

青海高寒区不同人工林配置下草本群落生态位研究

王伟伟¹, 杨海龙¹, 贺康宁¹, 王瑞斌², 王 辉¹, 王 晓¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 孝义市水土保持监督站, 山西 孝义 032300)

摘 要:以青海大通高寒区的青海云杉林、华北落叶松林、白桦林、云杉白桦混交林 4 种人工林群落为研究对象,运用 Levins 生态位宽度指数及 Pianka 生态位重叠指数,对不同人工林群落下草本群落的生态位宽度及生态位重叠度进行计算,从生态位角度揭示了不同树种配置下草本群落的生长状况,结果表明:不同人工林下草本群落的广生态幅物种不同,针阔叶混交林更有利于林下草本群落的生长和发育。生态位重叠指数表明:一般情况下,生态位较宽的物种之间存在较大的生态位重叠,但在一些林分中,生态位较窄的物种之间也存在着较大的生态位重叠,这种现象可能是不同草本种群对有限环境资源激烈竞争的体现,针阔叶混交林下草本种群在有限的空间中对资源的利用更加充分。

关键词:青海高寒区; 人工林群落; 草本群落; 生态位宽度; 生态位重叠度

中图分类号:S718.54⁺2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0156-05

The Study on Herb Community Niche of Different Plantation Configuration in Alpine Region of Qinghai Province

WANG Wei-wei¹, YANG Hai-long¹, HE Kang-ning¹, WANG Rui-bin², WANG Hui¹, WANG Xiao¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Soil and Water Conservation Monitoring Station, Xiaoyi, Shanxi 032300, China)

Abstract: In this study, the communities of *Picea crasslia*, *Larix principis-rupprechtii*, *Betula platyphylla* and *Picea crasslia*—*Betula platyphylla* were selected as objects. In order to show growth of herb community niche of different plantation communities from view of niche, the niche breadth and niche overlapping of herb community were measured by means of levins niche breadth and pianka niche overlapping indexes in different plantation communities. It showed that wide ecological amplitude of species was different in different plantation communities. Broad-leaved mixed forest was the best for vegetation development and regeneration. The niche overlap index suggested that the species with big niche breadth often had big niche overlapping. But in some plantation communities, the species with narrow niche breadth had big niche overlapping. This phenomenon may be due to different herb community competition with each other for limited environmental resources. Herb community of broad-leaved mixed forest can make better use of resources.

Key words: alpine areas of Qinghai; plantation community; herb community; niche breadth; niche overlapping

生态位是现代生态学的一个重要理论,是种群生态研究的核心问题。究其本质而言,生态位是物种在特定尺度下特定环境中的功能单位,包括物种对环境的要求和环境对物种的影响两个方面及其相互作用规律,是物种属性的特征表现^[1]。种的生态位宽度和种间生态位重叠被认为是物种多样性及群落结构的决定因素,反映种群对资源的利用能力及其在群落或

生态系统中的功能位置,也反映了其所在群落的稳定性^[2-4]。

目前对不同人工林下草本群落的研究,多限于物种丰富度、均匀度和多样性指数等的度量方面^[5-6],然而,不同人工林下草本种群之间的相互关系如何,各种群的地位和功能又是如何,是否会对人工林种群的结构产生影响,这些问题可能会对人工林生物多样性

收稿日期:2011-11-28

修回日期:2012-02-08

资助项目:国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD38B05)

作者简介:王伟伟(1987—),男,山西临汾人,硕士研究生,主要研究方向:山地灾害防治。E-mail:wangweiwei1987411@163.com

通信作者:杨海龙(1965—),男,内蒙古赤峰人,副教授,主要研究领域为流域管理、森林水文。E-mail:yang_hlong@163.com

的正确理解产生影响。但迄今为止并没有得到应有的关注。以草本层为主的林下植被在促进人工林养分循环和维护森林立地生产力方面起着重要的作用。本研究运用生态位理论,对青海大通高寒区不同人工林下草本群落的主要种群的生态位宽度和生态位重叠进行定量研究,有助于了解优势种群在群落中的功能地位、生态适应性,为解释该区域不同人工林群落下林下植被的物种结构、物种共存等问题提供依据,为评价林下草本植物的发育状况,进一步优化当地人工林的群落结构和可持续经营管理提供理论依据。

1 研究区概况

大通县位于青海省东部,地处祁连山地与黄土高原的过渡地带,属青藏高原高寒区,地理坐标 $100^{\circ}51'—101^{\circ}56'E, 36^{\circ}43'—37^{\circ}23'N$,最低处与最高处相对高差达 2 342 m。本地区深居内陆,海拔高,受海洋影响微弱,属大陆性气候。气候垂直变化明显,随海拔高度的变化,冷暖干湿差异悬殊。年气温日较差平均为 $14.7^{\circ}C$,年内无霜期 70~120 d,全年 $\geq 5^{\circ}C$ 的积温平均为 $1\ 908^{\circ}C$ 。年湿润指数变化范围为 0.56~1.32,平均风速为 2 m/s。土壤类型为黄土母质上发育的山地棕褐土和栗钙土,土壤深厚。

试验地位于青海省西宁市大通县宝库林场,海拔 2 610 m~4 600 m,年平均气温 $2.4^{\circ}C$,年平均降雨量 549.9 mm,土壤为山地棕褐土,平均森林覆盖率为 79.0%,主要造林乔木树种有白桦(*Betula platyphylla*)、青海云杉(*Picea crasslia*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)等,主要灌木树种有沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、山生柳(*Salix oritrepha*)、杜鹃(*Rhododendronsimsii*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、小檗(*Berberis circumsterrata*)等,主要草本物种有问荆(*Equisetum arvense*)、升麻(*Rhizoma cimicifugae*)、鹿蹄草(*Pyrola rotundifolia ssp. chinensis*)、珠牙蓼(*Polygonum viviparum*)、细叶苔草(*Carex rigescens*)等。

2 研究方法

2.1 样方设置

在宝库林场分别选取青海云杉、华北落叶松、白桦、云杉白桦混交 4 种具有代表性的人工林,不同林分样地情况见表 1,每种林分设置 3 块 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的样地,调查每块样地乔木的种类、株数、胸径、树高、冠幅等因子,同时记录各样地的海拔、坡位、坡度、坡向和郁闭度。各样地内设置 4 个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的灌木

样方和 5 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的草本样方,分别记录灌木和草本的种类、高度、数量和盖度等。

表 1 不同林分样地情况

林型	海拔/m	坡度/($^{\circ}$)	坡位	坡向	郁闭度
青海云杉林	2836	18	中	西北	0.8
白桦林	2816	32	下	西北	0.4
华北落叶松林	2829	21	中下	西南	0.7
云杉白桦混交林	2820	29	中	西北	0.7

2.2 计算方法

2.2.1 重要值计测^[7] 重要值作为度量植物种群的重要指标,综合反映了植物物种在群落中的重要程度。重要值计量采用下式,即:

$$\text{重要值} = (\text{相对生物量} + \text{相对盖度} + \text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对高度}) / 5$$

2.2.2 生态位宽度计测 采用 Levins 生态位宽度计算公式^[8]为

$$B_i = 1 / r \sum_{j=1}^r P_{ij}^2$$

式中: B_i ——物种的生态位宽度; P_{ij} ——物种 i 在第 j 资源位上的重要值占它所有全部资源位上重要值的比例; r ——样方数。

2.2.3 生态位重叠度计测 采用 Pianka 生态位重叠指数^[9]。

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}}$$

式中: O_{ik} ——物种 i 与物种 k 的重叠度指数; P_{kj} ——物种 k 在第 j 资源位上的重要值占它所有全部资源位上重要值的比例,其他符号含义同上。

3 结果与分析

3.1 生态位宽度

生态位宽度是一个物种所利用的各种资源之总和,是衡量物种对环境资源利用状况的尺度^[10]。生态位宽度的大小不仅与物种生态学和进化生物学特征有关,而且与种间的相互适应和相互作用有密切的联系。生态位宽度越大,表明物种对环境的适应能力越强^[11]。从表 2 和图 1 中可以看出,同一人工林下不同草本物种具有的生态位宽度不同,不同人工林下相同草本物种的生态位宽度也不相同。在华北落叶松林中,生态位宽度值排序为问荆>升麻>鹿蹄草>东方草莓,具有较强的资源利用能力,是华北落叶松林群落的优势种;在青海云杉林的 10 种草本植物中,问荆的生态位宽度最大,达到 0.811,而大多数物种的生态位宽度较小,生态幅度较窄,反映出该人工林下草本群落结构的单调性;白桦林中生态位宽度值

较大的几个物种依次是珠牙蓼>细叶苔草>柳叶风毛菊,说明这几种草本具有较高的资源利用价值,对资源的利用处于领先地位;云杉白桦混交林中,生态位宽度值较大的是珠牙蓼>东方草莓>细叶苔草,说明这几种物种是该混交林的优势种。从图 1 可以看出,纯林之间:落叶松和云杉群落的主要草本物种的生态位宽度均在区间 0.5~0.7 之外,白桦林中草本群落的生态位宽度较为平均,对资源环境的利用较为均衡。纯林和混交林之间:白桦落叶松混交林中草本群落的生态位宽度分布更为平均,对环境资源的利用也最为均衡。

从表 2 可以看出,同一植物可以分布于不同的人工林群落中,问荆、鹿蹄草、东方草莓、紫色悬钩子、细叶苔草 5 种植物在 3 个人工林群落中均有出现,说明这几种草本物种在当地具有广泛的适应性。同一植物在不同的人工林群落中的生态位宽度变化较大,问

荆在落叶松和云杉林群落中生态位宽度最大,而在白桦林群落中生态位宽度较小;鹿蹄草在落叶松群落中生态位宽度较大,而在云杉和白桦群落中生态位宽度较小;东方草莓在落叶松和白桦群落中生态位宽度较大,而在云杉群落中生态位宽度居中。

如表 2 所示:从各个人工林草本植物种群的平均生态位宽度来看,各纯林之间:白桦林和落叶松林草本种群的生态位宽度较大,云杉林较小,说明了纯林中落叶松和白桦林的草本群落对资源的利用率较大,生长较好,云杉林群落资源利用率较小,落叶松林和白桦林能较好的促进林下植被的生长发育。纯林和混交林之间比较:云杉白桦混交林主要草本种群的生态位宽度均大于云杉纯林、落叶松纯林及白桦纯林,说明在青海高寒区针阔叶混交林下草本群落能更好地利用环境资源,混交林更有利于林下草本群落的生长和发育。

表 2 不同人工林下草本种群的生态位宽度

人工林群落	植物名称	生态位宽度	人工林群落	植物名称	生态位宽度
华北落叶松纯林	1. 问荆 <i>Equisetum arvense</i>	0.994	白桦纯林	1. 珠牙蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	0.988
	2. 升麻 <i>Rhizoma cimicifugae</i>	0.963		2. 细叶苔草 <i>Carex rigescens</i>	0.980
	3. 鹿蹄草 <i>Pyrola rotundifolia</i>	0.882		3. 柳叶风毛菊 <i>Saussurea epilobioides</i>	0.938
	4. 东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	0.841		4. 东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	0.847
	5. 猪殃殃 <i>Galium aparine</i>	0.796		5. 紫色悬钩子 <i>Rubus irritans</i>	0.586
	6. 密穗香薷 <i>Elsholtzia communis</i>	0.788		6. 鹿蹄草 <i>Pyrola rotundifolia</i>	0.399
	7. 紫色悬钩子 <i>Rubus irritans</i>	0.398		7. 高山冷蕨 <i>Cystopteris montana</i>	0.398
	8. 细叶苔草 <i>Carex rigescens</i>	0.398		8. 升麻 <i>Rhizoma cimicifugae</i>	0.396
	9. 早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.359		9. 高山老鹳草 <i>Geranium pylzowianum</i>	0.384
	10. 高山露珠草 <i>Circaea alpina</i> L. subsp. <i>micran</i>	0.234		10. 泽漆 <i>Euphorbia helioscopia</i>	0.211
	11. 栓翅卫矛 <i>Euonymus phellomanus</i>	0.198		11. 问荆 <i>Equisetum arvense</i>	0.090
	12. 唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.	0.155	平均		0.565
	13. 微孔草 <i>Microula sikkimensis</i>	0.111			
平均		0.547			
青海云杉纯林	1. 问荆 <i>Equisetum arvense</i>	0.811	云杉白桦混交林	1. 珠牙蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	0.986
	2. 苔藓 <i>Bryophyta</i>	0.387		2. 东方草莓 <i>Pyrola rotundifolia</i>	0.933
	3. 东方草莓 <i>Pyrola rotundifolia</i>	0.385		3. 细叶苔草 <i>Carex rigescens</i>	0.926
	4. 北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>	0.324		4. 马先蒿 <i>Pedicularis</i>	0.788
	5. 路边青 <i>Geum aleppicum</i> Jacq	0.284		5. 高山老鹳草 <i>Geranium pylzowianum</i>	0.756
	6. 鹿蹄草 <i>Pyrola rotundifolia</i>	0.278		6. 柳叶风毛菊 <i>Saussurea epilobioides</i>	0.642
	7. 细叶苔草 <i>Carex rigescens</i>	0.266		7. 北方拉拉藤 <i>Galium boreale</i>	0.523
	8. 唐松草 <i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.	0.244		8. 猪殃殃 <i>Galium aparine</i>	0.433
	9. 紫色悬钩子 <i>Rubus irritans</i>	0.230		9. 蒲公英 <i>Herba taraxaci</i>	0.341
	10. 山羽藓 <i>Abietinella abietina</i>	0.171		10. 轮叶黄精 <i>Polygonatum verticillatum</i>	0.211
平均		0.338		11. 鹿蹄草 <i>Pyrola rotundifolia</i>	0.114
			平均		0.605

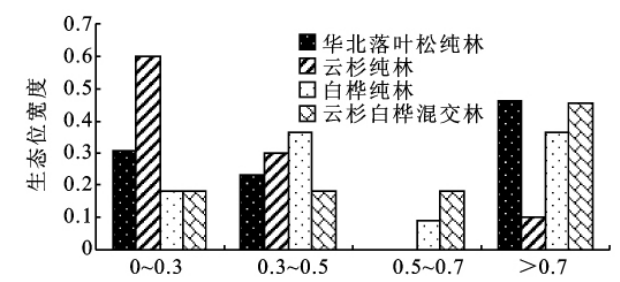


图 1 不同人工林下草本群落物种生态位宽度值的百分比

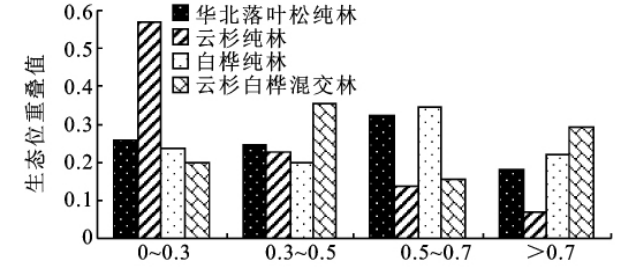


图 2 不同人工林下草本群落生态位重叠值的物种百分比

3.2 生态位重叠度

生态位重叠反映种群之间对于资源利用的相似性程度和竞争关系,较高的生态位重叠意味着种群之间对于资源环境具有相似的生态学要求,因而可能存在着激烈的竞争^[12]。

不同人工林群落在物种组成、结构和功能等多方面存在着一定的差异,从而决定了它们的林下植被的生态位重叠值也有一定的差异。从表 3 和图 2 可以看出,在研究范围内,不同人工林下草本群落的生态位重叠值差异很大,各人工林群落下(落叶松、云杉、白桦、云杉白桦混交)草本群落的生态位重叠值在 0~0.3 之间的物种百分率依次为 25.64%,56.82%,23.64%,20.00%,生态位重叠值大于 0.7 的物种百分率分别为 17.95%,6.82%,21.82%,29.23%。其趋势表现为针阔叶混交林下的草本群落的生态位重叠值比纯林高。

青海高寒区不同人工林下草本群落的生态位重叠平均值为云杉白桦混交林>落叶松纯林>白桦纯林>云杉纯林,云杉白桦混交林下草本群落的生态

位重叠平均值高于其他纯林,表明在该地区混交林下草本群落对资源的利用更为充分,这可能是由于混交林下草本群落的平均生态位宽度最大,各草本群落实现了自身优化,资源得到了最大限度利用。华北落叶松林下草本群落的平均生态位宽度小于白桦林下地表植被平均生态位宽度,而生态位重叠平均值却小于白桦林,这表明在白桦林和华北落叶松林中,生态位宽度并不是影响林下植被生态位重叠的唯一因素,物种之间的生态位重叠值还可能与物种分布格局或者说环境资源分布的高度异质性有很大关系,有待于进一步研究。

云杉纯林下草本群落的生态位重叠平均值较小,只有 0.495,主要是由于该种群下草本树种的生态位宽度较窄,林下地表植被的生物多样性较少,因而导致群落间对资源的利用不够充分,可以通过人工措施改善树种的配置,促进生态位分化。

表 3 不同人工林下草本群落生态位重叠系数的平均值

不同人工林群落	华北落叶松纯林	云杉纯林	白桦纯林	云杉白桦混交林
生态位重叠平均值	0.599	0.495	0.595	0.612

由表 4—6 可以看出,生态位宽度较高的物种与其他群落有较高的生态位重叠,如三种人工林中生态位较大的东方草莓和其他物种都有较大的生态位重叠。这是因为东方草莓分布较广,对资源的利用能力较强,与其他种群的分布地段重叠度较大。此外,某些人工林群落下,生态位窄的草本物种也会出现较大的生态位重叠。如在云杉白桦混交群落中,蒲公英和猪殃殃的生态位重叠值为 0.93,蒲公英和鹿蹄草的生态位重叠值为 0.91;在白桦纯林群落中,高山冷蕨和升麻的生态位重叠值为 0.99(由表 1 知蒲公英、猪殃殃和鹿蹄草在云杉白桦林中生态位宽度较窄,高山冷蕨、升麻在云杉白桦纯林中生态位宽度较窄),出现上述情况可能是植物种群为了在局部生境条件下生存,对特定人工林群落中有限的环境资源(光照、水分等)展开竞争的结果。

表 4 云杉白桦混交林下主要草本生态位重叠值

物种	6	2	7	3	1	5	4	9	8	11	10
6	1.00										
2	0.86	1.00									
7	0.64	0.71	1.00								
3	0.65	0.89	0.56	1.00							
1	0.76	0.97	0.69	0.97	1.00						
5	0.81	0.82	0.92	0.74	0.82	1.00					
4	0.46	0.77	0.63	0.93	0.88	0.75	1.00				
9	0.43	0.40	0.08	0.45	0.38	0.36	0.41	1.00			
8	0.47	0.32	0.00	0.41	0.33	0.40	0.41	0.93	1.00		
11	0.48	0.38	0.00	0.35	0.35	0.37	0.41	0.91	0.83	1.00	
10	0.23	0.41	0.83	0.32	0.41	0.68	0.57	0.00	0.00	0.00	1.00

表 5 云杉林下主要草本生态位重叠值

物种	6	2	10	7	3	4	5	1	8	9
6	1.00									
2	0.23	1.00								
10	0.29	0.20	1.00							
7	0.27	0.29	0.17	1.00						
3	0.38	0.13	0.00	0.40	1.00					
4	0.33	0.18	0.00	0.38	0.90	1.00				
5	0.31	0.00	0.00	0.30	0.94	1.00	1.00			
1	0.34	0.67	0.00	0.52	0.79	0.60	0.60	1.00		
8	0.31	0.14	0.54	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	
9	0.24	0.37	0.00	0.17	0.36	0.00	0.00	0.61	0.00	1.00

表 6 白桦林下主要草本生态位重叠值

物种	5	2	1	3	4	6	9	7	8	10	11
5	1.00										
2	0.74	1.00									
1	0.74	0.99	1.00								
3	0.64	0.97	0.96	1.00							
4	0.85	0.87	0.91	0.80	1.00						
6	0.31	0.55	0.66	0.59	0.67	1.00					
9	0.38	0.52	0.63	0.53	0.74	0.57	1.00				
7	0.40	0.67	0.57	0.73	0.41	0.00	0.00	1.00			
8	0.47	0.66	0.56	0.72	0.42	0.00	0.00	0.99	1.00		
10	0.00	0.51	0.41	0.52	0.25	0.00	0.00	0.76	0.64	1.00	
11	0.00	0.44	0.52	0.54	0.26	0.73	0.55	0.00	0.00	0.00	1.00

4 结 论

(1) 生态位宽度主要通过种群对资源的利用能力来评价某一种群在群落中的地位和作用的大小。在华北落叶松林中,生态位宽度值排在前列的是问荆、升麻、鹿蹄草;云杉林中,生态位宽度排在前边的依次是问荆、苔藓、东方草莓;白桦林中,生态位宽度排在前边的依次是珠芽蓼、细叶苔草、柳叶风毛菊;云杉白桦混交林中,生态位宽度从大到小的次序依次是珠芽蓼、东方草莓、细叶苔草。这表明,在青海高寒区,不同人工林下草本群落的广生态幅物种,存在较大的差异,这是由不同人工林的立地条件变化及不同物种的生物学特性共同决定的;与其他人工林分相比,青海云杉林下地表植被群落的生态幅度相对较窄,物种结构相对单调,在进行林下植被抚育和管理时,可以采取人工措施改善树种的配置,促进其生态位的分化;各人工林下草本群落的平均生态位宽度大小依次是云杉白桦混交林>白桦林>落叶松林>云杉林,表明在青海高寒区,人工混交林比人工纯林更有利于地表植被的生长和发育,阔叶林比针叶林更能有效的促进草本群落有效地利用环境资源。因此,建议在当地营造人工林的过程中,可以优先营造混交林,在纯林营造过程中,可以考虑适当的推广人工栽植白桦林。

(2) 青海高寒区 4 种人工林下草本群落的平均生态位重叠度,由大到小依次是云杉白桦混交林>落叶松林>白桦林>云杉林,说明该地区混交林下地表植被在有限的空间中对资源的利用更加充分;一般情况下,较宽的生态位常常伴随着较高的生态位重叠,这与前人的研究结果相似^[13-14],然而本研究表明,在云杉白桦混交林中和白桦纯林中,一些草本物种较小的生态位宽度却有较大的生态位重叠值,这可能与物种分布的斑块性和环境资源的高度空间异质性有关,使适宜生境以斑块的形式存在,导致物种向少数不连续的斑块分布,因而在这些适宜斑块中常常有较高的物种聚集度,而在适宜斑块以外的空间物种的分布较为贫乏,导致物种在总体环境空间中生态位宽度较小,从而出现了较小的生态位宽度伴随着较高的生态位重叠的现象。

参考文献:

- [1] Leibold M A. The niche concept revisited mechanistic model and community context[J]. Ecology, 1955, 76 (5):1371-1382.
- [2] 李明,蒋德明,押田敏雄,等. 科尔沁沙地人工固沙群落草本植物种群生态位特征[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 10-16.

(下转第 165 页)

参考文献:

- [1] 杨明德, 谭明, 梁虹. 喀斯特流域水文地貌系统[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [2] 何隆华, 储开华, 肖向明. Vegetation 图像植被指数与实测水稻叶面积指数的关系[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 672-676.
- [3] 王福民, 黄敬峰, 唐延林, 等. 采用不同光谱波段宽度的归一化植被指数估算水稻叶面积指数[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2444-2450.
- [4] 杨曦, 武建军, 闫峰, 等. 基于地表温度—植被指数特征空间的区域土壤干湿状况[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1205-1216.
- [5] 李玉霞, 杨武年, 童玲, 等. 基于光谱指数法的植被含水量遥感定量监测及分析[J]. 光学学报, 2009, 29(5): 1403-1407.
- [6] Fabio Maselli¹, Antonio Di Gregorio, Valerio Capecchi¹ et al. Enrichment of land-cover polygons with eco-climatic information derived from MODIS NDVI imagery [J]. Journal of Biogeography, 2009, 36: 639-650.
- [7] Karnieli A, Nurit A, Rachel T, et al. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment [J]. Journal of Climate, 2010, 23(3): 618-633.
- [8] Pu Ruiliang, Gong Peng, Tian Yong, et al. Using classification and NDVI differencing methods for monitoring sparse vegetation coverage: a case study of saltcedar in Nevada, USA[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14): 3987-4011.
- [9] Thenkabail P S. Inter-sensor relationships between IKONOS and Landsat-7 ETM+ NDVI data in three ecoregions of Africa [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(2): 389-408.
- [10] 贺中华, 梁虹, 黄法苏, 等. 基于RS流域枯水资源的判读识别[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2004, 22(2): 36-39.
- [11] 贺中华, 杨胜天, 梁虹, 等. 基于GIS和RS的喀斯特流域枯水影响因素识别: 以贵州省为例[J]. 中国岩溶, 2004, 23(1): 48-55.
- [12] Chander G, Markham B L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges [J]. Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(1): 2674-2677.
- [13] Markham B L, Barker J L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances [J]. International Journal of Remote Sensing, 1987, 8(3): 513-523.
- [14] Roderick M, Smith R, Lodwick G. Calibrating long-term AVHRR-derived NDVI imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58(1): 1-12.
- [15] Huete A. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1): 195-213.
- [16] Lü S H. Physical Foundation of Remote Sensing [M]. Beijing: Commercial Press, 1981: 206-234.
- [17] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS [J]. Third ERTS Symposium, NASA, 1973.
- [18] 张超, 杨秉赓. 计量地理学基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [3] 李军玲, 张金屯, 郭道宇. 关帝山亚高山灌丛草甸群落优势种群的生态位研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2081-2088.
- [4] 张忠华, 梁士楚, 胡刚. 桂林岩溶石山阴香群落主要种群生态位研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 63-68.
- [5] 曲红, 王百田, 高海平, 等. 黄土区不同配置人工林物种多样性研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 843-848.
- [6] 邢永亮, 余伟莅, 王利兵, 等. 华北落叶松和兴安杨人工林林下植被多样性的研究[J]. 内蒙古林业科技, 2008, 31(1): 8-12.
- [7] 郑翠玲, 曹子龙, 赵廷宁, 等. 浑善达克沙地南缘农牧交错带弃耕地植被的演替规律[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(1): 72-76.
- [8] 魏志琴, 李旭光, 郝云庆. 珍稀濒危植物群落主要种群生态位特征研究[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 26(1): 1-4.
- [9] 毕润成, 尹文兵, 王艳妮. 山西南部脱皮榆种群生态位的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(7): 1266-1271.
- [10] Weider L J. Niche breadth and life history variation in a hybrid daphnia complex [J]. Ecology, 1993, 74(3): 935-943.
- [11] 王仁忠. 放牧影响下羊草草地主要植物种群生态位宽度与生态位重叠的研究[J]. 植物生态学报, 1997, 21(4): 304-311.
- [12] Silvertown J W. The distribution of plants in limestone pavements: tests of species interaction and niche separation against null hypotheses [J]. Ecology, 1983, 71: 819-820.
- [13] 郭全邦, 刘玉成, 李旭光. 缙云山森林次生演替序列优势种群生态位[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1997, 22(1): 73-78.
- [14] Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience [J]. Conservation of Biology, 1995, 9(4): 747-752.

(上接第160页)