

# 喀斯特生态重建果园土壤养分季节变化研究

覃家科<sup>1,3</sup>, 殷兴华<sup>2,3</sup>, 吕仕洪<sup>3</sup>, 杨承伶<sup>1</sup>

(1. 广西林业勘测设计院, 南宁 530011; 2. 山东省蒙阴县环境保护局, 山东 临沂 276200; 3. 广西壮族自治区中国科学院 广西植物研究所, 广西 桂林 541006)

**摘要:** 在喀斯特生态重建示范区李果园、黄皮果园、火龙果园内设置样地, 对其土壤中氮磷钾土壤养分含量和相关性分析研究, 结果表明: 果园中氮、磷、钾养分元素含量随着果树生长周期对营养吸收量不同而呈现季节性变化, 土壤中氮磷钾含量空间垂直变化性变化明显, 从土壤表层向下逐渐减少; 在相关性方面, 全氮和水解性氮相关性显著, 全磷与有效磷相关性显著, 全钾与有效钾不相关。9月示范区果园土壤氮的含量丰富, 磷的含量处于相对平衡状态, 而钾的含量严重不足。喀斯特石漠化区土层薄, 水土保持能力差, 养分不足、季节性差异大的环境特点制约了生态重建工作。根据研究结果, 建议在喀斯特石漠化区开展生态重建时, 应对其土壤环境进行调查, 针对不同立地类型实施土壤改良, 选择适宜的物种栽植, 遵循生态恢复规律, 循序渐进地开展。

**关键词:** 喀斯特; 石漠化; 生态重建; 养分含量动态; 季节变化

中图分类号: S158.3; S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0101-05

## A Study of Seasonal Changes in Soil Nutrients of Ecological Restoration Orchards in Karst

QIN Jia-ke<sup>1,3</sup>, YIN Xing-Hua<sup>2,3</sup>, Lü Shi-Hong<sup>3</sup>, YANG Cheng-Ling<sup>1</sup>

(1. Guangxi Forest Inventory & Planning Institute, Nanning 530011, China; 2. Environmental Protection Bureau of Mengyin County, Shandong Province, Linyi, Shandong 276200, China; 3. Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and the Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi 541006, China)

**Abstract:** For sampling plots of plum, Chinese wampee and dragon orchards in the demonstration areas of Karst ecological restoration, soil nitrogen, phosphorus, potassium and their relationships with these plots were analyzed. Results showed that there were seasonal variations in the contents of soil nitrogen, phosphorus, potassium in orchards, depending on the difference in the nutrient uptakes during the growth, and that those nutrients exhibit obviously vertical changes in space, being decreased with increasing soil depth. The significant correlation could be found between the contents of total nitrogen and hydrolyzed nitrogen, as also is the case with total phosphorus and available phosphorus. However, total K and available K are not related. In September, orchard demonstration areas have rich soil nitrogen content, relatively balanced phosphorus content, but are very short of potassium. In the Karst, the projects of ecological restoration are constrained by environmental characteristics of Karst rocky desertification area including thin soil layer, poor water-holding capacity, nutrient deficiencies and seasonal fluctuations. It is suggested that soil status must be surveyed during the ecological restoration in the Karst, associated with different soil improvement according to the standing types and that suitable plant species should be chosen, in a progressive way, followed by those principles of ecological restoration.

**Key words:** Karst; rocky desertification; ecological restoration; nutrient dynamics; seasonal change

喀斯特石漠化(Karst Rocky Desertification)是土地荒漠化的主要类型之一, 是指在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下, 受人类不合理社会经济活动的干扰

破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积裸露, 土地生产力严重下降, 地表出现类似荒漠景观的土地退化过程<sup>[1]</sup>。广西位于中国西南端, 石漠化现象十分严重,

收稿日期: 2010-04-29

资助项目: 国家科技支撑计划课题(2006BAC01A10)

作者简介: 覃家科(1977-), 男(壮族), 广西融安人, 助理研究员, 主要从事森林资源与环境监测工作。E-mail: jiek-qin@163.com

是喀斯特地貌集中连片的地区,处于世界三大喀斯特地貌集中分布区之一的东亚片区的中心地带<sup>[2]</sup>。广西喀斯特山区主要分布在桂西南和桂中北,面积为 9.7 万 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 41%<sup>[3]</sup>。从 2001 年开始,广西对喀斯特石山特殊灌木林纳入了国家公益林范围,对石漠化进行治理,展开封山育林工程、人工造林工程、生态扶贫和异地搬迁工程等一系列措施。同时对喀斯特山区展开相关的科学研究工作,如喀斯特植被演替特殊性和动力机制研究、喀斯特优良常绿阔叶树种选育与诱导植被快速恢复技术研究、喀斯特土壤种子库特性及对植被恢复的贡献研究、喀斯特(岩溶)峰丛洼地生态重建技术与示范等<sup>[3,7]</sup>。

喀斯特石漠化土壤退化引起国内专家和学者们极大关注,在喀斯特土壤退化机制、退化土壤侵蚀、退化土壤理化性质、退化土壤恢复过程空间变异特征、土壤养分等方面开展大量的研究,而对生态重建土壤营养状况研究方面较少,对喀斯特生态恢复重建后土壤养分恢复能力及土壤养分动态变化的研究不足、鲜有报道<sup>[8,12]</sup>。本文对喀斯特石漠化生态重建果园土壤主要养分季节性变化研究,探讨喀斯特石漠化生态重建土壤养分在时间与空间动态变化、土壤养分盈亏和保墒能力,为石漠化区生态重建提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区域位于广西平果县果化镇布尧村龙何屯,地处 107°23' E、23°23' N,属典型的岩溶峰丛洼地地貌,由高低错落的联座尖峭山峰构成(当地村民称“弄”),植被严重退化,森林覆盖率不足 1%,树种单一(以任豆为主),2001 年在这建立喀斯特石漠化生态重建示范区。该区气候属亚热带季风气候,多年气温为 20.2~22.6℃,多年平均降雨量 1 500 mm,降雨多集中于 5~8 月,占全年的 65%,干湿季节交替现象明显,旱涝灾害频繁。该区地层岩石主要为纯石灰岩和硅质灰岩,东南角有少量泥质成分。由岩石风化形成的土层很薄,峰丛洼地区土壤稀少,岩石裸露,加之人对土地资源的不合理利用,石漠化明显,生态环境十分脆弱。根据该区生态环境与立地条件特点,2001 年引进火龙果、无核黄皮、李等果树及其它经济作物进行生态重建示范。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置和土壤采集

在示范区各果园内分别设置 3 个样地,其中李果园样地位于山腰中部,面积为 688.4 m<sup>2</sup>,火龙果园样

地位于山底平坡,面积分为 360 m<sup>2</sup>,黄皮果园样地位于山底平坡,面积为 278.1 m<sup>2</sup>。为了避免耕作、施肥等措施而造成的系统误差,本实验采用蛇形采集方式。在样地内设置 5 个采集点,用环刀采集各层土壤,测定土壤容重。采集混合样品的要求:每一点采取的土样,深度要一致,上下土体要一致,每个样品按 0~10,10~20,20~30 cm 分三层取样,取后混合,按四分法取约 1 kg 的混合土壤。磨细、过筛和保存、取风干土样 100~200 g,放在牛皮纸上,用木块碾碎,放在有盖底的 18 号筛(孔径 1 mm)中,使之通过 1 mm 的筛子,此时的土样可用以测定速效性养分。测定全磷、全氮和全钾含量时,将通过 18 号筛的土壤样品,进一步研磨,使其全部通过 100 号筛(孔径 0.149 mm)的土壤样品,作为其分析用。

### 2.2 测定方法及数据处理

实验室的土壤分析过程中,全氮用半微量凯氏法,全磷用碱熔-钼锑抗比色法,全钾用碱熔-火焰光度法,水解性氮用碱解扩散法,有效磷用盐酸和硫酸溶液浸提法,有效钾用 1 mol/L 硝酸煮沸浸提-火焰光度法。运用 Excel 对所有样品分析数据进行统计分析,养分之间的相关性分析则用 SPSS 进行分析<sup>[13]</sup>。

## 3 结果分析

### 3.1 氮素动态变化特征

从表 1 可看出,全氮含量在土壤 0~10 cm 层最高,其次是 10~20 cm 层,含量最少的是 20~30 cm 层,呈现出从土壤表层向母质层依次递减的规律性变化。从时间变化来看全氮呈现出季节性变化,9 月的含量最高,其次是 2 月的含量,6 月全氮含量最少。全氮含量随着果树生长周期发生季节性变化,2 月果树开始复苏萌芽、吸收营养,全氮含量有所下降,进入 6 月后,果树生长最为旺盛,需求大量养分,此时全氮含量最少,到了 9 月果树生长停止或开始休眠期,植物对营养吸收减少,全氮含量又开始回升。不同果园全氮含量因立地条件好坏而存在差别,李果园位于坡的中上部,土层较浅,全氮含量最低,火龙果园位于坡底,土层厚,全氮平均含量最高。从土壤肥沃指标看,李果园、火龙果园和黄皮果园全氮含量绝大部分在 1.5 g/kg 以上,均达到肥沃指标<sup>[14]</sup>。

全氮含量的高低说明土壤氮素的储蓄状况,而水解性氮的含量大小直接影响土壤氮肥力。通过相关分析可知,全氮和水解性氮的相关系数为 0.716,显著性概率 Sig. = 0.000 < 0.01,说明全氮和水解性氮的相关性非常显著。从表 1 可看出,李果园和火龙果

园的水解性氮含量大小在时间上变化规律是: 2 月< 9 月< 6 月, 表明水解性氮含量随着气温升高而增加, 全氮向水解性氮转化加快, 随着气温降低而水解性含量减少。黄皮果园水解性氮含量时间上变化规律是: 2 月< 6 月< 9 月, 与李果园和火龙果园水解性在季节上变化规律不一样。原因是黄皮果园 9 月套种了黄豆, 由于受人工施肥和豆科生物固氮作用的影响而改变水解性氮含量在季节上的变化。水解性氮的垂直结构变化规律与全氮在土壤中呈现一致性, 也随着土壤深度加大含量减少。

表 1 全氮动态变化					g/ kg
果园	土层/ cm	2 月	6 月	9 月	
李果	0- 10	2. 77	2. 32	3. 02	
	10- 20	2. 25	1. 92	2. 23	
	20- 30	2. 03	1. 63	1. 94	
火龙果	0- 10	3. 08	2. 63	2. 96	
	10- 20	2. 47	2. 12	2. 44	
	20- 30	2. 28	1. 81	2. 24	
黄皮果	0- 10	2. 96	2. 59	3. 20	
	10- 20	2. 62	2. 36	2. 70	
	20- 30	2. 58	2. 08	2. 08	

表 2 水解性氮动态变化					mg/ kg
果园	土层/ cm	2 月	6 月	9 月	
李果园	0- 10	172. 75	200. 74	199. 96	
	10- 20	123. 12	158. 61	133. 91	
	20- 30	93. 46	129. 86	119. 20	
火龙果	0- 10	173. 67	188. 08	179. 62	
	10- 20	126. 81	147. 43	123. 05	
	20- 30	117. 13	151. 01	100. 86	
黄皮果	0- 10	139. 57	158. 90	184. 97	
	10- 20	116. 64	123. 72	135. 91	
	20- 30	83. 93	101. 68	117. 89	

3. 2 磷素动态变化特征

土壤磷含量主要决定于母质类型和磷矿石肥料。从表 3 可以看出, 生态重建区果园全磷含量基本都在 0. 8 g/ kg 以上的肥沃程度, 全磷在土壤垂直结构变化规律是由土壤表层向下依次递减, 0- 10 cm 层全磷含量最大, 10- 30 cm 层全磷含量最少。研究区全磷的含量随着气温高而增大, 在 6 月达到最高值, 然后开始下降, 到 9 月下降到 2 月的含量相当。在相同季节不同果园之间同一土壤层的全磷含量差异不明显, 表明全磷含量在生态重建区不同立地条件下, 没有明显区别, 全磷含量可能受人工施肥影响较大。

从表 3 可以看出, 有效磷在垂直结构变化上变化非常显著, 表层土壤有效磷含量丰富, 而随着土壤深度加大, 有效磷含量明显不足, 如李果园 2 月土壤 0- 10 cm 有效磷含量为 13. 21 mg/ kg, 到 10- 20 cm

层有效磷含量为 3. 71 mg/ kg, 到 20- 30 cm 层有效磷含量只有 1. 22 mg/ kg。究其原因有两方面, 一方面是植物根系集中在土层 10 cm 以下, 有效磷被果树根系吸收而越来越少; 另一方面岩溶区土层薄, 水土保持能力差, 土层下面有裂隙、裂缝、管道等连通地下空间, 有效磷从这些渠道流失, 因而越靠近母质岩时含量越来越少。所以在岩溶区施磷肥时要注意深翻, 方能使磷肥在植物根部得到有效利用。在时间变化上, 有效磷变化有明显的季节性变化, 6 月是植物生长旺盛季节, 有磷的含量最低, 而到了 9 月生长减缓或停止生长, 有效磷的含量又开始回升。通过相关性分析, 全磷对有效磷的相关系数为 0. 392, 显著性概率 Sig. = 0. 018< 0. 05, 说明全磷和有效磷相关性显著。通过深翻土壤或施肥等措施来改良土壤不同层次全磷和有效磷的含量。

表 3 全磷动态变化					g/ kg
果园	土壤层/ cm	2 月	6 月	9 月	
李果	0- 10	1. 19	1. 49	1. 12	
	10- 20	1. 05	1. 38	1. 00	
	20- 30	0. 90	1. 29	0. 95	
火龙果	0- 10	1. 12	1. 48	1. 20	
	10- 20	0. 86	1. 33	0. 93	
	20- 30	0. 86	1. 25	0. 93	
黄皮果	0- 10	1. 24	1. 58	1. 15	
	10- 20	1. 09	1. 49	1. 02	
	20- 30	1. 00	1. 39	0. 83	

表 4 有效磷动态变化					mg/ kg
果园	土层/ cm	2 月	6 月	9 月	
李果	0- 10	13. 21	9. 88	16. 91	
	10- 20	3. 71	4. 77	8. 13	
	20- 30	1. 22	2. 43	3. 80	
火龙果	0- 10	16. 29	12. 39	19. 72	
	10- 20	2. 39	3. 13	5. 75	
	20- 30	2. 11	1. 79	3. 87	
黄皮果	0- 10	14. 00	9. 13	19. 89	
	10- 20	5. 53	9. 21	7. 96	
	20- 30	1. 43	2. 28	5. 85	

3. 3 钾素动态变化特征

大多数含钾原生矿物都具有很强的抗风化稳定性, 在地球陆地表面热力学条件下, 含钾矿物的风化作用是一个相当缓慢的过程, 因而光依靠土壤释放出的钾提供植物营养需求, 显然是不足的。从表 5 可以看出, 研究区土壤全钾含量在土壤垂直结构上无明显变化, 全钾含量在各层土壤含量几乎相等, 而其季节性变化十分明显。5- 8 月为示范区雨季, 降雨量大、暴雨多, 雨水表面侵蚀和地下渗透, 使钾素随雨水流失, 因而 9 月全钾的含量显著降低<sup>[15]</sup>。从全钾的含

量来看,生态重建果园钾素明显不足,大部分果园全钾含量处于 10~ 15 g/kg 之间的中贫状态。

表 5 全钾动态变化					g/kg
果园	土层/cm	2 月	6 月	9 月	
李果	0- 10	10. 59	9. 05	4. 96	
	10- 20	10. 01	9. 07	5. 02	
	20- 30	10. 42	10. 36	5. 57	
火龙果	0- 10	5. 02	7. 82	2. 95	
	10- 20	6. 83	7. 55	3. 19	
	20- 30	6. 49	7. 58	3. 03	
黄皮果	0- 10	10. 04	10. 04	6. 17	
	10- 20	9. 89	10. 63	5. 92	
	20- 30	9. 88	11. 11	11. 89	

土壤钾素按照植物营养有效性可分为无效钾、缓效钾和速效性钾,而缓效钾和速效性钾统称为有效性钾。通过全钾和有效钾的相关性分析,得出两者相关性系数为 0. 045,显著性概率 Sig. = 0. 795> 0. 05,说明全钾与有效钾相关性不显著,即全钾和有效钾不相关。因全钾含有非交换钾,非交换性钾转换为交换性钾的难度较大,致使全钾和有效钾不具有相关性。从表 6 可看出,有效钾在 9 月含量是最大的,而全钾 9 月的含量是最低的,证明全钾含量与有效钾的含量两者之间不存在相关性。有效钾能够被植物直接或间接地吸收,2 月和 6 月是植物生长季节,对有效钾吸收大,所以 2 月与 6 月有效钾的含量低于 9 月有效钾的含量。有效钾的含量在 50~ 100 mg/kg 之间,处于中度贫瘠状态<sup>[14]</sup>,且随着土壤深度加大,有效钾的含量则越来越少,贫瘠程度加大。

表 6 有效钾动态变化					mg/kg
果园	土层/cm	2 月	6 月	9 月	
李果	0- 10	87. 23	77. 71	90. 83	
	10- 20	66. 25	61. 74	76. 59	
	20- 30	56. 60	56. 50	67. 31	
火龙果	0- 10	79. 82	82. 52	91. 37	
	10- 20	36. 71	45. 03	58. 69	
	20- 30	19. 22	26. 62	32. 35	
黄皮果	0- 10	80. 74	82. 77	94. 52	
	10- 20	65. 24	71. 55	85. 45	
	20- 30	63. 50	67. 40	78. 93	

不同果树对有效钾需求量也存在差异,火龙果园有效钾的含量最少,而火龙果园位于岩溶洼地最低部,土地平坦且土层厚,立地条件优于李果园和黄皮果园,在同等施肥条件下,有效钾的含量应高于李果园和黄皮果园的含量,而实际火龙果园有效钾的含量反而低于李果园和黄皮果园的含量;表明火龙果对钾需求量大于李果和黄皮果。由此可见,在喀斯特生态重建时,不同的植物应采取不同施肥措施,如在岩溶

区栽植火龙果时,要多施钾肥,且宜深施。

3. 4 9 月土壤氮、磷、钾营养元素盈亏

9 月是大多植物结果收获的季节,也是植物逐步进入休眠期,对土壤养分需求逐步减少,而在 9 月之前,1- 8 月植物生长需要吸收大量的营养;因而对 9 月土壤养分盈亏研究,为秋冬季施肥提供参考依据,合理施肥,保证土壤养分平衡,为重建区果树安全过冬及来年春天能为植物生长迅速提供营养。全氮在各个重建果园均有盈余,水解性氮稍微亏缺,但是亏缺量不大,平均亏缺量最大是火龙果园,平均亏缺量仅 0. 6 kg;因此,示范果园经过春夏施肥之后,在秋冬季不宜再施氮肥。因为过多的氮肥能使果树抽青发芽,出现生长反季节现象,不利于果树根茎逐渐老化进入休眠状态安全过冬。磷肥在 0- 10 cm 土壤表层没有出现亏缺,10- 20 cm 土壤层稍微出现亏缺现象,由于生态重建区果树对磷肥需求量很大,因而对果树的正常生长没有产生多大影响。钾肥无论是全钾还是有效钾则表现全面亏缺,严重不足,其中火龙果园的全钾亏缺多达 771. 07 kg,有效钾达 4. 04 kg。由于有效钾含量的不足而出现了李果开花多结实少和黄皮果座果脱落的现象,果树的产量低,影响了生态重建经济效益,通过人工补施钾肥之后,果树产量时显著增加。

4 结论与讨论

通过上文分析可知,研究区喀斯特生态重建果园土壤养分中氮、磷、钾含量具有以下特点:(1) 土壤中全氮、水解性氮、全磷、有效磷、全钾和有效钾的含量均随着果树的生长周期营养吸收而呈现出季节性变化。在相关性方面,全氮和水解性氮相关显著,全磷和有效磷相关显著,全钾与有效钾不相关。(2) 全钾在土壤垂直结果变化不明显,全氮、水解性氮、全磷、有效磷和有效钾的含量有明显的垂直变化,从土壤表层向下依次减少,即:0- 10 cm 层的含量< 10- 20 cm 层的含量< 20- 30 cm 层的含量。3 月和 9 月,示范区果园只有氮肥略有盈余之外,磷肥处于一种相对平衡状态,而钾素亏缺量相当大。由于钾素不足,虽然不影响果树的正常生长;但是对果树挂果率产生影响,如李果开花多而挂果少。

在自然生态系统中,岩溶区土壤养分处于一个消长动态平衡体系,一方面由植物生长吸收消耗,另一方面由母质母岩释放,枯枝落叶、动植物体残体分解补给,土壤养分处于良性循环体系。岩溶区自然生态系统破坏之后轮为耕地的土壤由于农作生长吸收、养分流失而处于一种入不敷出消耗状态,若不向土壤中

增施肥料, 土壤养分将日趋下降, 土壤质量严重退化<sup>[16-17]</sup>, 刀耕火种的轮闲地最终失去种植价值而被迫撂荒便是最好的例证。

因此, 针对南方喀斯特石漠化地区, 植被丧失, 土壤资源非常脆弱性的特点<sup>[16]</sup>, 对其进行生态重建, 提出几点建议: (1) 先易后难、循序渐进, 对生态重建所在地的石漠化程度、土壤肥力程度进行评估, 对严重石漠化、土壤养分亏缺严重、立地条件差的石漠化区, 应按先种草后种灌木再种乔木的顺序来推进生态重建工作。通过种草来保持水土和土壤湿度, 改善土壤环境, 为下一步种植灌木提供环境基础, 再由灌木到乔木, 如此依次展开; 而不是在其土壤环境改善之前, 直接种植乔木, 因其土壤环境恶劣、养分不足, 乔木无法生存或生而不长, 导致生态重建失败。(2) 通过人工施肥, 尤其是多施有机肥、农家肥来改良土壤的理化性质, 改良土壤的团粒结构, 提高石漠化区土壤保墒能力, 提高土壤有机质含量, 从而保证土壤养分含量处于一个相对平衡状态, 不因为季节性变化土壤养分含量而大起大落。(3) 生态重建工作不仅是为了提高喀斯特石漠化区植被覆盖度来实现保持水土, 更应从生态经济学的角度出发, 根据当地土壤条件, 选择那些既能改善石漠化生态条件又具有一定经济价值能使农民增收的优良牧草、药材、果树, 因地适宜地推进。

参考文献:

[ 1 ] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[ M ]. 北京: 科学出版社, 2001.

[ 2 ] 黄钰铃, 惠二青, 李靖. 西南喀斯特地区石漠化成因及防治初探[ J ]. 地质灾害与环境保护, 2006, 17( 1 ): 1-4.

[ 3 ] 覃家科, 李先琨, 吕仕洪, 等. 广西马山岩溶山地植被恢复过程的种类更替与小气候动态[ J ]. 广西科学, 2005, 12( 2 ): 146-151.

[ 4 ] 吕仕洪, 陆树华, 欧祖兰, 等. 桂西南石漠化山地土壤种

子库的基本特征及植被恢复对策[ J ]. 植物资源与环境学报, 2007, 16( 1 ): 6-11.

[ 5 ] 欧祖兰, 吕仕洪, 陆树华, 等. 桂西南峰丛洼地退化植被土壤种子库的初步研究[ J ]. 广西植物, 2006, 26( 6 ): 643-649.

[ 6 ] 马文宝, 薛建辉, 卜晓莉, 等. 喀斯特山地森林群落土壤种子库研究综述[ J ]. 生态学杂志, 2009, 28( 12 ): 2618-2623.

[ 7 ] 李先琨, 何成新. 西部开发与热带亚热带岩溶脆弱生态系统恢复重建[ J ]. 农业系统科学与综合研究, 2002( 1 ): 13-16.

[ 8 ] 赵中秋, 后立胜, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨[ J ]. 地学前缘, 2006, 13( 3 ): 185-189.

[ 9 ] 张伟, 陈洪松, 王克林, 等. 喀斯特峰丛洼地土壤养分空间分异特征及影响因子分析[ J ]. 中国农业科学, 2006, 39( 9 ): 1828-1835.

[ 10 ] 姚长宏, 杨桂芳, 蒋忠诚, 等. 岩溶地区生态系统养分平衡研究[ J ]. 中国岩溶, 2001, 20( 1 ): 41-45.

[ 11 ] 吴士章, 朱文孝, 苏维词, 等. 喀斯特地区土壤侵蚀及养分流失定位试验研究: 以贵阳市修文县久长镇为例[ J ]. 中国岩溶, 2005, 24( 3 ): 202-205.

[ 12 ] 涂成龙, 林昌虎, 何腾兵, 等. 石漠化地区生态恢复过程中土壤养分变异特征[ J ]. 水土保持通报, 2004, 24( 6 ): 22-25.

[ 13 ] 杨善朝, 张军舰. SPSS 统计软件应用基础[ M ]. 桂林: 广西师大出版社, 2001.

[ 14 ] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 1998.

[ 15 ] 袁东海, 王兆骞, 郭新波, 等. 红壤小流域不同利用方式土壤钾素流失特征研究[ J ]. 水土保持通报, 2003, 23( 3 ): 16-20.

[ 16 ] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及农业建设途径[ J ]. 水土保持学报, 2000, 14( 8 ): 28-34.

[ 17 ] 王国梁. 黄土丘陵区纸纺沟流域植被恢复的土壤养分效应[ J ]. 水土保持通报, 2002, 22( 1 ): 1-5.

( 上接第 100 页 )

参考文献:

[ 1 ] 高阳华, 唐云辉, 冉荣生. 重庆市伏旱发生分布规律研究[ J ]. 贵州气象, 2002, 26( 3 ): 6-11.

[ 2 ] 江玉华, 程炳岩, 邓承之, 等. 重庆市严重伏旱气候特征分析[ J ]. 高原山地气象研究, 2005, 10( 2 ): 25-29.

[ 3 ] 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[ M ]. 北京: 水利水电出版社, 1994.

[ 4 ] 谢贤群, 吴凯. 麦田蒸腾需水量的计算模式[ J ]. 地理学

报, 1997, 52( 6 ): 528-535.

[ 5 ] 李玉义, 周宪龙, 张海林, 等. 京郊山地旱作区作物水分生态适应性系统评价[ J ]. 华北农学报, 2005, 20( 2 ): 59-62.

[ 6 ] 陈玉民, 郭国双. 中国主要农作物需水量等值线图研究[ M ]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.

[ 7 ] 王龙昌, 谢小玉, 王立祥, 等. 黄土丘陵区旱地作物水分生态适应性系统评价[ J ]. 应用生态学报, 2004, 15( 5 ): 758-762.