

程立平,赵玉明,刘沛松. 豫西低山丘陵区不同植被修复模式下土壤养分评价[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):423-426.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.132

# 豫西低山丘陵区不同植被修复模式下土壤养分评价

程立平,赵玉明,刘沛松

(平顶山学院资源与环境科学学院,河南平顶山 467000)

**摘要:**以荒草地为对照,测定了豫西低山丘陵区不同林草复合的植被修复模式下土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾含量,对其土壤养分状况进行评价。结果表明:该区荒草地土壤养分除速效钾外,其他各养分含量均偏低,说明该区荒草地土壤肥力处于低水平。植被修复措施对于土壤有机质、全氮、全磷、速效磷含量具有显著提升作用,但对土壤速效氮、全钾、速效钾含量无显著提升作用。不同植被生态修复模式下土壤养分指数大小依次为侧柏+苜蓿>栓皮栎+苜蓿>刺槐+苜蓿>速生杨+苜蓿>苜蓿草地,说明该区侧柏+苜蓿和栓皮栎+苜蓿模式在改善土壤养分方面表现较好。豫西低山丘陵区土壤贫瘠,养分有效性差,植被修复方式能够使土壤养分得到一定程度恢复,但必然是一个漫长过程。

**关键词:**低山丘陵区;生态修复;土壤养分;豫西;植被修复模式

**中图分类号:**S158.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)10-0423-03

豫西低山丘陵区水土流失严重、生态环境脆弱,是河南省生态建设的重点区域。植被建设作为传统、有效的生态修复方式被广泛应用于不同地区生态环境建设中<sup>[1-3]</sup>,土壤养分特征一直是评价生态修复效果的重要内容之一<sup>[4-6]</sup>。目前,有关不同生态修复模式土壤养分方面的研究已有很多<sup>[7-9]</sup>,但是针对豫西低山丘陵区土壤养分的研究则较少<sup>[10]</sup>,尤其是关于该地区不同植被修复模式下土壤养分状况及其评价研究鲜有报道。本研究就豫西低山丘陵区5种林草复合植被修复模式下土壤养分状况进行探讨,以期为该地区生态修复树种的合理配置以及土壤肥力的管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于河南省鲁山县库区乡境内,地处伏牛山东麓低山丘陵地带,土壤类型以褐土、潮土、黄棕壤土为主。该地区属北亚热带向暖温带过渡地带,年均气温 14.8℃,大于 10℃的年积温 4 735℃,无霜期 209 d。降水量年际变化大,多年平均降水量 810 mm,其中 70% 以上的降水集中在 7—9 月份,高温期与雨季同步。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 取样及测定** 野外采样于 2014 年 3 月中旬进行,以低山丘陵区生态修复试验示范基地为研究对象。该试验基地于 2009 年建立,其自然地貌状况与豫西低山丘陵区接近,坡向为西南,坡度 22°。根据当地植被及生态环境特点,试验基地设置 5 种林草复合的植被修复模式,分别为苜蓿样地、杨树

+苜蓿样地、侧柏+苜蓿样地、栓皮栎+苜蓿样地、刺槐+苜蓿样地,同时设置荒草地为对照。每个样地坡长 25 m、宽 15 m。各样地按坡向从上至下分 4 个区段采样(坡上、坡中上、坡中下、坡下),每个区段的同一水平等距离分别设置 3 个采样点(图 1),采集 0~20 cm 土层土壤带回实验室备用。将带回的土壤样品剔除可见的动物、植物残体和石块并风干,用“四分法”取样,过 0.25、1.00 mm 筛,按常规方法测定土壤样品的有机碳、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量。

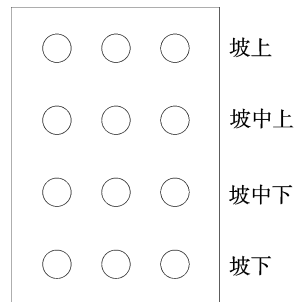


图1 采样点分布

**1.2.2 土壤养分指数计算<sup>[11]</sup>** 用土壤养分指数(SNI)综合评价低山丘陵区不同生态修复模式下的土壤养分水平。先通过相对系数法将各指标量纲归一化,得到各个肥力指标的隶属度值:

$$C_i = f_i / f_{\max}$$

式中: $C_i$  为各养分指标的隶属度值; $f_i$  为各养分指标的原始值; $f_{\max}$  为各养分指标的最大值。

然后根据主成分分析中各养分指标的公因子方差确定其权重系数,最后计算土壤养分指数 SNI:

$$SNI = \sum_{i=1}^n C_i \times K_i$$

式中: $K_i$  为各肥力指标的权重系数; $C_i$  为各肥力指标的隶属

收稿日期:2015-03-16

基金项目:林业公益性行业科研专项(编号:201004044);平顶山学院高层次人才科研启动基金(编号:PXY-BSQD-2014009)。

作者简介:程立平(1981—),男,陕西渭南人,博士,讲师,主要从事生态水文和土壤物理研究。Tel:(0375)2077263;E-mail:lpchengnwu@163.com。

度值。

2 结果与分析

2.1 豫西低山丘陵区土壤养分分级

依据全国第 2 次土壤普查有关标准,将豫西低山丘陵区土

壤养分含量分为 6 个级别,分别计算其土壤养分指数 SNI。由表 1 可以看出,一级土壤养分指数大于 4.8(很高),二级土壤养分指数为 3.5~4.8(高),三级土壤养分指数为 2.4~3.5(中上),四级土壤养分指数为 1.4~2.4(中下),五级土壤养分指数为 0.8~1.4(低),六级土壤养分指数小于 0.8(很低)。

表 1 土壤养分分级标准

级别	有机碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	速效氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	养分指数
一级	>40	>2.00	>1.0	>25	>150	>40	>200	>4.8
二级	>30~40	>1.50~2.00	>0.8~1.0	>20~25	>120~150	>20~40	>150~200	>3.5~4.8
三级	>20~30	>1.00~1.50	>0.6~0.8	>15~20	>90~120	>10~20	>100~150	>2.4~3.5
四级	>10~20	>0.75~1.00	>0.4~0.6	>10~15	>60~90	>5~10	>50~100	>1.4~2.4
五级	>6~10	>0.50~0.75	>0.2~0.4	>5~10	>30~60	>3~5	>30~50	>0.8~1.4
六级	≤6	≤0.50	≤0.2	≤5	≤30	≤3	≤30	≤0.8

2.2 不同植被修复模式下的土壤养分特征

由表 2 可见,豫西低山丘陵区不同林草复合模式下土壤养分状况差异明显。土壤有机质是土壤固相部分的重要组成部分,是评价土壤质量的重要指标之一。由表 1、表 2 可以看出,研究区荒草地土壤有机质含量属于低水平,不同生态修复模式之间土壤有机质含量无显著差异;但是相对于对照(荒草地),各修复模式处理均能显著提高土壤有机质含量,从而

使土壤有机质含量达到中下水平。其原因在于各植被修复模式下植物的凋落物、死亡的植物体及根系量均较荒草大地,从而提高了土壤有机质含量。5 种生态修复模式中,栓皮栎+苜蓿模式下土壤有机质含量最高,较荒草地提高了 47.03%;速生杨+苜蓿模式下土壤有机质含量最低,较荒草地提高了 37.12%。

表 2 不同修复模式下土壤养分特征

模式	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
苜蓿	13.28±2.25a	0.84±0.14a	0.28±0.11a	7.39±1.13a	28.92±2.91a	3.80±0.51a	94.36±37.90a
速生杨+苜蓿	13.15±3.88a	0.83±0.25a	0.36±0.08b	7.34±0.68a	28.48±2.02a	3.46±0.65ab	89.03±15.71a
侧柏+苜蓿	14.09±3.86a	0.88±0.24a	0.37±0.10b	7.76±0.38a	28.09±3.28a	3.64±0.52ab	104.63±27.18a
栓皮栎+苜蓿	14.10±3.26a	0.88±0.20a	0.31±0.41ab	7.75±0.49a	27.96±3.22a	3.68±0.72ab	97.68±34.87a
刺槐+苜蓿	13.93±3.85a	0.87±0.24a	0.26±0.07a	8.05±0.60a	29.03±2.68a	3.20±0.66bc	98.93±28.12a
荒草(对照)	9.59±3.48b	0.60±0.22b	0.24±0.14a	8.05±1.68a	27.84±3.29a	2.79±0.55c	112.46±23.17a

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

氮、磷、钾是植物的主要养分元素,也是土壤中常因供应不足而影响作物产量的三大要素。氮素作为活细胞的基本组成成分,是植物生长大量需要的养分要素。同有机质含量的规律一致,荒草地上土壤全氮含量同样属于低水平;不同生态修复模式均能显著提高土壤全氮含量,从而使土壤全氮含量达到中下水平,其中侧柏+苜蓿模式下土壤全氮含量最高,较荒草地提高了 46.67%;速生杨苜蓿模式下土壤全氮含量最低,较荒草地提高了 38.33%。在速效氮含量方面,虽然各生态修复模式下速效氮含量均略高于对照,但与其并无显著差异,均处于很低的水平。其原因可能在于,苜蓿虽然作为固氮作物被引入,但是其固定的氮(尤其是速效氮)被修复植被消耗,因而各修复模式下土壤速效氮含量与荒草地无显著差异。

磷在植物体中的含量仅次于氮、钾,其对植物生理过程有重要作用。从表 2 可以看出,5 种生态修复模式和荒草地上土壤全磷含量均属于低水平,但不同模式下土壤全磷含量差异明显,具体表现为侧柏+苜蓿>速生杨+苜蓿>栓皮栎+苜蓿>苜蓿>刺槐+苜蓿>荒草地;其中侧柏+苜蓿、速生杨+苜蓿模式均显著高于荒草地,而苜蓿、刺槐+苜蓿、栓皮栎+苜蓿 3 种模式下土壤全磷含量与荒草地无显著差异。在速效磷方面,荒草地属于低水平,5 种生态修复模式下均达到

中下水平;但刺槐+苜蓿模式下土壤速效磷含量与荒草地无显著差异,其他 4 种修复模式下土壤速效磷含量均显著高于荒草地,其中苜蓿草地上土壤速效磷含量最高,较荒草地提高了 36.0%。

钾在促进植物代谢过程、增强作物的抗逆性和抗病能力方面起着重要的作用。从表 2 可以看出,不同生态修复模式下,不管是土壤全钾含量还是速效钾含量均与对照荒草地无显著差异;但从数值来看,荒草地上土壤钾含量反而略高于各生态修复模式,如荒草地速效钾含量达到了中上水平,而 5 种修复模式中除侧柏+苜蓿外均属于中下水平,其原因可能在于植被修复条件下对土壤钾的消耗大于荒草地。

综上,在豫西低山丘陵区采用林草复合的植被修复措施对于土壤有机质、全氮、全磷、速效磷含量具有显著的提升作用,而对土壤速效氮、全钾、速效钾含量无显著提升作用。

2.3 不同植被修复模式下土壤养分综合评价

为了综合评价豫西低山丘陵区林草复合的植被修复模式土壤养分水平,借助主成分分析法计算了不同修复模式下土壤养分指数 SNI(图 2)。从图 2 可以看出,豫西低山丘陵区荒草地土壤养分指数仅为 1.36,土壤养分处于低水平;不同修复模式均能提高土壤养分指数,从而使土壤养分均达到中下

水平。各植被修复模式之间,土壤养分指数从大到小依次为侧柏+苜蓿>栓皮栎+苜蓿>刺槐+苜蓿>速生杨+苜蓿>苜蓿,表明侧柏+苜蓿和栓皮栎+苜蓿模式在改善土壤养分方面表现较好。与荒草地对比,侧柏+苜蓿模式下土壤养分水平提高了 19.12%,而苜蓿草地模式土壤养分水平提高最小,仅为 8.09%。

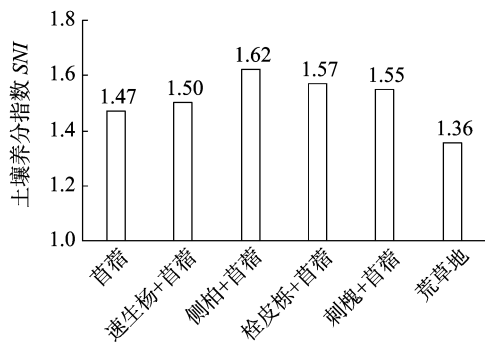


图2 不同生态修复模式下的土壤养分指数

利用前文介绍的方法,对不同坡位土壤养分指数进行计算。从图 3 可以看出,无论是植被生态修复模式还是对照,土壤养分指数均从坡上向坡下增加。这是由于研究区水土流失问题严重,在上坡位降水容易产生径流,造成坡面表层土壤养分流失,土壤养分含量降低;下坡位的土壤侵蚀较上坡位轻,并能承接上坡位来的径流和土壤养分,从而使土壤养分含量增加。

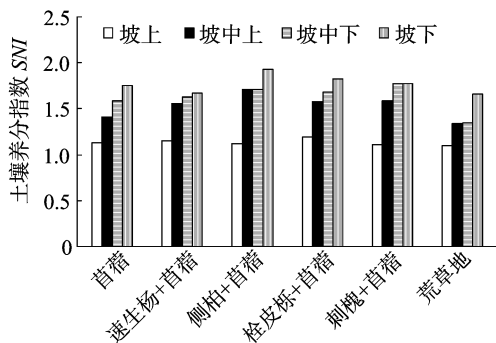


图3 不同坡位土壤养分指数

不同坡位荒草地土壤养分指数均为最低。坡上位土壤养分指数极差仅为 0.09,表明荒草地和植被修复模式土壤养分水平在坡上位并无明显差异。而坡中上、坡中下、坡下土壤养分指数最大的植被修复模式均为侧柏+苜蓿,与荒草地差值分别为 0.38、0.43、0.27,表明荒草地和植被修复模式在坡中位和坡下位土壤养分差异明显。这是因为坡面上植被修复措施能够有效阻止土壤侵蚀,从而达到保持土壤养分效果,在坡中位、坡下位表现尤为明显。上述结果说明,坡面上侧柏+苜蓿模式在保持土壤养分方面表现较好。

### 3 结论与讨论

我国大面积的荒山荒坡由于严重的水土流失,土层浅薄,土壤贫瘠,土壤极度退化<sup>[12]</sup>。在豫西低山丘陵区荒草地土壤养分除速效钾外,其他各养分含量均偏低,土壤养分指数仅为 1.36,说明该区荒草地土壤养分处于低水平。

土壤养分是林木植被生长的基础,土壤肥力水平直接影

响林木生长发育<sup>[4]</sup>,而植被修复是保持水土、改善生态环境的重要手段,是生态脆弱区生态修复的重要内容。以往研究表明,荒山荒坡的治理和改良应以固氮植物作为先锋植物,不仅可以改善土壤肥力和保持水土,而且固氮植物生长一定时间之后,实施造林成功率会大为提高<sup>[12]</sup>。将具有固氮作用的紫花苜蓿引入以乡土树种为主的林草复合的植被修复模式中,是对豫西低山丘陵区生态恢复的尝试和创新<sup>[13]</sup>。以荒草地为对照,豫西低山丘陵区不同林草复合的植被修复模式对于土壤有机质、全氮、全磷、速效磷含量均有显著的提升作用,但对土壤速效氮、全钾、速效钾含量无显著提升作用。在植被恢复初期土壤有机质恢复较快,但植被恢复一定时期后,土壤有机质含量则趋于稳定<sup>[7]</sup>,这是因为在恢复前期,植被生长更新快,有利于有机质累积,提高土壤质量效果较好。土壤氮素多来源于有机质分解,诸多研究证明土壤全氮含量与有机质含量呈正相关关系<sup>[14-15]</sup>,因而植被恢复过程中土壤全氮含量变化趋势与有机质含量变化规律一致。但是由于植被生长过程中吸收同化作用显著,使土壤中速效氮含量并未得到显著提升。土壤磷素、钾素除受母质中矿物成分和有机质积累情况的影响<sup>[16]</sup>,还与水土流失状况有关<sup>[10]</sup>。林草复合植被修复模式提升了地表植被覆盖度,有效减少水土流失量,因而土壤磷素含量显著提升;但是由于豫西低山丘陵区土壤钾素本底值较高,植被生长反倒使荒草地下土壤钾肥含量略高于各生态修复模式。

由于土壤肥力形成机制的复杂性,不同学者对土壤肥力内涵和外延理解不同,因此土壤肥力评价方法和评价指标也不一致<sup>[11]</sup>。但是对土壤养分进行综合评价已成为区域生态建设与环境恢复的一项重要内容<sup>[17-19]</sup>。本研究中,低山丘陵区生态修复试验示范基地建成 4 年后,不同林草复合植被修复模式下土壤养分指数大小依次为侧柏+苜蓿>栓皮栎+苜蓿>刺槐+苜蓿>速生杨+苜蓿>苜蓿草地,表明侧柏+苜蓿和栓皮栎+苜蓿模式在改善土壤养分方面表现较好。与荒草地对比,侧柏+苜蓿模式下土壤养分水平提高了 19.56%,而苜蓿草地模式土壤养分水平提高最小,仅为 8.33%。黄土丘陵区的研究表明,人工林土壤养分的恢复是一个漫长过程,至少需 27 年才能达到中等及以上养分水平<sup>[16]</sup>。综合本研究结果,豫西低山丘陵区土壤贫瘠,养分有效性差,尽管林草复合的植被修复方式能够使土壤养分得到一定程度恢复,但是其必然是一个漫长过程。因而从土壤肥力恢复的角度对该区植被修复模式树种的合理配置以及管理都需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 张文辉,刘国彬. 黄土高原地区植被生态修复策略与对策[J]. 中国水土保持科学,2009,3(3):114-118.
- [2] 林建平. 华南水土流失区植被建设研究——以广东珠海试验研究为例[J]. 热带地理,1998,18(4):316-321.
- [3] 侯永平,段昌群,何 锋,等. 滇中高原不同植被恢复条件下土壤肥力和水分特征研究[J]. 水土保持研究,2005,12(1):49-53.
- [4] 许明祥,刘国彬,卜崇峰,等. 黄土丘陵区人工林地土壤肥力评价[J]. 西北植物学报,2003,23(8):1367-1371.
- [5] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响——以河北省遵化市为例[J]. 地理学报,2001,56(4):447-455.

刘龙昌,司卫杰,周红丽,等. 3 种酸碱环境模拟方法的比较[J]. 江苏农业科学,2015,43(10):426-431.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.10.133

### 3 种酸碱环境模拟方法的比较

刘龙昌,司卫杰,周红丽,王 菲,陈 然,周正军

(河南科技大学林学院,河南洛阳 471003)

**摘要:**比较研究 NaOH/HCl 法、磷酸缓冲液法和综合法不同酸碱环境模拟方法对确定适宜的方法具有重要意义。以白菜(*Brassica rapa* var. *chinensis*)为试验材料,研究 NaOH/HCl 法、磷酸缓冲液法和综合法对种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明,不同模拟方法的萌发指数、活力指数、根长和苗长在所有 pH 值条件下均有极显著差异( $P < 0.01$ )。处理液浸种时,所有 pH 值条件(除了 pH 值为 6 的以外)下不同模拟方法的萌发率差异显著( $P < 0.05$ );蒸馏水浸种时,不同模拟方法的萌发率虽然也有一定的差异,但随 pH 值的变化并未呈现出规律性变化。在所有 pH 值条件下,磷酸缓冲液法的上述 5 个参数都最低,同时它们也显著低于对照。这说明磷酸缓冲液对种子萌发和幼苗生长有明显的抑制和毒害作用。用 NaOH/HCl 法模拟时,在大多数 pH 值条件下,处理间及其与对照间的上述 5 个参数均无明显差异,蒸馏水浸种时尤为如此。这表明 NaOH/HCl 法和磷酸缓冲液法不是合适的模拟方法,综合法是最理想的方法;处理液浸种好于蒸馏水浸种。

**关键词:**pH 值;酸碱环境;模拟方法;萌发指数;活力指数;根长;苗长;白菜

**中图分类号:** O655.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)10-0426-06

在植物的生活史中,种子萌发和幼苗阶段是植物对环境胁迫忍耐力最小的阶段<sup>[1]</sup>。除了种子自身的健康状况、休眠等内部因素以外,种子能否顺利萌发出苗,还受到外界环境因子如温度、光照、pH 值、土壤水分和盐分等的影响<sup>[2-3]</sup>,pH 值是影响土壤养分形态和有效性的主要因素之一<sup>[4]</sup>。大多数植物适合在中性土壤中生长,pH 值过高或过低都会影响种子萌发和幼苗生长<sup>[5]</sup>,也可能会使植物所需营养元素的生物有

效性发生变化,进而导致植株某些营养元素失调<sup>[6]</sup>。pH 值也可通过影响种子的蛋白水解酶活性或膜势能影响种子的萌发<sup>[7-8]</sup>。

在研究 pH 值对植物种子萌发和幼苗生长的影响时,不同研究者往往采用不同的方法模拟土壤的酸碱环境,目前涉及的模拟方法多达近 10 种<sup>[9-12]</sup>。按化合物种类和作用原理的不同,可将其可分为三大类:强酸碱法<sup>[13]</sup>、磷酸缓冲液法<sup>[3,14]</sup>、综合法,即不同 pH 值区段采用不同的缓冲溶液<sup>[2,15]</sup>。因所采用的化合物种类不同,上述各种模拟溶液中的离子类型和离子强度就会明显不同,不同模拟方法 pH 值的稳定性也会有一定差异。因此,从理论上来说,采用不同方法模拟的研究结果可能会有很大差异。但是,目前尚缺乏这方面的实证性研究报道。因此,本研究以白菜(*Brassica rapa* var.

收稿日期:2014-10-22

基金项目:地方高校国家级大学生创新创业训练计划(编号:111419040219);河南科技大学人才基金(编号:09001076)。

作者简介:刘龙昌(1968—),男,山东菏泽人,博士,副教授,主要从事植物学和入侵植物研究。E-mail:snowliu91@163.com。

[6]孙 波,张桃林,赵其国,等. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报,1995,32(4):362-369.

[7]聂斌斌,蔡强国,张卓文,等. 植被恢复过程中土壤有机质和全氮的变化特征及区域差异[J]. 中国生态农业学报,2011,19(2):363-371.

[8]王尚义,石 瑛,牛俊杰,等. 煤矸石山不同植被恢复模式对土壤养分的影响——以山西省河东矿区 1 号煤矸石山为例[J]. 地理学报,2013,68(3):372-379.

[9]王 征,刘国彬,许明祥,等. 黄土丘陵区植被恢复对深层土壤有机碳的影响[J]. 生态学报,2010,30(14):3947-3952.

[10]刘沛松,王健胜,楚纯洁,等. 豫西低山丘陵区不同土地利用方式对陡坡地土壤理化性状的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(1):208-212,229.

[11]张庆费,宋永昌,由文辉. 浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系[J]. 生态学报,1999,19(2):174-178.

[12]唐 亚,陈克明,谢嘉穗,等. 论固氮植物在山区农业持续发展中的应用[J]. 地理研究,1999,18(1):73-78.

[13]刘沛松,王秀丽,文祯中,等. 伏牛山低山丘陵区林-草复合生态修复模式研究[J]. 平顶山学院学报,2011,26(2):88-91.

[14]魏孝荣,邵明安. 黄土高原沟壑区小流域不同地形下土壤性质分布特征[J]. 自然资源学报,2007,22(6):946-953.

[15]陈刚才,甘 露,王仕禄,等. 土壤氮素及其环境效应[J]. 地质地球化学,2001,29(1):63-67.

[16]张振国,黄建成,焦菊英,等. 黄土丘陵沟壑区退耕地人工柠条林土壤养分特征及其空间变异[J]. 水土保持通报,2007,27(4):114-120.

[17]王 芳,黄 玫,孙希华,等. 大小兴安岭林区不同林型土壤养分综合评价[J]. 水土保持通报,2013,33(1):182-187.

[18]于 江,朱昌雄,郭 萍,等. 生物腐植酸对新疆甘草产地沙退化土壤修复效果评价——以土壤养分指标为例[J]. 中国农业气象,2010,31(3):369-373,378.

[19]Yu C B,Chen F,Luo Z J,et al. Evaluation of soil nutrient status in poplar forest soil by soil nutrient systematic approach[J]. Journal of Forestry Research,2004,15(4):298-300,337.