

## 滇中高原不同植被恢复条件下土壤肥力和水分特征研究

侯永平, 段昌群, 何 锋

(云南大学生命科学学院生物资源保护与利用国家重点实验室培育基地, 昆明 650091)

**摘 要:** 在干湿不同季节分析滇中高原不同恢复措施下群落的土壤肥力条件和土壤水分条件, 结果表明, 无论干湿季节, 土壤养分含量在不同类型的植被中由优到劣依次为次生常绿阔叶林、针阔混交林、云南松林、桉树林、荒坡灌草丛; 各种植被对 0~30 cm 的剖面层次的土壤肥力影响最大, 自然恢复更新的植物群落对 0~30 cm 土层的肥力影响显著优于人工林, 其变化幅度也高于人工林; 自然恢复更新的植物群落在 30~60 cm、60~90 cm 土层中, 营养物质含量较低, 尤其在雨季这些深层土壤营养物质的含量更小。次生常绿阔叶林的持水能力最强, 桉树林的持水保水能力最低。次生常绿阔叶林和针阔混交林土壤养分和水分在干湿季节间变化幅度较小, 而桉树林和云南松林变化幅度较大。讨论认为雨季补充营养可以显著提高植被恢复的速度, 生态建设中尽可能以自然演替恢复更新为主。

**关键词:** 滇中高原; 植物群落; 土壤肥力与水分; 生态修复

中图分类号: S152.7; S158

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0049-05

## Study of Soil Fertility and Soil Water in the Vegetation of Different Restoration Measures

HOU Yong-ping, DUAN Chang-qun, HE Feng

(Laboratory for Conservation and Utilization of Bio-resource & School of Life Science,  
Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** The soil fertility and soil water of different restoration vegetation on central Yunnan Plateau in the dry and rainy season were studied. Results were as follows: (1) Whether dry season or rainy season, the soil nutrition of different vegetations were semi-humid evergreen broad-leaved forest > theropencedrymion > needle-leaved forest > culture community of *Eucalyptus robusta* > abandoned wooden land; (2) vegetation had great influence on the fertility of 0~30 cm soil profile, and the natural restored plant communities were better than the artificial communities; (3) the natural restored plant communities had less nutrition, especially in the rainy season; (4) the semi-humid evergreen broad-leaved forest had the greatest retentive water capability, and the culture community of *Eucalyptus robusta* had the lest water capability; (5) the soil nutrient and soil water at dry and rainy season of semi-humid evergreen broad-leaved forest and theropencedrymion had less variation, but the needle-leaved forest and the culture community of *Eucalyptus robusta* had greater variation. It was suggested that to supply proper nutrition can accelerate vegetation restoration and natural restoration should be the main measure in the ecological construction.

**Key words:** central Yunnan plateau; plant community; soil fertility and water; ecological rehabilitation

植被恢复是退化生态系统恢复重建的首要工作, 也是我国恢复生态学的重点研究领域<sup>[1]</sup>。植被恢复的形式、方向和速度受制于立地气候、土壤养分和水分条件。在大规模的自然生态修复中, 人力所为的重点就是充分利用立地水平上的土壤养分和水分条件, 选用适当的植物种类并形成良好组合以构建群落来恢复或重建植被, 这些现已形成了共识。目前

关注更多的是什么样的植被才具有提升自然环境质量的效果。这就需要将自然恢复更新的植被与人工植被进行比较, 通过定量分析各类植被在改土、保土、持水等生态服务的能力, 才能得出令人信服的结论。

关于自然林、人工林对土壤环境的改良作用和其对水土流失的控制作用的研究有很多的工作积累,<sup>[2~4]</sup> 不同群落

收稿日期: 2004-06-09

基金项目: 国家基础科学研究重大计划(2003CB145103-04); 国家攀登计划特别支持项目(2000-026); 云南自然科学基金重点项目(2000C0001P)

作者简介: 侯永平(1979-), 男, 硕士生, 研究方向为恢复生态学。

对土壤养分或水分单种生态因子的影响研究相对也较多<sup>[2,4-6]</sup>。但是从人工和自然两种不同类型的植被对林下土壤养分状况的研究不多。<sup>[7]</sup>为此本研究综合研究5种不同恢复措施下植物群落的土壤养分和水分条件,并分析干湿季节各种群落内不同土壤剖面中土壤肥力和水分的变化特征和配置状况,为评价不同植被恢复措施提供基础资料。

## 1 研究区域概况

研究区域选择在长江上游重点防护区域龙川河飒马场小流域。地处东经101°28'18",北纬25°24'09",面积约1.8 km<sup>2</sup>,海拔2100~2200 m。年降雨量800~1300 mm,有明显的干湿季节之分,降雨主要集中在5~10月,其降雨量占全年降雨量的80%,年均气温10.4~14.7℃,属于亚热带半湿润季风气候,成土母质为白垩系江底河组紫红色页岩。

小流域内原生地带性的半湿润常绿阔叶林,在上世纪50年代全部被砍伐。现有的次生半湿润常绿阔叶林、云南松针阔混交林和云南松人工林为上世纪70年代中期封山育林而成;桉树林是在旁边的撂荒地上,于1991年引种桉树而成;荒坡灌草丛一直是放牧地,2001年封山作为实验地。次生半湿润常绿阔叶林主要有滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucooides*)、滇石栎(*Lithocarpus dealbatus*)和滇油杉(*Keteleeria evelyniana*)等树种,郁闭度>90%;针阔混交林主要树种有云南松(*Pinus yunnanensis*)、滇油杉和滇青冈等,郁闭度较高;云南松林主要有云南松,灌木主要有矮杨梅(*Myrica nana*)和小铁仔(*Myrsine africana*)等;桉树林主要有史密斯桉(*Eucalyptus robusta* Smith),林下有紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)和小铁仔等,郁闭度不足10%;荒草地主要是矮小的灌木和草丛,主要植物有厚皮香、小铁仔、紫茎泽兰和白茅(*Imperata cylindrica*)等。5种植物群落的立地条件、土壤母质和水热条件一致。

## 2 材料与方法

根据当地气候情况,4月底5月初作为干季代表,取9月初作为雨季代表。预期的时间内,在5种不同的植物群落内采集土样。取样群落至少在20 m×20 m的区域内群落内

部环境一致,坡度变化均匀,并都在8~10°。每个群落选取三个样地,每个样地的土层取0~30 cm、30~60 cm、60~90 cm三个层次,土样带回实验室分析。

各群落下土壤养分含量和水分含量的测定采用国家标准方法<sup>[8]</sup>。测定内容有全氮、碱解氮、全磷、有效磷和有机质。全氮采用半微量开氏法,碱解氮采用碱解扩散法,全磷采用硫酸高氯酸溶解—钼锑抗比色法,有效磷采用双酸浸提—钼锑抗比色法,有机质采用重铬酸钾氧化—外加加热法,土壤含水量用烘干法。

根据系统摄动分析评价原理,把5个群落作为被选系统,土壤全氮、碱解氮、全磷、有效磷和有机质作为分析指标,权重向量按照等权重,所有指标类型越大越好。根据摄动分析的原理,摄动量越小,营养状况越好。

## 3 结果分析

### 3.1 土壤氮的变化特征

#### 3.1.1 土壤全氮的变化

各群落土壤的全氮含量分析结果见图1和图2。从图1中可以看出,旱季5种群落林下土壤全氮含量范围在0.010%~0.037%之间,其中混交林0~30 cm层最高,荒坡灌草丛60~90 cm最低;从图2中可以看出,在雨季5种群落全氮含量在0.020%~0.079%之间,最高值和最低值均出现在荒坡灌草丛,分别在群落0~30 cm和60~90 cm层面。三个层次全氮总含量上,混交林和常绿阔叶林两种群落的土层全氮含量比两种人工林含量高,说明自然恢复的植被群落对氮的改良效应优于人工林。

在垂直层面上,各群落随着土层深度的增加全氮含量降低,因为土壤氮素垂直迁移主要是土壤氮素在成壤作用下向表层富集。<sup>[10]</sup>

在旱季,各林下0~30 cm层土壤全氮含量依次为针阔混交林>常绿阔叶林>荒坡灌草丛>云南松人工林>桉树人工林。30~60 cm和60~90 cm各群落土壤全氮变化不大。雨季,各群落间土壤全氮含量在0~30 cm层变化显著。30 cm层以下,各群落的全氮含量比较集中。

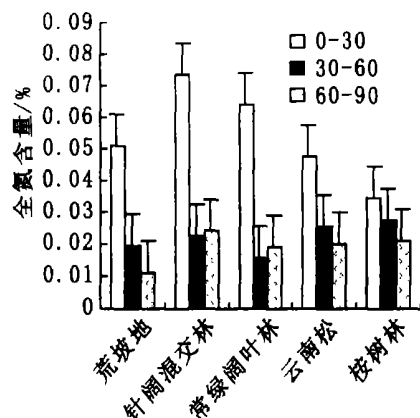


图1 旱季各群落土壤全氮含量变化

相比较旱季,雨季常绿阔叶林和针阔混交林在0~30 cm层全氮含量比旱季降低,降低的原因尚不清楚。其它3种群落则在不同层面含量都增加,这是因为由旱季(5月)向水分最饱和的雨季(9月)推移过程中土壤有机质分解的结果。

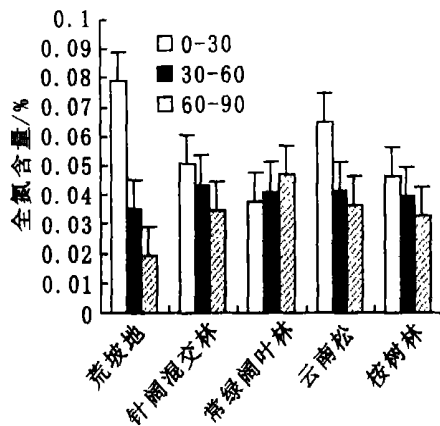


图2 雨季各群落土壤全氮含量变化

#### 3.1.2 土壤碱解氮变化特征

各群落的土壤碱解氮含量分析结果见图3和图4。从图3、图4中可以看出,旱季各群落林下土壤碱解氮含量在3.15~13.07 mg/kg之间。其中常绿阔叶林的0~30 cm最高,混

交林的 60~ 90 cm 最低; 雨季群落土壤碱解氮的含量显著增加, 范围在 21. 47~ 90. 05 mg/kg 之间, 含量比旱季有较大的增加。

垂直层面上, 各群落有随着土层深度增加碱解氮含量(图 3、图 4)降低的趋势, 这和全氮含量的变化一致, 因为土壤微生物和土壤分解酶主要集中在土壤的表层。雨季, 各群

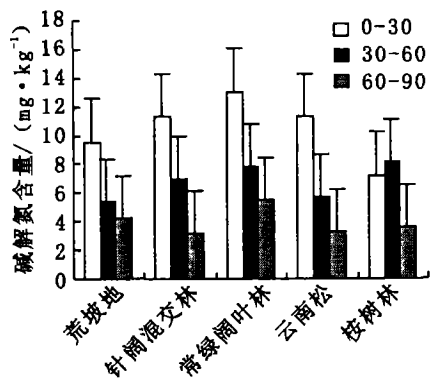


图 3 不同群落土壤旱季碱解氮含量

3.2 土壤磷的变化特征

3.2.1 土壤全磷的变化特征

各群落的土壤全磷含量分析结果见图 5 和图 6, 从图 5、6 中可以看出: 旱季各群落土壤全磷含量范围在 0.010%~0.021% 之间, 其中云南松林的 60~ 90 cm 含量最高, 常绿阔叶林的 60~ 90 cm 含量最低; 雨季, 各群落林下土壤全磷含量在 0.018%~0.032% 之间, 其中桉树林的 60~ 90 cm 含量最高, 常绿阔叶林的 30~ 60 cm 含量最低。各群落之间和群落土壤的不同层面之间的全磷含量差异不显著。

在垂直剖面上, 各群落全磷含量变化不大, 说明磷的含量主要受母质成土的影响<sup>[4]</sup>, 其它方式的磷补给影响相对

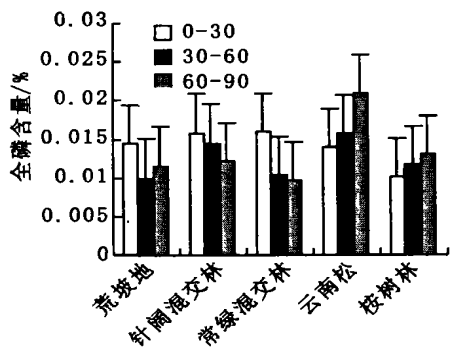


图 5 旱季各群落土壤全磷含量

全磷含量雨季比旱季均显著增加, 但不同植被类型的全磷增量差异较大。在 0~ 30 cm 的土层, 全磷含量桉树林增加最多, 比干旱季节增加了 51%, 荒坡灌草丛增加了 25%, 低于其余四个群落。30~ 60 cm 层 5 个群落增加幅度变化不大, 增加幅度在 37. 5%~ 50% 之间。60~ 90 cm 层变化很大, 桉树林则增加了 58%, 增加数量最多。从干湿季节变化特征来看, 人工林在全磷增加效应上, 优于自然恢复的植被群落。

3.2.2 土壤有效磷的变化特征

各群落土壤有效磷含量的分析结果见图 7 和图 8, 从图 8 中可以看出: 干旱季节各群落土壤有效磷含量范围在 0.23~ 1. 51 mg/kg 之间, 其中云南松林的 0~ 30 cm 最高,

落土壤可供利用的有效氮含量均比旱季含量明显增高, 增加幅度在 4. 2~ 10. 5 倍之间。荒坡灌草丛和桉树林在 0~ 30 cm 层增加最高, 分别是干旱季节的 9. 41 和 9. 46 倍。针阔混交林最低, 为干旱季节的 4. 71 倍。在垂直剖面上, 表层的增加量一般情况多于中层和底层。土壤碱解氮在相同层面的变化与全氮变化相同。

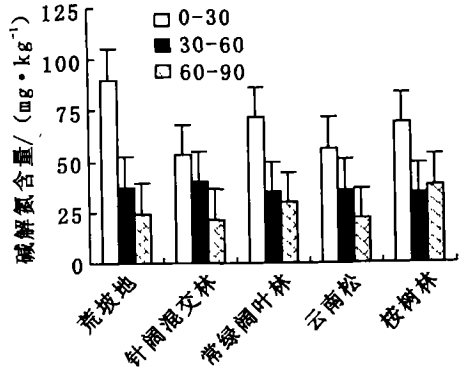


图 4 不同群落土壤雨季碱解氮含量

小。干旱季节云南松、桉树林两种人工群落土壤全磷随土壤深度增加而增加, 荒草坡地、针阔混交林和常绿阔叶林则下降; 雨季各群落全磷含量在垂直剖面上的变化规律与旱季一致。

从不同群落土壤磷含量情况看, 旱季在 0~ 30 cm 土层中, 各群落林下土壤全磷含量(见图 5)依次为常绿阔叶林>云南松>针阔混交林>荒坡灌草丛>云南松人工林>桉树人工林, 变异幅度在 0.0102%~0.0160% 之间。60~ 90 cm 层面, 云南松的磷含量出现异常高值。雨季, 各群落土壤全磷含量(图 6)非常接近。

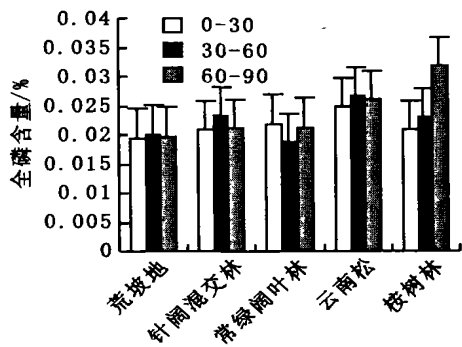


图 6 雨季各群落土壤全磷含量

混交林的 30~ 60 cm 的有效磷含量最低; 雨季, 其范围在 0.40~ 1. 51 mg/kg 之间, 其中桉树林的 0~ 30 cm 层含量最高, 混交林的 30~ 60 cm 层含量最低。

垂直层面上, 旱季各群落有效磷的含量(图 7)变化总体不大, 但是常绿阔叶林在 0~ 30 cm 和 60~ 90 cm 和层面仍然高于其它群落。云南松人工林 30~ 60 cm 层最高。雨季, 各群落在同层含量(图 8)与旱季相比变化幅度不大。

雨季, 各群落土壤有效磷含量在 0~ 30 cm 全部降低, 其中荒坡灌草丛降低了 54%, 降低幅度最大, 桉树林降低幅度最小, 仅降低 10%。桉树人工林有效磷含量在 30~ 60 cm 和 60~ 90 cm 增加, 其机理还有待进一步研究。

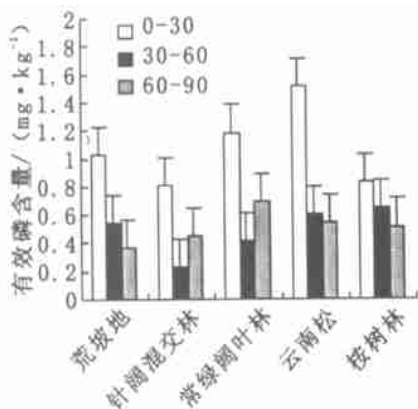


图7 旱季各群落土壤有效磷含量

### 3.3 土壤有机质的变化特征

各群落有机质含量的分析结果见图9和图10,从图9、10中可以看出:旱季各群落林下土壤有机质含量在0.87%~6.02%之间,其中常绿阔叶林的0~30 cm层面含量最高,荒坡灌草丛的60~90 cm含量最低;雨季,各群落土壤有机质含量在0.63%~4.39%之间,其中荒坡灌草丛的0~30 cm和60~90 cm层含量为雨季的最高值和最低值。

垂直方向上,各群落旱季和雨季有机质的含量变化一

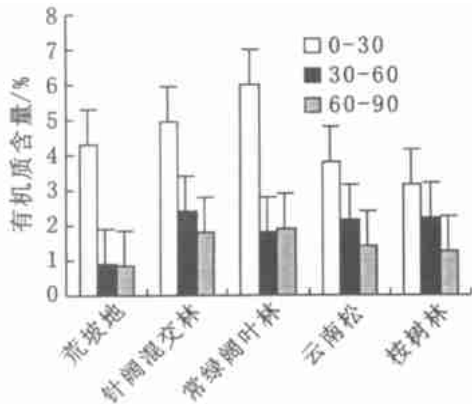


图9 旱季各群落土壤有机质含量

### 3.4 土壤水分变化特征

各群落土壤水分含量见图11和图12,从图11、12中可以看出:旱季各群落林下土壤水分含量在12.28%~29.86%,其中常绿阔叶林的60~90 cm含量最高,荒坡灌草丛含量最低;雨季各群落土壤含水量在18.09%~37.23%,其中云南松0~30 cm最高桉树林0~30 cm最低。

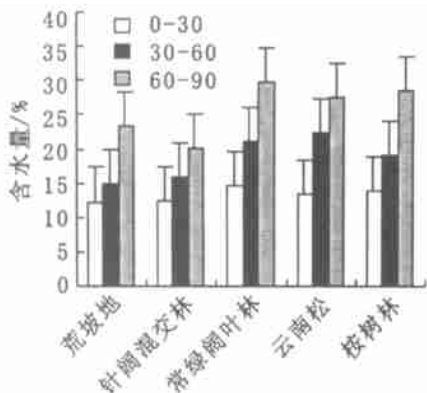


图11 旱季各群落土壤水分含量

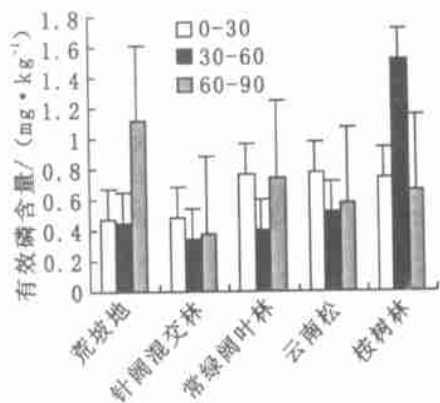


图8 雨季各群落土壤有效磷含量

致,都表现出上层高于中层高于下层的普遍规律。

有机质是林下土壤营养物质补充的重要来源。和旱季相比,雨季有机质总体表现出下降的趋势,因为各群落植物在4~10月份是植物生长的最佳时期<sup>[11]</sup>。0~30 cm常绿阔叶林下降最多,针阔混交林的30~60 cm和60~90 cm层下降最多。荒坡灌草丛的0~30 cm和30~60 cm层有机质增加,可能是荒坡灌草丛有机质分解比较缓慢,植物对营养养分需求没有乔木多。

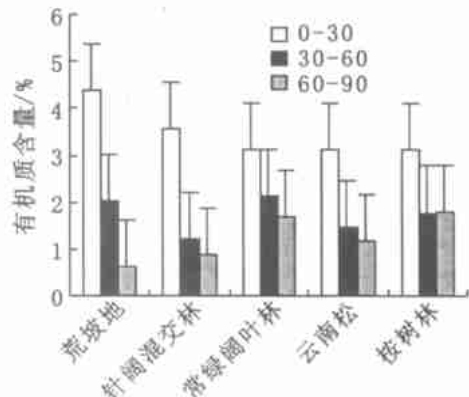


图10 雨季各群落土壤有机质含量

旱季,不同措施恢复的植被群落土壤含水量在各层面的变化不大,在垂直剖面上,表层土的含水量小于中层和下层。由于降雨的补给,雨季土壤上层和中层得到一定的补给,0~30 cm补给最多,60~90 cm则下降。因为土壤含水量在0~30 cm层面更容易受气候的影响,30~60 cm和60~90 cm层面受气候影响小,土壤水分保持稳定。

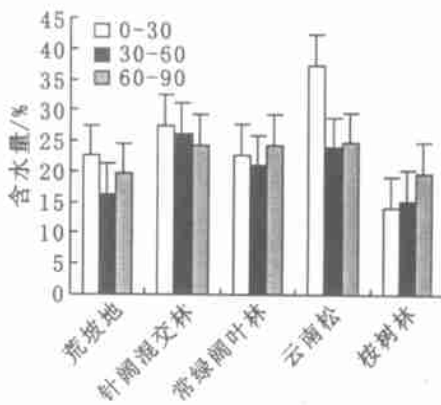


图12 雨季各群落土壤水分含量

3 5 不同群落中的土壤综合肥力评价

利用系统扰动分析评价法对各群落进行分析评价, 评价结果见表 1, 从表 1 中可以看出, 0~ 30 cm 土层系统扰动值常绿阔叶林最小, 说明常绿阔叶林在土壤表层的肥力最高, 各群落在该剖面层次的土壤综合肥力依次为常绿阔叶林> 针阔混交林> 云南松林> 荒坡灌草丛> 桉树林。除了荒坡灌草丛外, 自然演替更新的植被群落对群落林下表层土壤的改良效应显著强于人工林。人工林林下 30~ 60 cm 层土壤肥力则优于自然恢复更新的群落。60~ 90 cm 层土壤自然恢复群落好于人工林。总体的扰动值分析表明, 除荒坡灌草丛恢复时间较短以外, 自然演替更新的植被群落优于人工林。

表 1 各群落林下土壤养分含量的扰动值

土层剖面/cm	荒坡灌草丛	针阔混交林	常绿阔叶林	云南松林	桉树林
0~ 30	0.255	0.126	0.070	0.197	0.454
30~ 60	0.372	0.230	0.295	0.149	0.015
60~ 90	0.455	0.228	0.152	0.257	0.289
总体扰动值	1.082	0.584	0.517	0.613	0.758

4 讨 论

滇中高原植被破坏后, 当地通过人工和自然的两种恢复措施进行植被恢复。人工恢复主要是种植了大量的桉树林和一部分云南松林作为水土保持和经济林, 人工干预相对较强; 自然恢复主要是进行封山育林, 对破坏的荒山荒坡按照自然演替进行恢复。

不同措施恢复的 5 种植物群落中土壤氮、磷和有机质变化有一定的规律。在旱季向雨季的转化过程中, 土壤有机质含量有下降的趋势, 全氮含量除常绿阔叶林和混交林的 0~ 30 cm 层外全部增加, 全磷含量则全部增加。原因可能是水热条件配置的变化, 土壤微生物活动加剧和土壤各种转化酶的作用, 林下土壤有机质被分解成为植物需要的氮磷等营养

元素。雨季, 各群落林下土壤碱解氮含量比旱季全部增加, 而有效磷含量在 0~ 30 cm 全部减少。有效磷的下降可能与当地水土流失状况、土壤的理化性质有关。

同一植被对林下不同层次的土壤改良效应不一致, 植被对 0~ 30 cm 层影响最大, 植被影响 0~ 30 cm 层面的土壤肥力主要是由于各种凋落物的分解的结果, 凋落物的去除对土壤生态肥力影响以及对植物的生长和群落的演替有很大的影响。30~ 60 cm 与 60~ 90 cm 层土壤肥力和土壤母质相关性大。在土壤肥力改良与植物利用之间, 植物对 30 cm 层以下深度土壤肥力的改良效应差, 这就造成植物养分供应不足, 增加这些深层次的土壤养分能促进植物的生长。

对不同养分而言, 不同植被对氮的改良效应大于磷。在恢复的后期, 由于植被的改良效应, 氮元素含量不再成为限制植物生长的养分因子, 而在缺磷的区域内, 磷可能成为限制因子, 这就需要在恢复的后期给植被群落施加一定量的磷。

在植被恢复过程中, 水分和养分的配置相当十分重要, 只有二者配置良好才能够使植物充分利用当地的水肥条件。雨季, 植物的水热条件较好, 生长很快, 对营养的需求显著增加, 这时土壤内的养分可能难以满足植物生长的需要, 从而在雨季适当的养分补充很有必要。

不同恢复措施下植被对土壤环境的改良作用不一致, 通过研究分析发现, 滇中高原的几种植被对环境改良作用依次为常绿阔叶林> 针阔混交林> 云南松林> 荒坡灌草丛> 桉树林, 较少受人为直接干扰的荒坡灌草也明显优于桉树人工林, 说明纯人工植被的环境改良效应没有自然植被好。另外, 桉树林能够导致地力衰退, 可能也是其中一个原因<sup>[12, 13]</sup>。桉树林是滇中地区种植最多的人工林, 也是当地的经济林地, 相对其它群落而言, 其改良土壤、保持水份的能力以及林内水肥配置最差。为此, 建议进行水土保持、生态修复过程中尽可能种植桉树林。

参考文献:

[1] 彭少麟 恢复生态学与植被重建[J]. 生态科学, 1996, 15(2): 26- 31.  
[2] 何园球, 沈其荣, 王兴祥 红壤丘岗区人工林恢复过程中的土壤养分状况[J]. 土壤, 2003, 35(3): 222- 226  
[3] J Fanta Rehabilitating degraded forest in central Europe into self-sustaining forest ecosystem s[J]. Ecology Engineering, 1997, 8: 289- 297.  
[4] 胡斌, 段昌群, 王震洪, 等 植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(4): 604- 608  
[5] 胡良军, 邵明安 黄土高原植被恢复的水分生态环境研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 1045- 1048  
[6] 常庆瑞, 安韶山, 刘京, 等 黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 15(4): 6- 9.  
[7] Stephan A Pietsch, Hubert Hasenauer Using mechanistic modelling within forest ecosystem restoration [J]. Forest Ecology and Management, 2002, 159: 111- 131.  
[8] 刘光崧 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996  
[9] 毛禹功, 何湘藩, 戴正德, 等 现代区域规划模型技术[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1993  
[10] 王国梁, 刘国彬 许明祥 黄土丘陵纸坊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  
[11] 俞元春, 赵永艳 曾曙才 苏南丘陵不同林分类型土壤养分的动态特征[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 32- 36  
[12] 杨伟东, 钟罗生, 杨国清, 等 桉树人工林地力衰退防治研究[J]. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(3): 179- 183  
[13] 廖观荣, 林书蓉, 李淑仪 雷州半岛桉树人工林地力退化的成因与防治措施[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 268- 273  
[14] 韦红波, 李锐, 杨勤科 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 489- 496  
[15] Andreu Bonet Secondary succession of semi-arid Mediterranean old-fields in southeastern Spain: insights for conservation and restoration of degraded lands[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56: 213- 233