

黄土丘陵区植被次生演替灌木初期的土壤养分特征

张 健^{1,2}, 刘国彬^{1,2}, 许明祥^{1,2*}, 邢晓雯², 温 静²

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:对黄土丘陵区植被次生演替灌木初期的土壤养分特征进行了研究。结果表明:灌木初期土壤养分含量总体上表现出 0~20 cm 土层明显高于 20~60 cm 土层,而 20~40 cm 和 40~60 cm 间无显著差异。0~60 cm 土壤深度内,土壤养分因子含量平均值变化范围分别为:有机质 4.66~9.83 g·kg⁻¹,全氮 0.33~0.61 g·kg⁻¹,全磷 0.49~0.52 g·kg⁻¹,有效氮 21.56~41.80 mg·kg⁻¹,有效磷 0.73~1.31 mg·kg⁻¹,有效钾 58.31~102.01 mg·kg⁻¹。灌木初期的土壤养分条件略好于草本阶段,说明植被演替草本阶段对土壤的培肥作用为群落向灌木丛演替阶段发展提供了一个较好的土壤养分环境。灌木初期不同,灌木树种间的土壤养分条件存在一定差异,表明不同灌木树种定居所需适宜的土壤养分条件也不同;灌木初期除土壤全磷外,其他各养分因子间均表现出极显著线性相关关系($P<0.01$)。

关键词:黄土丘陵区;次生演替;灌木;土壤养分

中图分类号:S714.2 文献标识码:A 文章编号:1001-7461(2009)01-0053-05

Soil Nutrients Characteristics in Shrub Appearance Stage of Vegetation Secondary Succession in the Hilly-gullied Loess Region

ZHANG Jian^{1,2}, LIU Guo-bin^{1,2}, XU Ming-xiang^{1,2}, XING Xiao-luan², WEN Jing²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper studied the characteristics of soil nutrients in shrub appearance stage of vegetation secondary succession in the hilly-gullied loess region. The results indicated that the content of soil nutrient factors overall exhibits 0~20 cm soil layer significantly higher than 20~60 cm soil layer, between lower layers 20~40 cm and 40~60 cm was no significant difference. In the 0~60 cm soil depth, the change range of average values of soil nutrient factors content were respectively organic matter: 4.66~9.83 g·kg⁻¹, total N 0.33~0.61 g·kg⁻¹, total P 0.49~0.52 g·kg⁻¹, available N 21.56~41.80 mg·kg⁻¹, available P 0.73~1.31 mg·kg⁻¹, available K 58.31~102.01 mg·kg⁻¹. Soil nutrient conditions in shrub appearance stage were generally slightly better than herb stage, indicating that soil fertility of herb stage of vegetation succession supplied a powerful soil nutrient condition for community succession to shrub stage. Soil nutrient conditions of different shrub trees had definite difference in the shrub appearance stage, which indicated that different shrub trees need different proper ecocesis soil nutrient condition. Except total P, between other soil nutrient factors was very significant linear correlation ($P<0.01$).

Key words: the hilly-gullied loess region; secondary succession; shrub; soil nutrient

黄土高原森林草原区作为森林地带向典型草原 地带过渡的中间地带,环境多变,是目前在林草植被

②) 收稿日期:2008-05-19 修回日期:2008-05-30
基金项目:国家自然科学基金重点项目(90502007,40301028);国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407205);中国科学院知识创新项目(KZCX2-XB2-05-03)。
作者简介:张 健,男,硕士研究生,主要从事植被恢复与环境效应方面研究。
* 通讯作者:许明祥,男,副研究员,主要从事土壤质量方面的研究。E-mail:xumx@nwsuaf.edu.cn

建设中存在问题较多的区域^[1]。由于生态过渡带所具有的边界现象和复杂独特的环境特点^[2]，一直以来都是人们十分关注的热点地区之一。同时，黄土丘陵区作为西部退耕还林还草及生态环境建设的重点区域，对于该区植被恢复演替规律的研究也备受学者们的关注。植物恢复演替过程中植被与土壤之间存在着复杂的动态过程，也是物种对土壤肥力不断适应和改造及不同物种在不同肥力梯度下相互竞争和替代的过程，土壤肥力是植物演替的重要驱动力之一^[3]。植物群落的演替对土壤的物理和化学性状产生一定的改变，而这些变化又会影响植物群落演替的进行^[4]。关于植被演替中土壤因子演变规律的研究已深受国内外学者的关注。前人对该区退耕地恢复的早期阶段——草本阶段植被演替过程中土壤环境演变研究的较多^[2,5-8]，对典型的灌木、乔木群落阶段土壤环境演变也有不少报道^[9-11]；然而，从草本植物群落进入灌丛植物群落阶段是一个较敏感的生态过渡区，具有重要的土壤与植被恢复生态学意义^[12]。关于黄土丘陵区植被次生演替从草本向灌木阶段过渡期的研究显得尤为重要，通过对退耕地自然恢复过程中出现的灌木早期土壤养分特征的研究，揭示植被次生演替灌木初期的土壤养分特征，为该区植被—土壤系统演变理论和植被恢复重建提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西安塞县境内，调查区域主要设在背景信息较为详细的纸坊沟流域和墩滩山流域。年均降水量 500 mm 左右，年均蒸发量 1 000 mm，年均气温 8.9℃，日照时数 2 352~2 573 h，≥10℃积温 2 866℃，无霜期 160~180 d，属暖温带半旱气候区。海拔 997~1 731 m，土壤主要为黄绵土，属典型的黄土丘陵沟壑区。地带性植被属于暖温带森林草原区。黄土高原地区脆弱的生态环境，加上长期自然资源的不合理利用，使原有的天然植被已经被破坏殆尽^[13]，森林草原区的植被恢复一般经历了禾草草原、半灌木草原、灌木草原和疏林草原等阶段^[14]。

1.2 研究方法

选择长期退耕或撂荒草地进行调查，共选择了 8 种植被恢复过程中天然出现的幼龄灌木（一般 1~3 a）为研究对象（表 1），分别为狼牙刺（*Sophora davidii*, Sd）、杠柳（*Periploca sepium*, Ps）、灌木铁线莲（*Clematis fruticosa*, Cf）、互叶醉鱼草（*Buddleja*

alternifolia, Ba）、丁香（*Syringa oblata*, So）、沙棘（*Hippophae rhamnoides*, Hr）、虎榛子（*Ostryopsis davidiana*, Qd）和黄蔷薇（*Rosa hugonis*, Rh），将 31 a 的典型白羊草（*Bothriochloa ischaemum*, Bi）地作为对照。每个样地中一般找到 3~6 株树龄、长势相近的目标灌木树种，在各样株根区（冠幅投影中间位置）用土钻分别采集 0~20、20~40、40~60 cm 3 个层次各 6 点（样点平均分布于各目标灌木树种间）混合土壤样品，经风干后进行实验室分析。

表 1 样地基本概况

Table 1 Description of sampling plots						
样地 编号	海拔 /m	坡向	坡度 /(°)	坡位	植被 盖度/%	植物
CK-1	1 267	SW15	32	HS-U	80	白羊草
CK-2	1 265	SW15	28	HS-U	70	
CK-3	1 270	SE10	26	HS-U	68	
SH1-1	1 325	SE25	26	GS-U	65	狼牙刺
SH1-2	1 175	SW10	27	HS-M	55	
SH2-1	1 267	SW15	32	HS-U	80	杠柳
SH2-2	1 275	SE10	24	HS-U	68	
SH2-3	1 345	SW20	27	HS-L	50	
SH3-1	1 265	SW15	32	HS-U	80	灌木铁线莲
SH3-2	1 275	SE10	24	HS-U	68	
SH4-1	1 253	NE45	25	GS-M	65	互叶醉鱼草
SH4-2	1 325	SW25	26	GS-U	70	
SH4-3	1 165	S	30	GS-L	68	
SH5	1 265	NW74	30	GS-U	50	丁香
SH6	1 175	N	26	HS-M	70	沙棘
SH7	1 295	NE20	25	HS-L	50	虎榛子
SH8-1	1 320	NW20	35	GS-M	65	黄蔷薇
SH8-2	1 155	NW10	28	GS-L	70	
SH8-3	1 236	NW15	26	GS-L	75	

注：U、M、L 分别表示上、中、下坡位；HS、GS 表示梁峁坡和沟坡。

1.3 测定项目及其方法

土壤有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法；全氮采用半微量开氏法（K₂SO₄-CuSO₄-Se 蒸馏法）；有效氮采用碱解扩散法；全磷采用钼锑抗比色法（HClO₄-H₂SO₄法）；速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠（NaHCO₃）浸提钼锑抗比色法；速效钾采用原子吸收光谱法（NH₄OAC 浸提法）进行测定。

1.4 数据处理

采用 SPSS 统计分析软件包（SPSS 11.5 for Windows, Chicago, USA）对数据进行相关分析、One-Way ANOVA 方差分析，并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 灌木初期土壤养分含量剖面特征

对植被次生演替灌木初期土壤剖面养分含量进

行了统计分析(表 2),植被次生演替灌木初期,在 0~20、20~40、40~60 cm 土层中,土壤有机质含量分别为 6.00~20.26、3.01~11.42、2.82~11.44 g/kg;全氮含量分别为 0.40~1.13、0.24~0.74、0.20~0.73 g/kg;全磷含量分别为 0.47~0.56、0.41~0.55、0.41~0.54 g/kg;有效氮含量分别为 21.39~85.01、12.22~68.65、10.06~62.18 mg/kg;有效磷含量分别为 0.86~1.82、0.38~1.24、0.32~1.48 mg/kg;有效钾含量分别为 75.70~163.94、43.02~104.94、47.98~94.72 mg/kg。其中,有机质、全氮、有效磷和有效钾含量土层间差异相似,即 0~20 cm 与 20~60 cm 土层间存在极显著差异($P<0.01$),而 20~40 cm 与 40~60 cm 土层间无显著

差异($P<0.05$);全磷与有效氮含量土层间差异相似,即 0~20 cm 与 40~60 cm 土层间存在极显著差异($P<0.01$),0~20 cm 与 20~40 cm 土层间存在显著差异($P<0.05$),而 20~40 cm 和 40~60 cm 土层间无显著差异($P<0.05$)。结果表明,总体上,灌木初期土壤养分因子含量在 0~20 cm 土层明显高于下层 20~60 cm,而下层 20~40 cm 与 40~60 cm 间无显著差异。0~60 cm 土壤内,土壤养分因子含量分别有机质 4.66~9.83 g/kg,全氮 0.33~0.61 g/kg,全磷 0.49~0.52 g/kg,有效氮 21.56~41.80 mg/kg,有效磷 0.73~1.31 mg/kg,有效钾 58.31~102.01 mg/kg。

表 2 灌木初期土壤养分统计描述							
Table 2 Statistical description of soil nutrient in profile in the shrub appearance stage							
养分因子	土层深度/cm	平均值	多重比较	标准差	最小值	最大值	范围
有机质/(g·kg ⁻¹)	0~20	9.83	A	4.66	6.00	20.26	14.26
	20~40	6.24	B	2.77	3.01	11.42	8.41
	40~60	4.66	B	2.11	2.82	11.44	8.62
	0~60	6.91	—	3.95	2.82	20.26	17.44
全氮/(g·kg ⁻¹)	0~20	0.61	A	0.25	0.40	1.13	0.73
	20~40	0.42	B	0.17	0.24	0.74	0.51
	40~60	0.33	B	0.13	0.20	0.73	0.53
	0~60	0.45	—	0.22	0.20	1.13	0.93
全磷/(g·kg ⁻¹)	0~20	0.52	Aa	0.03	0.47	0.56	0.09
	20~40	0.50	ABb	0.03	0.41	0.55	0.14
	40~60	0.49	Bb	0.03	0.41	0.54	0.13
	0~60	0.50	—	0.03	0.41	0.56	0.15
有效氮/(mg·kg ⁻¹)	0~20	41.80	Aa	17.14	21.39	85.01	63.62
	20~40	29.48	ABb	15.66	12.22	68.65	56.43
	40~60	21.56	Bb	12.74	10.06	62.18	52.12
	0~60	30.95	—	17.20	10.06	85.01	74.95
有效磷/(mg·kg ⁻¹)	0~20	1.31	A	0.30	0.86	1.82	0.96
	20~40	0.79	B	0.25	0.38	1.24	0.86
	40~60	0.73	B	0.31	0.32	1.48	1.16
	0~60	0.94	—	0.39	0.32	1.82	1.50
有效钾/(mg·kg ⁻¹)	0~20	102.01	A	23.76	75.70	163.94	88.24
	20~40	64.18	B	14.85	43.02	104.94	61.92
	40~60	58.31	B	11.58	47.98	94.72	46.75
	0~60	74.83	—	26.02	43.02	163.94	120.92

注:表中不同大写字母表示土层间差异达 $P<0.01$ 水平,不同小写字母表示土层间差异达 $P<0.05$ 水平。

2.2 不同灌木初期土壤养分的垂直变化

2.2.1 土壤有机质 不同灌木树种土壤有机质含量间存在一定差异(图 1)。其中,狼牙刺、杠柳、灌木铁线莲、丁香和虎榛子土壤有机质状况较为接近,0~60 cm 土层中含量为 4.4~5.5 g/kg,丁香和虎榛子土壤有机质含量低于对照(白羊草群落为 4.89 g/kg);而瓦叶醉鱼草和沙棘土壤有机质含量较高,0~60 cm 土层中含量为 6.95 g/kg 和 7.82 g/kg;黄刺玫土壤有机质含量明显高于对照和其它灌木树

种,0~60 cm 土层中含量为 11.79 g/kg。

2.2.2 土壤全氮 不同灌木树种土壤全氮土层内含量存在一定差异(图 1)。其中,狼牙刺、杠柳、灌木铁线莲、丁香和虎榛子土壤全氮状况较为接近,0~60 cm 土层中含量为 0.32~0.36 g/kg,只有丁香低于对照与对照(白羊草群落);而瓦叶醉鱼草和沙棘土壤全氮含量较高,0~60 cm 土层中含量为 0.47 g/kg 和 0.52 g/kg;黄刺玫土壤全氮含量明显高于对照和其他灌木树种,0~60 cm 土层中全氮含量为

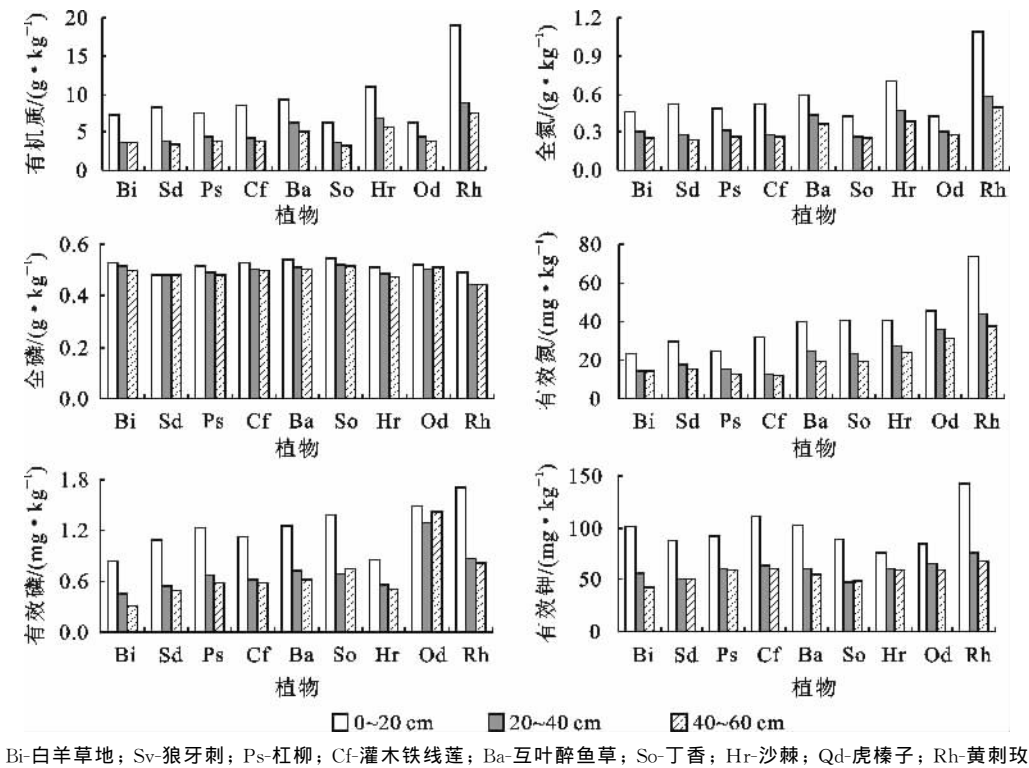
0.72 g/kg。

2.2.3 土壤有效氮 各灌木树种的土壤有效氮含量均大于对照(图 1),其中,狼牙刺、杠柳和灌木铁线莲 0~60 cm 土层中有效氮含量为 18~21 mg/kg,丁香、互叶醉鱼草和沙棘有效氮含量 0~60 cm 土层中含量为 28~31 mg/kg,虎榛子和黄刺玫有效氮含量明显高于其他灌木树种,0~60 cm 土层中含量分别为 37.73 和 51.68 mg/kg。

2.2.4 土壤有效磷 各灌木树种的土壤有效磷含量均大于对照,其中,沙棘、狼牙刺和灌木铁线莲 0~60 cm 土层中含量为 0.64~0.77 mg/kg,杠柳、瓦叶醉鱼草和丁香 0~60 cm 土层中含量为 0.83~

0.94 mg/kg,黄刺玫和虎榛子有效磷含量明显高于其他灌木树种,0~60 cm 土层中含量分别为 1.14 和 1.40 mg/kg。

2.2.5 土壤有效钾 各灌木树种土壤表层(0~20 cm)有效钾含量明显高于下层(20~60 cm)。不同灌木树种土壤有效钾含量存在较大差异(图 1)。其中,丁香、狼牙刺和沙棘 0~60 cm 土层中有效钾含量低于对照(白羊草群落)的 66.72 mg/kg,为 62~66 mg/kg,虎榛子、互叶醉鱼草、杠柳和灌木铁线莲 0~60 cm 土层中有效钾含量为 69~78 mg/kg,黄刺玫 0~60 cm 土层中有效钾含量最高,为 95.61 mg/kg。



Bi-白羊草地; Sv-狼牙刺; Ps-杠柳; Cf-灌木铁线莲; Ba-互叶醉鱼草; So-丁香; Hr-沙棘; Qd-虎榛子; Rh-黄刺玫

图 1 不同灌木树种初期土壤养分的垂直变化

Fig. 1 The change of soil nutrient in profile of different shrub trees in the appearance stage

2.3 灌木初期土壤养分因子的相关性

土壤养分因子间线性相关关系分析表明(表 3),植被次生演替灌木初期,除土壤全磷与其他养分因子间的线性相关不显著外,其他各养分因子有机质、全氮、有效氮、有效磷和有效钾间均表现出极显著线性相关关系($P<0.01$)。说明除土壤全磷外,各土壤养分因子间的变化具有很强的协同演变趋势。土壤全磷的相关性较小,可能与其含量受土壤母质中矿物成分及其质地的影响较大^[15]有关,而且与黄土丘陵区主要土壤类型(黄绵土)具有磷素缺乏的特点^[16]和该区土壤全磷的时空变异较小^[17],其在土壤剖面中的变化似乎主要取决于其在剖面中的最初分布^[2]密切相关。

表 3 土壤养分及环境因子间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient among soil nutrients factors

指标	全氮	全磷	有效氮	有效磷	有效钾
有机质	0.990**	-0.049	0.870**	0.666**	0.821**
全氮		-0.059	0.878**	0.654**	0.794**
全磷			0.008	0.259	0.261
有效氮				0.780**	0.737**
有效磷					0.733**

3 结论与讨论

随着植被演替,群落优势种的更替呈现出一定的连续性,后一演替阶段的优势种往往已经隐含在前一演替阶段中^[18];黄土丘陵区植被次生演替在草本阶段的中后期,已有零星的灌木树种出现。这些

灌木树种部分是灌木阶段的建群种和优势种,而且大多数都是该区内常见的乡土灌木树种,如杆柳在该生态区中是植被恢复演替过程中出现最早而且持续时间最长的木本植物,具有较宽的生态位^[19],狼牙刺是黄土丘陵区土著种,常在干旱阳坡、半阳坡地区形成灌木林,在环境条件严酷、其他植物很难生存的生境条件下,狼牙刺种群能通过自然恢复形成纯林或占优势的群落^[20],瓦叶醉鱼草有较强的适应能力,根系发达,分枝能力很强,天然小片林呈团块状、簇状分布,是干旱区水土保持的优良灌木树种^[21]。这些灌木树种是演替进展的重要指示物种,预示着植被次生演替的处于草灌过渡阶段,同时,它们根区土壤条件既是其对土壤条件适宜性的表现,也是其对定居土壤环境要求的一种反映。由此可鉴,灌木初期土壤环境的研究对揭示该区植被演替过程种土壤—植被间动态过程和人工灌木建设时立地条件的判别选择都具有重要科学意义的。应进一步加大对黄土高原地区主要乡土树种的开发与利用,以为更好的推进该区生态环境恢复建设服务。

灌木初期土壤养分因子含量总体上表现出 0~20 cm 土层明显高于 20~60 cm,而 20~40 和 40~60 cm 间无显著差异。

植被次生演替灌木初期,除土壤全磷外,绝大多数灌木树种的土壤养分因子含量都高于对照(白羊草群落),表明灌木初期的土壤养分条件要略好于草本阶段,也说明植被演替草本阶段对土壤的培肥作用为群落向灌丛演替阶段发展提供了一个较好的土壤养分环境。灌木初期不同树种间的土壤养分条件存在一定差异,表明灌木树种不同定居所需适宜的土壤养分条件也不同,可能主要由各灌木自身的生物学特性决定的。

植被次生演替灌木初期,除土壤全磷与其他养分因子间的线性相关不显著外,其他各养分因子如有机质、全氮、有效氮、有效磷和有效钾间均表现出极显著线性相关关系($P<0.01$)。

致谢:野外试验承蒙中国科学院安塞水土保持综合试验站的大力支持,在此表示诚挚的谢意!

参考文献:

[1] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与可持续发展[M]. 北京:

科学出版社,1998.

[2] 温仲明,焦峰,刘宝元. 黄土高原森林草原区退耕地植被自然恢复与土壤养分变化[J]. 应用生态学报,2005,16(11): 2025-2029.

[3] 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.

[4] MACARTHUR, R H, CONNELL J H. The biology of populations[M]. New York: Wiley and Sons Press, 1966: 200.

[5] 张成娥,陈小利. 黄土丘陵区不同撂荒年限自然恢复的退化草地土壤养分及酶活性特征[J]. 草地学报,1997,5(3): 195-200.

[6] 潘成忠,上官周平,刘国彬. 黄土丘陵沟壑区退耕草地土壤质量演变[J]. 生态学报,2006,26(3): 690-696.

[7] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域植被恢复的土壤养分效应研究[J]. 水土保持学报,2005,19(1): 93-96.

[8] 安韶山,黄懿梅,郑粉莉. 黄土丘陵区草地土壤脲酶活性特征及其与土壤性质的关系[J]. 草地学报,2005,13(3): 233-237.

[9] 张希彪,上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报,2006,26(11): 3685-3695.

[10] 耿增超,张社奇,王国栋,等. 黄土高原油松人工林地土壤养分及化学性质的时空效应[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(8):98-94.

[11] 许明祥,刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1): 40-46.

[12] 杨小波,张桃林,吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的[J]. 生态学报,2002,22(2): 1990-1996.

[13] 张平仓,郑粉莉. 子午岭地区自然区域特征及其与土壤侵蚀的关系[J]. 中国科学院水利部水土保持研究所集刊,1993(17):11-16.

[14] 朱志诚. 陕北黄土高原森林草原地带植被恢复演替[J]. 山西大学学报,1993,16(1): 94-100.

[15] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京. 农业出版社,1993:202-213.

[16] 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[J]. 水土保持通报,2002,22(1): 1-5.

[17] 焦峰,温仲明,焦菊英,等. 黄土丘陵区退耕地土壤养分变异特征[J]. 植物营养与肥料学报 2005,11(6): 724-730.

[18] 欧祖兰,李先琨,苏宗明,等. 广西阳朔岩溶植被演替过程种群变化及物种多样性[J]. 生态科学,2005,24(4): 295-297.

[19] 李裕元,邵明安. 子午岭植被自然恢复过程中植物多样性的变化[J]. 生态学报,2004,24(2): 252-260.

[20] 张文辉,郭连金,徐学华. 黄土丘陵区狼牙刺种群恢复及群落土壤水分养分效应[J]. 水土保持学报,2004,18(6): 49-53.

[21] 王军辉,张建国,许洋,等. 耐旱灌木互叶醉鱼草的生物学特性研究[J]. 中国野生植物资源,2007,26(6): 23-25.