

黄土丘陵区人工油松林下植物多样性和更新调查

王铁梅¹, 陈云明², 张学伍³, 王娟¹, 侯磊¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 土壤侵蚀与旱地农业
黄土高原重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用野外调查和室内分析相结合的方法, 对黄土丘陵区 45 a 人工油松林下的植物组成、多样性及幼苗更新等方面进行了研究, 探讨了坡向和不同干扰对林下植物多样性和幼苗更新的影响。结果表明, 阴、阳坡林下的物种组成相似性系数达到 74%; 原状林与去枯落物林, 原状林与采伐上层乔木林地的相似性系数分别为 74% 和 38%。灌木的物种丰富度(S)、多样性指数(H, D)在不同坡向表现为: 阴坡 > 阳坡; 均匀度指数(J)表现为: 阳坡 < 阴坡, 草本的各项指数均表现为: 阴坡 > 阳坡; 3 种处理下灌木的丰富度、多样性指数均表现为: 去枯落物林 > 原状油松林 > 采伐上层乔木林, 均匀度指数表现为: 采伐上层乔木林 > 去枯落物林 > 原状林, 草本各项指数均表现为: 去枯落物林 > 采伐上层乔木林 > 原状林。采伐上层乔木林下幼苗更新最好, 在阴坡表现出良好的更新能力。

关键词: 人工林; 多样性; 更新

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0066-05

中图分类号: S718.51⁺9

Biodiversity and Regeneration of *Pinus Tabulaeformis* Forest in Loess Hilly Region

WANG Tie-mei¹, CHEN Yun-ming², ZHANG Xue-wu³, WANG Juan¹, HOU Lei¹

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 702100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to understand the effects of slope aspect and human disturbances on the diversity and community regeneration, field and laboratory analyses were conducted on *Pinus tabulaeformis* artificial forest in loess hilly region. The results showed that the community similarity coefficient of undergrowth was 74%, 74% and 38% between shady and sunny slopes, between the natural and litter removed conditions, and between natural and timbered conditions, respectively. The indices of richness (R), Shannon—Wiener (H), and Simpson (D) of the shrub layer on the shady slopes were larger, while Pielou (J) in the shady was smaller than those on the sunny slopes. For herbaceous layer, R , H , D and J on the shady slopes were larger than those on the sunny slopes. The values of R , H and D in shrub layer were the highest under litter removed condition, then followed by natural state and timbered land; however J showed the exactly opposite trend. The values of R , H , D and J in herbaceous layer were the highest under litter removed, then followed by timbered and natural forests. The best regeneration of seedlings was found in the timbered land and on the shady slopes, respectively.

Keywords: artificial forest; diversity; regeneration

在水土流失严重的黄土丘陵区, 人工造林是退化生态系统恢复重建的主要措施之一, 这种措施在保持水土、改善生态环境等方面发挥着重要作用^[1-3]。然而, 由于该区水资源的相对不足, 多年来在人工植被恢复重建中存在的重乔轻灌草思想, 造林多采用单一

树种, 这些林分在成林后会形成一些新的问题, 如群落结构单一、林下幼苗难以更新、土壤出现干旱化等情况^[4-7]。这些问题若不能很好解决, 不仅会影响人工林水土保持效益发挥, 而且也对人工林的稳定性及持续发展产生严重影响。因此, 研究人工林下物种组

收稿日期: 2011-07-26

修回日期: 2012-02-22

资助项目: 陕西省科学院科技计划重点项目“陕北黄土丘陵区植被恢复与动物多样性保护关键技术”(2008K-04); 中国科学院知识创新工程“百人计划”项目“黄土高原半干旱区群落水分平衡与调控机理”(KZCX2-YW-BR-02), “暖温带落叶阔叶混交林区域陕西省森林固碳现状、速率和潜力研究”(XDA05050203-05)

作者简介: 王铁梅(1982—), 女(汉族), 山西省孝义市人, 硕士研究生, 研究方向为流域生态学。E-mail: wtm0503@163.com。

通信作者: 陈云明(1967—), 男(汉族), 陕西省澄城县人, 博士, 研究员, 研究方向为植被生态。E-mail: ymchen@ms.iswc.ac.cn。

成、幼苗更新及其与环境因子间的关系,对于认识其林下群落组成、结构演变规律,促进人工林的天然化发育具有重要意义。

油松(*Pinus tabulaeformis*)是中生乔木,耐干冷和瘠薄土壤,有较强的适应性和抗逆性^[8],生长快,萌蘖力强,根系发达,是我国北方温带针叶林中分布最广的树种,在黄土丘陵半湿润区被广泛用于人工造林^[9]。本研究以黄土丘陵区宜川县铁龙湾林场的45 a左右人工油松林为对象,调查了不同坡向及不同干扰措施下的油松林下植物种组成、多样性及幼苗更新情况,以期为人造油松林的合理经营与管理提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于中国科学院安塞水土保持综合试验站宜川铁龙湾林场森林水文和水土保持监测基地。地理位置为35°58′53″N,110°05′41″E;地貌为黄土梁状丘陵,海拔860~1 200 m,平均气温9.7℃,无霜期180 d;年均降水量502.4 mm,土壤为褐色森林土,林下多有厚度1~3 cm的死地被物。地带性植被

为落叶林、温性针叶林及落叶灌丛,顶极群落以松栎混交林为主。林下灌木主要有胡颓子(*Elaeagnus umbellata* Thunb)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、绣线菊(*Spiraea pubescens* Turcz)、忍冬(*Lonicera ferdinanddi*)、陕西荚蒾(*Viburnum schensianum* Maxim.)等;草本植物层主要为披针苔草(*Carex lanceolata*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)等。

本研究所选不同立地条件林分处于阴、阳两个坡向,于1963年栽植,1992和1997年进行过2次间伐,间伐后密度保持一致;不同干扰措施下的林分处于同一坡向,营造于1965年,初植密度6 000株/hm²,经1983和1992年2次抚育间伐,处理措施分别原状油松林、林下去枯落物层、采伐上层乔木林地,并分别建立20 m×5 m,面积100 m²。2个重复,共6个小区。具体设立方法为:在油松林内选取具有代表性的坡面布设了6个标准小区,水平投影面积均为20 m×5 m。其中去除枯枝落叶林地定期于每年雨季前夕(5月上旬)用耙子清理小区内凋落的枯枝落叶层;采伐上层乔木林地是将其上层乔木全部伐去,保存灌草和枯枝落叶层。样地基本情况详见表1。

表1 样地的环境因子及林分状况

立地/措施	海拔/ m	坡度/ (°)	密度/ (株·hm ⁻²)	郁闭度	平均树高/ m	平均胸径 DBH/cm	灌木盖度/ %	草本盖度/ %	枯落物 厚度/cm
阴坡	1 096	25	580	0.4	9.12	16.78	53	31	1.4
阳坡	1 068	27	545	0.5	7.62	16.49	55	32	2.2
原状林	1 077	27	1 890	0.7	13.20	14.10	31	24	3.1
去枯落物林	1 089	26	2 100	0.6	12.50	13.90	35	21	
采伐上层乔木林	1 097	27					43	30	1.6

1.2 研究方法

于2010年8月下旬开始进行野外调查工作。分阴、阳坡向,在林分内各设置10 m×10 m样地3块,共6块样地;3种处理措施林地各设置10 m×10 m样地2块,共6块样地。在每块样地内沿其对角线设置2 m×2 m灌木样方3个,并在灌木样方内,沿对角线设置1 m×1 m草本样方3个,这样1个样地内共调查灌木、草本样方各3个。调查内容包括:(1)群落学特征。记录样地内乔木(油松)的每木高度、株数、冠幅、胸径等项目,分物种调查灌木、草本的高度、种类、株(丛)数等;(2)群落更新调查。在灌木样方中仔细寻找每一油松幼苗(树),并记录树高、基径、年龄(通过轮生枝确定)等特征,进行上述两项测定工作时同时记录各个样地的海拔、坡度等环境因子。

丰富度指数(*S*)、Simpson指数(*D*)、Shannon—Wiener指数(*H*)、均匀度Pielou指数(*J*)的具体计算方法详见文献^[10]。

2 结果与分析

2.1 人工油松林不同坡向和处理措施林下物种组成

不同坡向人工油松林下植物种类共出现了23科43属44种(表2),阴坡、阳坡分别出现了33种、37种,阴坡低于阳坡。其中,阴坡林下灌木出现了7科14属14种,主要为蔷薇科、豆科、忍冬科类灌木,这3个科的灌木种占到出现种的71%,草本出现了12科18属19种,主要为豆科、菊科、禾本科类草本植物,3个科的植物种占到出现种的53%;阳坡林下灌木种出现了10科19属19种,主要为蔷薇科、木犀科和忍冬科类灌木,3个科的灌木种占到出现种的63%,草本出现11科17属18种,主要为菊科和禾本科,2个科的植物种占到出现种的50%。

从表2还可看出,阴坡与阳坡林下植物的相似性程度高达74%,说明坡向对该区人工油松林下物种组成的影响较弱。

表 2 研究区不同坡向和不同处理林下植物物种组成

科名	属名	物种	阴坡	阳坡	去枯 落物	原状林	采伐上 层乔木
蔷薇科(Rosaceae)	蔷薇属	黄刺玫(<i>Rosa xanthina</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
	悬钩子属	茅莓(<i>Rubus parvifolius</i>)	✓	✓	✓	✓	
	绣线菊属	柔毛绣线菊(<i>Spiraea pubescens</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
	荀子属	水栒子(<i>Cotoneaster multiflora</i> Bunge)	✓	✓			✓
	山楂属	山楂(<i>Crataegus pinnatifida</i>)		✓			
	李属	山桃(<i>Prunus davidiana</i>)		✓	✓	✓	
	杏属	山杏(<i>Prunus armeniaca</i> L.)		✓	✓	✓	
	樱属	樱桃(<i>Prunus pseudocerasus</i>)	✓		✓	✓	
	委陵菜属	翻白草(<i>Potentilla discolor</i>)	✓		✓		✓
	梨属	杜梨(<i>Pyrus betulae-folia</i>)	✓	✓		✓	
豆科(Leguminosae)	锦鸡儿属	树锦鸡儿(<i>Caragana arborescens</i>)	✓	✓	✓	✓	
	苦参属	苦参(<i>Sophora flavescens</i>)			✓		✓
	苜蓿属	天蓝苜蓿(<i>Medicago lupulina</i> L.)	✓	✓			
	野豌豆属	野豌豆(<i>Vicia sepium</i>)	✓		✓	✓	✓
木犀科(Oleaceae)	胡枝子属	胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>)	✓		✓	✓	
	丁香属	紫丁香(<i>Syringa oblata</i>)	✓	✓	✓		✓
忍冬科(Caprifoliaceae)	连翘属	连翘(<i>Forsythia suspensa</i>)		✓	✓	✓	✓
	英蓀属	陕西英蓀(<i>Viburnum schensianum</i>)	✓	✓	✓	✓	
忍冬科(Caprifoliaceae)	忍冬属	忍冬(<i>Lonicera ferdinandii</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
	胡颓子科(Elaeagnaceae)	胡颓子属	胡颓子(<i>Elaeagnus umbellata</i>)	✓	✓	✓	✓
桦木科(Betulaceae)	虎榛子属	虎榛子(<i>Ostryopsis davidiana</i>)	✓	✓	✓		✓
壳斗科(Fagaceae)	栎属	辽东栎(<i>Quercus liaotungensis</i> Koidz)	✓	✓	✓	✓	
漆树科(Anacardiaceae)	盐肤木属	五倍子(<i>Galla chinensis</i>)		✓		✓	
	黄栌木属	黄栌木(<i>Cotinus coggygria</i>)		✓	✓		
五加科(Araliaceae)	五加属	刺五加(<i>Radix Acanthopanax Senticosl</i>)		✓			
无患子科(Sapindaceae)	栎属	栎树(<i>Koelreuteria paniculata</i>)				✓	
鼠李科(Rhamnaceae)	鼠李属	鼠李(<i>Rhamnus davurica</i>)					
菊科(Compositae)	蒿属	铁杆蒿(<i>Artemisia sacrorum</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
	艾蒿属	艾蒿(<i>Artemisia argyi</i>)	✓	✓	✓		
	小甘菊属	甘菊(<i>Matricariarecutita</i>)	✓	✓	✓		✓
	风毛菊属	裂叶风毛菊(<i>Saussurea laciniata</i>)	✓	✓	✓		
	紫菀属	紫菀(<i>Radix Asteris</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
	火绒草属	火绒草(<i>Leontopodium alpinum</i>)		✓			✓
	泥胡菜属	泥胡菜(<i>Hemistepta lyrata</i>)	✓	✓		✓	
莎草科(Cyperaceae)	薹草属	披针薹草(<i>Carex lanceolata</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
茜草科(Rubiaceae)	茜草属	茜草(<i>Rubia codifolia</i>)	✓	✓	✓	✓	
锦葵科(Malvaceae)	梵天花属	野棉花(<i>Urena lobata</i> L.)	✓	✓	✓	✓	✓
禾本科(Gramineae)	隐子草属	北京隐子草(<i>Kengia serotina</i>)	✓	✓			✓
	大油芒属	大油芒(<i>Spodiopogon sibiricus</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
葡萄科(Vitaceae)	蛇葡萄属	蛇葡萄(<i>Ampelopsis sinica</i>)	✓	✓	✓		✓
败酱科(Valerianaceae)	败酱属	异叶败酱(<i>Patrinia heterophylla</i>)	✓	✓	✓	✓	✓
堇菜科(Violaceae)	堇菜属	紫花地丁(<i>Viola yedoensis</i>)	✓		✓		✓
卷柏科(Selaginellaceae)	卷柏属	中华卷柏(<i>Selaginella sinensis</i>)	✓				
远志科(Polygalaceae)	远志属	远志(<i>Radix Polygalae</i>)	✓		✓		✓
伞形科(Umbelliferae)	柴胡属	柴胡(<i>Bupleurum chinense</i>)		✓	✓	✓	
百合科(Liliaceae)	天门冬属	天门冬(<i>Asparagus cochinchinensis</i>)		✓	✓		✓
毛茛科(Ranunculaceae)	唐松草属	唐松草(<i>Thalictrum przewalaskii</i>)		✓			
马鞭草科(Verbenaceae)	黄荆属	黄荆(<i>Vitex negundo</i>)				✓	
唇形科(Lamiaceae)	黄芩属	黄芩(<i>Scutellaria baicalensis</i>)			✓	✓	
亚麻科(Linaceae)	亚麻属	野亚麻(<i>Linum stellerioides</i> Planch.)			✓	✓	
合计			33	37	36	29	23
群落相似性系数/%				74		74	38

注:✓表示有物种。

对不同处理措施林下的植物种类调查结果(表 2)表明,原状林、去枯落物林和采伐上层乔木林地出现的植物种分别为 29 种、36 种和 23 种。原状油松林与这两种处理下的油松林的相似性系数分别为 74%和 38%,说明采伐上层乔木层后的植物种变异较大。原状林下灌木出现 8 科 14 属 14 种,主要为蔷薇科和忍冬科,2 个科的灌木种占到出现种的 57%;草本出现 12 科 15 属 15 种,主要为豆科和菊科,占到出现种的 33%。去枯落物林下灌木出现 9 科 18 属 18 种,主要为蔷薇科、豆科、木犀科和忍冬科,这 4 个科的植物种占到出现种的 72%;草本出现 13 科 17 属 18 种,主要为菊科和豆科,这 2 个科的植物种占到出现种的 39%。采伐上层乔木林地出现灌木 5 科 8 属 8 种,主要为蔷薇科和木犀科,这 2 个科的植物种占到出现种的 22%;草本出现 12 科 15 属 15 种,主要为菊科和禾本科,占到出现种的 26%。以去除枯落物层林下灌木和草本植物种类最为丰富,这可能与林下枯落物层的存在阻断了林下植被与种子的接触有关^[11-12]。

2.2 不同坡向人工油松林下植物多样性

由图 1 可以看出,灌木的物种丰富度指数 *S*、多样性指数 *H*、*D* 值均表现为:阴坡<阳坡,均匀度指数 *J* 则表现为:阴坡>阳坡,但阴、阳坡各指标值之间的差异很小,说明阴坡灌木物种的数量,物种多样性略低于阳坡,物种分布的均匀度略高于阳坡;草本的物种丰富度指数 *S*、多样性指数 *H*、*D* 和均匀度指数 *J* 均表现为:阴坡>阳坡,且不同坡向各指标值间差异明显,说明阴坡草本植物多样性和均匀度均好于阳坡。

2.3 不同处理人工油松林林下植物的物种多样性

由图 2 可看出,在 3 种处理下,灌木的丰富度指数 *S*、多样性指数 *H* 和 *D* 均表现为:去枯落物林>原状林>采伐上层乔木林;均匀度指数 *J* 则为:采伐上层乔木林>去枯落物林>原状林,说明保留乔木层、

去除林下枯落物层有利于灌木多样性的增加,采伐上层乔木后,下层灌木光照均匀,林下植物的获得了更多的生长空间,有利于其均匀度指数增加,并逐渐形成灌木优势群落,物种丰富度、多样性指数则略有减小。3 种处理措施林下草本层所测定的各项指数均表现为:去枯落物林>采伐上层乔木林>原状林,其原因可能是草本植物种子多数粒径较小,养分较少,幼芽、幼苗的穿透能力弱,去除枯落物后,有利于草本植物的生长,另外枯枝落叶层分解后的物质对其下草本植物种子发芽及幼苗胚生长也可能有一定抑制作用^[13]。

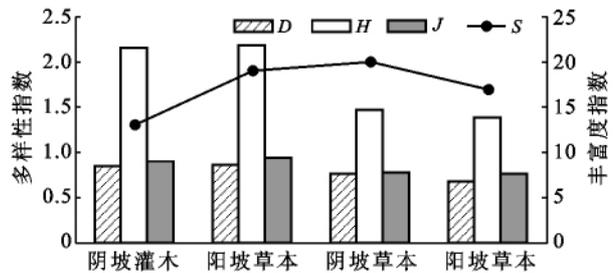


图 1 研究区不同坡向林下植物的物种多样性

注:*D* 为 Simpson 指数; *H* 为 Shannon—Wiener 指数; *J* 为均匀度指数; *S* 为丰富度指数。下同。

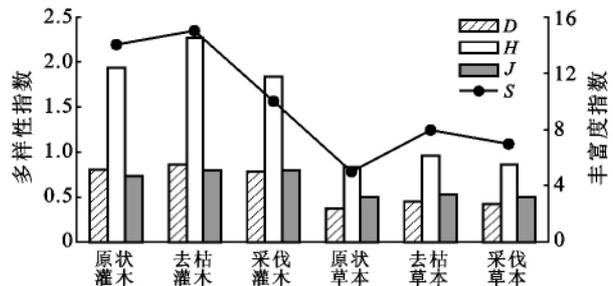


图 2 研究区不同处理林下植物的物种多样性

2.4 不同坡向、处理措施人工油松林幼苗更新

油松作为研究区的乡土树种,表现出了良好的幼苗更新能力,其幼苗密度显著高于陕西省 2009 年森林调查的林分平均密度 710 株/hm²(表 3)。

表 3 不同坡向,不同处理林人工油松林下幼苗幼树更新

株/hm²

立地条件	龄级/a			高度/cm			地径/cm		
	1~3	3~10	>10	0~10	10~80	>80	0~0.1	0.1~0.8	>0.8
阴坡	400	733	700	333	1 100	400	400	733	700
阳坡	33	633	433	33	733	333	33	633	433
原状林	450	1350	250	450	1 550	50	1200	800	50
去枯落物林	500	450	50	250	650	100	850	100	50
采伐上层乔木林地	200	1 200	900	100	1 500	700	700	800	800

就不同坡向而言,阴坡油松幼苗量为 1 833 株/hm²,阳坡为 1 099 株/hm²,阴坡比阳坡更适宜幼苗更新,且阴坡和阳坡林下幼苗均以年龄、高度、地径

分别为 3 a, 10 cm 和 0.1 cm 以上的为主,说明不论阴坡或阳坡林下幼苗的生长已经处于相对稳定期。原状油松林、去枯落物林、采伐上层乔木林地的幼苗

密度分别为 1 833, 1 099 和 2 050 株/hm², 以采伐上层乔木林幼苗密度最大、去枯落物层最小; 从 3 种处理林下幼苗的龄级、高度、地径组成分析, 也以采伐上层乔木林下幼苗质量最好, 去枯落物林分最差, 说明采伐上层乔木后, 油松林地可以进行自然更新, 油松林去掉枯落物层后, 对林地幼苗的更新有显著影响。

3 结论

(1) 阴坡与阳坡林下分别出现了 33 种与 37 种植物种, 阴坡低于阳坡, 二个坡向林下植物的相似性程度高达 74%, 说明坡向对该区人工油松林下物种组成的影响较弱; 3 种处理原状林、去枯落物林和采伐上层乔木林地出现的植物种分别为 29, 36 和 23 种, 以去枯落物林下植物更新较好; 原状油松林与这两种处理下油松林的相似性系数分别为 74% 和 38%, 说明采伐上层乔木层后林地植物种变异较大。

(2) 油松作为研究区的乡土树种, 表现出了良好的幼苗更新能力, 阴坡油松幼苗量为 1 833 株/hm², 阳坡为 1 099 株/hm², 阴坡比阳坡更适宜幼苗更新; 3 种处理原状油松林、去枯落物林、采伐上层乔木林地的幼苗密度分别为 1 833, 1 099 和 2 050 株/hm², 以采伐上层乔木林幼苗密度最大、去枯落物层最小, 说明油松林去掉枯落物层后, 对林地幼苗的更新有显著影响。

[参 考 文 献]

- [1] 刘建军, 王得祥, 雷瑞德, 等. 陕北黄土丘陵沟壑区植被恢复与重建技术对策[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(3): 12-15.
- [2] 赵麦换, 张翼, 曹世雄, 等. 黄土丘陵区不同土壤地类造林树种选择与配置技术研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 43-46.
- [3] 阮成江, 李代琼. 黄土丘陵区沙棘群落特性及林地水分、养分分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1061-1064.
- [4] 马祥庆, 黄宝龙. 人工林地力衰退研究综述[J]. 南京林业大学学报, 1997, 21(2): 77-81.
- [5] 张昌顺, 李昆. 人工林地力的衰退与维护研究综述[J]. 世界林业研究, 2005, 18(1): 17-21.
- [6] 曹云, 杨劫, 宋炳煜, 等. 人工抚育措施对油松林生长及结构特征的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 397-402.
- [7] 陈灵芝. 北京西山人工油松林群落学的特性及生物量的研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1984, 8(3): 173-181.
- [8] 王梅, 张文辉. 不同密度油松人工林生长更新状况及群落结构[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(7): 75-80.
- [9] 陈云明, 梁一民, 程积民. 黄土高原林草植被建设的地带性特征[J]. 植物生态学报, 2002, 26(3): 339-345.
- [10] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II: 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [11] 于立忠, 朱教君, 孔祥文, 等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3758-3764.
- [12] 王贺新, 李根柱, 于冬梅, 等. 枯枝落叶层对森林天然更新的障碍[J]. 生态学杂志, 2008, 27(1): 83-88.
- [13] 贾黎明, 翟明普, 冯长红. 化感作用物对油松幼苗生长及光合作用的影响[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(4): 6.
- [9] 安树青, 王峥峰, 朱学雷, 等. 土壤因子对次生森林群落植物多样性的影响[J]. 武汉植物研究, 1997, 15(2): 143-150.
- [10] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [11] 赵常明, 陈庆恒. 青藏东缘眠江上游亚高山针叶林人工恢复过程中物种多样性动态[J]. 植物生态学报, 2002, 26(S): 20-29.
- [12] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 112-158.
- [13] 汪超, 王孝安, 王玲. 不同种植年代油松林植物多样性及土壤养分变化[J]. 生态学杂志, 2007, 26(8): 1182-1186.
- [14] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 561-566.
- [15] 林娜, 刘勇, 于海群, 等. 不同林龄飞播油松林林下植被多样性研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(3): 16-20.
- [16] 关继义, 陈立新. 土壤实验实习教程[M]. 黑龙江 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005: 43-159.
- [17] 傅立. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992: 185-211.
- [18] 叶绍明, 温远光, 杨梅, 等. 连栽桉树人工林植物多样性与土壤理化性质的关联分析[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 246-256.
- [19] 王昭艳, 左长清, 曹文洪, 等. 红壤丘陵区不同植被恢复模式土壤理化性质相关分析[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 715-724.
- [20] 覃林. 统计生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 72.

(上接第 65 页)