应。对照和横垄的土壤侵蚀模数分别为 2 033.55 t/(km²·a) 和 1 434.45 t/(km²·a), 表现为轻度侵蚀, 地埂植物带和水平梯田的土壤侵蚀模数分别为 778.45 t/(km²·a) 和 455.25 t/(km²·a), 表现为微度侵蚀。

(3) 观测期间内土壤容重大小排序为地埂植物带< 水平梯田< 横垄< 对照, 蓄水容量位于 987.4~999.2 t/hm² 之间, 有效蓄容位于 504.2~532.0 t/hm² 之间, 蓄水容量与有效蓄容均以对照最小, 不同治理措施下土壤稳定入渗率之间差异显著, 以地埂植物带最大, 为 1.32 mm/min, 为对照的 16.5 倍, 横垄的 4.89 倍, 水平梯田的 1.81 倍, 土壤稳定入渗率与容重、总孔隙度、非毛管孔隙度均呈显著相关关系。坡耕地治理措施的土壤水源涵养效应大小为地埂植物带> 水平梯田> 横垄> 对照。

(4) 坡耕地治理措施的土壤水源涵养效应与保水保土效应得到的结论并不一致, 表现为地埂植物带优于水平梯田, 这说明地埂植物带上种植的柠条

更利于土壤结构和孔隙的改善, 因此地埂植物带的水源涵养效应要强于水平梯田。

参考文献:

- [1] 刘宝元, 阎百兴, 沈波, 等. 东北黑土区农地水土流失现状与综合治理对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 1-8.
- [2] 杨文文, 张学培, 王洪英. 东北黑土区坡耕地水土流失及防治技术研究进展[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 232-236.
- [3] 范昊明, 蔡强国, 王红闪. 中国东北黑土区土壤侵蚀环境[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 66-70.
- [4] 郝云庆, 王金锡, 李力. 北川退耕还林农林复合经营模式的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 16-19.
- [5] 水利部. 土壤侵蚀分类分级标准 SL190-2007[S]. 2008.
- [6] 郑纪勇, 邵明安, 张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 53-56.
- [7] 史东梅, 吕刚, 蒋光毅, 等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 35-39.
- [8] 吴发启, 赵西宁, 余雕. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 16-18, 78.
- [9] 张永涛, 杨吉华, 夏江宝, 等. 石质山地不同条件的土壤入渗特性研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 123-126.
- [10] 勃海峰, 刘国彬, 王国梁. 黄土丘陵区退耕地植被恢复过程中土壤入渗特征的变化[J]. 水土保持通报, 2007, 27(3): 1-5, 31.

(上接第 50 页)

参考文献:

- [1] Costanza R D, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and nature capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.
- [2] 苏朝阳, 苗长虹. 开封市土地利用时空变化的生态系统服务价值评估[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 116-119.
- [3] 蔡邦成, 陆根法, 宋莉娟, 等. 土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3005-3010.
- [4] 张宝雷, 张淑敏, 周启刚, 等. 土地利用和生态系统服务功能变化研究: 以三峡库区大宁河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 181-185.
- [5] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas [J]. Ecological Economics, 2001, 39(3): 333-346.
- [6] Woodward R T, Wui Y. The economic value of wetland services: a meta analysis [J]. Ecological Economics, 2001, 37(2): 257-270.
- [7] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. Ecological Economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [8] 李先琨, 吕仕洪, 黄玉清, 等. 漓江流域红壤侵蚀区植被演替与复合农林试验[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 140-148.
- [9] 陈余道, 蒋亚萍, 朱银红. 漓江流域典型岩溶生态系统的自然特征差异[J]. 自然资源学报, 2003, 18(3): 326-332.
- [10] 鲁春霞, 谢高地, 肖玉, 等. 青藏高原生态系统服务功能的价值评估[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2749-2755.
- [11] 李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440-446.
- [12] 王宗明, 张柏, 张树清. 吉林省生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 55-61.
- [13] 肖翔, 黄海涛, 吴海均, 等. 基于马尔可夫模型的苏州市区土地利用变化预测[J]. 江西农业学报, 2008, 20(11): 134-136.
- [14] 邱桔, 李际平, 杨永德. 漓江上游水源林生态恢复研究[J]. 学术论坛, 2005(12): 123-127.