

# 晋西黄土区林草复合界面土壤水分养分分布规律研究<sup>\*</sup>

马雯静, 毕华兴, 云雷, 陈攀攀, 田晓玲

(北京林业大学 水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 山西吉县森林生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100083)

**摘要:**通过对晋西黄土区刺槐林与天然草带的复合界面及其对照(林地、草地)生长季土壤水分和养分(有机质、全氮、速效氮和速效钾)的测定,分析比较了其水分和养分的空间分布特征及其变化规律。结果表明,不同土壤层次的土壤含水量在水平方向上存在差异,在浅层土壤(0-20 cm),土壤含水量从大到小依次为:草地、林地、林草界面,在深层土壤(20-100 cm),土壤含水量从大到小依次为:草地、林草界面、林地;在垂直方向上,随着土层深度的增加,研究区林地、草地、林草界面的土壤含水量表现为逐渐降低的趋势,刺槐林地在60-100 cm土层中土壤含水量有少许回升。研究区复合类型内土壤养分分布不均衡,水平方向上有机质平均含量为林草界面<草地<林地;全氮平均含量为林草界面最小,草地与林地相差不大;速效磷平均含量为林地<草地<林草界面;速效钾平均含量为草地<林草界面<林地;垂直方向上,各个生态类型的有机质含量、全氮含量、速效钾含量随着土壤层次的加深逐渐减少,而速效磷含量在土壤的不同层次呈现不同的变化。

**关键词:**林草复合界面;土壤水分;土壤养分;晋西黄土区

中图分类号:S812.2;S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0078-05

## Distribution of Soil Moisture and Nutrients at the Grassland - Forestland Interface in the Loess Region of West Shanxi Province

MA Wen-jing, BI Hua-xing, YUN Lei, CHEN Pan-pan, TIAN Xiao-ling

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of Ministry of Education, National Field Research Station of Forest Ecosystem of Jixian, Shanxi, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the determination of soil moisture and nutrients at the grassland - forestland interface in the Loess Region of West Shanxi, comparative analysis of soil moisture and nutrients distribution and spatial variability were carried out. The results indicated that: the soil moisture between different soil layers under interface in horizontal direction presented different for different kinds. In 0 - 20 cm soil layer the soil moisture content is grassland > forestland > grassland - forestland, and in 20 - 100 cm soil layer the soil moisture content is grassland > grassland - forestland > forestland. With increasing soil depths, the soil moisture showed reducing tendency but increased in forestland in 60 - 100 cm soil layer. The soil nutrients were unevenly distributed. In horizontal direction, the average content of organic matter is grassland - forestland < grassland < forestland, the average content of total N of forestland - grassland interface is the least and that of forestland is the same as of grassland, the average content of available P is forestland < grassland < grassland - forestland, the average content of available K is grassland < grassland - forestland < forestland. In vertical directions, the content of organic matter and total N and available K reduced with the increasing soil depths in forestland and grassland as well as forestland - grassland interface, but the content of available P varied irregularly.

**Key words:** grassland - forestland interface; soil moisture; soil nutrients; loess region of west Shanxi province

\* 收稿日期:2009-03-03

基金项目:国家“十一五”科技支撑项目“黄土区农林复合系统可持续经营技术研究”(2006BAD03A0503)

作者简介:马雯静(1985-),女,河南漯河人,硕士,主要研究方向:农林复合系统种间关系。E-mail:mawenjinggood@163.com

通信作者:毕华兴(1969-),男,陕西米脂人,博士,教授,主要研究方向:林业生态工程。E-mail:bhx@bjfu.edu.cn

林草复合系统,泛指由森林和草地在空间上有机结合形成的复合人工植被或经营方式<sup>[1]</sup>,它是一种土地利用系统和工程应用技术的复合名称,是有目的地把多年生木本植物与农业、牧业用于同一土地经营单位并采取时空分布或短期相间的经营方式<sup>[2]</sup>。人工林草复合种植模式是林草植被恢复不可或缺的部分<sup>[3]</sup>,是我国干旱与半干旱地区农林复合的主要模式之一<sup>[4]</sup>。近年来,随着林草业的相互渗透及对生态环境综合治理的需要,林草复合经营日益受到国内外的重视。

在林草复合生态系统中,存在着一个明显的林草景观生态边界。简单地说,生态边界就是指在特定时空尺度下,相对均质的生态系统之间所存在的异质景观<sup>[5-8]</sup>。景观界面是两个或两个以上生态系统之间对水分、养分、能量等物质相互竞争的过渡地带,是生态系统与环境藕合动态过程的空间反应<sup>[9-10]</sup>。土壤养分和水分是森林生态系统的重要组成部分,对林草生长有重要影响。长期以来,国内外的生态学者对森林、草原等单一生态系统内的土壤水分、养分研究较多,对不同生态边界的土壤水分、养分的研究却相对较少<sup>[11-14]</sup>。

以农林复合种间关系理论为基础,以晋西黄土区人工刺槐林-天然草复合类型为研究对象,测定了刺槐林-天然草边界上的水分、养分含量,目的在于揭示土壤水分、养分的分布和变化规律,为该区土地合理利用提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于山西省吉县蔡家川流域(36°14' - 36°18' N, 110°40' - 110°48' E),流域主沟长 12.15 km,面积 40.10 km<sup>2</sup>。该流域为黄土高原残塬沟壑区和梁状丘陵沟壑区的典型地区,海拔 904~1 592 m,年平均降雨量为 579.5 mm,降水量季节分配不匀,4-10 月降水量为 521.4 mm,占全年总降水量的 90.5%,其中 6-9 月降水量占全年降水量的 70%左右,冬季(12 月至次年 2 月)降水量平均为 16.7 mm,占年平均降水量的 3%,年平均水面蒸发量为 1 723.9 mm,年均气温 10℃。土壤属黄土母质,土层深厚,土质均匀,在剖面不同深度分布有钙积层石灰结核或假菌丝体。流域森林覆盖率为 39.8%。

试验区为黄土区典型梁峁类型,位于蔡家川流域中部(36°16'24" N, 110°45'44" E),海拔 1 116 m,坡向为南偏东 7°,坡度为 18°。刺槐(*Robinia pseudo-acacia*)林龄为 15 a,株行距 1.5 m × 7.5 m,郁闭度 0.9,平均高 7.0 m,平均胸径 5.7 cm。草带平均草

高为 0.4 m,草本植物主要为荩草(*Arthraxon hispidus* (Thunb.) Makino)、曲麻菜(*Herba Sonchi Brachyoti*)、茜草(*Radix Rubiae*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、黄花蒿(*Artemisia annua* L.)、老鹳草(*Geranium wilfordii* Maxim)、草木犀(*Melilotus officinalis* (L.) Pall)、苦苣菜(*Ixeris denticulata* (Houtt.) Stebb),草本植物的总盖度为 0.8。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

在试验区内选取有代表性的刺槐与天然草地复合界面,并以刺槐纯林和天然草坡为对照。在林草复合界面内,以林草界面为中心点,向林内和草内各延伸 3 m;林草界面采样点为林内 3 m 到草内 3 m,刺槐纯林林地采样点为林内 3~15 m,草地采样点为草内 3~15 m(见图 1)。在垂直于林带且深入林内、草地的方向上设置两条样线,在每条样线上以中心点为起点每隔 3 m 分别向林内、草地内布设取样点,每个布测点分 0-20 cm、20-40 cm、40-60 cm、60-80 cm 和 80-100 cm 五个层次进行土壤水分和养分的取样,每条样线有 11 个测点,每个测点做 3 个重复。用土钻法测定土壤质量含水量,对样线上相同位置相同层次的土样混合,用土壤袋收集后带回实验室测定土壤养分含量。

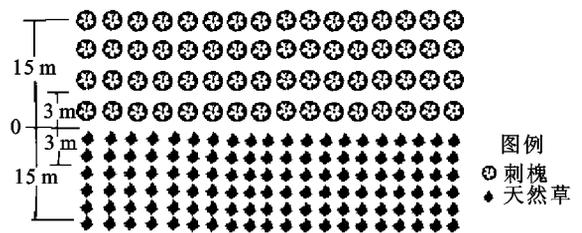


图 1 林草复合界面的分区

### 2.2 测定方法

土壤含水量测定采用烘干称重法测定,先称其湿重然后在 105℃ 下烘至恒重后称重。其计算公式为:土壤质量含水量(%) = (土壤湿重 - 烘干土重) / (烘干土重) × 100%

土壤养分测定是将土样风干、过筛后分析土壤养分,各项目测定均采用常规土壤化学分析法<sup>[15]</sup>。有机质用重铬酸钾容量法测定<sup>[16]</sup>;全 N 用凯氏蒸馏法测定;速效 P 用 1 mol/L NH<sub>4</sub>AC 浸提火焰光度法测定。

## 3 结果与分析

### 3.1 林草界面下土壤的水分布

3.1.1 土壤水分的垂直分布 从图 2 可以看出,在

土壤剖面上,随着土层深度的增加,林地、草地、林草复合界面的土壤含水量表现为下降的总体趋势,刺槐林地在 60 - 100 cm 土层中土壤含水量有少许回升。在整个林草复合生态系统中,土壤层因为有活地被物和死地被物的覆盖,增加了地表的有效糙率,增加了地表的入参与蓄水能力,故表层土壤含水量较大,根据余新晓等人<sup>[17]</sup>的研究结果,由于下渗等因素的影响,土壤深层的含水量将逐渐减少,本研究也得出了类似的结论。而刺槐林在 60 - 100 cm 土层中有少许上升是因为随土层深度的增加刺槐细根表面积密度逐渐增大,在 60 cm 左右的土层中达到最大值,之后随土壤深度的增加缓慢减少,土壤水分在根系分布层偏下层形成土壤水分含量的低点土层<sup>[18]</sup>,在植物根系中细根吸收和传输水分的能力最强,曹扬<sup>[18]</sup>的研究表明刺槐根系细根分布会在 60 cm 左右的土层中时达到最大,而大量细根会吸收比较多的水分,因此刺槐林地土壤含水量在 60 cm 左右土层达到最低 (6.50%)。

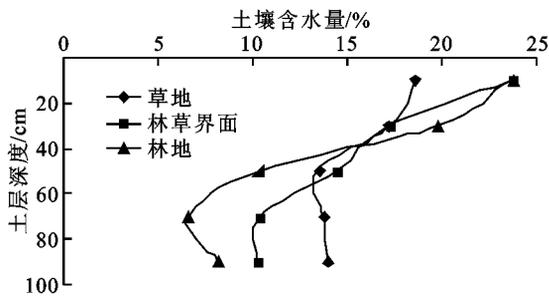


图 2 林草复合界面土壤水分的垂直分布

3.1.2 土壤水分的水平分布 水平分布上,浅层土壤(0 - 20 cm)草地土壤含水量最低,林地土壤含水量最高,林草界面土壤含水量介于草地和林地之间。这是因为表层土壤是草本植物根系分布和水分吸收的主要层次,而且与大气交换活跃,土壤蒸发强;刺槐林地林分郁闭度(0.9)较大,对表层土壤有遮阴作用,林下枯落物可以含蓄水分,对持水量也有很大的影响,增加水分的入渗,由于有遮阴作用土壤蒸发较小;而林草复合界面,属于林地和草地的过渡区域,

所以表层土壤中,土壤含水量从大到小依次为:林地 > 林草界面 > 草地。深层土壤(20 - 100 cm),由于 20 - 150 cm 是刺槐细根分布比较集中的土层<sup>[19]</sup>,对土壤水分影响大,能吸收的水分多,草本植物根系主要分布在浅层,对深层土壤水分吸收较少,深层土壤含水量较稳定,林草界面介于林地和草地两者之间,刺槐林深层的根系吸水,大量消耗水分,土壤为了能够持续为刺槐林供应水分,在驱动力作用下会使水分从含水量较高的草地向林地运移,形成一个处于林地、草地两者之间的界面区域,所以深层土壤中,土壤含水量从大到小的规律为:草地 > 林草界面 > 林地。

3.2 林草复合界面下的土壤养分空间分布特征

3.2.1 土壤养分在水平和垂直方向上的分布整体分布特征 林草复合界面下土壤养分分布特征见图 3。由图 3 可以看出,不同生态类型下的土壤养分分布不同。

在水平方向上其规律如下:有机质:林草界面 (3.21 g/kg) < 草地 (3.37 g/kg) < 林地 (3.38 g/kg);全氮:林草界面 (0.29 g/kg) < 草地 = 林地 (0.32 g/kg);速效磷:林地 (2.64 mg/kg) < 草地 (3.37 mg/kg) < 林草界面 (3.55 mg/kg);速效钾:草地 (134.35 mg/kg) < 林草界面 (140.72 mg/kg) < (148.06 mg/kg) 林地。

在垂直方向上,各个生态类型的有机质含量、全氮含量、速效钾的含量随着土壤层次的加深呈减少趋势;而速效磷含量随土壤的不同层次呈现较为杂乱的变化。绝对数量上各种生态类型中速效钾含量的分层差异比较明显(林地变幅 133.70 ~ 172.80 mg/kg,草地变幅 125.80 ~ 144.80 mg/kg,林草界面变幅 132.40 ~ 162.50 mg/kg)。土壤坡面上各种养分的分层变化是一个复杂的过程,受多种影响因素的制约,不仅与林木、草本植物根系本身的作用有关和表层有机物积累不同也有密切关系,这与魏勇<sup>[20]</sup>等人的研究结果是一致的。

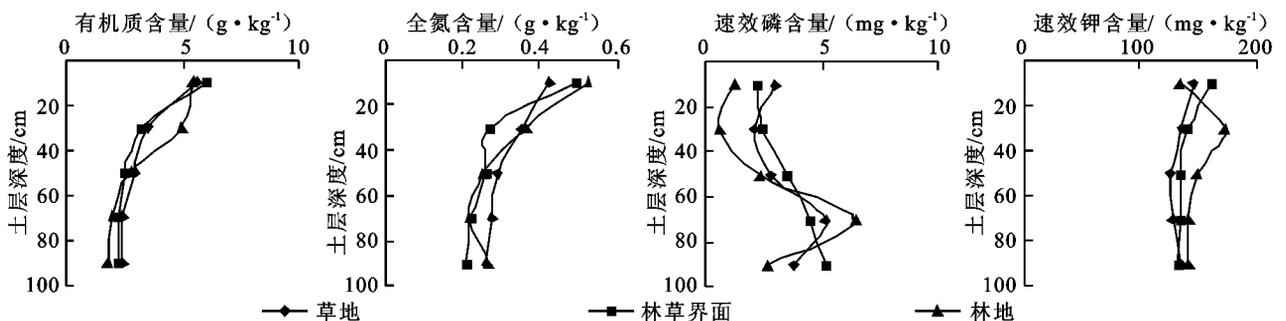


图 3 林草复合界面有机质、全氮、速效磷、速效钾的垂直分布

从图3看出:各生态类型有机质、全氮、速效钾含量的变化规律与水分变化规律基本一致,可知土壤水分和养分有一定的关联性,因为土壤中的养分不是以固态的形式存在,是溶解在水中的,根系吸收水的同时会吸收养分,在土壤中水分是矿质养分溶解的介质和矿质养分迁移的载体,根系的吸收作用和土壤水分状况会影响养分在土壤中的迁移与分布,根系对水分和养分的吸收利用会降低近根区水分和养分浓度,形成根际周围养分相对贫乏的区域,因此根的密集分布区吸收较多的水分相应会吸收较多的养分,宋海星<sup>[21-22]</sup>认为也是如此。而图3显示速效磷变化与水分变化趋势相反,随着深度的增加速效磷反而增大,在60-80 cm土层中最高,在土壤中速效磷的含量并不是只与水分关系密切,植物等营养状况、植物根系的分布、土壤中的微生物、生物的富集迁移作用以及各种复杂的生态作用都会影响速效磷的分布,这是多种因素共同作用的结果。

**3.2.2 林草复合界面有机质分布特征** 有机质是各种营养元素特别是氮、磷的主要来源,是土壤肥力高低的一个重要指标<sup>[15,23]</sup>。由图3可知,林地、草地、林草界面有机质含量为2.03~5.96 g/kg,根据土壤有机质含量标准<sup>[15]</sup>,该地域属于低肥力地。试验区内平均有机质含量林地内最高,而且在林地中,表层土壤(0-40 cm)有机质含量明显高于以下土层有机质含量,这是由于林地有较为丰富的枯枝落叶物来源,一方面可防止雨滴击溅地表,防止土壤肥沃表层的侵蚀及土壤中可溶养分的流失,另一方面枯枝落叶与土壤微生物共同作用,形成腐殖质增加土壤养分储量,提高了有机质含量。草地草种较杂,根系分布较刺槐林浅,草本植物对浅层土壤有机质的影响较大,而对深层土壤的有机质含量影响较小。

**3.2.3 林草复合界面氮素分布特征** 全氮量是土壤氮素养分的储备指标,通常用于衡量土壤氮素的基础肥力,在一定程度上说明土壤氮的供应能力,较高的氮含量常标志着较高的氮素供应水平<sup>[24]</sup>。黄土高原土壤生态系统的氮素主要决定于生物量的积累和土壤有机质分解的强度<sup>[25]</sup>,植被类型、水热状况和土壤侵蚀的强度等都影响其含量<sup>[26]</sup>。研究区各生态类型表层土壤全氮含量高于其余各层土壤全氮含量,反映了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这一规律,这和有机质含量的变化规律一致<sup>[16,24-25]</sup>。林地内,土壤有机质含量高,氮素含量也较高,对照黄土高原全氮含量整体水平<sup>[23]</sup>,研究区全氮含量属中等水平。

**3.2.4 林草复合界面磷素分布特征** 土壤中有效

磷的含量能比较全面地说明土壤磷素肥力的供应状况,是能为植物吸收的磷量<sup>[15]</sup>。在土壤形成的过程中,磷素的风化、淋溶、富集迁移是多种因素共同作用的结果,其中生物的富集迁移是磷素累积的主导性因素<sup>[24]</sup>。试验区有效磷平均含量趋势是林草界面>草地>林地,说明林草界面土壤中磷素更能被植物吸收利用,在剖面上,林地、草地0-20 cm土层有效磷含量高于20-40 cm土层,随之减小,但在60-80 cm土层上有回升现象,并在此土层中达到最大值(林地6.42 g/kg,草地5.2 g/kg)。林地中,刺槐根系细根在60 cm左右土层中密集加上根系周围微生物较多,生物的富集迁移作用使磷素累积在此层;草地内草种较多,根系分布不一,各种复杂的作用使草地内磷素的含量在60-80 cm土层达到最大;林草界面是林地、草地两种生态类型的交错区域,各种生态作用更为复杂,所以各土层有效磷含量成递增趋势。总体来说,各种生态类型磷素的分层分布是多种因素共同作用的结果,但试验地整体磷素含量不高。

**3.2.5 林草复合界面钾素分布特征** 土壤中钾含量主要受黄土本身特性的影响,与土地的利用方式关系不大<sup>[27]</sup>,土壤钾素肥力的供应主要取决于速效钾和缓效钾。试验地内速效钾变化趋势是林地>林草界面>草地,由于速效钾主要受土壤质地的影响,从图3可以看出各生态类型速效钾含量变幅不大,波动不明显。在剖面上,林地、林草界速效钾的含量与土层深度的线性关系较明显,林草界面、草地表层土层速效钾含量最大;林地在20-40 cm土层上变幅较大,速效钾含量达到最大,这是由于表层向下淋溶的结果,随后变化趋于平缓。

## 4 结论

(1)在表层土壤(0-20 cm)中,不同类型的土壤含水量从大到小为:草地>林地>林草界面;在深层土壤中(20-100 cm),其结果是:草地>林草界面>林地。从土壤剖面(0-100 cm)上看,随着土层深度的增加,研究区雨季林地、草地、林草界面的土壤含水量表现为逐渐降低的总体趋势。刺槐林地在60-100 cm土层中土壤含水量有少许回升,这与不同生态类型植被组成和不同植被根系分布密切相关。

(2)研究区内不同土壤养分在水平和垂直方向上分布不平衡,全氮含量属于中等、有机质含量属于低等、其他肥力要素均较低。在林草复合系统内,有机质平均含量为林草界面<草地<林地;全氮含量为林草界面最小(0.29 g/kg),草地和林地相当

(0.32 g/kg), 差异不显著;速效磷平均含量为林地 < 草地 < 林草界面;速效钾平均含量为草地 < 林草界面 < 林地。在土壤剖面上,各个生态类型的有机质含量、全氮含量、速效钾含量随着土壤层次的加深呈减少趋势;林地、草地中,速效磷含量在 60 - 80 cm 土层中最高(林地为 6.42 mg/kg,草地为 5.20 mg/kg),林草界面上速效磷含量在 80 - 100 cm 土层中最高(5.20 mg/kg)。各种生态类型中速效钾含量的分层差异性最为明显。

参考文献:

[1] 曾艳琼,卢欣石. 林草复合生态系统的研究现状及效益分析[J]. 草业科学, 2008, 25(3): 33-36.

[2] 王海明,李贤伟,陈治谏,等. 林草复合经营模式养分动态关系[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 156-160.

[3] 武卫国,胡庭兴,周朝彬,等. 不同密度巨桉林草复合模式初期土壤特征研究[J]. 四川农业大学学报, 2007, 25(1): 76-81.

[4] 宋兆民,孟平. 中国农林业的结构与模式[J]. 世界林业研究, 1993(5): 77-81.

[5] 尤文忠,曾德慧,刘明国,等. 黄土丘陵区坡面林-草边界土壤水分特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 967-971.

[6] 朝鲁蒙,王进鑫,侯琳,等. 黄土高原不同植被复合边界土壤水分分布及影响研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3): 28-32.

[7] Cadenasso M L, Pickett S T A, Weathers K C, et al. An inter-disciplinary and synthetic approach to ecological boundaries[J]. BioScience, 2003, 53: 717-722.

[8] Cadenasso M L, Pickett S T A, Weathers K C, et al. A framework for a theory of ecological boundaries[J]. Bio. Science, 2003, 53: 750-758.

[9] 宋西德,叶彦辉,张永,等. 黄土高原沟壑区林草景观界面土壤养分—水分和微生物的研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2007, 35(7): 55-60.

[10] 常禹,布仁仓,胡远满,等. 长白山北坡苔原/岳桦景观边界的定量检测[J]. 地理科学, 2003, 23(4): 477-483.

[11] Famiglietti J S, Wood E F. Effects of spatial variability and scale on a really averaged evapotranspiration [J]. Water Resour. Res., 1995, 31: 699-712.

[12] Farahani H J, Bausch W C. Performance of evapotranspiration models for maize-bare soil to closed canopy[J]. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 1995, 38: 1049-1059.

[13] 包耀贤,吴发启,谭红朝. 坝地土壤养分分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 12-16.

[14] 何福红,黄明斌,党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报, 2002, 22(4): 6-9.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005: 25-114.

[16] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土高原小流域土壤养分的空间分布格局 - Kriging 插值分析[J]. 地理研究, 2003, 22(3): 373-379.

[17] 余新晓,张志强,陈丽华,等. 森林生态水文[M]. 北京:中国林业出版社, 2004.

[18] 曹扬,赵忠,渠美,等. 刺槐根系对深层土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 765-768.

[19] 成向荣,赵忠,郭满才,等. 刺槐人工林细根垂直分布模型的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(6): 40-48.

[20] 魏勇,康宏兴,李杰,等. 海岸带不同复合农林业系统的养分状况[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2003, 27(6): 14-17.

[21] 宋海星,李生秀. 根系的吸收作用及土壤水分对硝态氮—铵态氮分布的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 96-101.

[22] 宋海星,李生秀. 水-氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 6-11.

[23] 包耀贤,吴发启,谭红. 朝坝地土壤养分分布特征研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 12-15.

[24] 尹娜,魏天兴,张晓娟. 黄土丘陵区人工林土壤养分效应研究. 水土保持研究, 2008, 15(2): 209-214.

[25] 王国梁,刘国彬,许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应. 水土保持通报, 2002, 22(1): 1-5.

[26] 王百群,刘国彬,张成娥. 黄土丘陵区坡地土壤养分及其生产力的空间变异性[J]. 水土保持通报, 2000, 20(7): 70-73.

[27] 张春霞,郝明德,王旭刚才,等. 黄土高原沟壑区小流域土壤养分分布特征[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 78-80.