

巨尾桉工业原料林地与不同土地利用类型 坡面产流产沙特征对比分析

赵一鹤¹, 杨时宇¹, 周祥², 李昊民³, 程盛慧³, 赖建东³

(1. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224;

云南今禹生态工程咨询有限公司, 云南 昆明 650224; 3. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 为了进一步探讨巨尾桉工业原料林地与不同土地利用类型的水土流失规律, 采用坡面径流小区试验法, 对巨尾桉工业原料林地与不同土地利用类型坡的产流产沙特性进行了比较研究。结果表明, 巨尾桉林地有较好的调节径流和减少土壤侵蚀的作用, 荒草地的产流量最多, 分别是灌木林地和巨尾桉林地的 1.1 倍和 1.9 倍, 不同地类的产流量大小为: 荒草地 > 灌木林地 > 巨尾桉林地, 巨尾桉林地与荒草地之间的径流量存在极显著差异, 而与灌木林地之间差异显著。灌木林地的产沙量最高, 分别是荒草地和巨尾桉林地的 1.3 倍和 2.9 倍, 不同地类的产沙量大小排序为: 灌木林地 > 荒草地 > 巨尾桉林地, 巨尾桉林地与灌木林地之间的产沙量存在极显著差异, 而与荒草地之间差异显著。巨尾桉林地的产流量与产沙量分别比荒草地减少 47.83% 和 55.90%。不同地类的坡面产沙量与产流量之间都不存在线性相关。研究结果为科学和客观地认识巨尾桉工业原料林的地表径流和产沙之间的关系, 以及水土保持效益, 并为巨尾桉工业原料林的可持续经营管理提供理论基础和科学依据。

关键词: 巨尾桉; 土地利用类型; 产流; 产沙

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0077-05

中图分类号: S157

Comparative Analysis of Slope Runoff and Sediment Yield from *Eucalyptus Grandis* × *E. Urophylla* Industrial Plantations and Other Land Use Types

ZHAO Yi-he¹, YANG Shi-yu¹, ZHOU Xiang², LI Hao-min³, CHENG Sheng-hui³, LAI Jian-dong³

(1. Institute of Insect Resources, Chinese Academy of Forestry, Kunming, Yunnan 650224, China;

2. Jinyu Ecological Engineering Consulting Co., Ltd. of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650224, China;

3. School of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: In order to investigate soil erosion processes for the *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* industrial plantations and other land use types, a comparative study of the characteristics of runoff and sediment yields from various slopes was made by runoff plot experiment. Results showed that *E. grandis* × *E. urophylla* plantations could better adjust runoff and reduce soil erosion. Among the three land use types investigated, runoff yielded from grassland was the most, which was 1.1 times of that from shrubland and 1.9 times of that from the *E. grandis* × *E. urophylla* plantations. Land uses, in terms of runoff yield, ranked in the descending order of grassland, shrubland, and *E. grandis* × *E. urophylla* plantations. Runoff yield between the *E.* plantations and grassland was very significantly different, while runoff yield between *E. grandis* × *E. urophylla* plantations and shrubland, significantly different. However, sediment yielded from shrubland was the highest, which was 1.3 times of that from grassland and 2.9 times of that from *E. grandis* plantations. Land uses, in terms of sediment yield, was in the descending order of shrubland, grassland, and *E. grandis* × *E. urophylla* plantations. There was very significant difference in sediment yield between the *E. grandis* × *E. urophylla* plantations and shrubland and significant difference in sediment yield between the *E. grandis* × *E. urophylla* plantations and grassland. Runoff yield from *E. grandis* × *E. urophylla* plantations was 47.83% less than that from grassland and sediment yield, 55.90% less. There was no linear relation be-

收稿日期: 2011-08-23

修回日期: 2011-09-13

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973 计划) 前期研究专题“湖滨植物群落在高原湖泊湿地生态系统中的调控机理研究”(2010CB434807); 国家自然科学基金项目“滇西北高原湿地湖滨带演变规律及其驱动机制研究”(U0933601)

作者简介: 赵一鹤(1970—), 男(白族), 云南省大理市人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为森林生态学。E-mail: kjzc123@163.com。

通信作者: 杨时宇(1956—), 男(白族), 云南省大理市人, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为森林生态学。E-mail: ririysy@tom.com。

tween runoff yield and sediment yield from different land use types. The results from the study provide not only more scientific and objective assessments for the relationship between runoff yield and sediment yield from *E. grandis* × *E. urophylla* plantations and the benefits of soil and water conservation, but also a theoretical basis and scientific evidences for its sustainable management.

Keywords: *E. grandis* × *E. urophylla* plantations; land use type; runoff yield; sediment yield

巨尾桉 (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) 属桃金娘科 (*Myrtaceae*) 桉树属 (*Eucalyptus*) 植物, 具有生长迅速, 适应性强, 林相整齐, 轮伐期短的特点, 其材质用途广, 是发展短周期工业原料林的优良阔叶树种^[1-3]。桉树人工林的迅猛发展, 获得了巨大的经济和社会效益, 但随着桉树人工林的大发展和研究的不断深入, 其生态环境风险问题引起了社会的广泛关注和学术界的许多争论, 桉树人工林的水土保持问题是争论的焦点之一^[1,4-5]。

地表径流是衡量植被保持水土、涵养水分、减少洪峰等效益的一个基本指标, 降雨是水土流失的原动力, 与坡面径流及产沙有密切关系。在雨滴动能和薄层水流作用下, 通过坡面的溅蚀和面蚀, 肥力状况较好的表土层首先被剥离和搬运, 降雨、径流和泥沙相互之间的关系密切^[6-7]。

针对降雨产流产沙规律, 以往诸多学者从不同的角度进行了深入研究, 主要包括降雨侵蚀产沙与输沙的时空分布特征和变化规律^[8], 天然降雨因素及地面坡度对片状侵蚀的影响^[9], 坡面不同侵蚀带侵蚀产沙特点、相互影响及降雨强度和能量对坡面侵蚀产沙分配的影响^[10], 降雨动能对产流与侵蚀产沙、径流能量对侵蚀产沙的影响^[11], 不同立地条件下径流量、侵蚀模数随雨强的变化^[12], 野外与室内人工模拟降雨试验条件下对入渗、暴雨产流、产沙过程及薄层水流侵蚀过程的分析及定量研究等方面^[13]。但在云南南部热带、南亚热带高原山地独特的地形地势和气候条件下, 针对巨尾桉工业原料林的降雨、地表径流和产沙之间的关系研究, 相关文献尚未见有报道。

本研究选取巨尾桉工业原料林与邻近不同土地利用类型, 采用坡面径流小区试验方法, 探讨在云南热带、南亚热带高原山地独特的地形地势和气候条件下, 巨尾桉工业原料林与不同地类的土壤侵蚀规律, 旨在探索巨尾桉工业原料林和其他不同地类坡面产流产沙特性, 科学和客观认识巨尾桉工业原料林的降雨、与地表径流和产沙之间的关系, 以及水土保持效益, 并为巨尾桉工业原料林的可持续经营管理提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省普洱市澜沧县, 地理坐标为

22°31′—23°16′ N, 99°29′—100°35′ E, 属南亚热带高原山地季风气候区。年平均气温 19.1 °C, 极端最高气温 37.2 °C, 极端最低气温 -1.0 °C, ≥10 °C 年积温 6 921.6 °C。年均降雨量 1 626.5 mm, 年平均相对湿度 79%, 年平均日照时数 2 098.0 h。研究区林分为巨尾桉纯林, 采用巨尾桉扦插苗挖穴整地造林, 造林密度 1 995 株/hm², 林龄 5 a。林分未进行割灌除草和施肥等抚育管理, 以排除人为干扰对林下植物物种的影响。巨尾桉工业原料林群落结构比较简单, 上层乔木树种为巨尾桉, 下层即为灌木层或草本层, 主要种类有飞机草 (*Eupatorium odoratum*)、革命菜 (*Gynura crepidioides*)、大叶仙茅 (*Curculigo capitulata*)、紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*)、巴豆藤 (*Craspedolobium schochii*)、菜蕨 (*Callipteris esculenta*)、多脉莎草 (*Cyperus diffusus*)、酸藤子 (*Embelia laeta*)、地桃花 (*Urena lobata*)、黄花稔 (*Sida acuta*)、假朝天罐 (*Osbeckia crinita*)、思茅水锦树 (*Wendlandia augustinii*)、毛叶悬钩子 (*Rubus poliohyllus*)、白茅 (*Imperata cylindrica*)、斑鸠菊 (*Vernonia esculenta*)、青蒿 (*Artemisia carvi folia*)、白酒草 (*Conyza japonica*)、长叶雀稗 (*Paspalum longifolium*)、弓果黍 (*Cyrtococcum patens*)。林地为中山地貌, 土壤类型为红壤。

1.2 研究方法

1.2.1 径流场布置 参照森林生态水文有关观测标准, 选取 5 年生巨尾桉林地, 以及巨尾桉林地造林前的主要地类灌木林地和荒草地共 3 种不同土地利用类型, 根据局部地形条件, 在这 3 种不同地类中选择相对较为平整的直线坡, 采用坡面径流小区试验法, 各布设了一个水平投影面积长 20 m, 宽 5 m 的径流小区, 小区汇集的地表径流进入集水池, 集水池 1 m × 1 m × 1 m, 安装水位计, 定量观测坡面径流和产沙情况^[14-15]。

在 3 个小区的地形开阔处安放了一个自记雨量计, 用来测定每场降雨的降雨量和降雨过程。并进行各径流小区的本底详查, 包括坡向、坡度、土壤类型、植物物种、植株高度、林分密度、林分郁闭度、草本层盖度、土层厚度、土壤容重等指标, 各径流小区的自然概况见表 1。

表 1 径流小区坡面自然概况

土地利用类型	坡向	坡度/土壤类型	主要植物种	植株高度/m	林分密度/(株·hm ⁻²)	林分郁闭度	草本层盖度/%	土层厚度/cm	土壤容重/(g·cm ⁻³)
巨尾桉林	E	16 红壤	巨尾桉、飞机草、革命菜、大叶仙茅、紫茎泽兰	12~23	1 995	0.82	80	107	1.134
灌木林	E	15 红壤	巴豆藤、菜蕨、飞机草、多脉莎草	0.1~6	158	0.25	40	110	1.324
荒草地	E	16 红壤	飞机草、菜蕨、革命菜、酸藤子	0.05~0.60	—	—	65	110	1.450

1.2.2 观测方法 降雨过程采用定位观测的方法,使用自记雨量计测定并计算每次的降雨量和降雨强度。每次降雨结束后即测量 3 个径流场的径流量和泥沙量,径流量用体积法求得,泥沙观测则是在每次降雨结束坡面产流后进行取样,取样时把集水池中承接的径流水搅匀取满 3 个标准取样容器。然后将集水池中所剩的径流全部清空,以待收集下一次降雨产流。用比重法测定径流水样中泥沙含量^[16],每种沙样重复测定 3 次,按照如下公式计算各小区的泥沙含量:

$$\rho = \frac{(\frac{G}{V} - \rho_w) \cdot \rho_s}{\rho_s - \rho_w}$$

式中: ρ ——含沙量 (kg/m³); G ——样品泥水重 (kg); V ——样品泥水体积 (m³); ρ_w ——水的比重

(10³ kg/m³); ρ_s ——泥沙的比重 (2.65 × 10³ kg/m³)。

2 结果与分析

2.1 降雨特征

由表 2 的计算结果可以看出,径流小区 2010 年 6—10 月共计降雨 20 场,降雨总量为 1 267.5 mm,观测期间 7 月降雨量最多,为 401.1 mm,占汛期降雨观测总量的 31.65%,其次是 8,9 月,降雨量分别为 322.5, 289.1 mm,分别占汛期降雨观测总量的 25.44% 和 22.81%,6,10 这 2 个月的降雨总量为 254.8 mm,占汛期观测降雨总量的 20.10%。其中单日降雨量在 50 mm 以上的降雨次数共 17 次,降雨量为 1 137.6 mm。

表 2 径流小区降雨及产流产沙观测值

序号	降雨日期	降雨量/mm	径流深/mm			含沙率/(kg·m ⁻³)			侵蚀强度/(t·km ⁻²)		
			巨尾桉林	灌木林	荒草地	巨尾桉林	灌木林	荒草地	巨尾桉林	灌木林	荒草地
1	20100623	65.9	2.30	4.15	4.83	1.53	2.13	1.41	0.70	2.60	1.36
2	20100626	52.5	2.75	2.78	4.92	1.20	2.33	0.68	0.66	1.96	0.67
3	20100701	60.3	3.62	7.47	10.35	2.29	2.01	1.41	1.66	3.61	2.91
4	20100707	46.5	2.12	3.80	3.82	0.80	1.81	1.57	0.34	1.77	1.20
5	20100711	33.8	2.43	3.72	4.28	2.49	2.17	2.05	1.21	2.30	1.75
6	20100719	57.4	2.37	3.53	4.62	1.85	1.85	1.49	0.87	1.66	1.37
7	20100721	67.9	2.78	4.93	7.33	0.68	2.29	1.85	0.38	2.88	2.71
8	20100726	77.2	4.53	8.68	9.87	2.77	2.33	2.17	2.51	4.70	4.28
9	20100731	58.0	2.88	5.02	7.30	2.33	2.81	1.20	1.34	3.04	1.76
10	20100806	59.0	1.35	7.65	13.53	0.24	2.41	1.20	0.07	2.60	3.26
11	20100814	49.6	4.37	7.33	6.87	0.44	2.09	1.12	0.39	2.71	1.54
12	20100817	73.5	8.90	14.57	11.93	0.48	2.05	0.76	0.86	5.77	1.82
13	20100820	70.5	4.20	11.17	14.27	0.48	1.81	1.85	0.40	3.54	5.27
14	20100827	69.9	8.55	11.78	12.72	1.37	2.21	1.93	2.33	4.77	4.90
15	20100913	59.0	9.62	13.85	15.2	0.08	2.53	0.92	0.15	6.37	2.81
16	20100916	71.2	11.05	16.25	17.98	1.61	2.01	1.77	3.55	5.98	6.35
17	20100922	80.6	11.25	13.03	16.58	1.04	1.37	0.92	2.35	2.78	3.06
18	20100925	78.3	7.68	14.05	15.72	0.72	2.29	0.84	1.11	6.23	2.65
19	20101002	58.7	7.52	10.02	11.00	1.00	1.12	2.49	1.51	1.93	5.48
20	20101008	77.7	9.52	16.13	17.33	1.89	2.37	0.72	3.59	7.25	2.51
合计		1 267.5	109.79	179.91	210.45	—	—	—	25.99	74.47	57.66

注:降雨量统计以径流小区降雨监测数据为依据,其中部分降雨量为连续几日降雨量之和。

2.2 巨尾桉林与其他地类坡面减流效益比较

各径流小区观测期间的 20 场降雨都产生了径流,在地形、降水因子相同或相近时,产流降雨的径流深分别为巨尾桉林地 109.79 mm,灌木林地 179.91 mm,荒草地 210.45 mm。荒草地的产流量最多,分别是灌木林地和巨尾桉林地的 1.1 倍和 1.9 倍。灌木林地产流量是巨尾桉林地的 1.6 倍,巨尾桉林地的产流量比荒草地减少 47.83%,各监测小区产流量大小为:荒草地>灌木林地>巨尾桉林地。主要原因是荒草地无乔木树种对降雨的截留作用,物种单一,植株小,土壤容重较大,地表径流汇集较快,不利于降雨的入渗。因此,一旦降雨,荒草地小区就容易产流,这说明植被的覆盖度和土壤容重直接影响降雨产流。

对这 20 场降雨的产流的 3 次重复取样测定值进行多重方差分析(表 3)。可以看出,不同小区的径流深均值差异在 1.527 0~5.033 0,巨尾桉林地与荒草地之间的径流量存在极显著差异,而与灌木林地之间差异显著。

在其他环境因子都非常相近的情况下,出现这样的地表径流结果,说明研究区的植被覆盖对降雨产流有着非常明显的影响。巨尾桉林地与荒草地的草本层盖度分别为 80%和 65%,比灌木林地的植被盖度 40%要大的多,巨尾桉林的乔木层和下层植被、以及枯枝落叶层具有明显的截留雨水和缓冲作用,且还会增加土壤水分的下渗量,从而相应地减少了地表产流量。

表 3 不同小区径流深的多重比较

小区 I	小区 J	均值差 I-J	标准误	sig.	95% 置信区间	
					下限	上限
巨尾桉林	灌木林	-3.506 0*	1.356 15	0.012	-6.22 16	-0.790 4
	荒草地	-5.033 0*	1.356 15	0.000	-7.748 6	-2.317 4
灌木林	巨尾桉林	3.506 0*	1.356 15	0.012	0.790 4	6.221 6
	荒草地	-1.527 0	1.356 15	0.265	-4.242 6	1.188 6
荒草地	巨尾桉林	5.033 0*	1.356 15	0.000	2.317 4	7.748 6
	灌木林	1.527 0	1.356 15	0.265	-1.188 6	4.242 6

注:* 均值差的显著性水平为 0.05。

2.3 巨尾桉林与其他地类坡面减沙效益比较

巨尾桉林、灌木林和荒草地径流小区的汛期径流平均含沙率分别为 1.27,3.72 和 2.88 kg/m³,灌木林地的汛期径流平均含沙率最高,分别是荒草地和巨尾桉林地的 1.3 倍和 2.9 倍,巨尾桉林地的产沙量比荒草地减少 55.90%,各径流小区的汛期径流平均含沙率大小排序为:灌木林>荒草地>巨尾桉林。主要原因是灌木林地受到放牧和人为活动的影响,地表和地上部分植被被破坏,地表覆盖物少,土层疏松,在降雨初期土壤入渗量大,产流较小,但一旦产流,在坡面径流的侵蚀作用下,地表疏松土层很快便进入径流,随径流一起流失,所以侵蚀产沙很严重。其次是随着巨尾桉林郁闭度增加,加大了林冠截流和表土入渗,使

其水土流失逐步减弱,地被覆盖物较多而厚,从而起到保护土层的作用,而且所形成的径流流速较小,侵蚀作用弱,所以侵蚀产沙强度很小。

表 2 的观测计算结果表明,在地形、降水因子相同或相近的情况下,巨尾桉林、灌木林和荒草地径流小区的汛期土壤侵蚀量为 25.99,74.47 和 57.66 t/km²,3 个径流小区土壤侵蚀量大小排序为:灌木林>荒草地>巨尾桉林。对不同土地利用类型坡面侵蚀强度进行统计相关分析(表 4),3 个不同地类侵蚀强度均值差异在 0.839 5~2.423 5,就侵蚀强度而言,巨尾桉林地与灌木林地之间差异极为显著,而与荒草地之间差异显著,表明灌木林地土壤侵蚀强度最大,巨尾桉林地固持土壤效果最好。

表 4 不同地类侵蚀强度多重比较

小区 I	小区 J	均值差 I-J	标准误	sig.	95% 置信区间	
					下限	上限
巨尾桉林	灌木林	-2.423 5*	0.476 45	0.000	-3.377 6	-1.469 4
	荒草地	-1.584 0*	0.476 45	0.002	-2.538 1	-0.629 9
灌木林	巨尾桉林	2.423 5*	0.476 45	0.000	1.469 4	3.377 6
	荒草地	0.839 5	0.476 45	0.083	-0.114 6	1.793 6
荒草地	巨尾桉林	1.584 0*	0.476 45	0.002	0.629 9	2.538 1
	灌木林	-0.839 5	0.476 45	0.083	-1.793 6	0.114 6

注:* 均值差的显著性水平为 0.05。

2.4 巨尾桉林与其他地类坡面产流与产沙间的关系

对表 2 不同径流小区的产流与产沙的统计数据进行分析显示,不同地类的产沙量与产流量之间都不存在线性相关,其中巨尾桉林地产流量与产沙量的相关系数 $R^2=0.365$,灌木林地产流量与产沙量的相关系数 $R^2=0.713$,荒草地产流量与产沙量的相关系数 $R^2=0.414$ 。各地类产沙量的变化与径流量的变化不相关,表明在降水、地形因子相同或相近的情况下,坡面产沙量与产流量不相关,而与林分结构因子包括林下植物物种、植株高度、林分密度、林分郁闭度、灌草层盖度等密切相关。

3 结论

(1) 巨尾桉林地有较好的减少地表径流和土壤侵蚀的作用,在地形、降水因子相同或相近的情况下,荒草地的产流量最多,分别是灌木林地和巨尾桉林地的 1.1 倍和 1.9 倍,产流量大小为:荒草地 > 灌木林地 > 巨尾桉林地,巨尾桉林地与荒草地之间的径流量存在极显著差异,而与灌木林地之间差异显著。灌木林地的汛期径流平均含沙率最高,分别是荒草地和巨尾桉林地的 1.3 倍和 2.9 倍,各径流小区的汛期径流平均含沙率大小为:灌木林地 > 荒草地 > 巨尾桉林地,巨尾桉林地的产流量与产沙量分别比荒草地减少 47.83% 和 55.90%,巨尾桉林地与灌木林地之间的产沙量差异极为显著,而与荒草地之间差异显著。

(2) 径流是泥沙输移的载体,径流量的大小、流速的快慢都影响径流对泥沙的载运能力,地面的物质构成和地被条件决定了地面泥沙起动的难易程度。影响各径流小区产流产沙量的因子有降水因子、地形因子和林分结构因子,且各影响因子之间相互关联,在本研究中各径流小区降水因子和地形因子相同或相近的情况下,则林下植物物种、植株高度、林分密度、林分郁闭度、灌草层盖度等林分结构因子影响各径流小区产流产沙量。巨尾桉林的郁闭度为 0.82,林下草本层盖度为 85%,枯枝落叶丰富,可截留降水、削弱到达地面的雨滴动能,所以产流量和产沙量最小。荒草地物种单一,无乔木树种对降雨的截留作用,植株低矮,草本层盖度为 65%,土壤容重较大,地上植被的吸水能力较差,地表径流汇集较快,不利于降雨的入渗,是本研究区降雨导致坡面产流最多的土地利用类型。灌木林地受到放牧和人为活动的影响,植被破坏严重,草本层盖度为 40%,枯枝落叶少,土层疏松,土壤保水抗蚀能力差,防止水土流失效果不如荒草地,是本研究区降雨导致坡面产沙最为严重的土地利用类型。因此应经营多层次的巨尾桉混交林,提高林

下植被覆盖度,可大大降低水土流失量,并达到可持续发展的目的。

(3) 不同地类的坡面产沙量与产流量之间都不存在线性相关,其中巨尾桉林地、灌木林地和荒草地产流量与产沙量的相关系数 (R^2) 分别为 0.365, 0.713 和 0.414。表明在降水因子、地形因子相同或相近的情况下,不同地类的坡面产流量与产沙量不相关,而与林分结构因子包括植物物种、植株高度、林分密度、林分郁闭度、草本层盖度等密切相关。

(4) 在本项研究中,由于降雨量与降雨过程观测的自记雨量计布置在径流小区之间的开阔地带,可认为每个小区的降雨量是相同的,分析中未考虑植被截留在其中的影响作用,但林内降雨过程因植被的不同而存在差异,这也会使林内的降雨侵蚀力、雨强等因子会与观测的结果略有差异。一些学者对坡面产流产沙的研究中深入分析了植被在其中的影响^[17],因而今后还需深入考虑不同植被对降雨的影响作用。

[参 考 文 献]

- [1] 时忠杰,张宁南,何常清,等. 桉树人工林冠层、凋落物及土壤水文生态效应[J]. 生态学报, 2010, 30(7): 1932-1939.
- [2] 韩艺师,魏彦昌,欧阳志云,等. 连栽措施对桉树人工林结构及持水性能的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4609-4617.
- [3] 赵一鹤,杨宇明,杨时宇,等. 桉树人工林多样性研究进展[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(5): 741-746.
- [4] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性研究进展[J]. 热带作物学报, 2001, 22(4): 82-90.
- [5] 赵一鹤,杨宇明,杨时宇,等. 桉树工业原料林林下植物物种多样性研究[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(4): 506-512.
- [6] 彭文英,张科利. 不同土地利用产流产沙与降雨特征的关系[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 25-29.
- [7] 余新晓,张晓明,武思宏,等. 黄土区林草植被与降水对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 19-26.
- [8] 王万忠,焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 刘志,江忠善. 降雨因素和坡度对片蚀影响的研究[J]. 水土保持通报, 1994, 14(6): 19-22, 61.
- [10] 郑粉莉,康绍忠. 黄土坡面不同侵蚀带侵蚀产沙关系及其机理[J]. 地理学报, 1998, 53(5): 422-428.
- [11] 吴发启,赵晓光,朱首军. 黄土高原南部侵蚀能量的产沙特征及其作用[J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 83-86.

理水平,加大农业科技成果转化力度,使农产品能够高产优产;适时依据市场需求状况,调整农业内部结构,从而提高土地有效产出率。

(3) 人口增长与城市化水平提高是耕地非农化的重要驱动因子,特别是它们在相对变化速率上存在高度关联性,由此反映出人口增长与城市化因子对耕地非农化具有潜在的持续性驱动作用,因此从发展的眼光来看,要严格控制人口增长率。此外,不彻底的“名义”城镇化并不能有效节约用地,城镇化进程要依据当地实情与经济发展规律,不能“做空”。

(4) 经济总量增长与产业结构调整对阜阳耕地非农化也有重要的影响,但这种影响是源自经济发展自身的内在的驱动力,并没有强大的外力推动。我们的研究发现,政府利益推动、投资热、房地产热、经济外向度提高这些导致许多大城市耕地非农化的主要因素对阜阳市的驱动作用较弱,由此带来耕地非农化进程较为温和。

[参 考 文 献]

- [1] 王雨濛,吴娟,张安录. 城乡收入差距与耕地非农化的关系研究:基于耕地库兹涅茨曲线扩展的省级面板数据研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):214-217.
- [2] 周京奎,王岳龙. 大中城市周边农地非农化进程驱动机制分析:基于中国 130 个城市面板数据的检验[J]. 经济评论,2010(2):24-34.
- [3] 陈江龙,曲福田. 农地非农化与粮食安全:理论与实证分析[J]. 南京农业大学学报,2006,29(2):103-107.
- [4] 张国平,张增祥,刘纪远. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析[J]. 地理学报,2003,56(3):323-332.
- [5] 徐宪立,蔡玉梅,张科利,等. 耕地资源动态变化及其影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境,2005,15(3):75-79.
- [6] 李辉霞,陈国阶,何晓蓉. 现阶段我国耕地变化趋势及其驱动力分析[J]. 地域研究与开发,2004,23(3):98-101.
- [7] 曲福田,陈江龙,陈雯. 农地非农化经济驱动机制的理论分析与实证研究[J]. 自然资源学报,2005,20(2):231-241.
- [8] 陈利根,龙开胜. 耕地资源数量与经济发展关系的计量分析[J]. 中国土地科学,2007,21(4):4-10.
- [9] 许广月. 耕地资源与经济的增长关系:基于中国省级面板数据的实证分析[J]. 中国农村经济,2009(10):21-30.
- [10] 高魏,闵捷,张安录. 农地城市流转与城市化、经济增长动态关系的计量经济分析:以湖北省 1980 年至 2003 年为例[J]. 资源科学,2010,32(3):564-572.
- [11] 曲福田,吴丽梅. 经济增长与耕地非农化的库兹涅茨曲线假说及验证[J]. 资源科学,2004,26(9):61-66.
- [12] 李永乐,吴群. 经济增长与耕地非农化的 Kuznets 曲线验证:来自中国省际面板数据的证据[J]. 资源科学,2008,30(5):667-672.
- [13] 胡建民,石亿邵. 略论耕地库兹涅茨曲线在我国的适用性[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):589-592.
- [14] 谭荣,曲福田,郭忠兴. 中国耕地非农化对经济增长贡献的地区差异分析[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(3):277-281.
- [15] 唐常春,陈烈,魏成. 大都市边缘区域耕地数量变化的时空特征及动力机制[J]. 资源科学,2006,28(5):43-49.
- [16] 陈会广,崔娟,陈江龙. 常州市耕地数量变化驱动机制及政策绩效分析[J]. 资源科学,2009,31(5):807-815.
- [17] 郑海霞,童菊儿,郑朝洪,等. 东南沿海经济发达地区耕地数量的动态变化及其驱动力研究:以绍兴市为例[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(4):435-439.
- [18] 韦素琼,陈健飞. 闽台耕地非农化及关联因子的比较研究[J]. 自然资源学报,2004,19(5):568-576.
- [19] 唐丽娟,雷磊,曹玲. 沿海城市耕地数量变化及其驱动力研究:以辽宁省葫芦岛市为例[J]. 安徽农业科学,2010,38(9):4725-4728.
- [20] 邓聚龙. 灰色系统:社会·经济[M]. 北京:国防工业出版社,1985:49-59.
- [21] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2004:61-72.
- [22] 赵翠薇,濮励杰,孟爱云. 不同经济发展阶段地区耕地变化的对比研究:以广西江州和江苏吴江为例[J]. 资源科学,2006,28(5):50-56.

(上接第 81 页)

- [12] 孙飞达,王立,龙瑞军,等. 黄土丘陵区不同降雨强度对农地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2007,14(2):16-18.
- [13] 王玉宽,王占礼. 黄土高原坡面降雨产流产沙过程及其响应研究[J]. 水土保持学报,2008,22(2):24-28.
- [14] 张增哲. 流域水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1992:123-156.
- [15] 吴钦孝,赵鸿雁,汪有科. 黄土高原油松林地产生沙及其过程研究[J]. 生态学报,1998,18(2):151-157.
- [16] 高佩玲,雷廷武,赵军,等. 坡面侵蚀中径流含沙量测量方法研究与展望[J]. 泥沙研究,2004(5):29:28-33.
- [17] 张晓明,余新晓,武思宏,等. 黄土区森林植被对坡面径流和侵蚀产沙的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1613-1617.