

阔叶幼林取代杉木林后的土壤肥力研究

李国平¹, 薛立², 洗干标¹, 梁永强¹, 谢腾芳², 王相娥²

(1. 佛山市国营云勇林场, 广东 佛山 528518; 2. 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 研究了 3 种阔叶混交幼林的土壤肥力, 并将其肥力特征与杉木幼林进行对比研究。3 种林分的立地条件相似常绿阔叶混交林 1 由 12 种观赏树种组成, 常绿阔叶混交林 2 由 7 种速生乡土阔叶树种组成, 常绿阔叶混交林 3 由 12 种阔叶树种组成。结果表明, 各林地的土壤呈强酸性。常绿阔叶混交林 1 的土壤有机质、全氮和有效磷含量居各林地之首, 其余的养分含量也大于或近似于杉木林地; 常绿阔叶混交林 2 的全磷、全钾、有效氮、有效钾含量在 4 种林分中最高, 有机质、全氮和有效磷含量也较高, 说明这两种阔叶混交林有效地改善了土壤养分状况。常绿阔叶混交林 3 的土壤有机质、全氮和有效氮含量大于杉木林地, 但是全磷、全钾、有效磷、有效钾含量小于后者。常绿阔叶混交林地 1 和常绿阔叶混交林地 2 的细菌、真菌和放线菌数量大于杉木林地, 脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性也较高, 表明这 2 种阔叶混交林显著地改善了林地肥力。

关键词: 阔叶混交林; 土壤养分; 土壤微生物; 土壤酶

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)06-0075-05

中图分类号: S724

Soil Fertility of *Cunninghamia lanceolata* Plantation Replaced by Young Broadleaf Mixed Plantations

LI Guo-ping¹, XUE Li², XIAN Gan-biao¹, LIANG Yong-qiang¹, XIE Teng-fang², WANG Xiang-e²

(1. Yunyong Forest Farm of Foshan City, Gaoming 528518, China;

2. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Soil fertilities of three young broadleaf mixed plantations were compared with those of a *Cunninghamia lanceolata* plantation. The soils of the broadleaf mixed plantations were rather strong in acidity. Among four plantations, the contents of soil organic matter, total N and available P were the highest in the first evergreen broadleaf mixed plantation, and its other nutrient contents were higher than the *C. lanceolata* plantation or similar to the latter; Total P, total K, alkalized N and available K were the highest in the second evergreen broadleaf mixed plantation, and its soil organic matter, total N and available P contents were greater than *C. lanceolata* plantation; Soil organic matter, total N and alkalized N of the third evergreen broadleaf mixed forest were greater than those of the *C. lanceolata* plantation, whereas its other nutrient contents were lower than the latter. The amounts of soil bacterium, fungi and actinomyces of the first and second evergreen broadleaf mixed plantations were greater than those of *C. lanceolata* plantation, and their urease, phosphoric acid enzyme and catalase activities were high, indicating that the two plantations significantly improved soil fertility.

Keywords: broadleaf mixed plantations; soil nutrient; microorganism; enzyme activity

土壤提供植物生长所需要的养分条件, 对植物生长与植物群落演替有重要影响^[1-3], 而植被影响土壤养分的积累、分布与营养元素的循环^[4-11]。云勇林场历史上以经营杉木纯林为主, 层次结构单一, 其凋

落物分解慢, 归还土壤凋落物数量和养分含量少, 生态效益差。林场为了改善生态环境, 在杉木采伐迹地营造了由多种阔叶树种组成的混交林。常绿阔叶混交林 1 由风景林由花色鲜艳或树冠美观的美丽异木

收稿日期: 2007-03-01

修回日期: 2007-06-27

资助项目: 广东省林业局资助项目(4400-F07010); 佛山市科技项目(2005020091)

作者简介: 李国平(1972—), 男(汉族), 湖北省安陆市人, 大专, 工程师, 主要从事生态公益林方面的研究。E-mail: yylz0088@126.com。

通讯作者: 薛立(1958—), 男(汉族), 湖南省桃江县人, 博士, 教授, 主要从事森林生态、培育和土壤方面的研究。电话(020)85283259, E-mail: forxue@scau.edu.cn。

棉等 12 种观赏树种组成,常绿阔叶混交林 2 由千年桐等 7 种速生乡土阔叶树种组成,常绿阔叶混交林 3 由大叶相思等 12 种阔叶树种组成。3 种林分的立地条件相似。

本文对 3 种常绿阔叶混交林的土壤肥力特征进行了研究,并将其土壤肥力特征与杉木纯林对比,以了解常绿阔叶混交林的土壤肥力,探索改善森林生态系统功能的途径,这对于提高森林的质量、保护生态环境具有重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 调查区概况

本文的调查区位于广东省高明县的西南部,东经 112°40', 北纬 22°43', 属于亚热带气候,年平均气温、最高气温和最低气温分别为 22 ℃, 34.5 ℃ 和 3.5 ℃, 偶有霜冻。雨量充沛,年降水量平均达 2 000 mm,集中在 4—8 月。地势属丘陵地带,土壤为花岗岩发育的酸性赤红壤,土层深厚。

1.2 研究方法

2006 年 3 月在 3 a 生的 3 种常绿阔叶混交林和杉木林中各设一个面积为 20 m×20 m 的样地,每个样地 3 次重复。对样地内各树种的每木胸径、树高、冠幅和林分密度进行调查,结果见表 1。

常绿阔叶混交林 1,主要林下植物有芒草、乌毛蕨、野牡丹,坡向 SW25°坡度 25°;常绿阔叶混交林 2,主要林下植物有火炭母、五指毛桃、芒草、海金沙,坡向 NE70°,坡度 35°;常绿阔叶混交林 3,主要林下植物有五指毛桃、金花蕨、野牡丹,坡向 NW10°,坡度 30°;杉木林,主要林下植物有乌毛蕨、金毛狗,坡向 SE45°,坡度为 30°。

在各林分内选择有代表性的地段,选 5 个地点采取土样,采样深度为 40 cm。将土壤样品带回实验室。将水土以 2.5:1 混合后用 pH 计测土壤的 pH 值;有机质用重铬酸钾容量法测定;全氮含量用半微量凯氏法测定;用氢氧化钠碱熔法将土壤样品熔融后提取待测液,用钼蓝比色法测全磷含量,火焰光度计测全钾含量;碱解氮含量用碱解扩散法测定;用 0.5 mol/L 的碳酸氢钠提取土壤样品后,用钼蓝比色法测有效磷含量;用 1 mol/L 的中性醋酸钠提取土壤样品后,用火焰光度计测有效钾含量^[12]。

土壤微生物计数用稀释平板法测定^[13]。脲酶用扩散法,磷酸酶用磷酸苯二钠比色法,过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法^[14]。

每个样品做 3 次重复测定,结果取重复测定的算术平均值。

表 1 林分的基本特征

| 林分 | 树种组成 | 密度 (株·hm ⁻²) | 平均地 径/cm | 平均树 高/m | 平均冠 幅/m |
|-----------|-------|-----------------------------|-------------|------------|------------|
| 常绿阔叶混交林 1 | 美丽异木棉 | 116 | 8.5 | 2.2 | 2.2 |
| | 刺桐 | 116 | 7.3 | 3.4 | 2.1 |
| | 红苞木 | 408 | 4.9 | 2.7 | 1.8 |
| | 大红花 | 258 | 3.9 | 2.7 | 2.2 |
| | 塞椌 | 25 | 3.4 | 1.7 | 1.0 |
| | 串钱柳 | 50 | 3.0 | 2.1 | 1.5 |
| | 火力楠 | 408 | 2.4 | 1.6 | 0.9 |
| | 楝叶吴茱萸 | 324 | 1.9 | 1.5 | 1.1 |
| | 枫香 | 25 | 1.8 | 1.1 | 1.0 |
| | 荷木 | 8 | 1.5 | 1.2 | 0.8 |
| | 灰木莲 | 83 | 1.3 | 1.2 | 0.4 |
| | 吊瓜树 | 8 | 1.0 | 0.8 | 0.4 |
| 常绿阔叶混交林 2 | 千年桐 | 8 | 17.2 | 8.0 | 5.8 |
| | 荷木 | 166 | 9.7 | 4.3 | 2.9 |
| | 米老排 | 17 | 8.3 | 6.0 | 3.1 |
| | 阴香 | 655 | 7.4 | 4.5 | 3.1 |
| | 灰木莲 | 50 | 6.9 | 3.9 | 2.6 |
| | 对叶榕 | 74 | 5.9 | 3.3 | 2.3 |
| | 火力楠 | 150 | 5.3 | 4.2 | 2.3 |
| 常绿阔叶混交林 3 | 大叶相思 | 8 | 6.6 | 3.1 | 2.4 |
| | 红苞木 | 17 | 6.1 | 2.9 | 2.4 |
| | 枫香 | 33 | 5.6 | 3.1 | 2.0 |
| | 红荷 | 183 | 4.5 | 2.4 | 1.9 |
| | 樟树 | 390 | 4.5 | 2.5 | 1.8 |
| | 米老排 | 191 | 4.1 | 3.2 | 1.9 |
| | 红锥 | 100 | 4.0 | 2.6 | 1.7 |
| | 阴香 | 141 | 4.0 | 2.0 | 1.3 |
| | 塞椌 | 207 | 3.3 | 1.8 | 1.0 |
| | 盆架子 | 91 | 3.2 | 1.5 | 0.7 |
| 火力楠 | 207 | 2.7 | 2.1 | 1.0 | |
| 蒲桃 | 33 | 1.4 | 0.9 | 0.6 | |
| 杉木林 | 杉木 | 1 650 | 3.2 | 2.0 | 0.9 |

2 结果分析

2.1 土壤的养分含量

土壤酸碱性是土壤许多化学性质的综合反映,它对土壤的一系列肥力性质有着深刻影响,土壤养分的形成、转化和有效性与土壤微生物的活动、植物的生长发育都有密切相关。由表 2 可知,各林地土壤的 pH 值在 4.29~4.39 之间,属于强酸性土壤。土壤有机质是土壤固相中最复杂的系统和土壤的核心成分,含有植物生长所需要的各种营养元素,是土壤肥力的主要物质基础,在其分解过程中逐渐释放出来的养分可供植物吸收利用。改种常绿阔叶树种后土壤有机质含量大幅增加,大小依次为常绿阔叶混交林 1

>常绿阔叶混交林 2 和常绿阔叶混交林 3>杉木林。3 种阔叶林的土壤有机质含量均显著高于杉木林地 ($P<0.01$)。阔叶林的枯枝落叶多,易分解,改善了土壤的养分条件,而针叶林的枯落物较少且难分解,

土壤有机质含量较低。林分类型影响土壤全氮含量。常绿阔叶混交林地 1 的全氮含量最高,常绿阔叶混交林地 2 次之,常绿阔叶混交林地 3 略低,而杉木林的土壤全氮含量显著低于 3 种阔叶林地 ($P<0.01$)。

表 2 土壤化学性质

| 林分 | pH | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | 全氮/ (g·kg ⁻¹) | 全磷/ (g·kg ⁻¹) | 全钾/ (g·kg ⁻¹) | 有效氮/ (mg·kg ⁻¹) | 有效磷/ (mg·kg ⁻¹) | 有效钾/ (mg·kg ⁻¹) |
|---------------|------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 常绿阔叶 混交林 1 | 4.36±0.01a | 17.45±0.10a | 0.74±0.01a | 0.23±0.01b | 39.91±0.13b | 70.80±0.28c | 3.23±0.10a | 54.93±0.12b |
| 常绿阔叶 混交林 2 | 4.39±0.01a | 15.85±0.06b | 0.68±0.02b | 0.31±0.02a | 45.16±0.27a | 81.90±0.79a | 2.45±0.12b | 67.06±0.20a |
| 常绿阔叶 混交林 3 | 4.29±0.01a | 15.72±0.12b | 0.57±0.01c | 0.16±0.01c | 19.31±0.14d | 74.42±0.39b | 2.12±0.03c | 38.00±0.17c |
| 杉木林 | 4.38±0.01a | 12.97±0.07c | 0.48±0.01d | 0.23±0.01b | 25.22±0.22c | 55.07±0.32d | 2.39±0.12b | 56.71±0.39b |

4 种林分的全磷含量在 0.16~0.23 g/kg 之间,常绿阔叶混交林地 2 土壤全磷含量显著高于其余林地 ($P<0.01$),常绿阔叶混交林地 3 显著小于其它林地 ($P<0.01$),说明土壤磷素含量主要受母质的影响,林分类型对其影响不明显。

土壤全钾含量在 19.31~45.16 g/kg 之间,大小顺序为常绿阔叶混交林地 2>常绿阔叶混交林地 1>杉木林地>常绿阔叶混交林地 3。与杉木林地相比,常绿阔叶混交林地 1 和常绿阔叶混交林地 2 的全钾含量显著增加 ($P<0.01$),而常绿阔叶混交林地 3 的全钾含量显著减少 ($P<0.01$),说明不同树种对土壤全钾的影响不同,其原因有待于进一步研究。

土壤有效氮反映土壤的供氮水平。3 种常绿阔叶混交林地的土壤有效氮含量显著高于杉木林地 ($P<0.01$),呈现常绿阔叶混交林 2>常绿阔叶混交林 3>常绿阔叶混交林 1>杉木林。各林地的有效磷含量在 2.12 mg/kg 和 3.23 mg/kg 之间,常绿阔叶混交林地 1 的有效磷含量显著大于其他林地 ($P<0.01$),而常绿阔叶混交林地 3 的有效磷含量显著小于其它林地 ($P<0.01$)。常绿阔叶混交林地 2 的土壤有效钾含量显著大于其它林地 ($P<0.01$),而常绿阔叶混交林地 3 显著小于其它林地 ($P<0.01$)。

土壤微生物积极参加氮、磷、钾等的循环,把处于有机状态或难溶无机状态的养分分解为植物可吸收利用的状态,土壤微生物还产生大量生物活性物质,与林木生长关系密切,而森林通过凋落物改变土壤微

生物生长所需的条件。各林地的微生物数量排序均为细菌>放线菌>真菌(表 3)。常绿阔叶混交林 1 和常绿阔叶混交林地 2 的细菌数量显著大于杉木林地和常绿阔叶混交林地 3 ($P<0.01$);常绿阔叶混交林地 1 和常绿阔叶混交林地 3 的真菌数量显著大于杉木林地 ($P<0.01$),常绿阔叶混交林地 2 的真菌数量显著小于后者 ($P<0.01$);放线菌数量为常绿阔叶混交林地 1>常绿阔叶混交林地 2>常绿阔叶混交林地 3>杉木林地,杉木林地的放线菌数量显著小于其它林地 ($P<0.01$)。

土壤酶催化复杂的有机物质转化为简单的无机化合物,与土壤微生物一起推动土壤的代谢过程,共同影响着土壤肥力。脲酶能促进有机质分子中的肽键水解,产生土壤有效氮。脲酶活性排序为常绿阔叶混交林地 2>杉木林地>常绿阔叶混交林地 1>常绿阔叶混交林地 3。各林地间的脲酶活性有显著差异 ($P<0.01$)。磷酸酶活性排序为常绿阔叶混交林地 1>杉木林地>常绿阔叶混交林地 2>常绿阔叶混交林地 3,常绿阔叶混交林地 1 的磷酸酶活性显著大于其它林地 ($P<0.01$),而常绿阔叶混交林地 3 的磷酸酶活性显著小于其他林地 ($P<0.01$)。过氧化氢酶活性为常绿阔叶混交林地 2>常绿阔叶混交林地 1>常绿阔叶混交林地 3>杉木林地,常绿阔叶混交林地 2 和常绿阔叶混交林地 1 的过氧化氢酶活性显著大于其它林地 ($P<0.01$),有利于土壤腐殖质组分的合成和土壤有机质的积累。

表 3 林分的土壤微生物和酶活性

| 林分 | 细菌/ (10^5 个·g ⁻¹) | 真菌/ (10^3 个·g ⁻¹) | 放线菌/ (10^4 个·g ⁻¹) | 脲酶/ (mg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹) | 酸性磷酸酶/ (100 g·h ⁻¹) | 过氧化氢酶/ (0.1 mol·L ⁻¹) |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| 常绿阔叶混交林 1 | 333±4a | 122±6a | 148±9a | 0.097±0.001c | 30.98±0.46a | 0.850±0.014b |
| 常绿阔叶混交林 2 | 151±8b | 45±8d | 107±4b | 0.118±0.003a | 28.73±0.15b | 1.095±0.16a |
| 常绿阔叶混交林 3 | 41±4c | 85±8b | 47±5c | 0.064±0.001d | 12.55±0.51c | 0.710±0.024c |
| 杉木林 | 53±3c | 66±4c | 26±3d | 0.105±0.003b | 29.64±0.88b | 0.692±0.024c |

3 讨论

杉木林组成单一,凋落物分解慢,是其土壤有机质少的重要原因。常绿阔叶林树种组成复杂,枯枝落叶多,易分解,改善了土壤的有机质状况。常绿阔叶林土壤有机质含量的提高,改善了土壤全氮含量,因而在各林地中,常绿阔叶混交林地 1 的土壤有机质和全氮最高,而杉木林的土壤有机质和全氮含量最低。常绿阔叶混交林地 1 除了土壤有机质、全氮含量最高,有效磷居各林地之首,其余养分含量也大于或与杉木林地相近;常绿阔叶混交林地 2 的全磷、全钾、有效氮、有效钾含量在 4 种林地中最高,有机质、全氮和有效磷含量居第二位,说明这两种阔叶混交林有效地改善了土壤养分状况。常绿阔叶混交林 3 的土壤有机质、全氮和有效氮含量大于杉木林地,但是全磷、全钾、有效磷、有效钾含量小于后者,说明该混交林能改善土壤有机质和氮的状况,但是林分中的一些树种可能吸收较多的磷和钾,来维持自身生长发育,构成活的生命有机体,归还给土壤的枯枝落叶中磷和钾较少,对林地的磷和钾暂时表现为负效应,其长期影响有待于进一步研究。

土壤细菌数量排序为常绿阔叶混交林地 1>常绿阔叶混交林地 2>杉木林地>常绿阔叶混交林地 3。真菌数量排序为常绿阔叶混交林地 1>常绿阔叶混交林地 2>杉木林地>常绿阔叶混交林地 3。放线菌数量排序为常绿阔叶混交林地 1>常绿阔叶混交林地 2>常绿阔叶混交林地 3>杉木林地。常绿阔叶混交林地 1 和常绿阔叶混交林地 2 由多树种构成,有利于避免系统生态位重叠,能有效利用营养空间,土壤养分丰富,有利于微生物的发育,因而微生物数量最大。而土壤微生物数量的增加能提高养分生物循环中凋落物的分解速度,从而使这 2 种林分进入快速的养分生物循环,提高了养分的利用率。针叶凋落物

纤维素含量高^[15],分解速度慢,土壤微生物数量少,造成其土壤养分含量低和养分利用效率低下。另外,常绿阔叶混交林地 1 和常绿阔叶混交林地 2 的土壤有机质含量高,能够供给土壤微生物较多的生长代谢的营养物质,使得土壤微生物数量增加,从而提高了脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶活性,有利于有机质的积累和养分的释放。这说明常绿阔叶林对于维护森林土壤的自肥能力具有较大的潜力。因此,选择适宜的树种,大力营造常绿阔叶混交林是改善土壤肥力的有效途径。

由于阔叶树种凋落物分解快,可及时弥补林地土壤肥力耗竭,同时多树种构成的混交林有利于避免系统生态位重叠,减少林木间的竞争,保持和改善土壤肥力^[16-17]。建议在杉木采伐迹地按常绿阔叶混交林地 1 和常绿阔叶混交林地 2 的模式营造人工林,通过改变林分组成,实现大量凋落物的归还和快速分解,提高土壤肥力,实现养分的良性循环。

[参 考 文 献]

- [1] Tilman D. Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1998.
- [2] Armesto J J, Pickett S T A, Mc Donnell M J. Spatial heterogeneity during succession: A cyclic model of invasion and exclusion [C]. Ecological Heterogeneity. New York: Springer Verlag, 1991. 256—269.
- [3] 薛立, 赖日石, 陈红跃, 等. 不同阔叶树种的生长及其对赤红壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(5): 795—799.
- [4] Rboertson G P, Vitowsek P M. Nitrification potentials in primary and secondary succession [J]. Ecology, 1981, 62: 376—386.
- [5] Vitousek P M, Matson P A, VanCleve K, et al. Nitrogen availability and nitrification during succession, primary, secondary and old fieldseres [J]. Plant and Soil, 1989, 115: 229—239.

- [6] 邓仕坚, 张家武, 陈楚莹, 等. 不同树种混交林及其纯林对土壤理化性质影响的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(2): 126—132.
- [7] 王勤, 张宗应, 徐小牛. 安徽大别山区不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 59—62.
- [8] 蒋文伟, 周国模, 余树全, 等. 安吉山地主要森林类型土壤养分状况的研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 74—76, 100.
- [9] 薛立, 卞立刚, 陈红跃. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 280—285.
- [10] 薛立, 吴敏, 徐燕, 等. 几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(6): 1017—1023.
- [11] 薛立, 李燕, 屈明, 等. 火力楠、荷木和黎蒴林的土壤特性及水源涵养的研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 1623—1627.
- [12] 中国科学院南京土壤研究所[M]. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1998. 56—71.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [14] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [15] David A W. Communities and Ecosystems; Linking the Above-ground and Belowground Components[M]. New Jersey: Princeton University, 2002.
- [16] Zheng Y S, Ding Y X. Effect of mixed forests of Chinese fir and tsoong's tree on soil properties[J]. Pedosphere, 1998, 8(2): 161—168.
- [17] Rustad L E, Cronan C S. Element loss and retention during litter decay in a red spruce stand in Maine[J]. Can. J. For. Res., 1988, 18(6): 947—953.

(上接第11页)

(3) 紫色土质地比较黏重, 透水性较差, 降雨后较长时间, 土壤处于水分饱和状态或产生壤中流, 使土壤抗剪强度和抗蚀性降低; 再次遇雨, 土壤侵蚀则更加严重。因此, 建立健全的坡面排水系统对防治紫色土地区土壤侵蚀具有重要作用。本文仅讨论了不同近地面水文条件对紫色土坡面土壤侵蚀过程的影响。有关壤中流和地面径流共同作用下的紫色土坡面土壤侵蚀过程的研究有待进一步加强。

[参 考 文 献]

- [1] 中国科学院成都分院土壤研究室. 中国紫色土[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] 文安邦, 张信宝, 王玉宽, 等. 长江上游紫色土坡耕地土壤侵蚀¹³⁷Cs示踪法研究[J]. 山地学报, 2001, 10(19): 56—59.
- [3] 陈晓燕, 何丙辉, 缪驰远, 等. WEPP模型在紫色土坡面侵蚀预测中的应用研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 42—46.
- [4] 谭饮文, 尹黎明, 卢玉东, 等. 三峡库区紫色土陡坡耕地土壤侵蚀量预测模型研究[J]. 国土与自然资源研究, 2004(1): 19—21.
- [5] 何丙辉, 缪驰远, 吴咏, 等. 遂宁组紫色土坡耕地土壤侵蚀规律研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 9—11.
- [6] 缪驰远, 何丙辉. 水蚀模型USLE与WEPP在紫色土水蚀预测中的应用对比研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 13—15.
- [7] 谢庭生, 何英豪. 湘中紫色土丘岗区水土流失规律及土壤允许侵蚀量的研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 87—90.
- [8] 刘力, 郑粉莉. 紫色土土壤侵蚀研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(12): 2804—2805.
- [9] 郑粉莉. 坡面侵蚀分带侵蚀过程与降雨—土壤水分转化、土壤退化关系的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(4): 92—95.
- [10] 沈冰, 王文焰. 降雨条件下黄土坡地表层土壤水分运动[M]. 见: 沈晋, 动力水文实验研究, 西安: 陕西科学技术出版社. 1991: 177—189.
- [11] 黄秉维. 谈黄河中游土壤保持问题[J]. 中国水土保持, 1983(1): 8—13.
- [12] 贾志军. 前期土壤含水率对坡耕地产流产沙影响的研究[A]//山西省水土保持科学研究所. 晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验文集[C]. 北京: 水力电力出版社, 1990: 32—35.