

金缕梅种内及其与常见伴生种之间的竞争关系

徐晓峰¹, 王盼², 张苏炯¹, 陈江芳¹, 陈秀元¹, 康华靖^{3*}

(1. 磐安县林业局, 浙江 磐安 322300; 2. 浙江大盘山国家级自然保护区管理局, 浙江 磐安 322300; 3. 温州市农业科学研究院, 浙江 温州 325006)

摘要: 为了解浙江省磐安县高姥山和大盘山国家级自然保护区内金缕梅(*Hamamelis mollis*)种群的发展动态, 应用生态位宽度、生态位重叠模型和单木竞争模型对金缕梅种内及其与常见伴生种间的竞争关系进行了研究。结果表明, 群落中金缕梅的生态位宽度最大, 其次为四照花(*Cornus kousa* sp. *chinensis*)。金缕梅与其伴生种生态位重叠值为: 四照花>尖萼紫茎(*Stewartia sinensis* var. *acutisepala*)>云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)>小叶白辛树(*Pterostyrax corymbosus*)>郁香野茉莉(*Styrax odoratissimus*)>天台鹅耳枥(*Carpinus tientaiensis*)>红枝柴(*Meliosma oldhamii*)>尖连蕊茶(*Camellia cuspidata*)>南方千金榆(*Carpinus cordata* var. *chinensis*)>红果钓樟(*Lindera erythrocarpa*)>化香(*Platycarya strobilacea*)。根据 Hegyi 单木竞争模型, 金缕梅的种内竞争强度大于种间竞争, 且以胸径为 15~20 cm 时达到最大。采用幂函数模型模拟和预测, 当金缕梅胸径大于 22.5 cm 后, 其种内和种间的竞争强度趋于稳定。因此, 在经营金缕梅人工林时, 建议选择灌木树种作为其主要伴生种, 可兼植少量高大乔木, 但应避免选择萌枝能力较强的小乔木。

关键词: 金缕梅; 种群; 生态位; 单木竞争模型

doi: 10.11926/jtsb.3815

Studies on Intra- and Inter-specific Competition of *Hamamelis mollis*

XU Xiao-feng¹, WANG Pan², ZHANG Su-jiiong¹, CHEN Jiang-fang¹, CHEN Xiu-yuan¹, KANG Hua-jing^{3*}

(1. Forestry Bureau of Pan'an, Pan'an 322300, Zhejiang, China; 2. Administration Bureau of Dapanshan National Nature Reserve, Pan'an 322300, Zhejiang, China; 3. Wenzhou Academy of Agricultural Sciences, Wenzhou 325006, Zhejiang, China)

Abstract: In order to reveal the development dynamics of *Hamamelis mollis* population in Gaomushan and Dapanshan Nature Reserves, Pan'an County, Zhejiang, the intra-specific and inter-specific competitions of *H. mollis* were studied by using the methods of niche and Hegyi's competition model for individual tree. The results showed that the niche breadth of *H. mollis* was the greatest in the community, and *Cornus kousa* sp. *chinensis* was followed. The niche overlaps between *H. mollis* and accompanying species were in the order of *Cornus kousa* sp. *chinensis* > *Stewartia sinensis* var. *acutisepala* > *Rhododendron fortunei* > *Pterostyrax corymbosus* > *Styrax odoratissimus* > *Carpinus tientaiensis* > *Meliosma oldhamii* > *Camellia cuspidata* > *Carpinus cordata* var. *chinensis* > *Lindera erythrocarpa* > *Platycarya strobilacea*. According to Hegyi's competition index model for individual tree, the competition intensity of intra-species was larger than that of inter-species, and reached the maximum at diameter at breast height (DBH) of 15–20 cm. It was predicted by power function that the intra-specific and inter-specific competition intensity of *H. mollis* would tend to be stable at DBH more than 22.5 cm. Therefore, shrub species should be chosen as main accompanying species in the management of *H. mollis* plantations, and small arbor with strong sprouting ability should be avoided.

Key words: *Hamamelis mollis*; Population; Niche; Competition model for individual tree

收稿日期: 2017-09-06

接受日期: 2017-10-28

基金项目: 金华市科技计划农业重点项目(2017-2-009); 温州市科技计划项目(S20130003); 温州市重点科技创新团队项目(C20150008)资助

This work was supported by the Key Project for Agricultural Science and Technology in Jinhua (Grant No. 2017-2-009), the Plan Project for Science and Technology in Wenzhou (Grant No. S20130003), and the Project for Key Scientific and Technological Innovation Team in Wenzhou (Grant No. C20150008).

作者简介: 徐晓峰(1972~), 男, 工程师, 主要从事林业保护与开发利用研究。E-mail: 1115912573@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: kanghuajing@126.com

金缕梅(*Hamamelis mollis*)为金缕梅科(*Hamamelidaceae*)金缕梅属植物,因其花瓣带状,金黄如缕似蜡梅而得名。金缕梅主要分布于长江流域的四川、安徽、浙江、江西、湖南等省,其花形奇特,具有芳香,花瓣黄色细长宛如金缕,早春先叶开放,缀满枝头,十分惹人喜爱。其树型虬髯苍劲,也是制作树桩盆景的良好素材。金缕梅在国内外园林常有栽植,是良好的观赏花木之一。同时,金缕梅的花枝也是优良的切花材料。此外,据《新华本草纲要》记载,金缕梅的根具有补中益气的功效,主治脾气虚弱等症,具有较高的药用开发价值。关于金缕梅的研究目前主要集中在植物系统发育^[1-3]、叶片和种子形态^[4-5]、无性繁殖^[6]以及有效成分提取和利用^[7]等方面,而对金缕梅的群落生态学研究极为欠缺。这主要是与金缕梅种群均分布比较零星有关。2016年3月在浙江省磐安县城内发现大规模金缕梅种群,面积达近10 hm²,种群数量有近千株(丛),是迄今为止华东地区发现的最大面积的野生金缕梅群落,国内也较为罕见。这为金缕梅的种群生态学、繁育生物学等科学研究以及景观的开发利用均提供了良好平台。

植物间的竞争是影响种群的空间分布、动态以及物种多样性的重要因素^[8]。植物间的竞争推动着群落的演替,是植物种内和种间的主要表现形式^[9]。植物间竞争的研究有利于物种的保护及对资源的可持续利用^[10],因而成为生态学研究的核心内容之一^[11]。生态位理论在植物种群竞争关系研究中有重要而广泛的应用,通过对植物种群之间生态位重叠及生态位宽度的计算,可以深入了解植物种群内或种间的竞争,这对深入理解植物种群在群落中的地位和作用提供帮助。然而,虽然生态位理论自Grinnell于1917年首次提出已取得了长足的发展,但至今尚未形成被广大生态学者公认的生态位理论^[12]。与生态位理论一样,单木竞争模型也能反映群落中种内和种间的竞争关系。康华靖等^[13]认为,两者可以进行有机结合,并且两种方法的研究结果具有一定的互补性。然而,将两种方法相结合对竞争关系进行研究还鲜有报道。为此,本文运用生态位和单木生长模型相结合的方法,分析金缕梅种内和种间的竞争关系,揭示其种群的发展动态,以期为今后金缕梅种群的抚育及开发利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

研究地位于浙江省磐安县城安文镇东南10 km处,是浙江钱塘江、瓯江、灵江和曹娥江四大水系的发源地,地理位置为28°57'05"~29°01'58" N, 120°28'05"~120°33'40" E。该区域属亚热带季风区,年均气温16.1℃,无霜期236 d,年均降水量1 573 mm,降水以3-6月最多^[14]。由于山势高峻,地形复杂,河谷深切,形成了多样性的小气候环境,为植物生长提供了优越的条件。

根据调查,野生金缕梅规模种群主要集中在高姥山前坞后山、清梅尖山麓、大盘山国家级自然保护区等地,其中以高姥山前坞后山西北坡的群落最为集中、面积最广、植株最大,海拔为950~1 130 m。大盘山国家级自然保护区和高姥山前坞后山相距10 km左右,属于同一山脉。

1.2 方法

考虑到分布点之间的生态异质性及种群分布面积等因素,在高姥山设置了4个20 m×30 m的样地,在大盘山国家级自然保护区设置了1个20 m×30 m的样地,合计调查面积3 000 m²。由于清梅尖山麓处的金缕梅种群面积相对较小,地势凶险,且与大盘山国家级自然保护区群落林分较为相似,所以未设置样地。样地调查时记录所有木本植物的种类、位置、胸径、高度、冠幅等。同时,每个样地中选取3个5 m×5 m的小样方统计群落内灌木和草本植物种类、盖度等。另外,在每个样地内随机选择金缕梅作为对象木,测量其胸径,然后以该对象木为中心,测量半径为8 m的样圆以内的所有胸径(DBH)大于2 cm的木本树种的胸径,以及与对象木之间的距离^[13],共选对象木28株。

1.3 数据处理

由于金缕梅具有根部萌枝的特点,除幼苗(DBH<2.5 cm)外,群落内金缕梅植株几乎均有萌枝,且无明显主次之分。为此本文测量所有萌枝的胸径,以总和作为本株胸径。然后,计算金缕梅和伴生种的生态位宽度^[15]、生态位重叠^[16]和Hegyi单木竞争指数^[17]。

2 结果和分析

2.1 生态位的分析

5 个样地内乔木树种共计 44 种, 602 株, 重要值大于 2.0 的树种(表 1)有金缕梅(*Hamamelis mollis*)、四照花(*Cornus kousa* sp. *chinensis*)、郁香野茉莉(*Styrax odoratissimus*)、尖萼紫茎(*Stewartia sinensis* var. *acutisepala*)、尖连蕊茶(*Camellia cuspidata*)、天台鹅耳枥(*Carpinus tientaiensis*)、南方千金榆

(*Carpinus cordata* var. *chinensis*)、云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)、小叶白辛树(*Pterostyrax corymbosus*)、化香(*Platycarya strobilacea*)、红果钓樟(*Lindera erythrocarpa*)和红枝柴(*Meliosma oldhamii*)。其中, 金缕梅和四照花的重要值远远大于其他伴生树种, 分别为 20.126 和 17.737, 而其他伴生种的重要值和生态位宽度均较小。同样, 生态位宽度也以金缕梅和四照花为最高, 分别为 0.556 和 0.443。

表 1 金缕梅群落主要树种的重要值和生态位宽度值

Table 1 Importance value and niche breadths of main tree species in *Hamamelis mollis* community

序号 No.	植物 Species	重要值 Importance value	生态位宽度 Niche breadth (B_i)
1	金缕梅 <i>Hamamelis mollis</i>	20.126	0.556
2	四照花 <i>Cornus kousa</i> sp. <i>chinensis</i>	17.737	0.443
3	郁香野茉莉 <i>Styrax odoratissimus</i>	4.495	0.243
4	尖萼紫茎 <i>Stewartia sinensis</i> var. <i>acutisepala</i>	4.396	0.207
5	尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>	3.972	0.166
6	天台鹅耳枥 <i>Carpinus tientaiensis</i>	3.673	0.174
7	南方千金榆 <i>Carpinus cordata</i> var. <i>chinensis</i>	3.632	0.147
8	云锦杜鹃 <i>Rhododendron fortunei</i>	3.238	0.283
9	小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i>	3.076	0.137
10	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	2.598	0.142
11	红果钓樟 <i>Lindera erythrocarpa</i>	2.303	0.113
12	红枝柴 <i>Meliosma oldhamii</i>	2.123	0.118

种群间的生态位重叠在一定程度上可反映物种间内在的资源利用性竞争关系^[18]。由表 2 可见, 金缕梅与其伴生种的生态位重叠值为: 四照花>尖萼紫茎>云锦杜鹃>小叶白辛树>郁香野茉莉>天台鹅耳枥>红枝柴>尖连蕊茶>南方千金榆>红果钓樟>化香, 说明在该群落中四照花和尖萼紫茎与金缕梅的生态位重叠值分别为 0.936 和 0.916, 竞争关系最强; 其次为云锦杜鹃、小叶白辛树和郁香野茉莉, 生态位重叠值也均在 0.8 以上。

由表 2 还可看出, 部分伴生种之间的生态位重叠值也较高, 如四照花与尖萼紫茎、云锦杜鹃、小叶白辛树的生态位重叠值分别为 0.974、0.965 和 0.971; 红枝柴与郁香野茉莉、尖连蕊茶、南方千金榆、红果钓樟的生态位重叠值分别为 0.922、0.995、0.972 和 0.978; 红果钓樟与郁香野茉莉、尖连蕊茶、南方千金榆的生态位重叠值分别为 0.916、0.978 和 0.905; 小叶白辛树与尖萼紫茎、云锦杜鹃的生态位重叠值为 0.931 和 0.996; 尖连蕊茶与南方千金榆的生态位重叠值为 0.962, 说明金缕梅群落内伴生种之间也存在较强的竞争关系。

2.2 单木竞争的分析

2.2.1 对象木特征

在试验群落中, 共选取并测量金缕梅对象木 28 株, 最小胸径 3.6 cm, 最大胸径 34.2 cm, 平均为 16.5 cm; 共测量竞争木(金缕梅和伴生种) 416 株, 对象木和竞争木的胸径主要集中分布在 10~20 cm, 对象木胸径大小服从正态分布(表 3)。

2.2.2 金缕梅的种内和种间竞争

金缕梅的种内竞争强度先随胸径的增加而增大, 当胸径为 15~20 cm 时达到最大, 之后竞争强度逐渐降低(图 1)。金缕梅与其主要伴生种之间的竞争强度依次为: 金缕梅>四照花>小叶白辛树>郁香野茉莉>云锦杜鹃>尖萼紫茎>化香>尖连蕊茶>红果钓樟>红枝柴>马鞍树>南方千金榆>天台鹅耳枥。这说明金缕梅种内竞争大于种间竞争。金缕梅种内的竞争强度最高, 为 51.245, 略高于金缕梅与四照花的竞争强度(48.335), 但显著高于与其他伴生种的竞争强度。

2.2.3 竞争强度与对象木的胸径关系

通过几种数学模拟的比较分析, 竞争强度与对

表2 金缕梅群落内种内种间生态位重叠

Table 2 Niche overlaps between *Hamamelis mollis* and main companion species

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.000											
2	0.936	1.000										
3	0.855	0.864	1.000									
4	0.916	0.974	0.781	1.000								
5	0.699	0.851	0.897	0.720	1.000							
6	0.709	0.628	0.641	0.657	0.604	1.000						
7	0.672	0.782	0.861	0.669	0.962	0.768	1.000					
8	0.881	0.965	0.769	0.945	0.751	0.414	0.620	1.000				
9	0.866	0.971	0.801	0.931	0.805	0.422	0.675	0.996	1.000			
10	0.454	0.349	0.742	0.258	0.472	0.220	0.427	0.291	0.322	1.000		
11	0.661	0.807	0.916	0.657	0.978	0.475	0.905	0.734	0.792	0.604	1.000	
12	0.707	0.833	0.922	0.703	0.995	0.639	0.972	0.717	0.772	0.537	0.978	1.000

1~12 见表1。

1-12 see Table 1.

表3 对象木金缕梅胸径分布

Table 3 DBH class of *Hamamelis mollis*

	径级 DBH class (cm)						合计 Total
	I (<5)	II (5~10)	III (10~15)	IV (15~20)	V (20~25)	VI (25<)	
株数 Number	2	5	5	7	6	3	28
%	7.1	17.9	17.9	25.0	21.4	10.7	100

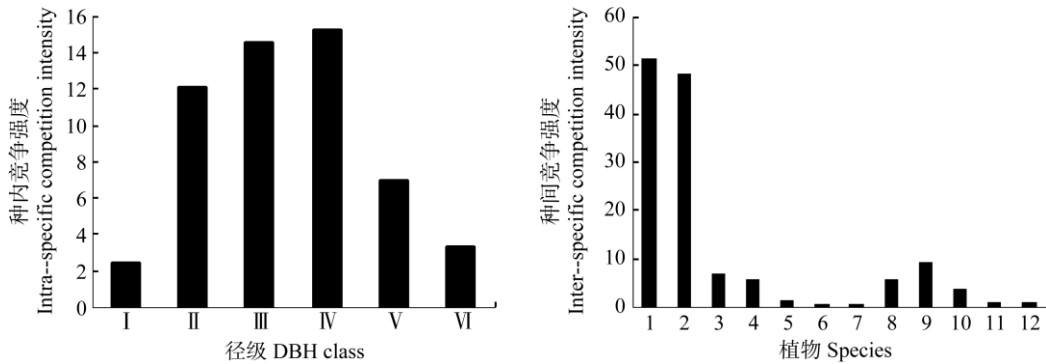


图1 金缕梅的种内和种间竞争强度。I~VI 见表3; 1~12 见表1。

Fig.1 Intra-species and inter-species competition intensity of *Hamamelis mollis*. I-VI see Table 3; 1-12 see Table 1.

表4 种内和种间竞争指数与对象木胸径的回归模型

Table 4 Regression model between competition index (I_c) and DBH (x) of object tree

回归模型 Regression model	种内竞争强度 Intra-specific competitive intensity		种间竞争强度 Inter-specific competitive intensity	
	方程式 Equation	R^2	方程式 Equation	R^2
指数方程 Exponential equation	$I_c = 10.966e^{-0.111x}$	0.586	$I_c = 16.693e^{-0.085x}$	0.721
对数方程 Logarithmic equation	$I_c = -5.971\ln(x) + 19.317$	0.696	$I_c = -5.677\ln(x) + 20.415$	0.830
幂函数 Power function	$I_c = 116.39x^{-1.603}$	0.669	$I_c = 74.477x^{-1.107}$	0.765
线性函数 Linear function	$I_c = -0.368x + 9.7823$	0.485	$I_c = -0.3901x + 12.01$	0.718

象木胸径的关系服从对数函数和幂函数关系(表4)。然而当胸径较大时采用对数函数进行模拟预测会出现负值情况, 这不符合实际情况。因此, 本文应

用幂函数模型对金缕梅种内和种间竞争强度进行模拟和预测。

采用幂函数模型进行预测(表5), 金缕梅种间和

种内竞争强度均随着对象木胸径的增大而减小, 当胸径大于 22.5 cm 时, 其种内和种间的竞争强度变

化相对较小; 当胸径大于 32.5 cm 后, 其竞争强度趋于稳定。

表 5 幂函数对金缕梅竞争强度与对象木胸径(DBH)关系的预测

Table 5 Prediction of competition intensity of *Hamamelis mollis* with diameter at breast height (DBH) of object tree by power function

	DBH (cm)							
	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5
种内 Intra-species	26.793	4.605	2.030	1.184	0.791	0.574	0.439	0.349
种间 Inter-species	27.009	8.004	4.547	3.133	2.372	1.900	1.579	1.348

3 讨论

生态位理论对于林业生产和种群改良具有重要的现实指导意义, 为解释森林群落演替动态机理提供了一个重要方法。生态位的研究主要包括生态位宽度和生态位重叠两个方面。本文结果表明, 在 12 种重要值大于 2.0 的树种中, 金缕梅、四照花、云锦杜鹃、郁香野茉莉和尖萼紫茎的生态位宽度较高, 其生态位宽度值的排序整体上与重要值一致, 尤其是金缕梅和四照花的生态位宽度远远高于其他伴生种, 说明金缕梅和四照花在该群落内优势度明显, 在群落内部起绝对的支配作用。金缕梅与四照花、尖萼紫茎、云锦杜鹃、小叶白辛树、郁香野茉莉等伴生种的生态位重叠值较高, 与生态位宽度的结果基本一致。这主要是由于金缕梅、四照花、尖萼紫茎等树种均属于小乔木, 树高集中在 4~6 m, 且均属于阳生树种, 对群落生境的要求非常相近, 在群落中都是相伴而生。

利用单木竞争模型的研究结果表明, 金缕梅种内竞争大于种间竞争。诸多生态理论与模型认为, 种内竞争大于种间竞争是物种稳定共存的重要因素^[19]。种内竞争较种间竞争激烈, 从一个侧面反映出种群的水平分布具有聚集性^[20]。推测这与金缕梅的更新方式有关。群落中金缕梅实生苗极少, 根茎处萌枝是其主要更新方式, 一株母树常有十余枝萌枝, 且均生长良好。这在很大程度上加大了种内竞争强度。金缕梅的种内竞争强度最高, 达 51.245, 在胸径为 15~20 cm 时达到最大。这与群落内胸径为 15~20 cm 的金缕梅数量较多有关。金缕梅与伴生种间的竞争强度最大的为四照花, 为 48.335, 远高于与其他伴生种之间的竞争强度。这主要由于金缕梅和四照花均为乔木树种, 生态习性相近, 且两者数量均较多。

综合生态位理论模型和单木竞争模型的研究

结果来看, 两种研究方法具有较高的一致性, 如金缕梅种内竞争大于种间竞争, 种间竞争又以金缕梅与四照花之间的竞争最大; 整体上以金缕梅与四照花、尖萼紫茎、小叶白辛树、郁香野茉莉、云锦杜鹃之间的竞争关系较高。由 Hegyi 提出的单木竞争模型可很好地反映植物个体对资源的需求与占有量^[21], 但仅以林分中单株林木作为研究对象, 没有扩展到多个树种或整个林分。而生态位理论能通过物种在群落中的重要值反映出对象木之间、竞争木之间以及对象木和竞争木之间的竞争关系。两种方法结合将更加全面揭示群落内的竞争关系。

在林业生产上进行种间配置时, 为了建立健康和谐的人工群落, 应该要考虑各个种群的生态位宽度、生态位重叠, 以及它们之间是否有利用性竞争的生态关系等^[12]。综合本文的研究结果, 结合树种特性, 建议在经营金缕梅群落时, 为了促进金缕梅天然更新, 尤其是有性更新, 应合理择伐来加强对中小径级的金缕梅的保护, 促进其更新, 提高幼苗的存活率; 而当植株生长到一定阶段(大于 22.5 cm), 受周围其它植株的影响较弱, 可根据这一特性, 合理经营金缕梅天然林。在经营金缕梅人工林时, 应主要选择灌木树种作为其主要伴生种, 可兼少量高大乔木, 但应避免选择萌枝能力较强的小乔木, 如小叶白辛树等树种, 或高度较为接近的树种, 如四照花等树种。

参考文献

- [1] ZHANG Z Y, LU A M. Hamamelidaceae: Geographic distribution, fossil history and origin [J]. Acta Phytotax Sin, 1995, 33(4): 313-339.
张志耘, 路安民. 金缕梅科: 地理分布、化石历史和起源 [J]. 植物分类学报, 1995, 33(4): 313-339.
- [2] ZHANG Q, SHI S H, HUANG Y L, et al. ITS sequences of Hamamelidoideae and their systematic significance [J]. J Wuhan Bot Res, 2001, 19(6): 445-448. doi: 10.3969/j.issn.2095-0837.2001.06.001.

- 章群, 施苏华, 黄椰林, 等. 金缕梅亚科 ITS 序列分析及其系统学意义 [J]. 武汉植物学研究, 2001, 19(6): 445–448. doi: 10.3969/j.issn.2095-0837.2001.06.001.
- [3] LI R Q, CHEN Z D, HONG Y P, et al. Phylogenetic relationships of the “Higher” Hamamelids based on chloroplast *trnL-F* sequences [J]. Acta Bot Sin, 2002, 44(12): 1462–1468. doi: 10.3321/j.issn:1672-9072.2002.12.012.
- [4] ZHANG Z Y, WEN J. The seed morphology in Hamamelidaceae and its systematic evaluation [J]. Acta Phytotax Sin, 1996, 34(5): 538–546. 张志耘, 温洁. 金缕梅科的种子形态学及其系统学评价 [J]. 植物分类学报, 1996, 34(5): 538–546.
- [5] FANG Y M. A study on leaf micromorphology of Chinese Hamamelidaceae: Stomatal apparatus [J]. J Nanjing Fort Univ, 1990, 14(4): 30–35. 方炎明. 我国金缕梅科叶部微形态的研究——气孔器的表面微形态 [J]. 南京林业大学学报, 1990, 14(4): 30–35.
- [6] ZHANG Q X, FANG Y M, HU H K, et al. Tissue culture of *Hamamelis mollis* Oliv. [J]. Plant Physiol Commun, 2005, 41(5): 637. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2005.05.028. 张启香, 方炎明, 胡恒康, 等. 金缕梅的组织培养 [J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(5): 637. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2005.05.028.
- [7] JIAO S M. Study on extraction of astragaloside from *Hamamelis mollis* by ultrasonic-assisted extraction and antioxidation [J]. Food Ind, 2014, 35(5): 51–53. 焦胜敏. 超声波辅助提取金缕梅紫云英苷及其体外抗氧化研究 [J]. 食品工业, 2014, 35(5): 51–53.
- [8] YOKOZAWA M, KUBOTA Y, HARA T. Effects of competition mode on spatial pattern dynamics in plant communities [J]. Ecol Model, 1998, 106(1): 1–16. doi: 10.1016/S0304-3800(97)00181-6.
- [9] SUN J N, WANG X A, GUO H, et al. Competitive relationships of dominant tree species in *Pinus tabulaeformis* f. *shekanensis* community on Loess Plateau [J]. Chin J Ecol, 2010, 29(11): 2162–2167. doi: 10.13292/j.1000-4890.2010.0352. 孙嘉男, 王孝安, 郭华, 等. 黄土高原柴松群落优势乔木树种的竞争关系 [J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2162–2167. doi: 10.13292/j.1000-4890.2010.0352.
- [10] XIANG X Y, WU G L, DUAN R Y, et al. Intraspecific and interspecific competition of *Pinus dabeshanensis* [J]. Acta Ecol Sin, 2015, 35(2): 389–395. doi: 10.5846/stxb201401130102. 项小燕, 吴甘霖, 段仁燕, 等. 大别山五针松种内和种间竞争强度 [J]. 生态学报, 2015, 35(2): 389–395. doi: 10.5846/stxb201401130102.
- [11] CORTINI F, COMEAU P G. Evaluation of competitive effects of green alder, willow and other tall shrubs on white spruce and lodgepole pine in northern Alberta [J]. For Ecol Manag, 2008, 255(1): 82–91. doi: 10.1016/j.foreco.2007.08.027.
- [12] YUAN Z Z, HE B H. Niche theory and its application in plant population research [J]. J Fujian For Sci Technol, 2004, 31(2): 123–127. doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2004.02.034. 袁志忠, 何丙辉. 生态位理论及其在植物种群研究中的应用 [J]. 福建林业科技, 2004, 31(2): 123–127. doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2004.02.034.
- [13] KANG H J, CHEN Z L, LIU P, et al. Intra-specific competition of *Emmenopterys henryi* and its accompanying species in the Dapanshan National Nature Reserve of Zhejiang Province [J]. Acta Ecol Sin, 2008, 28(7): 3456–3463. 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等. 大盘山香果树(*Emmenopterys henryi*)种内及其与常见伴生种之间的竞争关系 [J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3456–3463.
- [14] WANG X P, JIANG G M. The relationship between Dapanshan reserve and traditional Chinese medicine’s home in Pan’an County, Zhejiang Province [J]. J Plant Resour Environ, 2002, 11(4): 51–53. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2002.04.011. 王献涛, 蒋高明. 浙江磐安大盘山保护区与药材之乡的关系 [J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(4): 51–53. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2002.04.011.
- [15] SHANNON C E, WEAVER W. The Mathematical theory of Communication [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- [16] PIANKA E R. The structure of Lizard communities [J]. Ann Rev Ecol Syst, 1973, 4: 53–74. doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000413.
- [17] HEGYI F. A simulation model for managing jack-pine stands [C]// FRIES J. Growth Models for Tree and Stand Simulation. Sweden: Royal College of Forestry, 1974: 71–90.
- [18] LIANG S C. A study on the niches of mangrove populations in the succession of *Rhizophora stylosa* community [J]. Guangxi Sci, 1997, 4(2): 120–123, 125. doi: 10.13656/j.cnki.gxkx.1997.02.013. 梁士楚. 红海榄群落演替中种群生态位的研究 [J]. 广西科学, 1997, 4(2): 120–123, 125. doi: 10.13656/j.cnki.gxkx.1997.02.013.
- [19] ZHANG Z B. Mutualism or cooperation among competitors promotes coexistence and competitive ability [J]. Ecol Model, 2003, 164(2/3): 271–282. doi: 10.1016/S0304-3800(03)00069-3.
- [20] ZOU C J, XU W D. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica* [J]. Acta Phytotax Sin, 1998, 22(3): 269–274. 邹春静, 徐文铎. 沙地云杉种内、种间竞争的研究 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(3): 269–274.
- [21] WANG L, ZHANG J T. The niche characteristics of endangered plant *Paonia suffruticosa* var. *spontanea* [J]. Chin J Ecol, 2001, 20(4): 65–69. doi: 10.13292/j.1000-4890.2001.0081. 王琳, 张金屯. 濒危植物矮牡丹的生态位研究 [J]. 生态学杂志, 2001, 20(4): 65–69. doi: 10.13292/j.1000-4890.2001.0081.