

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0654

陈水飞, 徐辉, 陈世品, 等. 武夷山国家公园植物果实类型谱的海拔梯度格局[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(3): 353–359.

CHEN Shui-fei, XU Hui, CHEN Shi-pin, *et al.* Altitudinal Patterns of the Plant Fruit Type Spectrum in Wuyishan National Park[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2023, 39(3): 353–359.

武夷山国家公园植物果实类型谱的海拔梯度格局

陈水飞¹, 徐辉², 陈世品³, 林文俊³, 徐鲜钧⁴, 葛晓敏¹, 张爱国^{1①}, 丁晖^{1②} (1. 生态环境部南京环境科学研究所/国家环境保护武夷山生态环境科学观测研究站/国家环境保护生物安全重点实验室, 江苏 南京 210042; 2. 福建省微生物研究所, 福建 福州 350007; 3. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 4. 福建省武夷山生物研究所, 福建 武夷山 354300)

摘要: 果实类型的地理分布模式在很大程度上取决于其最适生长期所处的环境条件。基于海拔梯度样地调查结果, 分析武夷山国家公园范围内沿海拔梯度被子植物果实类型的组成及变化规律。结果表明: (1) 武夷山国家公园植物干果比例为 43.41%, 肉果比例为 56.59%; 13 种果实类型中核果比例最高, 占总数的 31.18%, 其后依次为蒴果和浆果, 占比分别为 22.30% 和 15.35%; 这些特征与武夷山国家公园所处的中亚热带季风湿润气候区相适应。(2) 乔木植物中干果比例为 38.97%, 肉果比例为 61.03%; 灌木植物中干果比例为 29.51%, 肉果比例为 70.49%; 草本植物中干果比例为 91.67%, 肉果比例为 8.33%; 藤本植物中干果比例为 30.77%, 肉果比例为 69.23%。(3) 随着海拔的升高, 武夷山国家公园植物群落果实类型中干果比例逐渐上升, 而肉果比例逐渐下降。海拔为 800~1 700 m 时, 样地内优势果实均为核果、蒴果和浆果, 当海拔升到 1 800 m 时, 样地内植物优势果实为核果、蒴果和坚果, 浆果类型比例降低, 甚至消失; 当海拔升到 1 900 m 时, 样地内植物优势果实为核果、瘦果和蒴果; 当海拔为 2 000~2 100 m 时, 样地内植物优势果实为瘦果、蒴果和颖果, 浆果和核果类型减少, 甚至消失。(4) 核果和蒴果在 14 个样地均有出现, 核果比例整体呈现随海拔升高而降低的趋势, 而蒴果比例与海拔梯度没有呈现明显变化规律。研究结果对了解武夷山果实类型分布格局与当地气候的关系以及陆地生态系统对自然环境变化的适应性演化具有一定意义。

关键词: 武夷山国家公园; 海拔梯度; 植物; 果实类型谱

中图分类号: S718.54; Q948.15 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2023)03-0353-07

Altitudinal Patterns of the Plant Fruit Type Spectrum in Wuyishan National Park. CHEN Shui-fei¹, XU Hui², CHEN Shi-pin³, LIN Wen-jun³, XU Xian-jun⁴, GE Xiao-min¹, ZHANG Ai-guo^{1①}, DING Hui^{1②} (1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment/ State Environmental Protection Scientific Observation and Research Station for Ecology Environment of Wuyi Mountains/ National Key Laboratory of Environmental Protection and Biosafety, Nanjing 210042, China; 2. Fujian Institute of Microbiology, Fuzhou 350007, China; 3. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 4. Wuyi Mountains Biological Institute of Fujian Province, Wuyishan 354300, China)

Abstract: Geographical patterns of fruit type largely depend on the environmental conditions during plants' optimum growth period. In this paper, the composition and variation of fruit type in 14 sampled vegetation plots along an altitudinal gradient in Wuyishan National Park were analyzed. The results show that: (1) The proportions of dry and fleshy fruits in Wuyishan National Park were 43.41% and 56.59%, respectively. Among the 13 fruit types, drupes had the highest proportion (31.18%), followed by capsules (22.30%) and berries (15.35%). These characteristics were compatible with the mid-subtropical monsoon humid climates in Wuyishan National Park. (2) For trees, shrubs, herbs, and climbing plants, the proportions of dry fruits were 38.97%, 29.51%, 91.67%, and 30.77%, respectively, while those of fleshy

收稿日期: 2022-06-28

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(GYZX200203); 武夷山国家公园生物资源本底调查项目(HXQT2020120701); 生态环境部事业费项目“生态环境部生物多样性调查、观测和评估项目”

① 通信作者 E-mail: zhangaiguo@nies.org

② 共同通信作者 E-mail: nldinghui@sina.com

fruits were 61.03%, 70.49%, 8.33%, and 69.23%, respectively. (3) With the increase of altitude, the proportion of dry fruit increased while that of fleshy fruit decreased gradually. At the altitudes of 800 to 1 700 m, the dominant fruit types were drupes, capsules and berries. At the altitude of 1 800 m, the dominant fruit types were drupes, capsules and nuts; the proportion of berries decreased or even disappeared. At the altitude of 1 900 m, the dominant fruit types were drupes, achenes and capsules. At the altitudes of 2 000 to 2 100 m, the dominant fruit types were achenes, capsules and caryopses; the proportions of berries and drupes decreased or even disappeared. (4) Drupes and capsules occurred in all the 14 plots. The proportion of drupes decreased with the rising of elevation, while that of capsules had no obvious trend along the altitudinal gradient. This study is essential for understanding the relationships between the geographical patterns of fruit type and the local climates in the Wuyi Mountains, and the adaptive evolution of terrestrial ecosystems to changes in the natural environment.

Key words: Wuyishan National Park; altitudinal gradient; plant; fruit type spectrum

果实是被子植物特有的繁殖器官,不仅可以显著提高被子植物种子传播的有效性,还能使它们产生丰富的物种多样性^[1]。地球环境演化的复杂和多样化,使得植物果实特征出现分化,产生各种各样适应复杂环境的果实类型,因而在一个区域内呈现出果实类型的多样性^[2]。果实类型的多样性也会造成植物类群在生态学上的差异,并对植物进化速度和分化模式产生影响。果实类型的产生是植物对所处环境条件长期适应的结果,特定植物群落果实类型的构成模式可能是植物对生态环境的直接反映之一^[3]。海拔变化会引起温度、降水、大气成分等方面的差异^[4],不同果实类型的植物对这些差异的耐受性不同,从而导致植物果实类型多样性的垂直分布格局存在差异。

武夷山国家公园内主峰黄岗山海拔为 2 158 m,为中国大陆东南部最高峰,素有“华东屋脊”之称,山脉山岭纵横,气候温润,保存了地球同纬度地区最完整、最典型、面积最大的中亚热带原生性森林生态系统^[5]。区域土壤垂直分布从下往上为红壤、黄红壤、黄壤和山地草甸土,不同土壤上发育着不同的植被类型^[6]。独特的地理环境和气候条件为武夷山国家公园植物生长提供了优越的条件,使其植物生长呈现出独有特性,为开展武夷山国家公园植物相关研究提供了良好资源。自武夷山国家公园体制试点开展以来,对武夷山国家公园内植物资源的调查与研究引起越来越多学者的关注,先后开展了区域内植物资源调查^[7]、物种多样性^[8]、群落特征^[9]、群落动态变化^[10]、植物区系地理^[11]和土壤矿化^[12]等研究,这些研究为了解武夷山国家公园植物资源状况、群落动态变化、群落结构特征及资源利用等方面提供了科学依据,为生物多样性保护奠定了科学基础,但鲜有对武夷山国家公园植物果实类型的系统研究。基于武夷山国家公园内沿海拔梯度样地调查结果研究植物群落果实类型分布格

局,以期了解武夷山国家公园植物果实类型沿海拔梯度的分布格局,探讨果实类型与环境之间的适应性关系,为进一步揭示武夷山地区被子植物的物种形成、多样性及系统进化提供一个新的研究方向。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地点位于武夷山国家公园。公园地处福建省北部,周边分别与福建省武夷山市西北部、建阳区和邵武市北部、光泽县东南部、江西省铅山县南部毗邻,地理范围为 27°33'~27°54' N、117°27'~117°51' E,总面积为 1 001.41 km²,属于典型亚热带季风气候区,夏季湿热,冬季干冷,年平均气温为 19.2℃,平均相对湿度为 75%~84%,全年降水充沛,年降水量为 1 600 mm,年平均日照时数为 1 910.2 h,无霜期为 227~246 d。公园地带性土壤为红壤,成土母质为精花岗岩风化物,土层可达 130 cm。常绿阔叶林是武夷山地带性森林植被,分布面积很大,多分布在海拔 350~1 400 m 之间。武夷山国家公园是中国东南大陆生物多样性最丰富的地区,同时也是世界同纬度带现存面积最大、最典型、保存最完整的中亚热带原生性森林生态系统。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源

根据武夷山国家公园海拔、植被垂直分布情况以及实际地形条件,参照美国史密森热带研究所热带森林研究中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS)调查技术规范^[13],并按照典型性、代表性和可操作性原则沿海拔梯度每升高 100 m 设置 1 个植物固定样地,根据群落最小面积原则初步确定样地面积^[14-17],其中,常绿阔叶林样地面积为 4 800 m²,针阔混交林样地面积为 2 000 m²,矮曲林样地面积为 400 m²,中山草甸样地面积为 40 m²。在海拔 800~2 100 m 的山地共设置 14 个样地(涵盖 5 个常

绿阔叶林样地、5 个针阔混交林样地、2 个矮曲林样地和 2 个中山草甸样地), 调查样地内所有种子植物种类。

1.2.2 果实类型的分类

果实类型及生活型数据参考《中国高等植物图鉴》^[18] 确定, 果实类型分类主要参照文献[19] 进行分类, 将武夷山国家公园沿海拔梯度固定样地的果实类型划分为蒴果、荚果、蓇葖果、瘦果、坚果、颖果、翅果、核果、浆果、梨果、蔷薇果、聚合果和聚花果 13 个果实类型。根据果实发育来源的不同将样地中被子植物果实分为单果、聚合果和聚花果 3 大类。单果按果皮性质分为干果和肉果, 干果分为蒴果、荚果、蓇葖果、瘦果、坚果、颖果和翅果; 肉果分为核果、浆果、梨果和蔷薇果; 聚合果和聚花果归为肉果进行计算分析。

1.2.3 数据统计

数据分析采用 Excle 2010 和 R 4.0.4 软件进行, 采用一元线性回归模型探究武夷山样地干果和肉果与海拔的线性关系。线性回归模型使用 MuMIn 软件包, 并基于 ggplot 2 软件包进行作图。

2 结果与分析

2.1 果实类型组成

样地内共调查到种子植物 421 种, 其中有 4 种裸子植物, 裸子植物果球并不是真正意义上的果实,

故不纳入统计。样地内共有基本果实类型 13 种, 分别为蒴果、荚果、蓇葖果、瘦果、坚果、颖果、翅果、核果、浆果、梨果、蔷薇果、聚合果和聚花果(表 1)。其中, 核果类型植物种类比例最高, 占总数的 31.18%; 其后依次为蒴果和浆果, 占比分别为 22.30% 和 15.35%; 干果和肉果占比分别为 43.41% 和 56.59%。

表 1 武夷山国家公园果实类型组成
Table 1 The composition of plant fruit types in Wuyishan National Park

序号	果实类型	物种数	占比/%
1	核果	130	31.18
2	蒴果	93	22.30
3	浆果	64	15.35
4	坚果	42	10.07
5	聚合果	20	4.80
6	梨果	18	4.32
7	瘦果	14	3.36
8	颖果	12	2.88
9	翅果	8	1.92
10	荚果	7	1.68
11	蓇葖果	5	1.20
12	蔷薇果	3	0.72
13	聚花果	1	0.24

2.2 不同生活型植物果实类型的比例差异

武夷山国家公园不同生活型植物的果实类型存在较大差异(表 2)。

表 2 武夷山国家公园不同生活型植物果实类型物种数及比例
Table 2 Number and percentages of plant fruit types of different life forms in Wuyishan National Park

果实类型	乔木		灌木		草本		藤本	
	物种数	占比/%	物种数	占比/%	物种数	占比/%	物种数	占比/%
核果	63	46.32	59	32.24	3	4.17	5	19.23
蒴果	16	11.76	43	23.50	30	41.67	4	15.38
浆果	6	4.41	43	23.50	3	4.17	12	46.15
坚果	27	19.85	3	1.64	12	16.67	0	0
聚合果	7	5.15	12	6.56	0	0	1	3.85
梨果	7	5.15	11	6.01	0	0	0	0
瘦果	0	0	3	1.64	11	15.28	0	0
颖果	0	0	0	0	12	16.67	0	0
翅果	8	5.88	0	0	0	0	0	0
荚果	2	1.47	4	2.19	0	0	1	3.85
蓇葖果	0	0	1	0.55	1	1.39	3	11.54
蔷薇果	0	0	3	1.64	0	0	0	0
聚花果	0	0	1	0.55	0	0	0	0
总计	136	100.00	183	100.00	72	100.00	26	100.00

乔木中干果比例为 38.97%, 肉果比例为 61.03%, 其中, 核果类型种类比例最高, 占比达 46.32%, 其后依次为坚果和蒴果; 生活型为灌木的植物中干果比例为 29.51%, 肉果比例为 70.49%,

其中, 核果类型种类最多, 占比达 32.24%, 其后依次为蒴果和浆果; 草本中干果比例为 91.67%, 肉果比例为 8.33%, 其中, 蒴果类型种类最多, 占比为 41.67%, 其后依次为坚果和颖果; 藤本中干果比例

为 30.77%, 肉果比例为 69.23%, 其中, 浆果类型种类最多, 占比为 46.15%, 其后依次为核果和蒴果。核果、蒴果和浆果在所有 4 种生活型中均有出现, 而颖果仅在草本中出现, 蔷薇果和聚花果仅在灌木植物中出现。

2.3 不同植物群落类型的果实类型谱

武夷山不同植物群落的果实类型比例存在较大差异(图1), 常绿阔叶林、针阔混交林和矮曲林的优势果实类型均为核果和蒴果, 比例分别为 33.66% 和 22.22%、30.77% 和 23.59% 以及 38.18% 和 14.55%, 而中山草甸的优势果实类型为蒴果和瘦果, 比例分别为 31.03% 和 31.03%。常绿阔叶林没有出现聚花果和蔷薇果, 针阔混交林没有出现瘦果, 矮曲林没有出现坚果和聚花果, 而中山草甸果实类型最少, 核果、荚果、蓇葖果、翅果、聚花果和蔷薇果均没有在中山草甸群落出现。

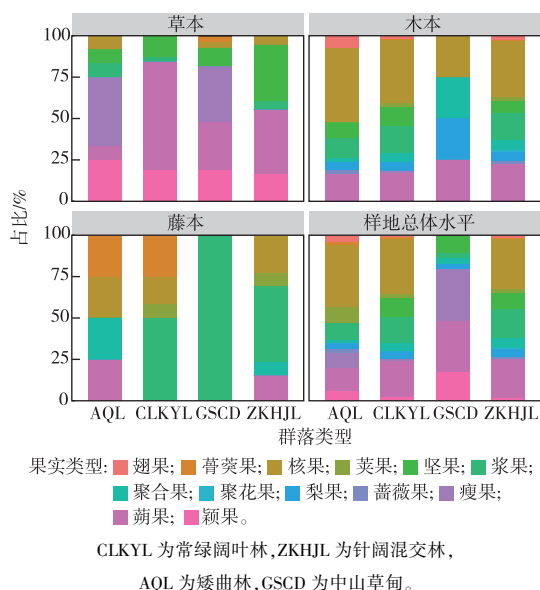


图1 武夷山国家公园植物群落的果实类型谱

Fig. 1 Fruit type spectrum of plant communities in Wuyishan National Park

不同植物群落木本植物果实类型具有一定差异, 但均以核果和蒴果为主。常绿阔叶木本植物核果和蒴果比例分别为 38.70% 和 17.24%; 针阔混交林木本植物核果和蒴果比例分别为 34.36% 和 22.70%; 矮曲林木本植物核果和蒴果比例分别为 45.24% 和 16.67%; 中山草甸木本植物核果和蒴果比例分别为 25.00% 和 25.00%。不同植物群落草本植物果实类型谱差异较大。常绿阔叶林草本植

物优势类型为蒴果, 比例为 65.63%; 针阔混交林草本植物优势类型为蒴果, 比例为 38.39%; 矮曲林草本植物优势类型为瘦果, 比例为 41.67%; 中山草甸草本植物优势类型为瘦果, 比例为 33.33%。

常绿阔叶林、针阔混交林和中山草甸的藤本植物具有较为明显的优势果实类型, 而矮曲林则没有优势果实类型。常绿阔叶林藤本植物的优势果实类型为浆果(50%), 其次为蓇葖果(25%); 针阔混交林藤本植物的优势果实类型为浆果(46.15%), 其次为核果(23.08%); 矮曲林藤本植物的核果、蒴果、瘦果和浆果比例均为 25%; 而中山草甸藤本植物中只有浆果。

2.4 武夷山果实类型沿海拔梯度分布格局

2.4.1 干果和肉果比例沿海拔梯度变化趋势

随着海拔的升高, 武夷山样地干果比例呈现逐渐上升趋势, 而肉果比例呈现逐渐下降趋势(图2)。干果比例在海拔 2 100 m 处最高, 在 900 m 处最低; 肉果比例在 900 m 处最高, 而在 2 100 m 处最低; 干果和肉果比例在 800~1 900 m 处变化较小, 而在 2 000 m 处开始急剧下降, 这主要是因为植被类型由森林群落转变成草地群落所导致, 干果和肉果比例与海拔显著相关($P < 0.001$)。

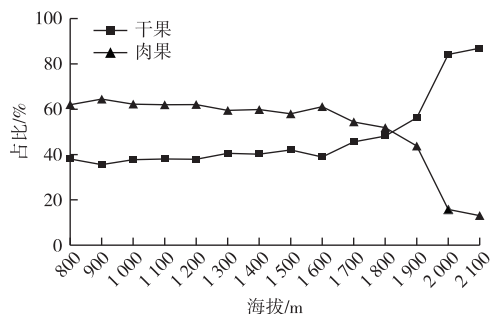


图2 武夷山国家公园植物果实干果和肉果比例的海拔梯度变化趋势

Fig. 2 The change trend of percentages of dry fruit and fleshy fruit with altitude gradient in Wuyishan National Park

对武夷山样地植物果实干果和肉果比例与海拔进行线性回归分析(图3), 结果表明, 干果比例与海拔之间的相关系数为 0.000 3, 肉果比例与海拔之间的相关系数为 -0.000 3, 两者 P 值均小于 0.01, 武夷山样地植物干果和肉果比例与海拔之间均具有较强的相关性。

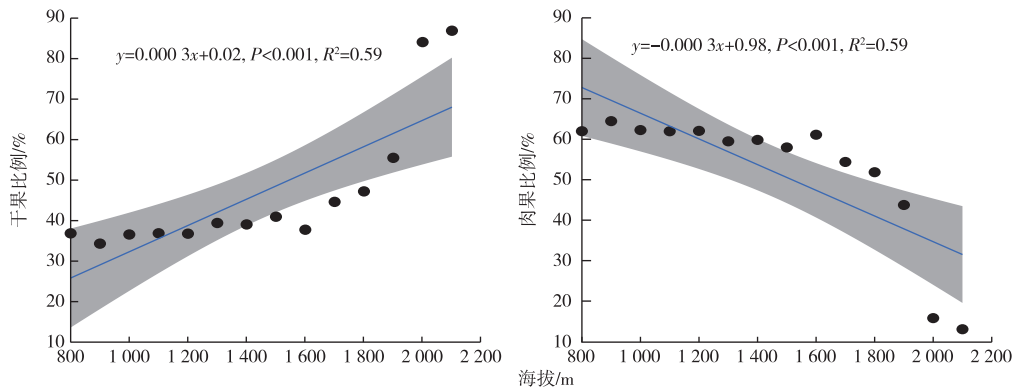


图3 武夷山国家公园植物果实干果和肉果比例随海拔梯度的变化

Fig. 3 The change trend of percentages of dry fruit and fleshy fruit with altitude gradient in Wuyishan National Park

2.4.2 果实类型组成的垂直分布格局

随着海拔及生态类型的变化,武夷山国家公园植物群落果实类型没有呈现明显变化规律,经统计,常绿阔叶林带(海拔为800~1 200 m)基本果实类型种类有11种,针阔混交林(1 300~1 700 m)有12种,矮曲林(1 800~1 900 m)有8种,草甸(2 000~2 100 m)有9种。

由图4可知,当海拔为800~1 700 m时,样地优势果实均为核果、蒴果和浆果;当海拔升到1 800 m时,样地内植物优势果实为核果、蒴果和坚果,浆果类型物种数比例降低,甚至消失;当海拔升到1 900 m时,样地内植物优势果实为核果、瘦果和蒴果;当海拔为2 000~2 100 m时,样地内植物优势果实为瘦果、蒴果和颖果,浆果和核果类型减少,甚至消失。

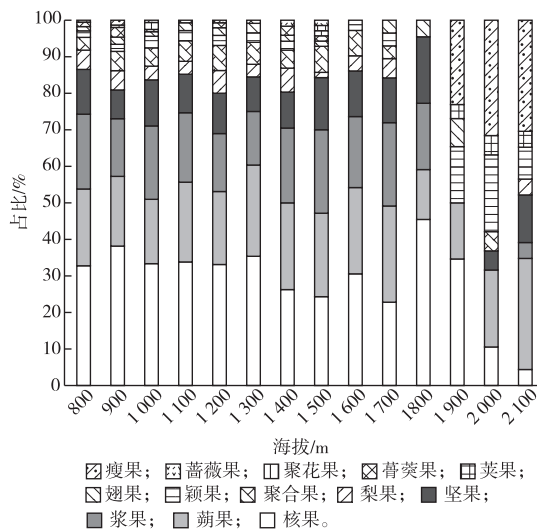


图4 武夷山国家公园不同海拔植物果实类型谱

Fig. 4 Spectrum of plant fruit types at different altitudes in Wuyishan National Park

在14个样地均出现的果实类型为核果和蒴果,核果类型物种数比例整体呈现随海拔升高而降低的趋势,而蒴果类型物种比例与海拔无明显变化规律。海拔升高到1 600 m后,荚果类型植物消失;而瘦果类型物种比例在海拔1 900 m以上出现明显升高。

3 讨论

3.1 果实类型组成

不同的环境因素对果实类型进化的作用有所不同,果实类型的地理分布模式在很大程度上取决于其最适生长期所处的环境条件^[20]。武夷山国家公园植物干果和肉果比例分别为43.41%和56.59%,干果和肉果比例相差不大。而北京地区果实类型干果和肉果比例分别为86.43%和13.37%^[21],阿拉善荒漠果实类型干果和肉果比例分别为91.5%和8.5%^[22],笔者研究与之相差甚远。这是由于3个地区所处气候不同导致的。阿拉善沙漠、北京地区和福建武夷山年降水量分别约为200、600和1 600 mm,降水量的差异可能是引起植物果实类型干果和肉果比例不同的重要原因之一,年降水量越高,肉果比例就越高。有关研究^[23]也得到类似结论,果实类型干果和肉果的成因可能与植物生长环境中的水分状况密切相关,潮湿生境有利于肉质果发育,干旱生境有利于干果发育,而适合的水热条件则会使区域木本植物果实类型多样性升高。

3.2 不同生活型植物果实类型比例的差异

武夷山国家公园不同生活型植物的果实类型存在较大差异,样地内乔木和灌木中坚果比例最高,草本植物中蒴果比例最高,藤本植物中浆果比例最高。木本植物中肉果比例明显高于干果,而草

本植物中肉果比例小于干果。这可能是因为木本植物生长在森林群落顶端,具有较优越的水热条件。核果、蒴果和浆果在所有4种生活型中均有出现,而颖果仅在草本中出现,蔷薇果和聚花果仅在灌木植物中出现。生活型相似的植物在适应环境方面具有趋同性,生活型植物分布具有梯度分布特征^[24]。

3.3 不同植物群落类型的果实类型谱

植物群落因结构和生境所产生的差异导致不同植物群落内果实类型所受的选择压力也不相同。不同生活型植物的产生是植物适应自然环境的演化结果,同一生活型内果实类型多样化也是植物适应复杂环境逐步进化的结果^[25]。武夷山国家公园常绿阔叶林、针阔混交林和矮曲林优势果实类型均为核果,而中山草甸果实类型则以瘦果和蒴果为主,这可能是由于核果主要为木本植物的果实类型,常绿阔叶林、针阔混交林和矮曲林中植物以木本植物为主,而中山草甸以草本植物为主。

3.4 果实类型沿海拔梯度分布格局

海拔梯度包含了水、热等多种环境因子的梯度效应^[26],因此沿不同海拔梯度的植物群落果实类型分布模式也会有所差异。随着海拔的升高,武夷山样地内干果类型的物种数比例逐渐上升,而肉果比例逐渐下降,此与陈学林等^[27]研究结果基本一致。这可能是由于海拔升高导致水热条件产生较复杂变化,从而影响植物群落的果实构成模式。武夷山植物群落浆果和核果比例与海拔均呈显著负相关关系,这与于顺利等^[21]对北京东灵山北坡植物果实类型的研究结果正相反,可以推断在不同区域环境条件下,植物果实类型比例沿海拔梯度的分布格局具有较大差异,而这个推断需要开展更多果实类型分布规律的研究来验证。

4 结论

武夷山国家公园植物果实谱沿海拔梯度变化存在一定规律,干果比例随海拔增加逐渐升高,而肉果比例随海拔增加逐渐减小。肉果主要依靠动物取食进行传播,而干果主要依靠风动力进行传播,低海拔环境有利于动物活动,正好与高比例的肉果类型植物相适应;高海拔区域风力较强,更有利于干果类型植物种子的传播。因此,武夷山国家公园植物果实性状是植物长期适应自然环境进化的结果。

参考文献:

[1] 方伟伟,于顺利.果实生态学的概念、研究现状及研究方向[J].

生态学杂志,2013,32(8):2238-2244.[FANG Wei-wei, YU Shun-li. Fruit Ecology: Its Concepts, Research Advances, and Research Perspectives[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(8): 2238-2244.]

[2] 梁颖怡,庞学群,王艇.果实类型多样性的形成机制和进化[J].植物科学学报,2017,35(6):912-924.[LIANG Ying-yi, PANG Xue-qun, WANG Ting. Mechanism and Evolution of Fruit Type Diversity[J]. Plant Science Journal, 2017, 35(6): 912-924.]

[3] 王国宏,周广胜.甘肃木本植物区系生活型和果实类型构成式样与水热因子的相关分析[J].植物研究,2001,21(3):448-455.[WANG Guo-hong, ZHOU Guang-sheng. Correlation Analysis on the Relationship between Plant Life Form, Fruit Type and Hydrothermic Factors in Gansu Woody Plant Flora[J]. Bulletin of Botanical Research, 2001, 21(3): 448-455.]

[4] 方精云,沈泽昊,崔海亭.试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容[J].生物多样性,2004,12(1):10-19.[FANG Jing-yun, SHEN Ze-hao, CUI Hai-ting. Ecological Characteristics of Mountains and Research Issues of Mountain Ecology[J]. Chinese Biodiversity, 2004, 12(1): 10-19.]

[5] 陈昌笃.论武夷山在中国生物多样性保护中的地位[J].生物多样性,1999,7(4):320-326.[CHEN Chang-du. Biodiversity in the Wuyi Mountains and Its Importance in China[J]. Chinese Biodiversity, 1999, 7(4): 320-326.]

[6] 罗伦.在全球变暖环境下的武夷山土壤类型的垂直分布预测[J].绵阳师范学院学报,2009,28(2):105-108.[LUO Lun. Vertical Soil Distribution Types in Wuyi Mountain under the Environment of Global Warming[J]. Journal of Mianyang Normal University, 2009, 28(2): 105-108.]

[7] 陈新艳.武夷山4种福建植物新记录[J].森林与环境学报,2019,39(3):320-322.[CHEN Xin-yan. Four New Records of Fujian Provincial Species in Wuyi Mountains[J]. Journal of Forest and Environment, 2019, 39(3): 320-322.]

[8] 陈婷婷,徐辉,马方舟,等.武夷山亚热带常绿阔叶林物种多样性的尺度效应[J].生态与农村环境学报,2016,32(5):750-756.[CHEN Ting-ting, XU Hui, MA Fang-zhou, et al. Scale Effects on Species Diversity of Subtropical Evergreen Broad-leaved Forest on Wuyi Mountains [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2016, 32(5): 750-756.]

[9] 丁晖,方炎明,杨青,等.武夷山中亚热带常绿阔叶林样地的群落特征[J].生物多样性,2015,23(4):479-492.[DING Hui, FANG Yan-ming, YANG Qing, et al. Community Characteristics of a Mid-subtropical Evergreen Broad-leaved Forest Plot in the Wuyi Mountains, Fujian Province, Southeastern China [J]. Biodiversity Science, 2015, 23(4): 479-492.]

[10] 丁晖,徐辉,徐鲜钧,等.2011—2016年武夷山甜槠常绿阔叶林乔木层群落动态[J].生态学报,2018,38(20):7391-7399.[DING Hui, XU Hui, XU Xian-jun, et al. Community Dynamics of Arbor Layer in the *Castanopsis eyrei* Evergreen Broadleaved Forest in the Wuyi Mountains, Fujian Province, Southeastern China in 2011-2016 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(20): 7391-7399.]

[11] 林汝强,徐明杰,方福清,等.武夷山南北坡石松类和蕨类植物区系比较研究[J].天津农业科学,2019,25(3):56-62.[LIN Ru-qiang, XU Ming-jie, FANG Fu-qing, et al. Comparative Study on

- the Stone Pine and Fern Flora in the North and South Slopes of Wuyi Mountain[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2019, 25(3): 56-62.]
- [12] 葛晓敏, 陈水飞, 周旭, 等. 武夷山中亚热带常绿阔叶林土壤氮矿化的季节动态[J]. 生态环境学报, 2019, 28(7): 1351-1360. [GE Xiao-min, CHEN Shui-fei, ZHOU Xu, *et al.* Seasonal Dynamics of Soil Nitrogen Mineralization in a Mid-subtropical Evergreen Broad-leaved Forest in Wuyi Mountains, Fujian Province, China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2019, 28(7): 1351-1360.]
- [13] CONDIT R. Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama, and a Comparison with Other Plots [M]. Berlin: Springer, 1998: 15-97.
- [14] 方燕鸿. 武夷山米槠、甜槠常绿阔叶林的物种组成及多样性分析[J]. 生物多样性, 2005, 13(2): 148-155. [FANG Yan-hong. Species Composition and Diversity of Evergreen Broad-leaved Forest of *Castanopsis carlesii* and *C. eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve, Fujian, China[J]. Chinese Biodiversity, 2005, 13(2): 148-155.]
- [15] 王睿智, 国庆喜. 小兴安岭阔叶红松林木本植物种-面积关系[J]. 生态学报, 2016, 36(13): 4091-4098. [WANG Rui-zhi, GUO Qing-xi. Woody Plants Species-area Relationships in a Broad-leaved Korean Pine Forest in the Xiaoxing'an Mountains[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(13): 4091-4098.]
- [16] 陈泓, 黎燕琼, 郑绍伟, 等. 岷江上游干旱河谷灌丛群落种-面积曲线的拟合及最小面积确定[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 1818-1825. [CHEN Hong, LI Yan-qiong, ZHENG Shao-wei, *et al.* Determination of Species-area Relationships and Minimum Sampling Area for the Shrub Communities in Arid Valley in the Upper Reach of the Minjiang River[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 1818-1825.]
- [17] 宫守飞, 许剑辉, 黄庆丰. 铜陵叶山常绿落叶阔叶林群落结构最小取样面积的抽取[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(2): 91-94. [GONG Shou-fei, XU Jian-hui, HUANG Qing-feng. Study on the Minimum Sampling Area of Evergreen-deciduous Broadleaf Forest Community Structure in Tongling Yeshan Mountain[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2012, 36(2): 91-94.]
- [18] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 1972: 339-863.
- [19] 楼炉煥, 王彩霞, 王慧. 果实类型分类探讨[J]. 浙江林学院学报, 1998, 15(1): 85-90. [LOU Lu-huan, WANG Cai-xia, WANG Hui. Study on the Classification of Fruit Forms[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 1998, 15(1): 85-90.]
- [20] CHEN S C, CORNWELL W K, ZHANG H X, *et al.* Plants Show More Flesh in the Tropics: Variation in Fruit Type along Latitudinal and Climatic Gradients[J]. Ecography, 2017, 40(4): 531-538.
- [21] 于顺利, 方伟伟, 张小凤. 北京地区野生植物果实类型谱及海拔分布格局[J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2529-2533. [YU Shun-li, FANG Wei-wei, ZHANG Xiao-feng. Fruit Type Spectra and Their Altitudinal Distribution Patterns of Wild Plants in Beijing[J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(10): 2529-2533.]
- [22] 陶夏秋, 崔绍朋, 蒋志刚, 等. 新疆阿勒泰地区爬行动物区系及多样性海拔分布格局[J]. 生物多样性, 2018, 26(6): 578-589. [TAO Xia-qi, CUI Shao-peng, JIANG Zhi-gang, *et al.* Reptilian Fauna and Elevational Patterns of the Reptile Species Diversity in Altay Prefecture in Xinjiang, China[J]. Biodiversity Science, 2018, 26(6): 578-589.]
- [23] 王国宏. 地带性木本植物群落功能型的水热分布格局[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 15-23. [WANG Guo-hong. Plant Functional Types of Zonal Woody Plant Communities in Relation to Hydrothermic Factors[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(1): 15-23.]
- [24] 于顺利. 中国温带疏林的地理分布、生态地位及成因[J]. 科技导报, 2011, 29(25): 26-29. [YU Shun-li. Geographical Distribution, Ecological Position, and Formation Causes of Temperate Zone Sparse Forest in China[J]. Science & Technology Review, 2011, 29(25): 26-29.]
- [25] 于顺利, 方伟伟, 泽仁旺姆, 等. 西藏及其东南地区被子植物与其不同生活型的果实类型分析[J]. 植物研究, 2013, 33(2): 154-158. [YU Shun-li, FANG Wei-wei, ZE Renwangmu, *et al.* Fruit Types of Angiosperm and Their 4 Life Forms in Tibet and Its Southeastern Region[J]. Bulletin of Botanical Research, 2013, 33(2): 154-158.]
- [26] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 20-28. [TANG Zhi-yao, FANG Jing-yun. A Review on the Elevational Patterns of Plant Species Diversity[J]. Chinese Biodiversity, 2004, 12(1): 20-28.]
- [27] 陈学林, 田方, 戚鹏程. 白水江自然保护区植物果实类型组成及垂直分异[J]. 林业科学, 2007, 43(6): 61-66. [CHEN Xue-lin, TIAN Fang, QI Peng-cheng. Composition and Vertical Differentiation of Fruit Types in Baishuijiang National Nature Reserve in Gansu Province[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(6): 61-66.]

作者简介: 陈水飞(1989—), 男, 江西抚州人, 硕士, 主要从事生物多样性保护研究。E-mail: chenshui@163.com

(责任编辑: 王昌群)