

嘉陵江上游低山暴雨区不同植被类型土壤磷素的比较

程永珍<sup>1</sup>, 宫渊波<sup>1</sup>, 陈林武<sup>2</sup>, 李进峰<sup>1</sup>, 张发会<sup>2</sup>

( 1. 四川农业大学 四川省生态林业工程省级重点实验室, 四川 雅安 625014;  
2. 四川林业科学研究院, 成都 610081)

**摘 要:** 以广元市水土流失定位观测站内的 3 个不同植被恢复模式为研究对象, 通过野外调查与室内实验分析, 测定了湿地松纯林、刺槐纯林及湿地松刺槐混交林的土壤有机质与 P 素含量。结果表明: (1) 混交林的土壤结构明显好于湿地松与刺槐纯林; (2) 混交林中有有机质含量高于刺槐与湿地松纯林, 3 个林地的土壤有机质多集中在土壤上层, 并随着土壤深度的增加而减少。 (3) 土壤全磷与有效磷含量大小顺序基本为: 刺槐林> 混交林> 湿地松。  
**关键词:** 森林土壤; 有机质; 磷  
中图分类号: X173; S153. 61 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007)06-0202-04

Comparison of Soil Organic Matter and Phosphorus of Different Vegetation Rehabilitation in Northern Sichuan

CHEN Yong-zhen<sup>1</sup>, GONG Yuan-bo<sup>1</sup>, CHEN Lin-wu<sup>2</sup>, LI Jin-feng<sup>1</sup>, ZHANG Fa-hui<sup>2</sup>  
( 1. Sichuan Agricultural University, Sichuan Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Ya'an, Sichuan 625014, China; 2. Sichuan Forestry Science Academy, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** The physical and chemical properties, soil organic matter and phosphorus in three patterns of vegetation rehabilitation were studied. Tested through in the open country investigation and the room analysis, has determined organic matter of soil in *Pinus eliotii* Engelm, *Robinia pseudoacacia* and mixed stands of *Pinus eliotii* and *Robinia pseudoacacia*. The result indicated that soil structure of in *Pinus eliotii* Engelm is obvious good. The organic matter content of the mixed forest is higher than the *Pinus eliotii* Engelm and *Robinia pseudoacacia* in three different patterns; The soil total phosphorus and available phosphorus are sorted descendingly as follow: *Robinia pseudoacacia* > mixed stands of *Pinus eliotii* and *Robinia pseudoacacia* > *Pinus eliotii*.  
**Key words:** forest soil; organic matter; phosphorus

土壤中的有机质与磷素是生物体的重要组成部分。磷素以广泛多样的形式参与有机体的生命代谢过程; 对促进林木生长、提高林地生产力具有很大作用。理论上, 磷是生物生长的首要限制因子, 并且是地质时代尺度上生物生产力的限制性养分元素。磷在植物体内含量很低, 平均约占干重的 0.2%, 但重要性不亚于碳、氮<sup>[1-2]</sup>。

四川省林科院于 20 世纪 80 年代末期为配合“长江中上游防护林建设工程”而建立了生态定位观测站, 开展了不同模式的研究, 本文选择了湿地松(*Pinus eliotii* Engelm) 纯林、刺槐(*Robinia pseudoacacia*) 纯林和湿地松刺槐混交林(mixed stands of *Pinus eliotii* and *Robinia pseudoacacia*) 3 种类型, 对不同土壤层次的土壤含水量、土壤容重、pH 值、土壤有机质、土壤全磷及有效磷进行测定分析, 以了解不同林分类型下土壤基本性质、土壤有机质、土壤全磷与有效磷的差异及土壤养分与植被恢复的相互关系, 为指导退耕还林工程树种配置、模式选择及技术措施的确定提供理论依据。

1 试验地概况与研究方法  
1.1 试验地概况

研究区位于川北广元市城北 4 km 的工农镇碗厂沟。行

政区隶属于广元市中区工农镇和龙王乡, 东经 105°54'24" - 105°58'48", 北纬 32°27'51" - 32°31'39", 海拔 515~815 m, 地处四川盆地北缘, 米仓山麓, 属秦巴山余脉低山暴雨区, 地势由东北向西南倾斜, 东西长 11.8 km, 南北宽约 2.79 km。区域受秦岭和大巴山的影响, 属北亚热带湿润季风气候, 多年平均气温 16.1℃, 极端最高气温 41.5℃, 极端最低气温 -3.5℃。≥10℃积温为 5 065.4℃, 无霜期 263 d, 年均降雨量达 937.2 mm, 年际差异大, 最高年雨量 1 518.1 mm, 最低年雨量为 580.9 mm, 年内降雨分配不均, 多集中在 6-9 月, 占全年降雨量的 72.5%, 由于雨量集中, 常出现冬干、春旱、初夏旱、盛夏暴雨等自然灾害。研究区土壤以山地中、偏碱性山地黄壤为主, 土壤干燥紧实。由于受暴雨侵蚀作用, 土层多浅薄, 且分布有较大面积的石膏土。加之过去人们对森林过量采伐和破坏, 森林覆盖率急剧下降, 水土流失极为严重, 因此, 该区森林植被的恢复与重建, 对该区生态恢复有重要的作用。

1.2 研究方法

该研究以广元市工农镇碗厂沟水土流失定位观测站内 3 种不同植被恢复模式为研究对象, 分别为湿地松纯林, 刺

\*收稿日期: 2007-02-09  
基金项目: 国家“十五”重点科技攻关计划“四川盆周低山区水土流失综合治理技术与示范”子课题(2001BA606A-06-3); 四川省重点学科森林培育学建设项目  
作者简介: 程永珍(1978-), 女, 山西平遥人, 硕士研究生, 主要从事森林培育研究。  
通信作者: 宫渊波。

槐纯林与湿地松刺槐混交林(简称混交林)。样地间地形、坡度、坡向、母岩等生态因子基本相同(表 1)。

表 1 试验地立地条件及林分特征

土壤类型		土壤 含水量/ %	坡度/(°)	郁闭度	优势木	平均 树高/ m	平均 胸径/ cm	主要灌草植被
湿地松	山地黄壤	18.306	31	0.5	湿地松	5.5	7.8	槲栎+ 黄檀+ 铁籽
刺槐林	山地黄壤	23.429	27	0.3	刺槐	6.6	7.5	川陕花椒+ 小果蔷薇+ 蒿子+ 铁籽+ 火棘+ 瑞香
混交林	山地黄壤	21.279	14	0.4	湿地松刺槐	5.2	6.9	黄檀+ 铁籽+ 火棘+ 乌桕+ 白茅+ 蒿子

采集土样时,为了使采样地点具有代表性,尽量避免特殊地形、气候和人为因素等的影响,采用典型抽样法设置标准地,在每个标准地内随机选取 3 处,定点之后挖土壤剖面,分别取 0– 20、20– 40 cm 深的土壤样品,由下至上逐一采取 1 kg 左右,分别装入袋内,带回实验室进行风干、粉碎过筛,采用四分法取样放入布袋内备用。

土壤中的全 P、有效 P、pH 值、含水量及有机质含量,均按照中华人民共和国国家标准测定,其中全 P 采用氢氧化钠熔—钼锑抗比色法测定;有效 P 采用双酸浸提法;土壤 pH 采用酸度计法测定;有机质采用重铬酸钾—外加热法。

2 结果与分析

2.1 土壤容重、孔隙度与水分状况及有机质含量

2.1.1 土壤容重、孔隙度与水分状况

3 种不同植被恢复模式下土壤的容重、孔隙度、持水量及土壤通气度进行对比分析后得知,刺槐纯林的土壤容重最大,为 1.72 g/cm<sup>3</sup>,湿地松林最小,为 1.65 g/cm<sup>3</sup>;总孔隙度

混交林最大,为 36.96%,湿地松林次之,刺槐林最小;毛管孔隙度混交林最大,达 34.17%,湿地松纯林最小;刺槐林土壤干燥紧实,石砾含量高,因而其容重最大,土壤总孔隙度相对较小,故最大持水量也最小(表 2),这与王海英<sup>[3]</sup>等的研究结果类似。毛管持水量、田间持水量与土壤通气度均以混交林最大。

2.1.2 土壤有机质与评价

土壤有机质是土壤固相的一个重要组成部分。3 个不同的植被恢复模式下,土壤有机质含量均为表层大于下层(图 1),这是由于地表凋落物堆积、分解,导致表层常常含有丰富的有机酸、糖类及各种有机物质,因而所测有机质含量高。从不同林分土壤有机质平均值看,土壤 0– 20 cm 层有机质含量大小顺序依次混交林> 刺槐林> 湿地松,而 20– 40 cm 层则为:湿地松> 混交林> 刺槐林(图 1),这主要由于混交林植被表层凋落物丰富,生物归还量大,并且凋落物易分解转化,从而形成较多的土壤活性有机质。

表 2 不同植被类型土壤容重、孔隙度与水分状况

林分	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	非毛管孔隙度/%	毛管孔隙度/%	总孔隙度/%	毛管持水量/%	田间持水量/%	最大持水量/%	土壤通气度/%
湿地松	1.65	5.25	31.60	36.86	19.14	15.13	22.33	11.28
刺槐	1.72	3.09	32.70	35.79	19.33	14.15	21.12	11.29
混交林	1.69	2.79	34.17	36.96	20.41	16.90	22.05	13.45

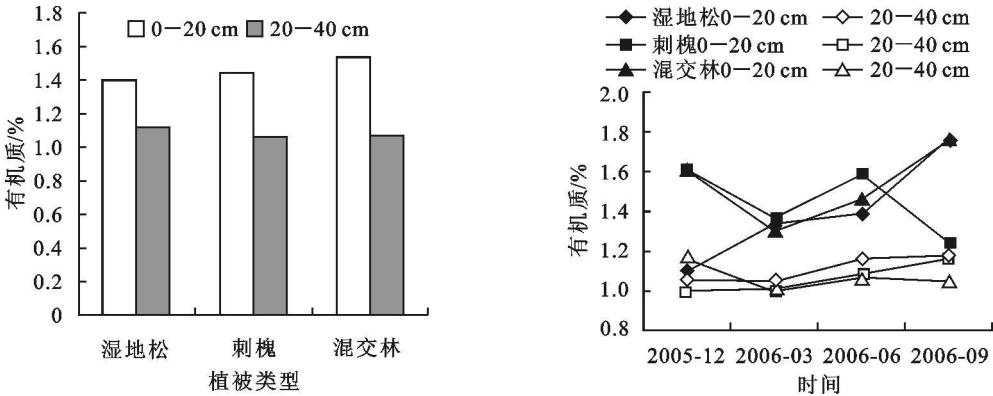


图 1 不同植被恢复类型下土壤有机质含量的比较

在土壤表层(0– 20 cm),林型和季节对土壤有机质含量均有显著的影响,湿地松和混交林地土壤有机质含量从 2006 年 3– 9 月均有增加,刺槐林从 2006 年 3– 6 月含量迅速增加,在 6– 9 月又迅速降低,主要原因可能在夏秋季节温度高,雨量多集中在 6– 7 月,土壤动物和微生物活动旺盛,并且刺槐林地上凋落物多为阔叶及一些灌草植物,易分解,而针叶在相同条件下分解速率慢造成。在土壤下层(20– 40 cm),在各个林分中土壤有机质含量呈现一个平缓的变化趋势,可见,土壤下层有机质的含量随林分和季节变化不如上层明显。

2.2 土壤磷素含量与评价

2.2.1 土壤全磷

土壤全磷包括可溶性磷酸盐、有机磷、活性磷酸盐、微生物磷以及非活性磷酸盐<sup>[1]</sup>,该研究发现,3 种林地条件下土壤全磷量均小于 0.5 mg/g,而 Sanyal & De Datta<sup>[4]</sup>认为土壤全磷量一般为 0.5~ 2.0 mg/g,这说明该区土壤磷素含量较低。然而,值得注意的是不同林分土壤全磷浓度的变化具有显著差异( $P < 0.001$ ,图 2)。不同林分同地层比较,土壤全磷浓度均以刺槐林最高,分别为(0.309±0.010) mg/g(平均值±标准误),其次是混交林,为(0.219±0.009) mg/g,最

低为湿地松林,仅为(0.193±0.016) mg/g,这说明刺槐林地

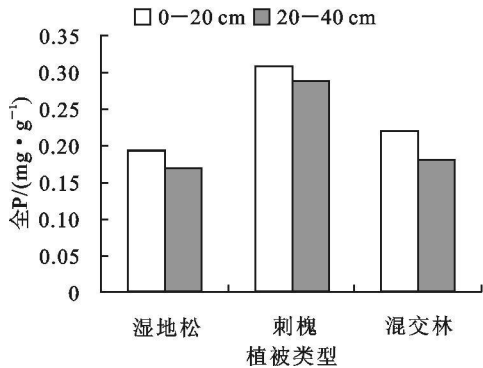


图 2 不同植被恢复类型下土壤全磷含量的比较

在同一林地条件下,除 2005 年 12 月刺槐林地的土壤表层的全磷量略小于下层全磷含量外,其余均为土壤表层(0-20 cm)全磷含量大于下层全磷含量;在土壤表层,湿地松林与混交林地土壤全磷含量季节的变化趋势相似,为冬季最低,夏季最高(2006-06>2006-03>2006-09>2005-12),而刺槐林地土壤全磷含量却表现为冬、夏低于春、秋的变化趋势(2005-12,2006-06>2006-03,2006-09),这可能由以下 2 个原因造成:(1)夏季时植被覆盖率高,不易水土流失;(2)试验样地防护措施不当,当地农户在其内砍柴、放牧与乱伐。

2.2.2 土壤有效磷

土壤有效磷是植物根系吸收的直接给源,是土壤 P 素的现实供应指标。土壤溶液中可溶性磷酸盐易于被土壤颗粒、有机质和其它矿物吸收、络合、形成沉淀以及土壤微生物吸

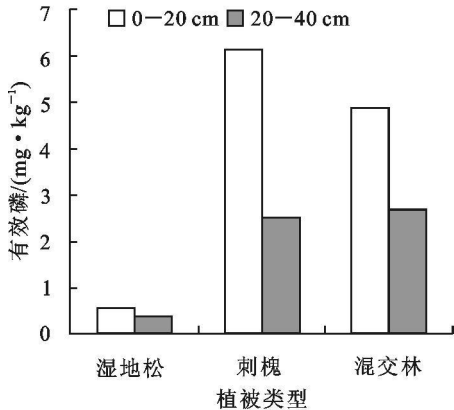


图 3 不同林型和季节下土壤有效磷比较

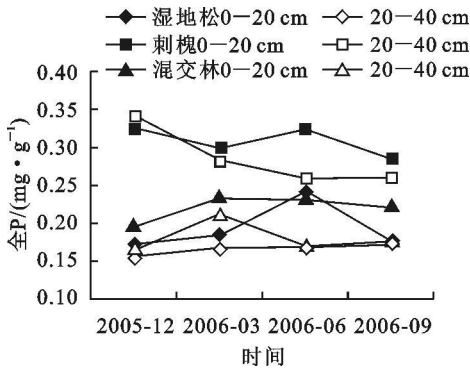
表 3 土壤磷素含量与土壤物理性质及有机质含量之间的相关系数

相关因子	容重	非毛管孔隙度	总孔隙度	最大持水量	土壤通气度	pH 值	土壤湿度	有机质	全磷
全磷	- 0.236	0.799* *	0.309	0.285	0.530	- 0.037	0.314	- 0.348	1* *
有效磷	- 0.006	- 0.683*	0.076	0.119	0.090	- 0.782*	- 0.902* *	0.951* *	- 0.412

2.2.3 相关性分析

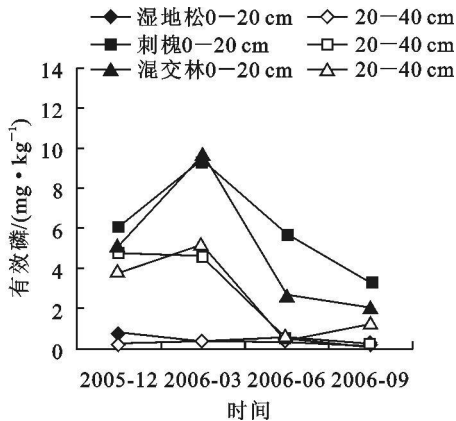
土壤中的一系列生物、物理、化学影响,共同控制着土壤中磷素的含量,影响着土壤有效磷的供应能力,由表 3 可知,土壤非毛管孔隙度对土壤全磷含量有极显著的正相关关系;与土壤有效磷的供应却有着显著的负相关关系。土壤 pH 值、土壤湿度和有机质是控制土壤中磷化学形态和含量的重要因子,该研究发现,土壤 pH 值与土壤有效磷有着显著的负相关关系。土壤湿度与土壤有效磷有极显著的负相关关系,这是因为土壤干燥引起微生物死亡,导致微生物生物量中的磷向土壤中释放。土壤有机质与土壤有效磷有极显著

较混交林和湿地松纯林有利于全磷的富集和固定。



收固定。因而有效磷是森林生态系统中磷素研究的关键。

与全磷浓度的变化既有相似的地方也有其本身特点,土壤表层有效磷浓度同样以刺槐林最高,分别为(6.094±1.246) mg/kg(平均值±标准误),其次为混交林,为(4.862±1.760) mg/kg,湿地松林最低,仅为(0.532±0.103) mg/kg。而土壤下层土壤有效磷含量为混交林(2.693±1.114) mg/kg 略大于刺槐(2.505±1.294) mg/kg,湿地松(0.370±0.071) mg/kg 最低;刺槐林与混交林间均显著高于湿地松林(图 3)。不同季节比较,不同植被恢复模式林地总体上土壤有效磷浓度在 2006 年 6 月最低(图 3),这主要因为从 4 月开始是林木生长最为迅速的时期,需要从土壤中吸收大量的磷素以合成各种营养物质。



的正相关关系,这是因为土壤有机质是微生物矿化的基质,是有效磷的重要源和库;土壤有效磷含量与土壤全磷量没有相关性,这与相关研究<sup>[5-7]</sup>结果一致。

3 结论与讨论

对上述 3 种不同植被恢复模式之间的容重、孔隙度及持水量进行对比分析得知,混交林的毛管孔隙度、总孔隙度、毛管持水量、田间持水量、最大持水量、土壤通气度与有机质含量均最大。是因为该林地是乔-灌-草复层混交林,明显改善退化地的土壤理化性质,水土保持效果较纯林理想。

3 种不同植被恢复林地土壤有机质含量均为土壤表层大于下层,在林地表层,土壤有机质含量基本在 2006 年 3 月最低,这是因为在 3 月时雨量极少,温度低,地上凋落物少,不利于土壤动物和微生物的分解。土壤非毛管孔隙度、土壤 pH 值对土壤有效磷均有显著的负相关关系,土壤湿度对土壤有效磷有着极显著的负相关关系,土壤有机质含量与土壤有效磷有着极显著的正相关关系,通过土壤有机质含量可以评价退化地恢复后土壤有效磷的供应状况。

3 种不同植被恢复林地土壤全磷与有效磷含量的大小顺序基本为刺槐林> 混交林> 湿地松,这与刺槐是一种落叶阔叶树种,其凋落物易分解,磷素可得到及时的释放和归还,且该林分灌草种类多,凋落物丰富,林地土壤石砾多有关,而湿地松林地树种单一,地上凋落物常被当地农户收集垫家畜、家禽圈用,导致磷素养分的流失。这也说明了阔叶树种较针叶树种有利于磷素的富集,但在刺槐林地地表径流水中的磷素浓度高,充分证实了正确选择树种与栽培模式对退化地的恢复、水土保持与水源涵养有重要的作用。

本研究中所涉及的混交林目前由于受人为干扰(砍柴、放牧等)强度大,土壤磷素含量不及刺槐林高,但是从长远看,因为它较湿地松纯林与刺槐纯林能更好地改善土壤结构,提高土壤有机质的含量,从而会更好地有利于水土保持与涵养水源。因此,在川北地上暴雨区退化地的植被恢复过程中,应该以人工林为主,并引进阔叶树种和乡土树种,营造

乔- 灌- 草复层针阔混交林,并辅之封禁治理措施,以期达到生态效益、经济效益与社会效益的可持续发展。

参考文献:

[1] 赵琼,曾德慧. 陆地生态系统磷素循环及其影响因素[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 153- 163.

[2] 莫江明. 鼎湖山退化马尾松林、混交林和季风常绿阔叶林土壤全磷和有效磷的比较[J]. 广西植物, 2005, 25(2): 186- 192.

[3] 王海英,宫渊波,等. 不同植被模式下土壤微生物及酶活性的比较: 以嘉陵江上游地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 201- 206.

[4] Sanyal S K, De Datta S K. Chemistry of phosphorus transformations in soil[J]. Advances in Soil Science, 1991, 16: 1- 12.

[5] Lajtha K, Schlesinger W H. The biochemistry of phosphorus cycling and phosphorus availability along a desert soil chronosequence[J]. Ecology, 1998, 69: 24- 39.

[6] Kellogg L E, Bridgham S D. Phosphorus retention and movement across an ombrotrophic-minerotrophic peatland gradient[J]. Biogeochemistry, 2003, 299- 315.

[7] Gahoonia T S, Nielsen N E. The effect of root-induced pH changes on the depletion of inorganic and organic phosphorus in the rhizosphere[J]. Plant and soil, 1992, 143: 185- 191.

(上接第 191 页)

(4) 降水的变化对植被的影响存在滞后效应,主要体现在植被盖度、植被高度和生物量上。

从所得到的气候、植被关系分析得出,盐池地区不适合大面积植树造林。从低耗水和生物多样性考虑,建议采用人工封育与人工种植灌草相结合的方式恢复当地植被。考虑到植被生长和更新,人工封育可采用植被生长季及降水旺季封育、其他季节开放的政策执行。

参考文献:

[1] Townshnd J R G. Global data sets for land applications from the Advance Very High Resolution Radiometer: an introduction[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3319- 3332.

[2] James M E, Kalluri S N V. The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring[J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3347- 3363.

[3] Nicholson S F, Davenport M L, Malo A R. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa. using NDVI from NOAA AVHRR[J]. Climatic Change, 1990, 17: 209- 241.

[4] Schmltdt H, Gltelson A. Temporal and spatial vegetation cover changes in Israeli ransition zone: AVHRR-basedassessment of rainfall impact[J]. Int. J. Remote Sensing, 2000, 21: 997- 1010.

[5] 孙睿,刘昌明,朱启疆. 黄河流域植被覆盖动态变化与降水的关系[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 667- 672.

[6] 张新时,杨莫安,倪文革. 植被 PE(可能蒸散) 指标与植被

- 气候分类(三): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(2): 97- 109.

[7] 张新时. 植被 PE(可能蒸散) 指标与植被- 气候分类(一): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 1(13): 1- 9.

[8] 张新时. 植被 PE(可能蒸散) 指标与植被- 气候分类(二): 几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(3): 197- 207.

[9] 张新时. 研究全球变化的植被- 气候分类系统[J]. 第四纪研究, 1993(2): 157- 169.

[10] 陈昌笃. 中国荒漠的主要类型与经济开发[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1987, 11(2): 81- 91.

[11] 李斌,张金屯. 基于 GIS 的黄土高原地区植被与气候关系研究[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(5): 25- 26, 42.

[12] 孙睿,等. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 667- 672.

[13] 杨正宇,等. 4 常用的气候- 植被分类模型对中国植被分类模拟的比较研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(5): 587- 593.

[14] 李晓兵,等. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 254- 261.

[15] 齐晔,等. 北半球高纬度地区气候变化对植被的影响途径和机制[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 474- 477.

[16] 史培军,李晓兵,等. 利用“3S”技术检验我国北方气候变化的植被响应[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 220- 228.

[17] 王连喜,等. 气候变化和植被关系研究方法探讨[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 43- 48.

[18] 闵庆文,余卫东. 从降水资源看黄土高原地区的植被生态建设[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 109- 117.