

坡位坡向及年限对黄龙滩电站生态护坡肥力的影响^{*}

刘大翔,许文年,周明涛,夏振尧,孙超,夏栋

(三峡大学 三峡库区地质灾害教育部重点实验室,湖北 宜昌 443002)

摘要:以黄龙滩生态护坡工程为对象,通过现场取样和室内处理测定,研究了水泥边坡植被混凝土肥力指标随坡向、坡位和年限的变化特性。结果表明:不论阴坡或阳坡,3 个坡面地形部位(上坡位、中坡位、下坡位),下坡位物理结构最好,营养水平也较高,其中有机质、速效磷、速效氮含量受坡位影响极显著($P < 0.01$)。阴坡各项指标(除容重外)均优于阳坡,其中含水率、pH 值差异极显著($P < 0.01$)。年限则对全磷和速效钾含量影响极显著($P < 0.01$)。相关分析表明,基物理指标与营养因子间存在相关关系,说明土壤结构与养分积累存在相互影响。

关键词:植被混凝土;土壤肥力;生态修复

中图分类号:S152;S158

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)01-0178-05

Effects of Slope Positions and Directions and Years on Fertility of Ecological Protected Slopes in Huanglongtan Hydropower Station

LIU Da-xiang, XU Wen-nian, ZHOU Ming-tao, XIA Zhen-yao, XIA Dong

(Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area, Ministry of Education, China
Three Gorges Univ., Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: The effects of slope positions and directions and years on fertility properties of ecological protected slopes in Huanglongtan hydropower station was studied through field sampling and indoor determination. The results showed that among three positions (upper slope, middle slope, lower slope), the lower slope had the best physical composition and higher nutrition level, while the effects of directions on the content of organic matter and available phosphorus and available nitrogen were very significant ($P < 0.01$). Other than bulk density, the indicators of shady slope were better than sunny slope, while soil water content and pH had very notable difference ($P < 0.01$). The effects of years on the content of soil total phosphorus and available kalium were very conspicuous ($P < 0.01$). The correlation analysis showed that there were correlative relations between substrate physical indicators and nutrient factors, which indicated that soil composition and nutrient accumulation interacted each other.

Key words: vegetation-growing concrete; soil fertility; ecological restoration

生态护坡技术正越来越广泛应用于各种受损边坡的生态恢复工程中,但目前为止,它仍局限于定性和经验的发展阶段,对它的理论认识还远落后于基于工程概念的实践^[1]。国内对生态护坡技术的研究主要集中在新技术开发、基材的物性、基材与植被的相互作用等宏观方面,从微观角度的研究如基材营养因子时空变化特征、土壤微生物群落变化、基材活性化^[2]等,国内仍处于起步阶段,尚未形成系统研究成果。

以 2004 年于黄龙滩电站某两处边坡实施的植被混凝土生态防护工程^[3-4]为研究对象,通过连续 5 a 的跟踪取样试验,研究人工植被基材肥力时空演变特征,探索植被混凝土肥力随坡向、坡位、年限的变化规律,为人工恢复技术的广泛应用及人工植被基材肥力长效性研究提供理论基础。

1 工程概况

试样采集地位于十堰市黄龙滩电站进厂公路两

^{*} 收稿日期:2009-07-10

基金项目:国家自然科学基金项目(50879043);国家科技支撑计划项目(2006BAC10B04);三峡大学博士启动基金项目(0620080002)

作者简介:刘大翔(1987-),男,湖北省潜江市人,硕士研究生,主要从事生态修复技术研究。E-mail:Liudaxiang004@163.com

通信作者:许文年(1960-),男,河北省元氏县人,教授,博士生导师,主要从事生态修复技术研究。E-mail:xwn@ctgu.edu.cn

侧边坡,边坡面积分别为 $87\text{ m} \times 129\text{ m}$ 和 $80\text{ m} \times 110\text{ m}$ (高 \times 宽),坡度均为 75° 。两边坡平行公路两侧分布,一处为阴坡,一处为阳坡,生态恢复前均为水泥边坡。该区域处于亚热带大陆性夏热潮湿气候区,光照充足,具有明显的大陆性气候特征;年平均气温 15°C 左右,极端最高、最低气温分别为 40°C 、 -15°C ;年平均降水量 $1\,300\text{ mm}$,多集中于 7-8 两月,是湖北省暴雨比较集中的地区之一;全年无霜期 $210 \sim 240\text{ d}$ 。

该生态护坡工程于 2004 年完成,工期 80 d ,出芽率 95% ,植被覆盖率 100% 。2004 年 7 月完工至今坡面植被生长情况良好,目前坡面为与周边环境相协调的自然生态环境。2008 年 11 月植被覆盖情况为:群落覆盖度 90% 以上,整个群落以狗牙根 (*Cynodon dactylon*)、紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、小冠花 (*Coronilla varia*)、多花木兰 (*Indigofera amblyantha*) 为优势种,占群落盖度 90% 以上。群落中常见种含艾蒿 (*Artemisia princeps*)、木豆 (*Semen Cajani*)、结缕草 (*Zoysia japonica*)、野菊花 (*Flos chrysanthemi*),零星分布于坡面。

本研究从 2004 年开始采集土样至今,采集条件为连续 7 d 无降雨,采集时间为每年 11 月。

2 研究方法

实验采用现场取样与室内处理、测定、分析相结合的方法,对每个坡面按照从左到右、从上到下均匀分布确定 9 个取样点,每个点取两个样,取样深度为垂直坡面 $3 \sim 9\text{ cm}$ 处。土样室内处理含风干、碾碎、过筛。室内测定、分析项目有:含水率(烘干法)、容重(环刀法)、有机质(重铬酸钾氧化法)、全磷(NaOH 熔融-钼锑抗比色法)、速效磷(0.5 mol/L NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法)、碱解氮(扩散吸收法)、速效钾(醋酸铵浸提-火焰光度法)、酸碱度(电位测定法)^[5-6]。

数据分析及处理采用 Excel 和 SPSS 软件;绘图采用 Origin 软件。

3 结果与分析

3.1 物理指标分析

物理指标的分析主要从含水率和容重两方面着手。含水率影响着植物蒸腾、地表蒸发、地表径流和土壤内水分交换,是生命活动的基本条件^[7]。土壤中的养分也必需溶解于水才能被吸收利用^[8],所以,含水率是影响植被恢复效果的重要因子。土壤容重是土壤肥力的重要指标之一,不仅直接影响土壤的

通气性、松紧度、入渗性能、持水能力、溶质迁移和水土流失特征,而且还间接影响植物根系在土壤中的穿插和活力大小^[9]。一般土壤容重越小,土壤越疏松,孔隙越多,越利于根系发展。

3.1.1 含水率分析 将阴、阳坡含水率多年平均值以坡位为自变量绘制成二维图,如图 1。由图可知,不论阴坡、阳坡,基材含水率大小均为下坡 $>$ 中坡 $>$ 上坡,阴、阳坡下坡位含水率分别高出上坡位 0.06% 和 0.02% 。这与水分向下渗透和地表径流有关,使得水分有向坡脚汇集的趋势。此外,坡位由上至下,黏粒逐渐增多,土壤渐趋粘重化,这也是下坡位含水率较高的原因之一^[10]。阴坡含水率普遍高于阳坡,这与日照对水分蒸发的影响有关,而且阴坡的根系较阳坡扎得更深,更有利于涵养水分。随着离坡顶距离的增大,阴、阳坡之间含水率差距越来越大,差值由 0.03% 增大到 0.07% ,可能是阴坡坡脚更不易受到日照的缘故。方差分析表明,坡位对含水率的影响达到显著水平 ($P < 0.05$),坡向对含水率的影响达到极显著水平 ($P < 0.01$)。

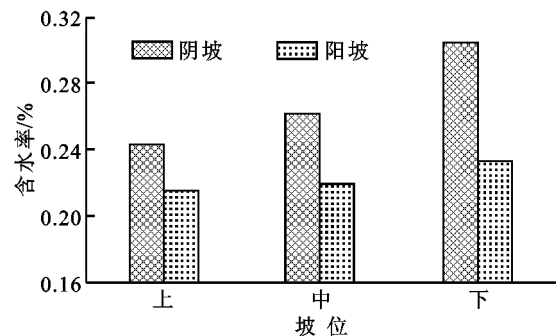


图 1 含水率随坡位变化

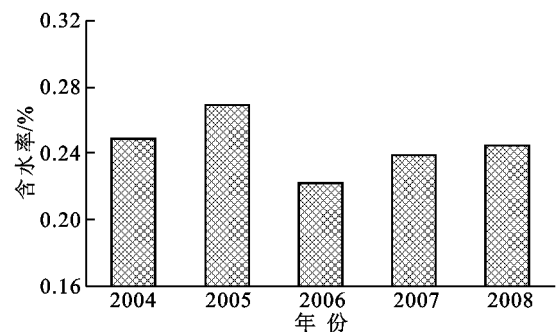


图 2 含水率随年限变化

含水率随年限的变化规律如图 2,图中含水率为不同坡位与坡向的平均值。可以看出,含水率在完工的第一年内逐步增加,第二年内逐步降低,第三年又有增大的趋势。头一年内含水率增大可能受到人工养护的影响,随着人工养护的撤销,含水率在第二年降低,之后第三年随着植被不断生长,根系持水能力的增强,以及土壤微生物量的增多,植被混凝土开始活化,保水能力也得到增强,含水率增大。

3.1.2 容重分析 坡位坡向对容重的影响如图 3, 取值方法与含水率一致。由图看出, 阴、阳坡之间容重随坡位的变化并无明显差异, 只在中坡位阳坡的容重大于阴坡, 上坡位和下坡位并未出现明显的阳坡容重大于阴坡的规律。这可能与阴坡中部水热条件相对较好及细粒和黏粒含量相对其他坡位较高有关^[11]。细粒和黏粒的结构性强, 使得土壤较疏松, 孔隙多, 容重小。方差分析也表明, 坡向对容重的影响未达到显著水平 ($P > 0.05$)。再者, 土壤容重不论在阴坡和阳坡, 其含量变化规律均为: 上坡位 > 中坡位 > 下坡位, 阴、阳坡上坡位容重分别高出下坡位 0.27 g/cm^3 和 0.26 g/cm^3 。高的容重值通常代表土壤有退化的趋势^[12], 表明上坡位土壤更易退化。此外, 由于上坡位及中坡位相对下坡位土层较薄、砾石多, 因而容重较大。方差分析表明, 坡位对容重的影响达到显著水平 ($P < 0.05$)。

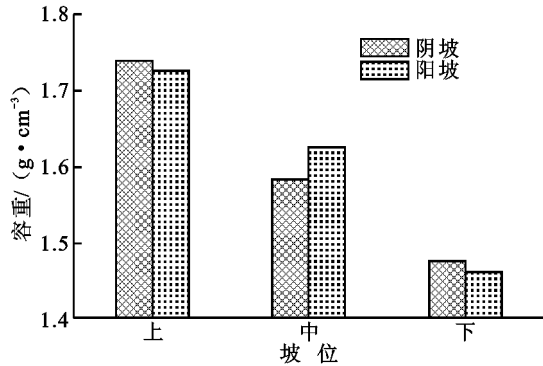


图 3 容重随坡位变化

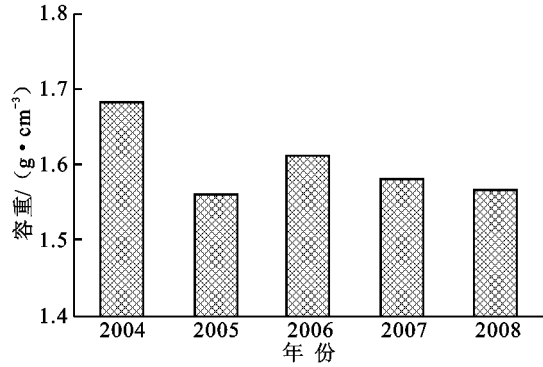


图 4 容重随年限变化

年限对容重的影响趋势为先下降后上升再上升 (图 4), 直观上显示了植被混凝土基材施工后土壤质地结构、土壤紧实度等物理结构随时间的变化。初期植被混凝土基材混合物中含有较高成分的水泥^[4], 因而容重最大; 一年内, 先锋物种快速生长对基材养分的大量摄取使容重降低; 随后, 群落演替速度减缓, 容重随之增大; 两年后, 基材活性化程度提高, 土壤微生物种类、含量均增加, 改善了土壤结构, 使孔隙增多, 于是又表现出容重降低的现象。

3.2 营养因子分析

土壤各营养因子含量和 pH 值是限制植被成活率和保存率的重要因子^[13], 因而很自然成为诊断土壤基本状况的指标。表 1 列出了不同坡位和坡向条件下 6 项指标的多年平均值。

表 1 不同坡位和坡向基材营养因子含量情况

坡位	坡向	有机质	全磷	速效磷	碱解氮	速效钾	pH
上	阴坡	10.77	2.22	298.83	35.46	197.36	8.26
	阳坡	9.25	1.96	259.91	29.65	161.65	8.32
	均值	10.01	2.09	279.37	32.56	179.50	8.29
中	阴坡	11.61	2.24	306.29	35.39	201.21	8.28
	阳坡	9.96	2.25	267.78	29.84	174.29	8.20
	均值	10.78	2.24	287.04	32.62	187.75	8.24
下	阴坡	12.18	2.33	309.05	35.84	207.31	8.11
	阳坡	10.16	2.02	271.15	30.01	185.03	8.07
	均值	11.17	2.18	290.10	32.92	196.17	8.09

注: 有机质、全磷单位为 g/kg , 速效磷、速效氮、速效钾单位为 mg/kg 。

由表 1 可看出, 基材营养因子含量总体上均随距坡顶距离的增大而提高, 尤其是速效钾和作为生物源的有机质在下坡位的均值含量分别高于上坡位 9.29% 和 11.59%。这是由于研究区域的多雨和湿润气候, 以及长期的冲刷作用使许多物质和营养元素经水分渗透和地表径流由坡顶向坡脚迁移造成的, 即: 下坡位是其它坡位水土流失的一个汇^[14-15]。全磷在不同坡位和坡向并未表现出明显的变化规律, 受坡位和坡向的影响也不显著 ($P > 0.05$), 可能与其受坡面微地形影响有关^[11]。碱解氮含量则在各坡位的变化较小, 沿坡面向下只有略微上升的趋势, 且其含量总体水平相对速效磷和速效钾过低, 说明该元素在生境中以消耗过程为主^[13]。氮是构成蛋白质的主要成分, 对植被根茎的生长和果实的发育具有重要作用, 是与产量最密切相关的营养元素, 消耗率较高, 因而表现为含量明显低于速效磷和速效钾。pH 值则沿坡面向下逐渐降低, 下坡位平均值低至 8.09, 受坡位影响显著 ($P < 0.05$), 原因可能是下坡位植被生长茂盛, 表层根系分布较多, 根系呼吸产生的 CO_2 、根分泌的有机酸和 H^+ 及凋落物分解过程产生的酸性物质致使土壤 pH 值降低^[16]。但所有取样点的 pH 值均超过了 8.0, 造成这种现象的原因可以归为: 该技术原材料中掺入了水泥, 使得植被基材在引入了绿化添加剂的情况下仍呈弱碱性。资料显示^[17]: 要使土壤中各种营养的可给性都提高, 土壤的 pH 值应为 6.0~7.5。

受坡向影响, 土壤营养因子含量因日照情况差异

也各不相同^[18]。阴坡大多数营养因子含量均高于阳坡,只在中坡位阳坡全磷含量稍高于阴坡。而且从现场情况来看,阴坡植被生长情况也明显好于阳坡,说明阴坡更适合人工植被群落发育。方差分析也表明,坡向对有机质、速效磷、速效钾含量有极显著影响($P < 0.01$),对碱解氮含量、pH 值有显著影响($P < 0.05$),对全磷含量无显著影响($P > 0.05$)。造成该结果一方面与植物喜阴、喜阳性有关,另一方面也与含水率差异对营养因子释放能力影响有关。

表 2 不同年限基材营养因子含量情况

年限	有机质	全磷	速效磷	碱解氮	速效钾	pH
2004	10.86	2.38	300.75	39.63	201.49	8.28
2005	11.53	2.54	298.93	41.26	208.63	8.32
2006	9.35	2.17	257.16	26.40	155.24	8.23
2007	10.62	1.83	280.37	27.97	183.38	8.11
2008	10.91	1.93	290.29	28.23	190.30	8.09

注:1、有机质、全磷单位为 g/kg,速效磷、速效氮、速效钾单位为 mg/kg;2、表中取值为不同坡向和坡位的平均值。

土壤营养因子含量和 pH 值随年限的变化如表 2,由表可知:工程建成后第一年,虽然植被的快速生长对营养元素的消耗很大,但由于植被混凝土中人工添加的腐殖质大量分解产生养分,使得各营养因子含量有略微上升的趋势;第二年,随着固有成分逐渐分解殆尽,营养因子含量也随之降低。有机质、全磷、速效磷、碱解氮、速效钾的下降值分别达到

18.91%、14.57%、13.97%、36.02%、25.59%。其中碱解氮含量下降幅度最大,进一步说明该元素在生境中以消耗过程为主,群落发育对氮的需求较大;两年后,植被群落经过不断地发育、演替,物种多样性得到提升,群落结构得到优化,本地物种逐步替代先锋物种,使人工植被群落与自然群落环境协调一致,基材的水土保持和养分吸收能力也得到增强,各营养因子含量也逐步回升;另一方面,群落演替过程中产生的大量动植物残体,腐烂后能形成腐殖质,进而转化为能为植被吸收的养分,因而总体上基材营养因子含量变化趋势为先下降后逐步上升。此外,土壤微生物种类和含量的增多也令基材酸碱度环境有所改善,随着年限增长,pH 值不断降低,缓慢趋于植被生长的适宜范围。总之,年限对于植被混凝土基材各营养因子的影响是显著的,方差分析表明,年限对全磷、速效钾的影响达到极显著水平($P < 0.01$);对有机质、速效磷、碱解氮和 pH 值的影响达到显著水平($P < 0.05$)。

3.3 各指标相关性分析

植被混凝土肥力指标间不是孤立存在的,而是相互关联。进行相关性分析可以揭示各属性指标之间的牵连程度和协调效应,有助于对植被混凝土基材性质的变化做出合理解释。同时,相关系数的大小可以反映指标间所包含信息的重叠程度,从而为植被混凝土生态防护工程质量评价体系的建立提供依据。

表 3 各肥力指标间相关性比较

指标	含水率	容重	有机质	全磷	速效磷	碱解氮	速效钾	pH 值
含水率	1.000	-	-	-	-	-	-	-
容重	-0.480 *	1.000	-	-	-	-	-	-
有机质	0.143	-0.710 **	1.000	-	-	-	-	-
全磷	0.208 *	-0.572 *	0.612 *	1.000	-	-	-	-
速效磷	-0.099	-0.388 *	0.307 *	0.712 *	1.000	-	-	-
碱解氮	0.039	-0.957 **	0.739 **	0.173	0.009	1.000	-	-
速效钾	0.477 *	-0.888 **	0.539 *	0.331 *	0.150	0.739 **	1.000	-
pH 值	0.587 *	-0.248 *	0.269 *	0.317 *	-0.120	0.304 *	0.587 *	1.000

注:“*”表示 $P < 0.05$;“**”表示 $P < 0.01$ 。

将基材肥力指标一起进行相关性分析,结果见表 3。由表可见,容重与全磷、速效磷、pH 值显著负相关,与有机质、碱解氮、速效钾则极显著负相关,说明容重增大确实意味着土壤有退化的趋势;有机质则与全磷、速效磷、速效钾、pH 值显著正相关,与碱解氮极显著正相关。

4 结论及建议

4.1 结论

(1) 不论阴坡或阳坡,下坡位含水率和容重情况

都要好于中坡位和上坡位,说明坡体上部更易退化;阴坡含水率普遍高于阳坡,容重则无明显差异;

(2) 下坡位营养因子含量普遍高于上坡位,即下坡位是其它坡位水土流失的一个汇,pH 值随坡位的下降而下降;阴坡营养因子含量普遍高于阳坡。但全磷含量却随坡向坡位变化无明显差异;

(3) 基材物理性质在完工初期(1~2 a)表现较好;随之因群落演替速度减缓,基材活性降低,物理指标水平降低;3 a 后,本地物种的进入和群落不断的正向演替,以及微生物群落结构的改善,使基材水

土保持能力增强,物理指标水平又继续提高。基材营养因子含量初期因人工恢复植被的快速生长而大幅降低;随之则因群落持续演替所产生的动植物残体增多和基材活性化的提高,营养因子含量也稳步增加;

(4) 坡位和坡向因素对基材物性以及大部分营养因子(除全磷外)产生了显著或极显著影响,但坡向对容重无显著影响;年限则对基材各项性质均有显著或极显著影响;

(5) 基材物理指标间、营养因子间以及理化指标间均存在相关关系,说明植被会促进基材养分的积累和结构的改善,最终又反过来促进植被群落的生长演替。同时也说明对生态护坡工程的评价指标不能单一化,需综合多项指标考虑。

4.2 建议

(1) 基材肥力指标因坡位坡向的不同存在差异,所以进行人工恢复植被物种选择时,在遵循物种选择原则基础上,除考虑区域气候、环境特征外,还需运用生态位理论,对植被建设采取分层结构模式。如上坡位含水率小,土层薄,可多播撒诸如柠条(*Korshinsk peashrub*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)等耐旱物种;阳坡则可多播撒诸如盐肤木(*China sumac*)、百脉根(*Lotus corniculatus*)等喜阳性物种;

(2) 生态护坡工程对植被覆盖度的要求造成施肥量大幅增加,施肥又偏重单一肥料,造成各营养元素比例失调,特别是氮含量严重缺乏。施肥时应合理确定氮、磷、钾等营养元素的配方比例,强化培肥,或者多选用耐贫瘠耐旱的固氮植物,以提高氮含量;

(3) 各取样点 pH 值均超过 8.0,而土壤适宜 pH 值为 6.0~7.5,表明仍需对植被混凝土配方加以改进;

(4) 基材活性化程度不高是造成人工恢复植被易退化的主因,是制约生态恢复长效性的瓶颈。其根本在于基材中土壤微生物、土壤酶种类和数量较少,群落结构不合理。因而在植被混凝土生态防护技术后续发展中,应将研发以水泥为胶结材料的生态护坡基材活性化技术作为重点研究方向。

参考文献:

[1] 李绍才,孙海龙. 中国岩石边坡植被护坡技术现状及发展趋势[J]. 资源科学, 2004, 26(增刊): 61-66.
[2] 张玉兰,王俊宇,马星竹,等. 提高磷肥有效性的活化技

术研究进展[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 194-202.

- [3] 许文年,叶建军,周明涛,等. 植被混凝土护坡绿化技术若干问题探讨[J]. 水利水电技术, 2004, 35(10): 50-52.
[4] 王铁桥,许文年,叶建军,等. 挖方岩石边坡绿化技术与方法探讨[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2003, 25(2): 101-104.
[5] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标方法[J]. 土壤与环境, 2002, 11(2): 202-205.
[6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
[7] 王国梁,刘国彬,党小虎. 黄土丘陵区不同土地利用方式对土壤含水率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 31-35.
[8] Ursino N, Contarini S. Stability of banded vegetation patterns under seasonal rainfall and limited soil moisture storage capacity[J]. Advances in Water Resources, 2006, 29: 1556-1564.
[9] 刘晓苟,山仑,邓西平. 不同土壤水分条件下土壤容重对玉米根系生长的影响[J]. 西北植物学报, 2000, 22(4): 831-838.
[10] 高雪松,邓良基,张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-60.
[11] 周萍,刘国彬,侯喜禄. 黄土丘陵区侵蚀环境不同坡面及坡位土壤理化特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 7-12.
[12] Lowery B, Swan J. Physical properties of selected soils by erosion class[J]. Soil Water Conserv, 1995, 50: 306-311.
[13] 曹靖,常雅君,苗晶晶,等. 黄土高原半干旱区植被重建对不同坡位土壤肥力质量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(1): 169-173.
[14] Brubaker S C, Jones A J, Lewis D T, et al. Soil properties associated with landscape position[J]. Soil Sci Soc Am. J., 1993, 57: 235-239.
[15] 刘世梁,傅博杰,吕一河,等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 414-420.
[16] 杨光,丁国栋,常国梁,等. 黄土高原不同退耕还林地森林植被改良土壤特性研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 204-207.
[17] 陈洪明,陈立新,王殿文. 落叶松人工林土壤酸度质量与养分关系研究现状与趋势[J]. 防护林科技, 2004(5): 46-49.
[18] 王绍令,丁永建,赵林,等. 青藏高原局地因素对近地表层地温的影响[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 85-89.