

杉阔混交林主要种群多维生态位特征

林思祖¹, 黄世国¹, 洪 伟¹, 黄宝龙², 俞新妥¹

(1. 福建农林大学, 南平 353001; 2. 南京林业大学, 南京 230071)

摘要:在生态位空间分割基础上,应用两种不同类型的生态位宽度公式和生态位重叠公式测定了杉阔混交林不同资源空间中主要种群的多维生态位特征。结果表明:考虑资源利用率与否对生态位宽度的测度有较大影响。杉阔混交林主要种群在不同资源空间中的生态适应性不同。在同一资源空间中,种对间生态位宽度与生态位重叠并非成正相关关系。在不同资源空间中,杉木与同一其它树种之间的生态位重叠发生变化。生态位重叠与竞争之间关系在很大程度上受种对间的生物学特性的左右。研究杉阔混交林多维生态位特征对混交林营造具有指导作用。

关键词:杉阔混交林; 生态位空间分割法; 多维生态位宽度; 多维生态位重叠

The Characteristics of Multi-dimension Niche of Dominant Populations in Chinese fir and Broad-leaved Mixed Forest

LIN Si-Zu¹, HUANG Shi-Guo¹, HONG Wei¹, HUANG Bao-Long², YU Xin-Tuo¹ (1. *Fujian Agriculture and Forestry University, Nanping 353001 China*; 2. *Nanjing Forestry University, Nanjing 230071, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 962~968.

Abstract: Based on the principle of niche space compartmentalization, the characteristics of multi-dimension niche of dominant populations in Chinese fir and broad-leaved mixed forest were studies with the formulas of niche overlap and niche breadth. The results showed that resources availability influenced niche matrices greatly. The adaptability of dominant populations varied in different resources spaces. In the same resources space, there was no positive correlation between niche breadth and niche overlap of a species counterspart. The niche overlap between Chinese fir and the same other tree species varied in different resources space. The relationship between niche overlap and competition was influenced by the bio-characteristics of tree populations greatly. The results of the study can be applied for the management of mixed forests.

Key words: Chinese fir and broad-leaved forest; nich space; niche breadth; niche overlap

文章编号: 1000-0933(2002)06-0962-07 中图分类号: S718.5 文献标识码: A

近几十年来,许多学者对种群生态位特征进行研究^[1~9]。以往的研究往往是在综合的环境因素下研究种群的生态位特征,以一样方或样方组作为资源位进行测度的^[4]。但这种方法可能导致悖论^[6],并且难以对结果进行生态学意义上的解释。为此,本文应用生态位空间分割法^[10,11]划分资源空间,并分析了杉阔混交林中的 10 个主要乔木种群在不同资源空间中的多维生态位特征。这有助于对杉阔混交林种间关系的理解,为杉阔混交林的营造以及经营管理等方面提供科学的理论依据。

1 研究方法

1.1 调查测试方法

基金项目:福建省科学技术委员会科学基金资助项目(97-Z-219);福建省自然科学基金资助项目(88021);国家自然科学基金资助项目(3880649)

收稿日期:2000-05-02;修订日期:2001-03-10

作者简介:林思祖(1953-),男,福建福清人,农学博士,教授。主要从事森林培育学、森林生态学研究。

本文承日本农工大学农学部生原喜久雄教授审阅,特此致谢!

调查地区位于闽西北连城县梅花山、将乐县龙栖山、武夷山市武夷山 3 个自然保护区杉阔天然混交林中。上述 3 个地区群落的起源均为天然起源,林龄约在 90~100a 之间,其更新特点根据种群动态研究结果表明为天然更新。梅花山自然保护区的杉阔混交林群落乔木层主要优势种为木荷(*Schima superba*)、上杭锥(*Castanopsis lamontii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*),灌木层主要优势种为窄基红褐桤(*Eurya rubiginosa*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)、香桂(*Cinnamomum subavenium*),草本层主要优势种为芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、华中瘤足蕨(*Plagiogyria euphlebia*)、狗脊(*Woodwardia japonica*);龙栖山自然保护区乔木层主要优势种为木荷、甜槠(*Castanopsis eyrei*)、杉木,灌木层主要优势种为窄基红褐桤、长园叶老鼠刺(*Itea chinensis*)、甜槠,草本层主要优势种为狗脊、里白(*Hicriopteris glauca*)、芒萁;武夷山自然保护区乔木层主要优势种为木荷、甜槠、杉木,灌木层主要优势种为少叶黄杞(*Engelhardtia fenzelii*)、甜槠、短尾越桔(*Vaccinium carlessii*),草本层主要优势种为里白、芒萁、狗脊。

根据《中国植被》^[12]植被分类系统,本调查群落属于典型常绿阔叶林甜槠、木荷林群系。在该群系渗入杉木较多的群丛组中随机设置 170 个样地(面积为 10m×10m)进行每木调查。每个样方内设小样方(面积为 2m×2m 和 1m×1m)分别调查灌木层种和草本层种。立地因子调查按常规方法进行。并且每个样地在 0~40cm 土层取土样,然后分别采用半微量开氏法、HClO₄-H₂SO₄ 消煮法、钼蓝比色法、HF-HClO₄ 消煮、火焰光度法测定土壤中的 N、P、K 营养元素含量。

1.2 分析方法

应用生态位空间分割法^[10,11]对杉阔天然混交林中由 A 层厚、松紧度 A 层、B 层质地构成的土壤物理资源空间和由全氮、全磷、全钾所构成的土壤化学资源空间进行生态位空间分割(表 1,2)。

表 2 杉阔混交林土壤化学资源空间分割

Table 2 The partitioning of chemical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest(unit: %)				
项目 Item	区间 Range			
	1	2	3	4
全氮(N)Total N	$N \leq 0.11$	$0.11 < N \leq 0.14$	$0.14 < N \leq 0.17$	$N > 0.17$
全磷(P)Total P	$P \leq 0.015$	$0.015 < P \leq 0.018$	$0.018 < P \leq 0.021$	$P > 0.021$
全钾(K)Total K	$K \leq 1.5$	$1.5 < K \leq 1.9$	$K > 1.9$	

在生态位空间分割基础上,多维生态位宽度应用 Shannon-Weiner 的信息统计量改进公式^[10]进行计算:

$$B = - \frac{1}{\log r} \sum_{j=1}^r p_j \log p_j$$

(1)

式中,B 为生态位宽度(没有考虑到资源利用率); p_j 为物种对该资源状态的利用率或物种在该资源状态上的分布比例量, r 为资源状态总数。

同样将生态位空间分割方法应用于 Smith 公式^[14]进行多维生态位宽度的计算:

$$FT = \sum_{j=1}^r (p_{ij}q_j)1/2$$

(2)

式中,FT 为生态位宽度(考虑到资源利用率); p_j 、 r 的含义同公式(1), q_j 为资源利用率,具体原理及方法见文献^[10]。

多维生态位重叠应用生态位相似性比例作为生态位重叠测度的公式^[10]进行计算:

万方数据

$$0.5 \sum_{j_1=1}^{m_1} \sum_{j_2=1}^{m_2} \cdots \sum_{j_n=1}^{m_n} |P_n(X_{1j_1}, X_{2j_2}, \cdots, X_{nj_n}) - P_i(X_{1j_1}, X_{2j_2}, \cdots, X_{nj_n})|$$

(3)

式中, P_{hi} 为生态位重叠值。 $P_h(X_{1j_1}, X_{2j_2}, \cdots, X_{nj_n})$ 和 $P_i(X_{1j_1}, X_{2j_2}, \cdots, X_{nj_n})$ 分别代表物种 h 和 i 对资源状态 $(X_{1j_1}, X_{2j_2}, \cdots, X_{nj_n})$ 的利用率或分布比例。

2 结果分析

2.1 杉阔混交林不同资源空间中主要种群生态位宽度 生态位宽度是度量植物种群对环境资源利用状况的尺度。一般地说, 一种群生态位宽度越大, 则它对环境适应能力越强。生态位宽度的测度分别两类: 一类不考虑自然界中资源的分布情况如式(1), 另一类考虑自然界中资源的分布情况如式(2)。如果不考虑自然界中资源的分布情况可能会导致悖论^[10], 因此本研究采用两类不同生态位宽度测度式探讨在不同资源空间中杉阔混交林主要种群生态位宽度, 以便比较分析。

2.1.1 杉阔混交林土壤物理资源空间中主要种群生态位宽度 由表 3 可见, 在杉阔混交林土壤物理资源空间中主要种群生态位宽度采用(1)、(2)式计算结果差异较大。不考虑资源利用率的生态位宽度 B 值大小顺序为: 杉木、木荷、黄山松、青冈、上杭锥、多脉青冈、马尾松、罗浮栲、丝栗栲。考虑资源利用率的生态位宽度 FT 值大小顺序为: 杉木、木荷、甜槠、黄山松、上杭锥、丝栗栲、罗浮栲、马尾松、多脉青冈、青冈。在所有乔木种群中, 无论考虑利用率与否, 杉木、木荷的生态位宽度都较宽, 在许多资源位上均有出现, 表明杉木、木荷在杉阔混交林中分布较广、数量较多、对有效资源的利用较充分。并且杉木与木荷之间的种间关系比较协调, 因此这两个树种可在不同物理土壤上性质共存。当不考虑资源利用率时, 甜槠的生态位宽度较小, 对土壤物理性质的适应性较差, 但是它对一些土壤物理资源位的利用充分, 因此当考虑资源利用率时, 其生态位宽度较大。而且杉木与甜槠的种间关系也比较协调。因此杉木与甜槠在特定物理性质的土壤上易共存。由表 4 可见, 主要种群生态位宽度分配也不相同。如当不考虑资源利用率时, 主要乔木种群中有 20% 的树种处于生态位宽度值为 $[0.6 \sim 0.7]$ 这一闭区间。而考虑资源利用率时, 主要乔木种群中没有树种处于这一区间。

表 3 杉阔混交林土壤物理资源空间中主要种群生态位宽度

Table 3 Niche breadth of dominant populations in physical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest

项目 Item	树种 Tree species									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0.6513	0.6000	0.3719	0.4406	0.3821	0.3947	0.4255	0.5207	0.4022	0.5297
B	0.9819	0.7459	0.5295	0.4776	0.4226	0.4226	0.3849	0.3122	0.4049	0.5015

* A 为不考虑资源利用率时的种群生态位宽度, B 为考虑资源利用率时的种群生态位宽度。 A is niche breadth of populations without consideration of resource availability, B is niche breadth of populations with consideration of resource availability. 1 杉木 *Cunninghamia lanceolata* 2 木荷 *Schima superba* 3 甜槠 *Castanopsis eyrei* 4 上杭锥 *Castanopsis lamontii* var. *shanghangensis* 5 丝栗栲 *Castanopsis fargesii* 6 罗浮栲 *Castanopsis fabri* 7 多脉青冈 *Cyclobalanopsis multinervis* 8 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 9 马尾松 *Pinus massoniana* 10 黄山松 *Pinus taiwanensis*

表 4 杉阔混交林土壤物理资源空间生态位宽度分配

Table 4 The partitioning of niche breadth in physical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest

项目 Item	比例 Proportion	范围 Range									
		0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~
A	B 比例	0	0	0	30.00	30.00	20.00	20.00	0	0	
B	FT 比例	0	0	0	20.00	40.00	20.00	0	10.00	0	10.00

2.1.2 杉阔混交林土壤化学资源空间中主要种群生态位宽度 由表 5 可见, 在土壤化学资源空间中, 杉阔混交林主要种群生态位宽度采用(1)、(2)式计算的结果差异较大。 B 值大小顺序为: 杉木、木荷、马尾松、丝栗栲、罗浮栲、甜槠、青冈、黄山松、上杭锥、多脉青冈。 FT 值大小顺序为: 杉木、木荷、甜槠、黄山松、上杭锥、罗浮栲、丝栗栲、马尾松、多脉青冈、青冈。在所有乔木种群中, 无论考虑利用率与否, 杉木、木荷的生态位宽度都较宽, 在许多资源位上均有出现, 杉木、木荷都具有较大的土壤化学适应范围, 同时杉木与木荷之

间的种间关系比较协调,因此这两个树种可在不同化学性质土壤上共存。当不考虑资源利用率时,甜槠的生态位宽度较小,对土壤化学性质的适应性不强,但是它对某些土壤物理资源位的利用充分,因此当考虑资源利用率时,其生态位宽度较大。同时杉木与甜槠的种间关系也比较协调。因此杉木与甜槠在特定化学性质的土壤上易共存。与土壤物理资源空间相似,主要种群生态位宽度分配也不相同。由表 6 可见,主要种群生态位宽度分配也不相同。如当不考虑资源利用率时,主要乔木种群中有 10% 的树种处于生态位宽度值为 $[0.6\sim0.7]$ 这一闭区间。而考虑资源利用率时,主要乔木种群中没有树种处于这一区间。

表 5 杉阔混交林土壤化学资源空间中主要种群生态位宽度

Table 5 Niche breadth of dominant populations in chemical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved forest

项目 Item	树种 Tree species									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0.6358	0.6010	0.5037	0.3934	0.5343	0.5306	0.2634	0.5006	0.553	0.4772
B	0.9875	0.7548	0.5222	0.475	0.4083	0.4119	0.3868	0.3147	0.4066	0.5042

* A 和 B 的含义、树种及其代码同表 3 注 The connotation of A and B, Tree species and their codes are as note of table 3

表 6 杉阔混交林土壤化学资源空间生态位宽度分配

Table 6 The partitioning of niche breadth in chemical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved forest

项目 Item	比例 Proportion	范围 Range									
		0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~
A	B 比例	0	0	10.00	10.00	10.00	60.00	10.00	0	0	
B	FT 比例	0	0	0	20.00	40.00	20.00	0	10.00	0	10.00

2.2 杉阔混交林不同资源空间中主要种群生态位重叠

当两个物种利用同一资源或共同占有某一资源因素(食物、营养成分、空间等)时,就会出现生态位重叠现象^[18]。生态位重叠较大的种群要么有相近的生态特性,要么对生境因子有互补性的要求,即生态位重叠是两个种在其与生态因子联系上的相似性^[3]。以往研究以样方或样方组合作为一资源位进行生态位重叠分析,这往往难以对结果进行解释,并且可能导致悖论^[6],故本研究分析了不同资源空间中杉阔混交林中主要种群的生态位重叠情况。

2.2.1 杉阔混交林土壤物理资源空间中主要种群生态位重叠 由表 8 可见,杉阔混交林主要种群生态位重叠的种对中有 4 对生态位重叠大于 0.8,有 7 对生态位重叠大于 0.7,有 27 对生态位重叠大于 0.3,反映杉阔混交林多数主要种群对土壤物理资源的利用较相似。对杉木而言,与其它树种的生态位重叠在 0.2824~0.7893。它们之间生态位重叠值大小与种对生态位宽度大小不呈明显规律性。其他种对间也类似结果。

表 7 杉阔混交林土壤物理资源空间中主要种群生态位重叠

Table 7 Niche overlap of dominant populations in physical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest

树种 Tree species	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0.7893								
3	0.6242	0.5387							
4	0.2824	0.4352	0.0008						
5	0.6055	0.5430	0.8320	0.000					
6	0.6080	0.5578	0.8132	0.0294	0.8114				
7	0.2824	0.4258	0.0008	0.6644	0.000	0.0294			
8	0.4468	0.4260	0.3535	0.2177	0.3701	0.3648	0.1969		
9	0.6029	0.5316	0.7769	0.0000	0.8024	0.7515	0.0000	0.2993	
10	0.3424	0.4306	0.0265	0.6943	0.0183	0.0459	0.6680	0.2851	0.0348

* 树种及其代码同表 3 注 Tree species and their codes are as note of table 3

表 8 杉阔混交林土壤物理资源空间生态位重叠分配格局

Table 8 The partitioning pattern of niche overlap in physical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest

范围 Range	0	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~
比例 Proportion	8.89	17.78	2.22	11.11	8.89	11.11	8.89	15.55	6.67	8.89	0

不过生态位重叠较大的树种均被证明是杉木的适宜伴生树种如马尾松、丝栗栲等^[16]。刘金福在研究格氏栲群落主要种群生态位时指出种群生态位宽度越宽,与其他种群生态位重叠的机会也大,生态位宽的种群对生态位窄的种群可能有较大的重叠值,反之则低^[17]。本研究的结果不尽是这种情况。如不管是否考虑资源利用率,黄山松的生态位宽度在[0.5~0.6]之间,而马尾松、丝栗栲则在[0.3~0.5]之间。但丝栗栲、马尾松与杉木的生态位重叠分别为 0.608、0.6029,而黄山松与杉木的生态位重叠为 0.3424。这是因为具有较宽生态位的物种本身的生物生态学特性不一定相同,它们对资源的要求也不完全一致,从而导致它们之间的生态位重叠不一定较高,故生态位重叠值大小,与种群生态学特性还有关。

对生境要求比较相近的种群间生态位重叠较大,但同属的种群之间由于生物学生态学特征更为相似,在一定程度上对环境资源需求分化,导致生态位重叠程度降低,以便使它们共存于某一生境中,具有长期生存的生态学意义^[14]并不完全正确。如在土壤物理资源空间中,同属的黄山松与马尾松、多脉青冈与青冈之间的生态位重叠分别为 0.0348、0.1969,它们之间的生态位重叠较小。这与上述结论相吻合。但同属的丝栗栲与罗浮栲之间的生态位重叠则较大为 0.8114,则与上述观点相佐。

2.2.2 杉阔混交林土壤化学资源空间中主要种群生态位重叠 由表 10 可见,杉阔混交林主要种群生态位重叠的种对中有 1 对生态位重叠大于 0.8,有 2 对生态位重叠大于 0.7,有 32 对生态位重叠大于 0.3,反映杉阔混交林大多数主要种群对土壤化学资源的利用较相似。对杉木而言,与其它树种的生态位重叠在 0.3793~0.8323。同样它们之间生态位重叠值大小与种对生态位宽度大小不呈明显规律性。其他种对间也类似结果。并且与杉木生态位重叠较大的物种多数也是杉木的适宜伴生物种。如不管考虑资源利用率与

表 9 杉阔混交林土壤化学资源空间主要种群生态位重叠

Table 9 Niche overlap of dominant populations in chemical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest

树种 Tree species	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0.8323								
3	0.5618	0.4788							
4	0.4705	0.4820	0.1546						
5	0.5945	0.5160	0.5335	0.2159					
6	0.5513	0.5082	0.1467	0.1624	0.6991				
7	0.3793	0.4375	0.5023	0.5491	0.2083	0.1343			
8	0.6118	0.6234	0.6642	0.4086	0.4479	0.4896	0.2541		
9	0.6400	0.5824	0.4191	0.1975	0.6612	0.6528	0.1854	0.4664	
10	0.5259	0.5887	0.1792	0.7994	0.2531	0.1951	0.6264	0.4507	0.2584

* 树种及其代码同表 3 注 Tree species and their codes are as note of table 3

表 10 杉阔混交林土壤化学资源空间生态位重叠分配格局

Table 10 The partitioning pattern of niche overlap in chemical resources space of soil in Chinese fir and broad-leaved mixed forest

范围 Range	0	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~
比例 Proportion	0	0	17.78	11.11	2.22	22.22	24.44	17.78	2.22	2.22	0

否,黄山松的生态位宽度均大于青冈,但青冈与杉木的生态位重叠大于杉木与黄山松的。

同样,在土壤化学资源空间中,同属的黄山松与马尾松、多脉青冈与青冈之间的生态位重叠分别为 0.2584、0.2541,它们之间的生态位重叠较小。而同属的丝栗栲与罗浮栲之间的生态位重叠较大为 0.6991。

3 讨论与小结

(1)考虑资源利用率与否对生态位宽度的测度有较大影响。在不同资源空间中,主要种群生态位宽度发生变化,说明在不同资源空间的物种生态适应性不同。

(2)在同一资源空间中,种对间生态位宽度与生态位重叠并非成正相关关系。在不同资源空间中,杉木与同一伴生树种的种间相遇的频率随生境中资源因子的不同而改变,引起它们之间的生态重叠发生变异。

在不同群落中,种对间的生态位宽度与生态位重叠的关系也不尽相同。有时随生态位宽度增加,而生态位重叠值提高^[17],有时则不成相关关系^[19],这与物种生态学特性、群落结构以及测度方法皆有关。

(3)同属的种群生态位重叠较小^[6]不一定正确,这要视不同物种而异。如同属的罗浮栲和丝栗栲生态位重叠较大,而马尾松和黄山松的生态位重叠则较小。

(4)生态位重叠与竞争的关系较复杂,目前生态位重叠与竞争的关系存在如下 3 种意见^[6,15,20~22]:①生态位重叠与竞争成正相关;②生态位重叠与竞争成负相关;③生态位重叠与竞争之间不成相关关系。

根据本系列研究结果表明,在中山阳坡和阴坡、低山阴坡和阳坡,杉木和木荷属于同一生态种组,而在低山阴坡立地杉木和青冈也属于同一生态种组^[23]。属于同一生态种组的树种不仅生态学特性较相似,而且这些树种之间的种间关系也比较协调,即这些树种往往能够共存。而杉木和青冈的生态位重叠较小,但两个树种也同样可以共存。因此生态位重叠与竞争不成相关关系。而且一定的生态位重叠却往往意味着对资源的更有效利用。在本研究中,杉木和木荷的生态位重叠较大,但这两个树种混交时,混交林中杉木和木荷的优势度之和比杉木或木荷纯林的优势度大,见另文报道。生产实践也证明杉木木荷混交林的总生产力比杉木或木荷纯林的生产力大^[17]。

在杉木天然混交林中,杉木与木荷之间在不同资源空间中均存在着的较大的生态位重叠,但并不存在着激烈竞争。这是因为木荷的垂直根系较杉木深,水平根系较杉木宽,木荷侧根较杉木少而长,并穿插到杉木根系下方。这两个树种所形成的根系形成相互交叉的分布状态,不仅使地力得到充分利用,而且避免或减少林木在同层土壤中争水肥的矛盾,从而最终为杉木与木荷的共存创造了有利的条件^[17]。

综上所述,可以认为,生态位重叠与竞争之间关系在很大程度上受种对间的生物学特性的左右。

(5)杉阔混交林生态位特征可用于指导混交林营造。一般而言,当不考虑资源利用率时,具有较大生态位宽度的伴生树种,适合于在多种立地条件下与杉木混交,其中较优良的有木荷、甜槠、丝栗栲、马尾松。这与用其他方法研究的结果相似^[16,23]。如木荷在中山阳坡和阴坡、低山阳坡和阴坡等多种立地条件下均可与杉木混交;而具有较窄的生态位宽度的伴生树种,更适宜在特定立地条件下与杉木混交,如青冈仅在低山阴坡较肥沃的土壤上与杉木混交群落生产力才较高。当考虑资源利用率时,具有较大生态位宽度的伴生树种则不一定可与杉木在不同立地条件下混交,如甜槠更适合于在低山阳坡较肥沃立地上与杉木混交。但考虑资源利用率时,生态位宽度较大的物种均是杉木的适宜伴生树种。与杉木生态位重叠较大的树种,一般而言均是杉木的适宜伴生树种,杉木与这些树种之间并不表现为竞争关系,而是表现为相互促进关系^[17,20]。在营造混交林的混交树种配置上据这些种群空间分布研究结果表明,以小团状混交为佳。

参考文献

- [1] Zhong Z C (钟章成). *Study on the ecosystem of evergreen broad-leaved forest*(in Chinese). Chongqing: Southwest Normal University Press, 1992. 333~352.
- [2] Shang Y C(尚玉昌). The theory of niche in the contemporary ecology. *Progress of ecology*(in Chinese)(生态学进展),1998, 5(2): 772~84.
- [3] Wang W L(万有), Zhao S L(赵松岭), Zhang P Y(张鹏云), et al. On the definition of niche and the improved formula for measuring niche overlap. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese)(生态学报),1984, 4(2): 119~127.

- [4] Wang G (王刚). On the measurement of niche overlap in plant communities. *Acta Phytoecologica Et Geobotanica Sinica*(in Chinese)(植物生态学与地植物学丛刊), 1984, **8** (4): 329~335.
- [5] Peng S L (彭少麟). Study on the niche breadth of predominance populations in mountain Dinghu. *Acta Scientiarum Naturalum Universitatis Sunyatseni*(in Chinese)(中山大学学报), 1989, (3): 16~22.
- [6] Peng S L (彭少麟), Wang B S (王伯荪). Studies on the plant population niches overlap in forest communities on Dinghushan. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem*(in Chinese)(热带亚热带森林生态系统研究), 1990, (6): 19~27.
- [7] Austin M P, Nicholls A O, Margules C R. Measurement of the realized qualitative niche; environmental niches of five Eucalyptus species. *Ecological Monographs*, 1990, **60**(2): 161~177.
- [8] Cao Guanxia. The definition of the niche by fuzzy set theory. *Ecological Modeling*, 1995, **77**(1): 65~71.
- [9] Leibold M A. The niche concept revisited; mechanistic models and community context. *Ecology*, 1995, **76**(5): 1371~1382.
- [10] Yu S X (余世孝). *Mathematical ecology introduction*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1995. 232~67.
- [11] Yu S X (余世孝), Orlioci L. Multivariate measure of niche breadth. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1994, **14** (1): 32~39.
- [12] Editing committee of Chinese vegetable(中国植被编辑委员会). *Chinese vegetable*(in Chinese). Beijing: Science Press, 1995. 143~402.
- [13] Yang X W (杨效文), Ma J S (马继盛). A review on terms related to niche and their measurements. *Chinese Journal of Ecology*(in Chinese)(生态学杂志), 1992, **11** (2): 44~49.
- [14] Smith E P. Niche breadth, resource availability and inference. *Ecology*, 1982, **63**: 1675~1681.
- [15] Wang B S (王伯荪), Li M G (李鸣光), Peng S L (彭少麟). *Phytotopology*(in Chinese). Guangzhou: Guangzhou Higher Education Press, 1995. 132~148.
- [16] Wang H Z (王宏志). *Mixed forest in southern China*(in Chinese). Beijing: Chinese Forestry Press, 1993. 157~162.
- [17] Liu J F (刘金福), Hong W (洪伟). A study on the community ecology of *Castanopsis kawakamii*—study on the niche of the main tree population in *Castanopsis kawakamii* community. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 1999, **19** (3): 347~352.
- [18] Chen B (陈波), Zhou X M (周兴民). Analysis of niche breadths and overlaps of several plant species in three kobresia communities of an alpine meadow. *Acta Phytoecologica Sinica*(in Chinese)(植物生态学报), 1995, **19** (2): 158~169.
- [19] Shi Z M (史作民), Cheng R M (程瑞梅), Liu S R (刘世荣). Niche characteristics of plant populations in deciduous broad-leaved forest in Baotianman. *Chinese Journal of Applied Ecology*(in Chinese)(应用生态学报), 1999, **10** (3): 265~269.
- [20] MacArthur R H. *The Theory of the Niche*. Syracuse Univ. Press, Syracuse, New York, USA, 1968. 159~176.
- [21] Pianka E R. Niche relations of desert lizards. In: M. Cody and J. Diamond eds., *Ecology and Evolution of Communities*, Cambridge, Harvard University Press, 1975. 292~314.
- [22] Guo S L (郭水良), Li Y N (李扬汉). Study on weed ecological relationships in autumn-harvested dry crop fields in Jinhua, Zhejiang Province. *Journal of Wuhan Botanical Research*(in Chinese)(武汉植物学研究), 1998, **16** (1): 39~46.
- [23] Lin S Z (林思祖), Liu Y B (刘玉宝), Wang D Y (王大友), et al. A Fuzzy selection of optimal accompanying tree species for Chinese fir under groups of site type. *Journal of Fujian College of Forestry* (in Chinese)(福建林学院学报), 2000, **20** (2): 1~5.