

非随机过程影响百山祖局域植物群落的物种组成

秦丹¹, 骆争荣^{2*}, 陈德良³, 许大明³, 苏立蕾¹, 陈贤兴¹, 丁炳扬¹

(1. 温州大学生命与环境科学学院, 浙江 温州 325035; 2. 丽水学院生态学院, 浙江 丽水 323000; 3. 浙江凤阳山-百山祖国家级自然保护区百山祖管理处, 浙江 庆元 323800)

摘要: 为探讨从区域到局域的变化过程中的主导影响机制, 通过整理百山祖自然保护区的历次植物调查资料, 并详细调查 5 hm² 的样地群落, 对保护区整个区域和样地群落物种组成的差异和功能性的组成差异进行了比较。结果表明, 在区域种库和局域群落之间的物种组成差异明显, 在区域和局域物种数量排名前 10 的科和属中只有 5 科和 5 属是共有的; 相较于区域中的属, 样地中温带分布的属明显增多, 而热带分布的属较少。功能性状方面, 与区域相比, 样地中草本植物比例减少而木本植物比例增加; 单叶植物比例增加, 复叶植物比例下降; 两性花比例下降, 雌雄异株比例上升; 肉质果比例上升, 而干果比例下降。这些结果表明从区域到局域群落构建过程中生态位分化机制等非随机过程起着重要的作用。

关键词: 生态位分化; 非随机过程; 区域种库; 局域群落; 功能特征; 区系组成

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2014.01.008

Non-random Processes Influence Species Composition of Local Plant Community in Baishanzu Nature Reserve

QIN Dan¹, LUO Zheng-rong^{2*}, CHEN De-liang³, XU Da-ming³, SU Li-lei¹, CHEN Xian-xing¹, DING Bing-yang¹

(1. College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China; 2. College of Ecology, Lishui University, Lishui 323000, China; 3. Administration Bureau of Baishanzu, Fengyangshan-Baishanzu National Nature Reserve, Qingyuan 323800, China)

Abstract: The aim is to explore the main influence mechanism in change process from regional to local scale. Based on plant investigation data of Baishanzu Nature Reserve and field investigation of the 5 hm² plot in Baishanzu, the differences in species composition and functional traits at regional and local scales were compared. The results showed that there was significant difference between regional species pool and local community. Among top 10 families and genera of species number in Baishanzu Nature Reserve and plots, only 5 families and 5 genera were common. Compared to genera in whole Baishanzu Nature Reserve, temperate genera increase obviously in plots, and tropical genera were less. At aspect of functional traits, the ratios of herbal plants, compound leaf, bisexual flower or dry fruit in Bishanzu plots were lower than those in Baishanzu Natrure Reserve, while the ratios of woody plants, single leaf, unisexual flower and flesh fruit were higher in Baishanzu plots than those in Baishanzu Nature Reserve. These suggested that non-random processes, such as niche differentiation, play an important role in construction of local community.

Key word: Niche differentiation; Non-random processes; Region species pool; Local community; Functional trait; Floristic composition

群落生态学家普遍认为区域和局域过程共同控制着群落的物种多样性^[1-2]。Zobel 认为通过物

种形成和迁移过程可在一定区域内形成一个区域种库, 而区域种库内的物种通过环境和 / 或生物相

收稿日期: 2013-05-06

接受日期: 2013-08-19

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-430); 浙江省大学生科技创新项目(2009R424027)资助

作者简介: 秦丹, 女, 学士, 从事植物生态学研究。E-mail: qdan199107@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zrluo@126.com

互作用等生态学过程装配在一个局域群落中^[3]。而近 10 年来受到群落生态学界广泛讨论的群落中性理论也认为在区域尺度(即集合群落)上,物种多样性取决于出生、死亡、物种灭绝和新物种分化之间的动态平衡;局域群落通过迁入与集合群落(区域种库)相连,出生、死亡和来自于集合群落的迁入决定了局域群落的结构^[4-6]。两个理论争论的关键点在环境和生物相互作用等非随机性生态学过程在群落构建过程中是否起重要作用。种库理论承认物种之间存在生态位分化,由于物种存在生态位分化,在区域到局域转换过程中环境过滤和/或生物相互作用起着重要的作用^[3,7-8]。然而,中性理论认为在局域群落中所有物种的个体都具有完全相同的出生率、死亡率,即生态学相等性。中性理论虽然承认物种间功能特征的差异,但是认为这些差异对群落结构的形成并不重要,而发生在个体水平上的随机性将成为最主要的决定因素^[9]。因此,局域群落的物种组成除了受区域种库的影响外,主要决定于随机性和扩散的作用。

物种的形态性状和地理分布是物种起源、进化和长期适应环境的综合反映。植物的生活型、叶质和着生方式、花性别和果实类型等特征均在一定程度上反映了植物对资源的利用方式和对资源的争夺能力。如果竞争和环境过滤等生态学过程在从区域到局域转变的过程中起重要作用,那么局域群落的区系组成和功能型谱都会与区域种库的区系组成和功能型谱产生较大差异;如果随机过程在区域到局域转变过程中占主导,那么局域群落的区系组成和功能型谱与区域种库的区系组成和功能型谱将不会有明显的差异。本文通过比较百山祖自然保护区区域种库和百山祖 5 hm² 样地局域群落间物种区系组成的差异和植物部分性状组成的差异,研究从区域到局域的变化过程中物种(或性状)是如何进行组合的,探讨在这一过程中,到底是中性机制(随机)占主导还是生态位分化机制(非随机)占主导,为植物群落的恢复重建和合理开发利用提供科学依据。

1 自然概况

1.1 百山祖区域概况

百山祖自然保护区(以下简称区域)位于浙西南闽浙交界的庆元县境内,属武夷山系洞宫山脉,

主峰百山祖海拔 1856.7 m,地理位置为 119°7'45" ~ 119°19'20" E, 27°37'45" ~ 27°50'30" N,海拔为 500 ~ 1856.7 m,核心保护区面积 10880.1 hm²。基岩为侏罗纪火成岩,山地坡度大多在 30°以上,以侵蚀地貌为主。中亚热带季风气候是本地区地带性气候,具有降水充沛,相对湿度大,水热同步,光温互补等特点,年平均温度较低,为 17.4℃,降水量为 1760 mm,无霜期达 245 d,总的特点是冬无严寒,夏无酷暑^[10]。百山祖区域的地带性森林植被为典型常绿阔叶林,随着海拔的上升,百山祖植被又可分为常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针阔叶混交林、针叶林、山地矮林和山地灌草丛^[10],并且常绿阔叶的群落分层并不明显^[11]。由于受到人类长期开发的影响,原生植被很少保存,植被类型多样,在本文中作为区域的研究代表。

1.2 百山祖样地概况

百山祖森林生物多样性动态样地(以下简称样地)位于百山祖保护区,地理位置约为 119°11'46" E 和 27°45'35" N,海拔为 1400 ~ 1600 m。据离样地最近的百山祖保护站气象观测点(海拔 1100 m)的观测资料(1982 - 2001 年),样地所在的中山区域年均气温为 12.8℃,极端高温为 32℃,极端最低温为 -13℃,≥ 10℃的年积温为 3653.3℃,无霜期有 187 d,年降水量为 2341.8 mm,相对湿度达 84%^[11]。样地占地面积为 5 hm² (250 m × 200 m),共划分成 2000 个 5 m × 5 m 的小样方(均为水平投影面积),样地的植被类型是中亚热带中山常绿阔叶林,在本文中作为局域的研究代表。

2 方法

2.1 调查内容和数据来源

温州大学与百山祖管理处于 2008 年对百山祖常绿阔叶林生物多样性监测样地完成了第二次普查,调查了样地的所有物种并编写了样地种子植物名录。保护区的野生植物名录则是来自丁炳扬、金孝锋等于 2003 年根据保护区 1993 年的种子植物名录修订并剔除栽培种编写而成。

2.2 数据处理和统计分析

植物分类中科的概念采用吴征镒等的系统^[12],而属和种的划分主要依据《Flora of China》。在分

布区类型划分时,属的分布区类型按吴征镒等^[13]的标准进行划分。统计时以科、属包含的物种数作为判断科、属大小的依据。

功能型性状参照《浙江植物志》及《中国植物志》的记载进行分类^[13-14]。生活型按常绿乔木、落叶乔木、常绿灌木(含小乔木)、落叶灌木(含小乔木)、木质藤本、草质藤本、多年生草本和一、二年生草本分类。叶型按单叶、羽状复叶、三出复叶、鸟足状复叶、掌状复叶、单身复叶和无叶划分。叶着生方式包括互生、簇生、对生、轮生和其他类型。花性别分为两性、单性同株、单性异株和杂性。果实分为干果类和肉果类,其中干果类包括蓇葖果、荚果、角果、蒴果、瘦果、颖果、坚果、翅果、分果、双悬果和胞果;肉果类包括浆果、柑果、核果、梨果和瓠果。分别统计区域和局域中各功能型性状所含物种数并进行比较分析。

3 结果

3.1 科属组成

根据整理后的百山祖保护区(区域)野生植物名录,共有 1570 种种子植物,其中裸子植物 20 种,隶属于 6 科 17 属。被子植物中双子叶植物有 149 科 523 属 1209 种,单子叶植物 37 科 162 属 341 种。根据整理后的百山祖样地(局域)植物名录,共有种

子植物 291 种,隶属于 78 科 143 属,包括裸子植物 4 科 4 属 4 种;被子植物 74 科 139 属 287 种,其中双子叶植物 61 科 114 属 244 种,单子叶 13 科 25 属 43 种。

科的比较 在百山祖区域中排在前十的大科分别为禾本科(Gramineae)、菊科(Compositae)、蔷薇科(Rosaceae)、莎草科(Cyperaceae)、蝶形花科(Papilionaceae)、唇形科(Labiatae)、兰科(Orchidaceae)、壳斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、茜草科(Rubiaceae)。而在样地中排列前十的大科除蔷薇科、樟科、壳斗科、莎草科、禾本科等 5 科与区域相同外,还有冬青科(Aquifoliaceae)、山茶科(Theaceae)、卫矛科(Celastraceae)、杜鹃花科(Ericaceae)和荚蒾科(Viburnaceae)等 5 科。从排在前十位的大科(表 1)来看,在区域中草本植物(或草本为主)的科占半数,如禾本科、菊科、莎草科、唇形科、兰科等,而样地中以木本植物为主,如冬青科、壳斗科、樟科、山茶科、蔷薇科、卫矛科、杜鹃花科、荚蒾科等 8 科。比较前十科所含物种数可见,百山祖样地中蔷薇科、樟科、壳斗科分别位于第 1、3 和 5,禾本科则由区域中的第 1 大科降为样地中的第 10 科,莎草科下降至第 6 科。

属的比较 百山祖区域与样地中排列前十的大属,只有冬青属(*Ilex*)、悬钩子属(*Rubus*)、荚蒾属(*Viburnum*)、苔草属(*Carex*)、杜鹃花属

表 1 百山祖保护区与百山祖样地中的前十科

Table 1 Top 10 families in Nature Reserve and plot of Baishanzu

保护区 Nature Reserve		样地 Plot	
科 Family	属数 / 种数 Number of genera / Number of species	科 Family	属数 / 种数 Number of genera / Number of species
禾本科 Gramineae	55/95	蔷薇科 Rosaceae	7/27
菊科 Compositae	47/81	冬青科 Aquifoliaceae	1/16
蔷薇科 Rosaceae	19/74	樟科 Lauraceae	4/15
莎草科 Cyperaceae	13/52	山茶科 Theaceae	7/14
蝶形花科 Papilionaceae	24/49	壳斗科 Fagaceae	5/12
唇形科 Labiatae	22/39	莎草科 Cyperaceae	3/10
兰科 Orchidaceae	25/38	卫矛科 Celastraceae	2/10
壳斗科 Fagaceae	6/33	杜鹃花科 Ericaceae	2/8
樟科 Lauraceae	7/32	荚蒾科 Viburnaceae	1/8
茜草科 Rubiaceae	18/30	禾本科 Gramineae*	5/7

*: 禾本科、菝葜科(Smilacaceae)、槭树科(Aceraceae)、山矾科(Symplocaceae)的种数相同,但因禾本科的属数较多,故选禾本科为代表。

*: Number of species in Gramineae, Smilacaceae, Aceraceae, Symplocaceae are the same, Gramineae is chosen as representation because of more genera.

(*Rhododendron*)是相同的。区域中还有猕猴桃属(*Actinidia*)、蓼属(*Polygonum*)、紫珠属(*Callicarpa*)、卫矛属(*Euonymus*)和山茶属(*Camellia*)等5属;样地中还有菝葜属(*Smilax*)、槭树属(*Acer*)、山矾属(*Symplocos*)、堇菜属(*Viola*)和南蛇藤属(*Celastrus*)等5属。从属的大小来看(表2),悬钩子属、荚蒾属在区域中位列第3和第5,在样地中位列第2和第3;而苔草属由区域中的第2降至样地中的第4。

3.2 属的分布区类型比较

百山祖样地中共有143属种子植物(表3),按照吴征镒等^[13]的中国种子植物属的划分可分为12个分布类型,与百山祖区域比较,缺少了温带亚洲和地中海区、西亚至中亚分布这两个区类型。样地中热带成分的属占37.06%,温带成分占53.85%,其中热带成分中以热带亚洲和泛热带占绝对优势,北温带分布和东亚分布是温带成分中的主要类型。

表2 百山祖保护区与样地中的前10属

Table 2 Top 10 genera in Nature Reserve and plot of Baishanzu

保护区 Nature Reserve		样地 Plot	
属 Genus	种数 Number of species	属 Genus	种数 Number of species
冬青属 <i>Ilex</i>	26	冬青属 <i>Ilex</i>	16
苔草属 <i>Carex</i>	25	悬钩子属 <i>Rubus</i>	10
悬钩子属 <i>Rubus</i>	20	荚蒾属 <i>Viburnum</i>	8
猕猴桃属 <i>Actinidia</i>	17	苔草属 <i>Carex</i>	8
荚蒾属 <i>Viburnum</i>	16	菝葜属 <i>Smilax</i>	7
蓼属 <i>Polygonum</i>	14	槭树属 <i>Acer</i>	7
紫珠属 <i>Callicarpa</i>	13	山矾属 <i>Symplocos</i>	7
杜鹃花属 <i>Rhododendron</i>	12	杜鹃花属 <i>Rhododendron</i>	6
卫矛属 <i>Euonymus</i>	12	堇菜属 <i>Viola</i>	6
山茶属 <i>Camellia</i>	11	南蛇藤属 <i>Celastrus</i>	6

表3 百山祖样地与百山祖保护区种子植物属的分布区类型

Table 3 Areal-types of genera of seed plants in Nature Reserve and plot of Baishanzu

分布区类型 Areal-type	保护区 Nature Reserve ^[15]		样地 Plot	
	属数 Number of genera	%	属数 Number of genera	%
1. 广布 Cosmopolitan	61	8.71	13	9.09
2. 泛热带 Pantropic	138	19.71	15	10.49
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断 Trop. & Subtrop. E. Asia & (S) Trop. Amer. Disjunct	16	2.29	7	4.90
4. 旧世界热带 Old World Tropic	41	5.86	6	4.20
5. 热带亚洲至热带大洋洲 Trop. Asia to Trop. Australasia Oceania	24	3.43	3	2.10
6. 热带亚洲至热带非洲 Trop. Asia to Trop. Africa	21	3.00	5	3.50
7. 热带亚洲 Trop. Asia	64	9.14	17	11.89
8. 北温带 N. Temp.	108	15.43	28	19.58
9. 东亚及北美间断 E. Asia & N. Amer. disjunct	57	8.14	20	13.99
10. 旧世界温带 Old World Temp.	34	4.86	2	1.40
11. 温带亚洲 Temp. Asia	6	0.86	0	0
12. 地中海区、西亚至中亚 Mediterranean, W. Asia to C. Asia	3	0.43	0	0
14. 东亚 E. Asia	109	15.57	25	17.48
15. 中国特有 Endemic to China	18	2.57	2	1.40
总计 Total	700	100.00	143	100.00

区域中热带成分的属占 43.43%，温带地理成分占 47.86%。可见，样地中热带成分的比例有所降低，如泛热带、旧世界热带、热带亚洲至热带大洋洲分布，而温带成分的比例却有所提高，如北温带、东亚及北美间断、东亚分布等。可见，在种子植物属的分布区类型上，区域的分布区类型较多样，而样地的则较为单一。

3.3 功能型性状比较

植物生活型比较 从图 1 可见，百山祖区域植物生活型中种类最多的是多年生草本，其次是

一二年生草本和落叶灌木，而样地中种类最多的仍然是多年生草本，其次是常绿乔木和常绿灌木。同时，百山祖样地的种类组成中草本植物的比例明显下降(卡方检验, $P < 0.05$)，特别是一二年生草本植物下降得更为明显；其他类型均有所上升，尤其是常绿乔木和常绿灌木的比例上升较为明显。

叶型 在百山祖区域和样地植物中，叶片都是以单叶为主，分别占 88.15%、92.44%，区域和样地中的叶型差异显著(卡方检验, $P < 0.05$)。而在样地植物复叶比例总体降低的情况下，鸟足状复叶和掌状复叶的比例均比区域的高(图 2)。

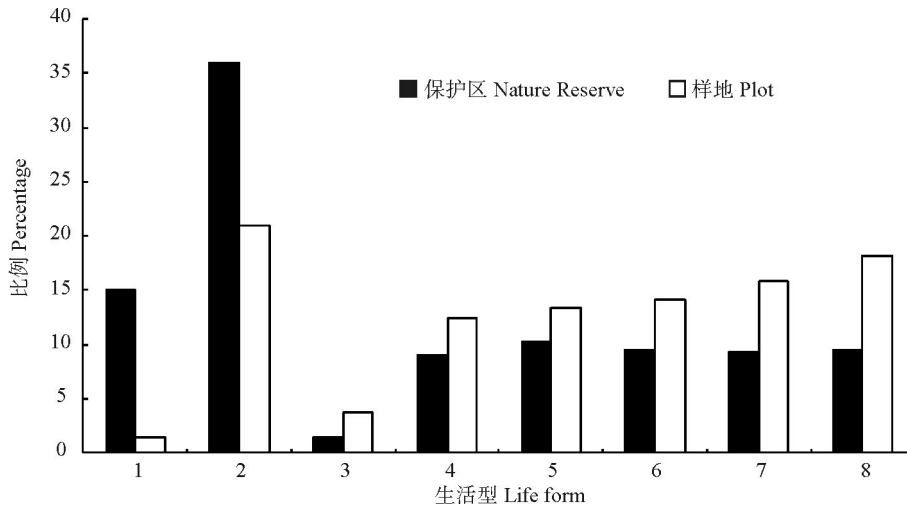


图 1 百山祖保护区与样地种子植物的生活型比较。1: 一二年生草本；2: 多年生草本；3: 草质藤本；4: 木质藤本；5: 落叶灌木；6: 落叶乔木；7: 常绿灌木；8: 常绿乔木。

Fig. 1 Composition of life forms of seed plants in Nature Reserve and plot of Baishanzu. 1: Annual and biennial herb; 2: Perennial herb; 3: Herbal liana; 4: Woody vine; 5: Deciduous shrub; 6: Deciduous tree; 7: Evergreen shrub; 8: Evergreen tree.

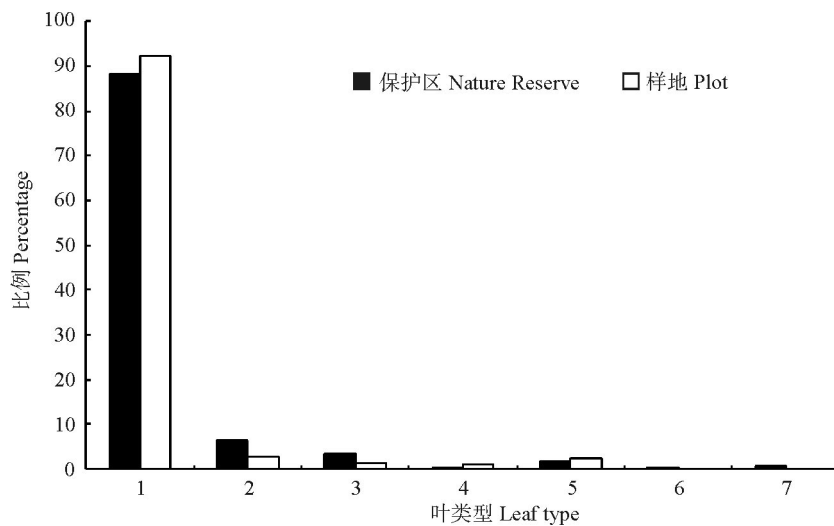


图 2 百山祖保护区与样地种子植物的叶型比较。1: 单叶；2: 羽状复叶；3: 三出复叶；4: 鸟足状复叶；5: 掌状复叶；6: 单身复叶；7: 无叶。

Fig. 2 Composition of leaf types of seed plants in Nature Reserve and plot of Baishanzu. 1: Monocotyledons; 2: Pinnately compound leaf; 3: Terately compound leaf; 4: Pedate leaf; 5: Palmately compoundleaf; 6: Unifoliate compound leaf; 7: No leaf.

叶片着生方式 百山祖保护区和样地种子植物的叶片着生方式差异显著(卡方检验, $P < 0.05$)。从图 3 可见,两者都以互生为主,样地中植物叶片多是互生类型,其他着生方式的比例均比区域中的下降,且轮生方式在样地中没有出现。

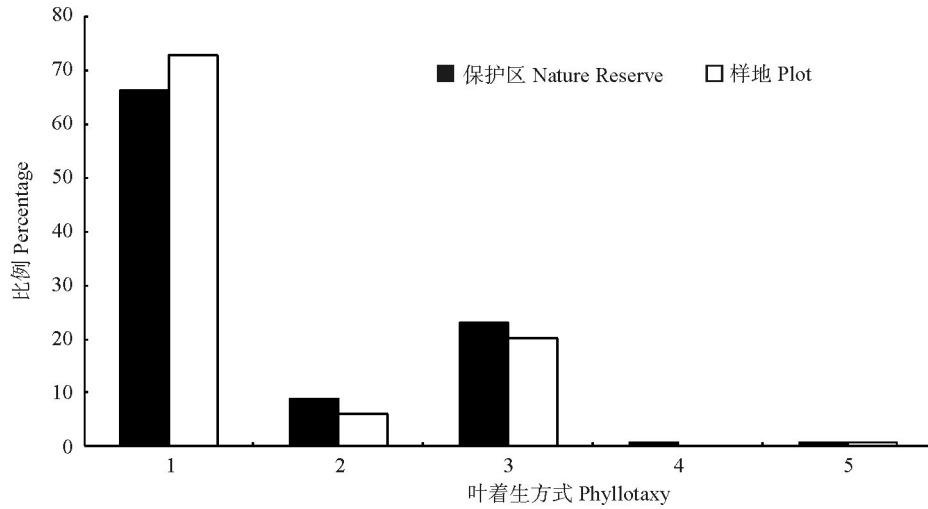


图 3 百山祖区域与样地植物叶的着生方式比例比较。1: 互生; 2: 簇生; 3: 对生; 4: 轮生; 5: 其他。

Fig. 3 Percentages of different phyllotaxy of seed plant in Baishanzu Nature Reserve and Baishanzu plot. 1: Alternate; 2: Fascicled; 3: Opposite; 4: Verticillate; 5: Others.

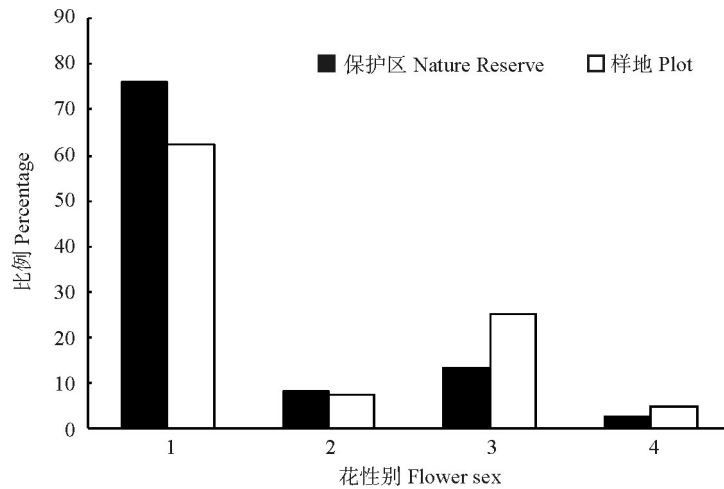


图 4 百山祖保护区与样地植物花的性别比例。1: 两性; 2: 雌雄同株; 3: 雌雄异株; 4: 杂性。

Fig. 4 Sex ratio of flowers of seed plants in Nature Reserve and plot of Baishanzu. 1: Bisexual; 2: Monoecis; 3: Dioecis; 4: Polygamy.

性花的比例上升。

果实类型 由图 5 可见,百山祖保护区种子植物中以蒴果占较大优势,其次为核果、坚果和浆果;而样地中则差异显著(卡方检验, $P < 0.05$),核果的比例最大,其次为蒴果、浆果和坚果。且在区域中出现的角果、分果、柑果、瓠果在样地中均未出现。与区域植物相比,样地植物的果实类型中干果

花性别 从图 4 可见,在百山祖保护区植物以两性花为主,占 76.24%,而样地中两性花只占 62.54%。与区域相比,样地中的单性雌雄异株及杂性花的比例都明显提高(卡方检验, $P < 0.05$),而单性雌雄同株的比例略为下降,但是总体上样地中单

类的荚果、蒴果、瘦果和颖果的比例都下降,而肉果类的浆果、核果和梨果比例明显上升。

4 结论和讨论

本研究结果表明,百山祖保护区种子植物的科属组成和百山祖样地的存在较大差异。区域和样

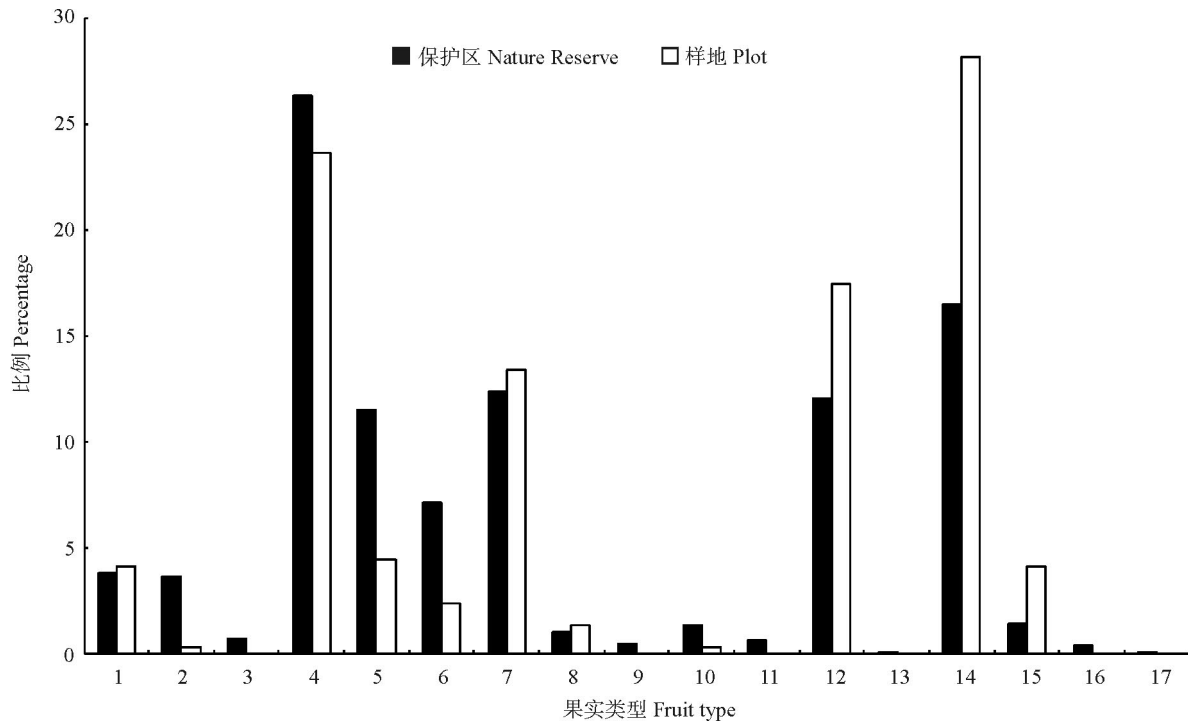


图5 百山祖自然保护区与样地植物的果实类型。1: 蓇葖果; 2: 荚果; 3: 角果; 4: 蒴果; 5: 瘦果; 6: 颖果; 7: 坚果; 8: 翅果; 9: 分果; 10: 双悬果; 11: 胞果; 12: 浆果; 13: 柑果; 14: 核果; 15: 梨果; 16: 瓠果; 17: 其他。

Fig. 5 Fruit types of seed plants in Baishanzu Nature Reserve and Baishanzu plots. 1: Follicle; 2: Legume; 3: Siliqua; 4: Capsule; 5: Achene; 6: Caryopsis; 7: Nut; 8: Samara; 9: Schizocarp; 10: Cremocarp; 11: Utricle; 12: Berry; 13: Hesperidium; 14: Drupe; 15: Pome; 16: Pepo; 17: Others.

地排列前10的大科属的排名有较大的变化,说明样地物种并非是从区域种库中随机抽取的样本,从区域到局域群落构建过程中非随机过程占了主导地位。

从种子植物属的分布区类型来看,与区域种库相比,样地种子植物的热带成分比例下降,温带成分比例提高,特别是热带成分中的泛热带分布下降明显,以及温带成分中北温带和东亚与北美间断分布上升显著。这主要是由于样地所在地的海拔较高,气温偏低,气候特征更接近于温带气候。显然温带起源的物种能较好地适应样地的气候环境^[11]。在气候环境的筛选压力下,样地群落的热带成分比例下降,温带成分比例上升。

通过区域与样地植物叶型及着生方式、花的性别、果实类型的比较也可看出,在功能性状组成,特别是花的性别和果实类型上,样地与区域种子植物有明显的差异。从区域到样地,一年生和多年生草本植物的比例大幅减少而木本植物比例增加;单叶比例增加,而复叶比例下降;两性花比例下降,而更为特化的雌雄异株的比例上升;肉质果比例上升,而干果比例下降。这些都说明从区域种库到局

域群落组装是非随机的过程,其中基于生态位分化的生态学过程起着重要作用。从遗传与进化的角度来说,普遍存在的功能性状间关系(相似或差异)是对异质或变化环境适应进化的结果,植物通过功能性状的调节来适应环境^[16]。中山常绿阔叶林内特殊的小气候环境能较好地解释区域和局域功能性状组成的变化。相比于其他植被类型,常绿阔叶林内阳光不足、空气流动速度较小且动物种类相对丰富。在这种生境条件下仅有少数耐阴性较好的草本植物能适应,而木本植物普遍适应较好;同时,偏向于靠动物传播种子的肉质果物种比偏向于靠风力或重力传播的种子的物种更能适应森林环境。样地常见树种的生境相关性分析也显示,在百山祖样地的物种中大部分常见物种的分布显示出生境相关性^[17]。种间竞争也是造成从区域种库到局域群落的物种组成变化的原因之一,然而先前的研究表明在局域群落的现有物种之间,竞争作用似乎并不强烈^[18]。

理论上中性的扩散限制也会造成局域群落构建的非随机现象。由于扩散限制,使物种的繁殖体并不能到达每一个局域群落^[3]。但是在百山祖这一

机制对局域群落的构建作用较小。百山祖自然保护区在历史上一直是连片区域,不存在大的地理隔离。虽然整个保护区面积较大,但如果种群增长不受其它因素限制,在漫长的历史过程中,即使扩散距离很短的物种也可以凭借种群的扩张到达区域的任何地方^[19]。通过比较,我们发现在本区域常见(理论上这些物种可以克服扩散限制)的乔木层优势种苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)和红楠(*Machilus thunbergii*)在样地中并没有出现,而在区域常见的甜槠(*C. eyrei*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、石栎(*Lithocarpus glaber*)、毛花连蕊茶(*Camellia fraterna*)在百山祖样地中也并不常见^[11]。综上所述,非中性的生态过程在区域到局域的群落构建过程中起着更重要的作用。

参考文献

- [1] Hou J H, Ma K P. On mechanisms of species coexistence in plant communities [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2002, 26(Suppl.): 1–8.
侯继华, 马克平. 植物群落物种共存机制的研究进展 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 1–8.
- [2] Fang J Y, Wang X P, Tang Z Y. Local and regional processes control species richness of plant communities: The species pool hypothesis [J]. *Biodiv Sci*, 2009, 17(6): 605–612.
方精云, 王襄平, 唐志尧. 局域和区域过程共同控制着群落的物种多样性: 种库假说 [J]. *生物多样性*, 2009, 17(6): 605–612.
- [3] Zobel M. The relative of species pools in determining plant species richness: an alternative explanation of species coexistence? [J]. *Trends Ecol Evol*, 1997, 12(7): 266–269.
- [4] Hubbell S P. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography (MPB-32)* [M]. Princeton: Princeton University Press, 2001: 33–42.
- [5] He F L, Hu X S. *Neutral biodiversity theory and biodiversity patterns* [M]// *Lectures in Modern Ecology, III: Advances and Key Topics*. Beijing: Higher Education Press, 2005: 29–44.
何芳良, 胡新生. 生物多样性的中性理论与多样性格局 [M]// *现代生态学讲座: III. 学科进展与热点论题*. 北京: 高等教育出版社, 2005: 29–44.
- [6] Zhou S R, Zhang D Y. Neutral theory in community ecology [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2006, 30(5): 868–877.
周淑荣, 张大勇. 群落生态学的中性理论 [J]. *植物生态学报*, 2006, 30(5): 868–877.
- [7] MacArthur R H, Levins R. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species [J]. *Amer Nat*, 1967, 101(921): 377–385.
- [8] Tilman D, Pacala S. The maintenance of species richness in plant communities [M]// *Ricklefs R E, Schluter D. Species Diversity in Ecological Communities*. Chicago: University of Chicago Press, 1993: 13–25.
- [9] Bell G. Neutral macroecology [J]. *Science*, 2001, 293(5539): 2413–2418.
- [10] Yu Y H, Yao F P, Chen X R, et al. An introduction to main vegetation types in the Baishanzu National Nature Reserve [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2003, 11(2): 93–98.
余久华, 姚丰平, 陈小荣, 等. 百山祖自然保护区主要植被类型概述 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2003, 11(2): 93–98.
- [11] Xu M, Luo Z R, Yu M J, et al. Floristic composition and community structure of mid-montane evergreen broad-leaved forest in north slope of Baishanzu Mountain [J]. *J Zhejiang Univ (Agri & Life Sci)*, 2007, 33(4): 450–457.
徐敏, 骆争荣, 于明坚, 等. 百山祖北坡中山常绿阔叶林的物种组成和群落结构 [J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2007, 33(4): 450–457.
- [12] Wu Z Y, Zhou Z K, Li D Z, et al. The areal-types of the World families of seed plants [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2003, 25(3): 245–257.
吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统 [J]. *云南植物研究*, 2003, 25(3): 245–257.
- [13] Zheng C Z. *Identification Manual of Seed Plants in Zhejiang* [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 2005: 1–558.
郑朝宗. *浙江种子植物检索鉴定手册* [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2005: 1–558.
- [14] *Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae Sinicae Edita. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 7 – 80* [M]. Beijing: Science Press, 1961–2003.
中国植物志编委会. *中国植物志*, 第7–80卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1961–2003.
- [15] Jin X F, Ding B Y, Zheng C Z, et al. The floristic analysis of seed plants in Baishanzu Nature Reserve from Zhejiang Province [J]. *Acta Bot Yunnan*, 2004, 26(6): 605–618.
金孝锋, 丁炳扬, 郑朝宗, 等. 浙江百山祖自然保护区种子植物区系分析 [J]. *云南植物研究*, 2004, 26(6): 605–618.
- [16] Ackerly D D. Community assembly, niche conservatism, and adaptive evolution in changing environments [J]. *Int J Plant Sci*, 2003, 164(Suppl.): S165–S184.
- [17] Wang W, Luo Z R, Zhou R F, et al. Habitat associations of woody plant species in Baishanzu subtropical broad-leaved evergreen forest [J]. *Biodiv Sci*, 2011, 19(2): 134–142.
王伟, 骆争荣, 周荣飞, 等. 百山祖常绿阔叶林木本植物的生境相关性分析 [J]. *生物多样性*, 2011, 19(2): 134–142.
- [18] Luo Z R, Yu M J, Chen D L, et al. Spatial associations of tree species in a subtropical evergreen broad-leaved forest [J]. *J Plant Ecol*, 2012, 5(3): 346–355.
- [19] Muller-Landau M, Wright S J, Calderon O, et al. Accessing recruitment limitation: concepts, methods and case studies from a tropical forest [M]// *Levey D J, Silva U R, Galetti M. Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation*. Oxford: CAB International, 2002: 35–54.