

陕北黄土区坡面微地形对乔木空间分布的影响

任正龔, 朱清科*, 张恰宁, 马欢, 黄正佳

(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, 北京 100083)

摘要: [目的] 传统造林树木种植点设计忽略了黄土坡面微地形对其生长的影响, 研究切沟、塌陷地、缓台等微地形与现有林分乔木空间分布的耦合关系, 可为近自然造林及乔灌混交水土保持林结构配置提供参考。 [方法] 以陕西省吴起县三道川流域内原状坡面及微地形的植被调查数据为基础, 采用 Arcgis9.3 软件的空间分析工具和格局强度指标研究坡面微地形对乔木空间分布的影响。 [结果] 坡面微地形面积占样地面积的 21.03%, 微地形上乔木株数占样地总数的 51.77%, 乔木主要分布在坡面微地形上。乔木在切沟和缓台主要呈聚集分布, 在塌陷和陡坎主要呈随机分布。乔木在不同坡面微地形分布差异极显著, 榆树、小叶杨、山杏主要聚集分布在切沟, 河北杨主要聚集分布在切沟和缓台, 刺槐主要聚集分布在缓台。 [结论] 坡面各类微地形因其土壤水分等微生境差异而对乔木空间分布影响显著, 在近自然植被重建中需根据坡面各类微地形生境及空间分布规律长期保持配置树木种植点, 切沟以河北杨、小叶杨、榆树等树种为主, 缓台以河北杨、刺槐搭配为宜, 塌陷以河北杨、小叶杨为宜。

关键词: 坡面微地形; 空间分布; 乔木; 陕北黄土区

中图分类号: S774

文献标识码: A

Effect of Slope Micro-topography on Spatial Distribution of Trees in Loess Area of North Shaanxi Province, China

REN Zheng-yan, ZHU Qing-ke, ZHANG Qia-ning, MA Huan, HUANG Zheng-jia

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education; School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this research is to analyze the coupling between gully, collapse, platform and other micro-topography with spatial distribution of existing forest stand, which can provide references for near-natural vegetation restoration and the structure configuration of soil and water conservation tree-shrub mixed stand. [Method] Based on the investigation data of the vegetations in Sandaochuan valley in Wuqi County of Shaanxi Province, the effects of slope micro-topography on spatial distribution of trees were analysed by using spatial analysis tools of software Arcgis 9.3. [Result] The results showed that the area of all types of micro-topography account for 21.03% in undisturbed slope area, but the amount of trees on micro-topography account for 51.77% of the total amount. Trees were distributed mainly in various type of micro-topography, and showed an aggregated distribution at gully and platform, but showed a random distribution at collapse and scrap. The trees in different micro-topography displayed very significant difference, *Ulmus pumila*, *Populus simonii*, and *Prunus sibirica* showed an aggregated distribution at gully; *Populus hopeiensis* showed an aggregated distribution at gully and platform, while *Robinia pseud-acacia* showed an aggregated distribution at platform. [Conclusion] The soil moisture of various slope micro-topography and its microhabitat have significant effects on the spatial distribution of trees. It is necessary to maintain the

收稿日期: 2015-12-26

基金项目: “十三·五”国家科技支撑课题“困难立地植被恢复技术与示范”(2015BAD07B02)

作者简介: 任正龔(1990—), 男, 硕士, 主要从事水土保持与植被空间分布格局研究. E-mail: xiaojiang729323007@163.com

* 通讯作者: 朱清科, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与林业生态工程研究. E-mail: zhuqingke@sohu.com

long term point of configuration trees planted in near – natural vegetation restoration according to various slope micro-topography habitats and spatial distributions of trees. Therefore, *Populus hopeiensis*, *Populus simonii*, *Ulmus pumila* and other tree species could be planted on gully, *Populus hopeiensis*, and *Robinia pseudoacacia* could be planted on platform, and the tree species such like *Populus hopeiensis* and *Populus simonii* should be planted on scrap.

Key words: slope micro-topography; spatial distribution; tree; loess area of north Shaanxi Province

种群空间分布格局是种群内个体在水平空间的分布或配置状况,是种群与环境条件相互作用的结果,反映了环境对种群内个体生长和分布的影响,也反映了植物的生态适应对策。研究种群空间分布格局,既可阐明种群和群落的动态特征及分布状况,也可阐明种群与环境的相互作用^[1-2]。传统造林规划设计中,无论是营造纯林还是混交林,均以坡面立地条件类型为依据,沿等高线以等株距和等行距设计树种配置及其种植点^[3-4],忽略了坡面微地形形成的生境条件异质性及种群的分布格局,从而导致林分树木个体分化严重,生长不良,林分整体稳定性差,水土保持等生态功能低下^[5-6]。因此,依据微地形的生境条件及现有自然林分空间分布格局等条件,配置合理的林分结构是我国黄土丘陵沟壑区植被恢复的主要措施。目前,国内外学者虽然对种群空间分布格局研究较多,但多为研究某个种群的空间分布格局^[7-9]或群落、种群的空间分布格局与不同海拔、坡度、坡向等立地条件的相关性^[10-14],但均未考虑坡面微地形内微生境的异质性而导致植被类型和数量在坡面内出现的空间差异性。

黄土丘陵沟壑区坡面微地形是由土壤侵蚀等作用形成的,与原始坡面的坡度不同,大小不等,形状各异(浅沟、切沟、塌陷、缓台、陡坎)^[15]。由于坡面微地形对降水以及径流的二次分配,使坡面不同微地形的土壤水分等微生境条件差异较大^[16-18],切沟、缓台和塌陷微地形的土壤水分较好,缓台微地形土壤的有机质含量和全氮、有效氮含量较高,切沟、缓台和塌陷3种微地形土壤的有效养分比其它微地形好。微地形内草本群落的物种组成、数量特征及其多样性存在明显差异,但关于该区乔木空间分布与坡面微地形的耦合关系尚未研究。因此,需突破传统坡面尺度,研究切沟、塌陷地、缓台等坡面微地形与现有林分乔木空间分布的耦合关系,进行植被配置。本文以陕北黄土区吴起县三道川流域天然次生混交林为对象,研究坡面不同微地形植被物种组成、空间分布,揭示陕北黄土区坡面微地形植被空间分布规律,可为近自然造林及乔灌混交水土保持林

结构配置提供参考。

1 研究区概况

陕西省延安市吴起县三道川流域(36°52′17.6″N,108°04′20.7″E),属黄土高原丘陵沟壑区,海拔1 272.1~1 407.9 m,为半干旱温带大陆性季风气候。该区年均气温7.8℃,1月份平均气温-7.7℃,7月份平均气温21.5℃,极端最低气温-28.5℃,极端最高气温31.1℃,全县多年平均降水量483.4 mm,降水年际变化大,7-9月降水量301.7 mm,占全年降水量的62.4%。该区植被类型为森林草原向草原过度类型,植物组成为华北区系植物。利用2007年6月陕西省吴起县 QuickBird 影像,结合实地勘测确定各地块的土地利用类型、坡度、坡向。调查发现,吴起县阴坡现存植被类型以落叶阔叶混交林及灌木草丛为主。乔木以河北杨(*Populus hopeiensis* Hu et Chow)、山杏(*Prunus sibirica* L.)、小叶杨(*Populus simonii* Carr.)、榆树(*Ulmus pumila* L.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)、山楂(*Crataegus pinnatifida* Bge.)等为主,灌木以沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)、柠条(*Caragana microphylla* Kom)等为主,草本植物以艾蒿(*Artemisia argyi* Levl. et. Vant.)、委陵菜(*Potentilla chinensis* Ser.)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum* Willd.)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica* Schindl.)等为主。

2 研究方法

2.1 林分调查

于2015年7月,在陕西省吴起县三道川流域选取阴坡天然次生混交林为调查样地(由于陕北黄土区阳坡现存天然次生林较少且生长较差,因此,本文只对阴坡林分进行调查和分析),以坡下东南角为坐标原点设置样地为2.25 hm²(150 m × 150 m),采用全站仪将样地划分成56个20 m × 20 m调查单元,调查每个样方内胸径(DBH) ≥ 1 cm的乔木,记录其坐标、种名、胸径、树高、冠幅和生长状态等(表1),同时测量每个调查单元内的坡面微地形拐点、边界

点、地理坐标和高程在内的地形参数,计算样地内每个点的相对海拔高度和地理坐标,进行坡面微地形单元的提取^[19],结合乔木坐标绘制乔木在坡面微地

形上的空间分布图(图2)。由于旱柳(*Salix matsudana* Koidz.)、臭椿(*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle.)分布较少本文不予分析。

表1 林分内乔木树种的基本信息

树种	总株数/株	胸高断面面积 /(m ² ·hm ⁻²)	海拔/m	胸径(DBH)/cm			树高(H)/m		
				最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
河北杨	493	0.822 7	1 280.3 ~ 1 357.1	35.9	1.0	5.3	12.0	1.1	4.47
小叶杨	166	1.467 2	1 279.0 ~ 1 361.6	68.5	1.0	17.2	12.3	1.2	4.89
山杏	46	0.404 6	1 282.4 ~ 1 349.5	37.5	1.1	16.0	6.5	0.7	3.66
榆树	153	0.466 4	1 283.8 ~ 1 362.9	37.1	1.0	8.8	12.3	0.5	4.58
刺槐	23	0.494 2	1 321.9 ~ 1 341.4	48.9	2.4	21.9	15.0	1.7	6.85
山楂	18	0.029 5	1 279.6 ~ 1 338.9	15.1	1.1	4.1	4.2	0.4	1.70
旱柳	6	0.064 1	1 279.4 ~ 1 341.6	38.0	10.8	23.7	8.3	6.2	7.40
臭椿	1	0.005 2	1 291.5	5.1	5.1	5.1	2.6	2.6	2.60
合计	906								

2.2 分布格局的测定

由于点格局、地统计学等数学模型无法分析空间分布格局与坡面微地形的相关性,因此,本文以 Arcgis 中提取的坡面微地形单元为样方,以样方中的乔木多度数据为基础,采用5种常用的格局强度指数来分析坡面微地形与乔木种群的分布格局类型,具体指标及计算公式如下^[20-21]:

(1) 扩散指数(C)

$$C = \frac{s^2}{\bar{x}}$$

式中: s^2 是种群多度方差, \bar{x} 是种群多度平均值,当 $C \approx 1$ 时种群为随机分布; $C > 1$ 时种群为聚集分布, $C < 1$ 时种群为均匀分布。

(2) 聚块性指数(m^*/\bar{x})

$$m^* = \bar{x} + \frac{s^2 - \bar{x}}{\bar{x}}$$

式中: m^* 为平均拥挤度,当 $m^*/\bar{x} = 1$ 时种群为随机分布;当 $m^*/\bar{x} > 1$ 时种群为聚集分布;当 $m^*/\bar{x} < 1$ 时为均匀分布。

(3) 丛生指数(I)

$$I = C - 1$$

当 $I < 0$ 时种群为均匀分布;当 $I > 0$ 时种群为聚集分布;当 $I = 0$ 时种群为随机分布。

(4) 负二项参数(K)

$$K = \frac{\bar{x}^2}{(s^2 - \bar{x})}$$

当 $K < 0$ 时种群为均匀分布;当 $K > 0$ 时种群为聚集分布;当 K 值越接近于0,则聚集度越大,如果 K 值趋于无穷大(一般为8以上),种群接近泊松分

布,即随机分布

(5) Cassie 指标(C_A)

$$C_A = \frac{1}{K}$$

当 $C_A < 0$ 时种群为均匀分布;当 $C_A > 0$ 时种群为聚集度分布;当 $C_A = 0$ 时种群为随机分布。

利用 Arcgis9.3 软件等进行高线图、微地形、树种分布图的绘制,在 SPSS18.0 软件中进行方差分析和多重比较,其它相关统计及图表借助 Excel 及 Origin8.0 完成。

3 结果与分析

3.1 乔木空间分布

样地内共有乔木 906 株,其中,分布在切沟 315 株,缓台 102 株,塌陷 29 株,陡坎 16 株,浅沟 7 株,原状坡 437 株;切沟、缓台、塌陷、陡坎、浅沟、原状坡面积分别占坡面总面积的 13.98%、3.11%、1.53%、1.29%、1.12%、78.97%;林分密度分别为 1 001、1 457、843、552、278、246 株·hm⁻²;5 种坡面微地形面积仅占坡面总面积的 21.03%,而乔木株数却占总株数的 51.77%,原状坡面积占坡面总面积的 78.97%,但其乔木仅占总株数的 48.23%,同时切沟、缓台、塌陷等坡面微地形林分的密度远大于原状坡(表2)。林内乔木分布多度与微地形差异显著($P < 0.01$),即乔木分布多度与微地形显著相关。

从乔木的空间分布图(图1)可以看出:林内乔木主要分布在山坡下部,其次为山坡中部,在山坡上部分布较少;乔木主要分布在切沟、缓台和原状坡,但由于坡面微地形的影响,乔木在切沟、缓台、塌陷

表2 坡面乔木多度与密度

	切沟	缓台	塌陷	陡坎	浅沟	原状坡	合计
株数/株	315	102	29	16	7	437	906
面积/hm ²	0.314 6	0.070 0	0.034 4	0.029 0	0.025 2	1.776 8	2.25
密度/(株·hm ⁻²)	1 001	1 457	843	552	278	246	

等坡面微地形呈现不同程度的斑块状分布,在原状坡呈随机或均匀分布,整个林分乔木在坡面上呈非

均匀分布。

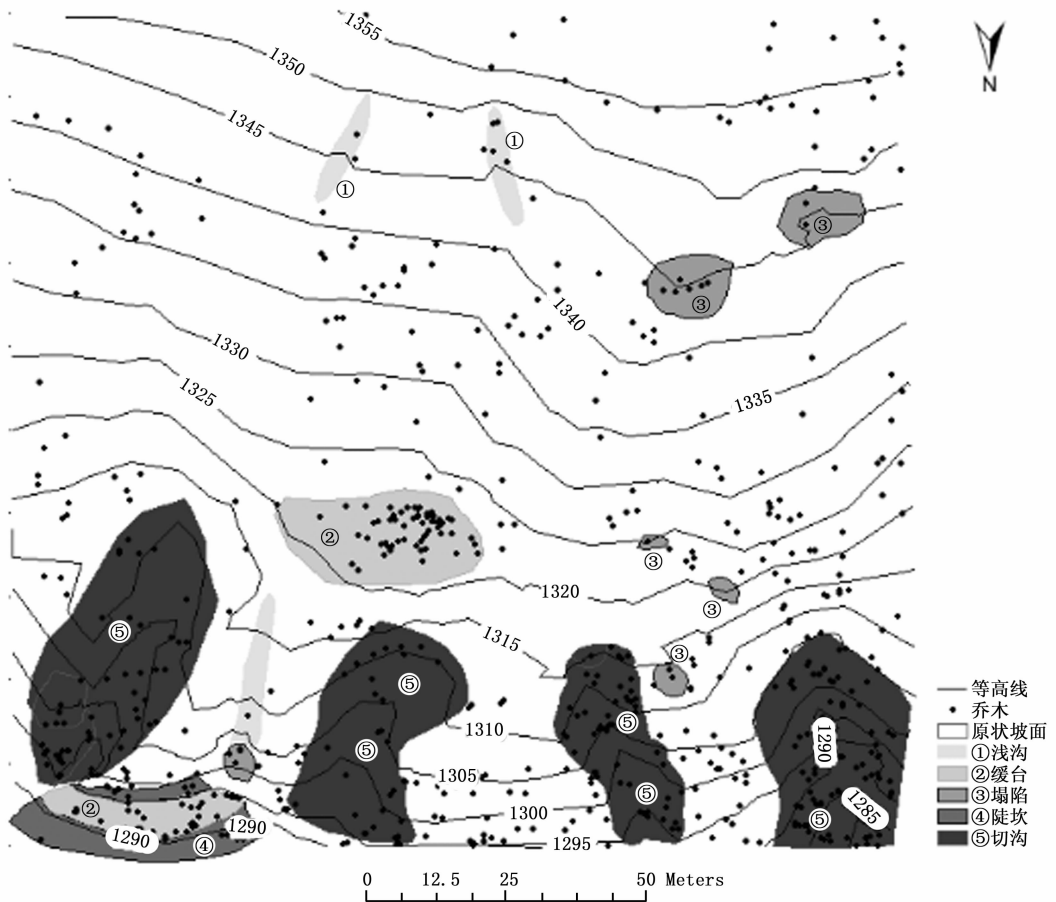


图1 乔木在样地微地形上空间分布图

3.2 乔木分布格局与坡面微地形

由表3可以看出:各乔木在不同微地形的空间分布格局存在差异。河北杨在切沟、缓台、陡坎呈聚集分布,在塌陷呈随机分布;小叶杨在切沟、缓台呈聚集分布,在塌陷呈均匀分布,在陡坎呈随机分布;榆树在切沟呈聚集分布,在塌陷、缓台、陡坎呈随机分布;山杏在切沟呈聚集分布,在陡坎呈随机分布;刺槐在缓台呈聚集分布;山楂在切沟呈随机分布。说明微地形会影响乔木的空间分布格局,在切沟和缓台主要呈聚集分布,在塌陷和陡坎主要呈随机

分布。

3.3 乔木种群在不同微地形分布的差异性分析

表4表明:各乔木种群在不同微地形的分布差异显著($P < 0.05$)。河北杨在切沟的分布显著多于陡坎、塌陷和浅沟,与缓台的差异不显著;榆树在切沟的分布显著多于陡坎、缓台、塌陷、浅沟,在陡坎的分布显著多于缓台和浅沟;山杏在切沟和陡坎分布显著多于浅沟;小叶杨在切沟分布显著多于陡坎、缓台、塌陷、浅沟;刺槐在缓台分布显著多于切沟、塌陷;山楂在切沟分布显著多于浅沟。榆树、小叶杨、山

杏、主要分布在切沟,河北杨主要分布在切沟和缓台, 刺槐主要分布在缓台,而且都为聚集分布(表3、4)。

表3 不同坡面微地形上乔木种空间分布格局的主要指标

坡面微地形	树种	扩散系数(C)	聚块性指数(m^*/\bar{x})	丛生指数(I)	负二项参数(K)	Cassie 指数(Ca)	分布格局类型
切沟	河北杨	18.020 4	1.463 1	17.020 4	2.159 2	0.463 1	聚集
	小叶杨	7.332 8	1.904 7	6.332 8	1.105 3	0.029 8	聚集
	榆树	10.970 1	10.739 1	9.978 2	1.152 5	0.904 7	聚集
	山楂	0.909 0	0.970 2	-0.091 0	33.602 7	0.029 8	随机
	山杏	5.970 1	1.167 5	0.335 0	5.970 1	0.165 7	聚集
缓台	河北杨	7.175 4	1.216 7	6.175 4	4.615 1	0.216 7	聚集
	小叶杨	1.800 0	1.400 0	0.800 0	3.125 0	0.320 0	聚集
	刺槐	7.500 0	1.823 5	6.500 0	1.307 7	0.764 7	聚集
	榆树	1.054 2	1.027 1	0.054 2	36.900 1	0.002 7	随机
塌陷	河北杨	1.160 1	1.120 0	0.160 1	8.170 4	0.122 3	随机
	小叶杨	0.600 0	-0.200 0	-0.400 0	-5.000 0	-0.200 0	均匀
	榆树	1.150 7	1.162 6	0.150 7	5.736 2	0.174 3	随机
陡坎	河北杨	8.000 0	1.777 8	7.000 0	1.285 7	0.777 8	聚集
	小叶杨	1.075 0	1.037 5	0.007 5	26.666 7	0.037 5	随机
	榆树	1.034 3	0.897 9	0.003 4	24.300 0	0.041 2	随机
	山杏	1.068 4	1.029 2	0.068 4	34.222 5	0.029 2	随机

表4 同一树种在不同坡面微地形上分布的方差分析

树种	变异来源	离差平方和	自由度	均方	F	显著性
河北杨	切沟、陡坎、缓台、塌陷、浅沟	3 018.789	4	754.697	3.414	0.038 *
榆树	切沟、陡坎、缓台、塌陷、浅沟	492.854	4	123.214	3.974	0.031 *
小叶杨	切沟、陡坎、缓台、塌陷、浅沟	264.167	4	66.042	8.627	0.001 * *
山杏	切沟、陡坎、浅沟	278.594	2	139.297	4.928	0.040 *
刺槐	缓台、切沟	8.000	1	8.000	12.000	0.008 * *
山楂	切沟、浅沟	15.470	1	15.470	6.086	0.025 *

注: * * 为 $P < 0.01$, 表示显著, * 为 $P < 0.05$, 表示显著。

4 讨论

植物种群的空间分布格局是生境异质性、竞争作用及种群自身属性综合作用的结果^[22]。本研究结果表明:坡面微地形面积占样地面积的 21.03%, 但微地形上乔木株数占样地总株数的 51.77%, 乔木在不同微地形上分布差异极显著;乔木在切沟和缓台主要呈聚集分布,在塌陷和陡坎主要呈随机分布,可见坡面微地形对乔木的空间分布格局影响显著。这与杨永川等^[23]研究结果相似,即在小尺度范围内,地形是影响植被空间分布的主要因子之一。坡面微地形作为一种地形,其通过形态的变化控制了光、热、水和土壤养分等资源因子的空间再分配,产生的微生境条件差异会直接作用于植被,影响植被的分布与生长^[26],因此,坡面微地形生境的异质性对植被空间分布格局产生了较大影响。

在天然林中,聚集分布是最普遍的植物种群空间分布格局类型^[24],大部分物种为聚集分布而非随

机分布。本研究发现:河北杨在切沟、缓台、陡坎呈聚集分布;榆树在切沟呈聚集分布,在塌陷、陡坎和缓台呈随机分布;小叶杨在切沟和缓台呈聚集分布,在塌陷呈均匀分布,在陡坎呈随机分布;山杏在切沟呈聚集分布,在陡坎呈随机分布。仅河北杨种群在各微地形呈聚集分布,其它乔木种群在各微地形呈不同的空间分布格局类型,可见坡面微地形对乔木空间分布格局类型具有较大影响。自然条件下,只有植被所在生境条件较为恶劣才会出现随机或均匀分布,但塌陷土壤水分等生境条件较好^[16],乔木却出现随机或均匀分布,这是因为塌陷虽具有较好的生境条件,但其面积一般在几平米^[19],地形尺度较小,因此,乔木在该塌陷出现均匀或随机分布,而乔木在陡坎呈随机分布则是由于陡坎土壤水分等微生境条件较差。

5 结论

(1)坡面微地形面积占样地面积的 21.03%,微

地形上乔木个数占样地总个数的 51.77%, 乔木在水分等微生境条件较好的缓台和切沟分布较多, 在微生境条件较差的陡坎分布较少, 坡面微地形对乔木分布影响较大。

(2) 乔木种群在不同微地形呈现不同的空间分布格局类型。河北杨在切沟、缓台、陡坎呈聚集分布, 在塌陷呈随机分布; 小叶杨在切沟、缓台呈聚集分布, 在塌陷呈均匀分布, 在陡坎呈随机分布; 榆树在切沟呈聚集分布, 在塌陷、缓台、陡坎呈随机分布; 山杏在切沟呈聚集分布, 在陡坎呈随机分布; 刺槐在缓台呈聚集分布; 山楂在切沟随机分布。

(3) 坡面各类微地形因其土壤水分等微生境差异而对乔木空间分布格局影响显著, 在近自然植被重建中需根据坡面各类微地形生境及空间分布规律长期保持配置树木种植点, 切沟以河北杨、小叶杨、榆树等树种为主, 缓台以河北杨、刺槐搭配为宜, 塌陷以河北杨、小叶杨为宜。

参考文献:

- [1] 李海涛. 植物种群分布格局研究概况[J]. 植物学通报, 1995, 12(2): 19-26.
- [2] 牛丽丽, 余新晓, 岳永杰, 等. 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1414-1418.
- [3] 任杨俊, 赵光耀, 李建牢, 等. 黄土丘陵沟壑区(Ⅲ)山坡地林草植被配置模式研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 78-80.
- [4] 杨文治, 马玉玺, 韩仕峰, 等. 黄土高原地区造林土壤水分生态分区研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 1-9.
- [5] 陈幸良, 巨茜, 林昆仑. 中国人工林发展现状、问题与对策[J]. 世界林业研究, 2014, 27(6): 54-59.
- [6] 张文臣, 张俊佩. 人工林存在的问题与对策[J]. 防护林科技, 2004(3): 45-46.
- [7] 商侃侃, 达良俊. 子遗落叶阔叶树种微地形空间分异格局及共存机制研究概述[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1912-1919.
- [8] 苏薇, 岳永杰, 余新晓. 油松天然林群落结构及种群空间分布格局[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(3): 18-20, 61.
- [9] 杨宁, 邹冬生, 李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地自然恢复灌

- 丛阶段主要种群空间分布格局[J]. 农业现代化研究, 2009, 18(3): 996-1001.
- [10] Nagamatsu D, Mirura O. Soil disturbance regime in relation to micro-scale landforms and its effects on vegetation structure in a hilly area in Japan[J]. Plant Ecology, 1997, 133: 191-200.
- [11] 罗君, 周维, 覃发超, 等. 元谋干热河谷冲沟区植被对微地形的响应[J]. 山地学报, 2012, 30(5): 535-542.
- [12] 李肇晨, 罗微, 陈永富, 等. 海南霸王岭陆均松空间分布格局及其与微生境异质性的关系[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2545-2554.
- [13] Comita L S, Condit R, Hubbell S P. Developmental changes in habitat associations of tropical trees[J]. Journal of Ecology, 2007, 95(3): 482-492.
- [14] Yamada T, Tomita A, Itoh A, et al. Habitat associations of Sterculiaceae trees in a Bornean rain forest plot[J]. Journal of Vegetation Science, 2006, 17(5): 559-556.
- [15] 朱清科, 张岩, 赵磊磊, 等. 陕北黄土高原植被恢复及近自然造林[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [16] 路保昌, 薛智德, 朱清科, 等. 干旱阳坡半阳坡微地形土壤水分分布研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(1): 62-65.
- [17] 张宏芝, 朱清科, 王晶, 等. 陕北黄土坡面微地形土壤物理性质研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 55-58.
- [18] 王晶, 朱清科, 秦伟, 等. 陕北黄土区封禁流域坡面微地形植被特征分异[J]. 应用生态学报, 2012, 23(3): 694-700.
- [19] 邝高明, 朱清科, 赵磊磊, 等. 黄土丘陵沟壑区陡坡微地形分布研究[J]. 干旱区研究, 2012, 29(6): 1083-1088.
- [20] 苏悦, 康永祥, 张世姣, 等. 太白山雅美鹿蹄草和鹿蹄草种群分布格局[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(1): 89-93, 99.
- [21] Rasmussen H N. Terrestrial Orchids from Seed to Myco-trophic Plant[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [22] Besag J. Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper[J]. Journal of the Royal Statistical Society (Series B), 1977, 39(2): 193-195.
- [23] 杨永川, 达良俊, 由文辉. 浙江天童国家森林公园微地形与植被结构的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2830-2840.
- [24] North M, Chen J, Oakley B, et al. Forest stand structure and pattern of old-growth western hemlock/Douglas-fir and mixed-conifer forests[J]. Forest Science, 2004, 50(3): 299-311.

(责任编辑: 詹春梅)