

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.04.009

郭瑞, 翁东明, 金毅, 等. 浙江清凉峰台湾水青冈种群 2006—2011 年更新动态及其与生境的关系[J]. 广西植物, 2014, 34(4): 478—483

Guo R, Weng DM, Jin Y, et al. Topography related regeneration dynamics of *Fagus hayata* during 2006—2011 at Qingliangfeng Nature Reserve in Zhejiang Province[J]. *Guihaia*, 2014, 34(4): 478—483

浙江清凉峰台湾水青冈种群 2006—2011 年更新动态及其与生境的关系

郭 瑞¹, 翁东明¹, 金 毅², 张宏伟¹, 丁文勇², 程樟峰¹, 于明坚²

(1. 浙江清凉峰国家级自然保护区管理局, 浙江 临安 311300; 2. 浙江大学 生命科学学院 濒危动植物保护生物学教育部重点实验室, 杭州 310058)

摘 要: 台湾水青冈为我国特有的国家 II 级重点保护野生植物, 被 IUCN 定为渐危种, 其为建群种的群落更是罕见。浙江清凉峰国家级自然保护区有较大面积的台湾水青冈群落, 为了解该保护区台湾水青冈种群的更新特点及影响其生长的生境因子, 在保护区内建立了 1 hm² 台湾水青冈群落动态样地, 于 2006 年和 2011 年对胸径 ≥ 1 cm 的个体进行每木定位调查和复查。基于调查数据, 对台湾水青冈种群的结构、补员和死亡情况进行了比较分析, 并编制了台湾水青冈种群特定时间生命表, 绘制其死亡率曲线和消失率曲线, 同时利用冗余分析(RDA)法分析了影响台湾水青冈更新的主要生境因子。结果表明: (1) 5 年间样地内台湾水青冈个体从 448 株增长到 468 株, 增幅为 4.3%; (2) 水青冈种群径级多度分布呈反“J”形, 显示种群结构稳定; (3) 死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致, 分别在第 IV 龄级、第 V 龄级、IX 龄级出现 3 个峰值; (4) 4 个地形因子(海拔、凹凸度、坡度和坡向)均对台湾水青冈的生长有明显的影响。

关键词: 台湾水青冈; 清凉峰国家级自然保护区; 冗余分析; 生命表; 种群动态**中图分类号:** Q948.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)04-0478-06

Topography related regeneration dynamics of *Fagus hayata* during 2006—2011 at Qingliangfeng Nature Reserve in Zhejiang Province

GUO Rui¹, WENG Dong-Ming¹, JIN Yi², ZHANG Hong-Wei¹,
DING Wen-Yong², CHENG Zhang-Feng¹, YU Ming-Jian²(1. Administration Bureau of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, Lin'an 311300, China;
2. The Key Laboratory of Conservation Biology for Endangered Wildlife of the Ministry of Education, College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: *Fagus hayatae* is one of the second class nationally protected plants in China. It is listed by IUCN as an endangered species. Moreover, plant community dominated by *F. hayatae* is scarce. To explore the regeneration dynamics of *F. hayata* in Qingliangfeng National Nature Reserve in Zhejiang, we established 1 hm² dynamic plot in 2006, all woody plants with DBH (diameter at breast height) ≥ 1 cm in the plot were tagged, mapped, measured and identified. Based on data from censuses between 2006 and 2011, the DBH structures and rates of mortality and recruitment were analysed. We built a static life table, and compiled the mortality rate and disappearing curve of *F. hayata*. Also,

收稿日期: 2013-10-05 修回日期: 2013-11-13

基金项目: 浙江省科技厅项目(2007C22084); 国家环保部项目(浙江清凉峰国家级自然保护区示范保护区能力建设)。

作者简介: 郭瑞(1986-), 男, 陕西汉中, 硕士, 工程师, 主要从事森林保护及植物生态学研究, (E-mail) guruwos@126.com。

we analysed the environmental factors' effects on the growth rates and *DBH* structure of *F. hayata* using redundancy analysis (RDA). The results were as follows: (1) A total of 20 stems were recruited and the population size increased by 4.3% in five years; (2) The size class abundances structure represented a reverse J shape, indicating a stable population structure; (3) The mortality rate curve and disappearing curve had similar shape, both with local peaks at the 4th, 6th and 10th age classes; (4) The growth of *F. hayata* was mostly affected by convexity and slope, while less influenced by elevation and aspect.

Key words: *Fagus hayatae*; Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve; RDA; static life table; population dynamics

台湾水青冈 (*Fagus hayatae*) 属壳斗科 (Fagaceae) 水青冈属 (*Fagus*) 的落叶乔木, 为我国特有的重要用材树种和绿化树种, 因其数量稀少, 被我国列为国家 II 级重点保护野生植物 (陈子英等, 2011)。台湾水青冈主要分布于台湾岛北部山地, 甘肃、四川、湖北、陕西的大巴山脉以及浙江临安的清凉峰、永嘉四海山和庆元等地。其中在浙江清凉峰国家级自然保护区内龙塘山南坡的海拔 1 000 m 左右, 分布着典型的台湾水青冈种群, 具有较高的保护和研究价值 (张方钢, 2001)。近年来, 由于全球气候变暖, 人类干扰加剧, 加之台湾水青冈更新能力弱, 其种群的延续正面临着困境 (陈子英等, 2011)。因此, 为了更好地了解和保护台湾水青冈种群, 我们于 2006 年在浙江清凉峰国家级自然保护区建立样地, 以对台湾水青冈种群结构和分布格局, 及其所在群落的物种组成和多样性等动态进行长期监测。

国内外学者对水青冈属植物的大部分种类的区系分类、群落学特性、繁育遗传、更新特性等方面已经进行了系统研究。如通过野外试验证实, 光照是影响水青冈更新和生长的限制因素 (李腾飞等, 2008); 郭柯 (2003) 则通过实验证实, 光照和土壤养分是影响水青冈幼苗生长的重要因素; 张谧等 (2003) 的研究表明, 米心水青冈林的更新限制主要包括林冠郁闭度过高、下层拐棍竹无性繁殖力强、米心水青冈自身由于结籽少而种源不足, 以及人类活动的影响等。Caroline *et al.* (2001) 研究了低温对以水青冈为建群种的林内氮碳循环的影响; 熊莉军等 (2007) 对巴山水青冈种群多样性进行了研究; 汪正祥等 (2006) 对亮叶水青冈的群落类型及其物种组成和更新特性进行了研究。但国内对台湾水青冈群落的研究较少, 仅在台湾水青冈分布区的清凉峰和七姊妹山有所报道 (张方钢, 2001; 何俊等, 2008; 翁东明等, 2009)。他们主要是对台湾水青冈的生物学特性、群落学特征、群落结构演替等方面进行了一定的研究, 但对台湾水青冈种群动态及其更新影响

因素尚未见有报道, 这可能是植物的自然更新与环境条件、人为干扰、遗传、生理、生态学特性等密切相关, 是一个非常复杂的过程 (丁佳等, 2011)。因此, 要了解台湾水青冈和环境的关系, 应结合水青冈种群动态, 对生境因子进行综合分析研究, 为保护台湾水青冈种群的延续提供理论参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区自然概况

研究区域位于浙江省临安市西部的浙江清凉峰国家级保护区龙塘山 (118°52'~119°11' E, 30°5'~30°17' N), 龙塘山与安徽省的绩溪、歙县毗邻, 是白际山脉北段的一部分。龙塘山地处中亚热带北缘, 具有明显的亚热带中山山地季风特征。全年降水量在 1 500~1 900 mm, 并随着海拔高度的变化而变化, 在海拔 900~1 100 m 范围达最大; 同时降雨量随季节分配不均匀, 夏、秋两季雨量较大, 冬、春季节则相对较小。相对湿度在 78%~82% 之间, 夏季较冬季湿度大。温度随海拔高度和季节差异的变化较大, 高低海拔间年均温范围为 7.8~15.3 °C, 年积温为 2 200~4 800 °C (宋朝枢, 1997; 张方钢, 2001; 李明华, 2006)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 2006 年, 在龙塘山选择长势良好的较典型台湾水青冈群落, 建立 1 个 1 hm² 的森林动态样地, 位置为 118°07.270' E, 29°15.098' N, 大小为 100 m×100 m, 投影面积 10 000 m², 划分成 25 个 20 m×20 m 大小的样方, 我们标定, 测量并记录了每个样方各个顶点的地理位置和海拔等信息。然后, 我们对样地内所有胸径 (*DBH*) ≥ 1 cm 的木质非藤本植物个体均进行了物种鉴定、*DBH*、树高和坐标位置测量等、并挂牌标记。2011 年, 我们对样地进行了第一次复查, 同时对 *DBH* ≥ 1 cm 的补员个体采用相同方法进行调查。通过对样方四

角海拔数据进行统计分析,样地内小样方的地形因子分布情况见表1。

表1 浙江清凉峰台湾水青冈样地地形因子概况

Table 1 Topographic factor of sample plot in Zhejiang Qingliangfeng

项目 Item	海拔 Elevation (m)	凹凸度 Convexity (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect (°)
最小值 Min.	963.6	-14.29	34.22	151.07
最大值 Max.	1042.5	13.14	47.9	252.51
均值±标准误	1004.36±	-7.68±	43.37±	191.99±
Mean ± SE	8.8	1.40	0.89	6.14

1.2.2 台湾水青冈种群径级结构 本文依据台湾水青冈的生长特性和生活史特点,同时参考种群年龄结构研究中常用的径级替代龄级的方法,及台湾水青冈种群大小级划分方法,来划分种群年龄结构(胡进耀,2009)。我们按照以下标准将台湾水青冈划分为10个径级:Ⅰ级,1 cm ≤ DBH < 5 cm;Ⅱ级,5 cm ≤ DBH < 10 cm;Ⅲ级,10 cm ≤ DBH < 15 cm;Ⅳ级,15 cm ≤ DBH < 20 cm;Ⅴ级,20 cm ≤ DBH < 25 cm;Ⅵ级,25 cm ≤ DBH < 30 cm;Ⅶ级,30 cm ≤ DBH < 35 cm;Ⅷ级,35 cm ≤ DBH < 40 cm;Ⅸ级,40 cm ≤ DBH < 45 cm;Ⅹ级,DBH ≥ 45 cm。我们并以此对台湾水青冈的种群结构及动态进行统计分析。

1.2.3 静态生命表的编制 根据台湾水青冈种群不同径级个体数,编制其种群静态生命表。具体如下: x 为径级; a_x 为 x 径级现有存活个体数; d_x 为 x 到 $x+1$ 径级间隔期内标准化死亡数; e_x 为进入 x 径级个体的平均期望寿命; k_x 为种群消失率; L_x 为 x 到 $x+1$ 径级间隔期间还存活的个体数; l_x 为 x 径级开始时标准化存活个体数(一般转化为1000); q_x 是从 x 到 $x+1$ 径级间隔期间死亡率; T_x 为 x 径级及以上径级的个体存活总数; S_x 为存活率。以上各项中, a_x 和 d_x 为野外实际测量值,其余各项则可通过公式计算求得(李玲等,2011)。

1.2.4 相对生长率 相对生长率(Relative growth rate, RGR)采用相关计算方法进行测算。公式如下:

$$RGR = \frac{\ln DBH_2 - \ln DBH_1}{t_2 - t_1}$$

式中, DBH1、DBH2 分别为 2006 年和 2011 年两次调查各个样方内台湾水青冈胸径的总和; t_1 、 t_2 分别为 2006 年和 2011 年的调查时间。

1.2.5 数据处理 为了解环境因子对台湾水青冈种群结构及相对生长率的影响,本研究以物种数据矩

阵及环境数据矩阵为基础,采用 Canoco 4.5 软件对 25 个样方的台湾水青冈群落和环境因子数据进行冗余分析(RDA)。RDA 方法是基于统计学的角度评价一个或者一组变量与另外一组变量之间关系的一种排序方法(Ter Braak *et al.*, 2002)。本研究中 RDA 分析所需要的物种矩阵数据为每个样方内台湾水青冈的 DBH (2011 年数据) 及相对生长率(RGR); 环境因子矩阵数据为经过标准化处理的海拔、凹凸度、坡度、坡向 4 个地形参数。其余的统计分析通过 Excel 完成。

2 结果与分析

2.1 台湾水青冈种群补员个体与死亡个体分布

浙江清凉峰国家级自然保护区永久样地内的台湾水青冈种群龄级结构呈反“J”形(图1)。其个体多数分布在Ⅰ~Ⅳ龄级(87%);Ⅴ~Ⅹ阶段个体较少(2.5%)。

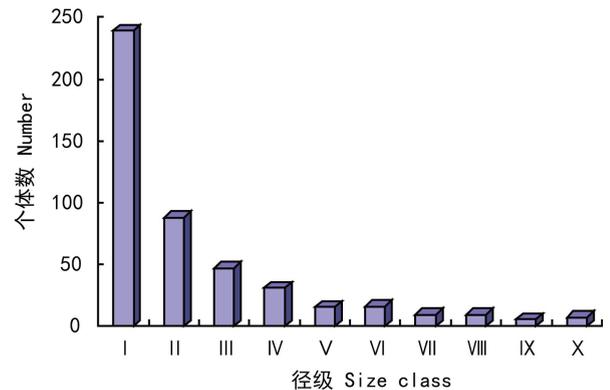


图1 台湾水青冈种群径级结构

Fig. 1 Diameter structure of *Fagus hayatae* population

2006—2011年间,台湾水青冈种群大小由448株增大到468株,增幅为4.1%,补员个体平均胸径为1.4 cm。期间死亡个体数为2株,胸径分别为2.8 cm和14.5 cm。

2.2 台湾水青冈种群静态生命表

由于台湾水青冈种群为野生分布,在生命表的编制中出现死亡率为负值的情况,对此,参照江洪(1992)在种群生命表编制过程中采用的匀滑技术,在2011年调查获得台湾水青冈种群各径级存活数(a_x)的基础上,对其进行匀滑处理后获得各径级存活数(a_x^*),在此基础上编制浙江清凉峰台湾水青冈种群的静态生命表(表2)。

静态生命表反映台湾水青冈种群生存的一般规律。从表 2 可以看出,在现有各径级的台湾水青冈群体中,存活个体数随着径级的增加而减少,种群结构较为稳定;幼龄及幼年阶段的个体数量较丰富,种

群有扩大趋势。种群平均期望寿命(e_x)和存活率(S_x)分析表明,台湾水青冈种群随着径级的增长逐渐增长,到 V 径级后达到最大值,随后随着种群径级的增长,其平均期望寿命减少。

表 2 浙江清凉峰台湾水青冈种群静态生命表

Table 2 Life table of *Fagus hayatae* population in Zhejiang Qingliangfeng

龄级 Size class	组中值 mid-value of class	a_x	a_x^*	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	k_x	S_x
I	2.5	239	239	1000	6.908	632	0.632	684	1453	1.453	1.000	0.368
II	7.5	88	88	368	5.908	171	0.465	283	769	2.090	0.625	0.535
III	12.5	47	47	197	5.283	67	0.340	164	486	2.467	0.415	0.660
IV	17.5	31	31	130	4.868	63	0.485	99	322	2.477	0.663	0.515
V	22.5	15	16	67	4.205	8	0.119	63	223	3.328	0.127	0.881
VI	27.5	16	14	59	4.078	17	0.288	51	160	2.712	0.340	0.712
VII	32.5	9	10	42	3.738	9	0.214	38	109	2.595	0.241	0.786
VIII	37.5	9	8	33	3.497	4	0.121	31	71	2.152	0.130	0.879
IX	42.5	5	7	29	3.367	4	0.138	27	40	1.379	0.148	0.862
X	≥ 45	7	6	25	3.219	83	1.000	13	13	0.52	3.219	0.631

注: a_x , 存活数; a_x^* , 匀滑后的存活数; l_x , 存活量; d_x , 死亡量; q_x , 死亡率; L_x , 区间寿命; T_x , 总寿命; e_x , 期望寿命; k_x , 消失率; S_x , 存活率。

Note: a_x , as the real survival numbers; a_x^* , as smoothed numbers alive at start of age X; l_x , proportion alive at start of age X; d_x , number of death during x to x+1; q_x , death rate during x to x+1; L_x , the sum of average life of this age; T_x , the sum of average life of all individuals; e_x , Average life expectancy; k_x , vanish rate; S_x , survival rate.

2.3 台湾水青冈种群死亡率和消失率曲线

分别以静态生命表中死亡率(q_x)、种群消失率(k_x)为纵坐标,以径级相对应的龄级为横坐标,绘制台湾水青冈种群的死亡率和消失率曲线。清凉峰台湾水青冈种群的死亡率和消失率曲线如图 2。

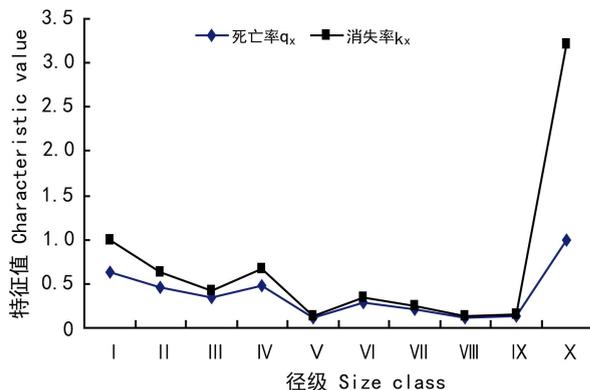


图 2 台湾水青冈种群的死亡率和消失率

Fig. 2 Mortality rate and killing power of *Fagus hayatae* population

从图 2 可以看出,台湾水青冈种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,较好的反应了种群数量随着年龄的动态变化。死亡率和消失率在前 3 龄级呈现下降的趋势,从第 III 龄级开始上升至 IV 龄级时出现第一个高峰,消失率和死亡率分别为 66.3%

和 48.5%,这可能与环境对幼苗的筛选有关;在第 V 龄级,迅速下降至 12.7% 和 11.9%。第二个高峰出现在种内与种间竞争较为激烈的第 VI 龄级,随后随着龄级的增加缓慢下降,到 IX 龄级时,台湾水青冈种群产生第三个高峰,死亡率和损失率急剧上升。

2.4 台湾水青冈种群生长率及胸径与环境因子的排序

对台湾水青冈种群生长率及胸径与 4 个环境因子的 RDA 约束排序分析结果见图 3。图 3 结果表明,在影响台湾水青冈种群生长的环境因子中,坡度的影响最大,其次是凹凸度、海拔、坡向。从排序图中可以看出,相对生长率随着海拔高度和坡度的上升而增加,但与坡向和凹凸度呈负相关。DBH 与海拔正相关,且随着坡向、凹凸度的升高而减小。以上结果表明,台湾水青冈较适宜生长在样地内海拔较高,凹凸度较小,坡度较大和坡向偏南的位置。反之,则不太适宜生长。

3 讨论

3.1 台湾水青冈种群的更新

台湾水青冈是我国特有的 II 级保护植物,同时被 IUCN 定为渐危种,因其地理分布的特殊性,它对于研究海岛和大陆的植物区系具有重要学术价值。本研究表明,浙江清凉峰自然保护区内的台湾

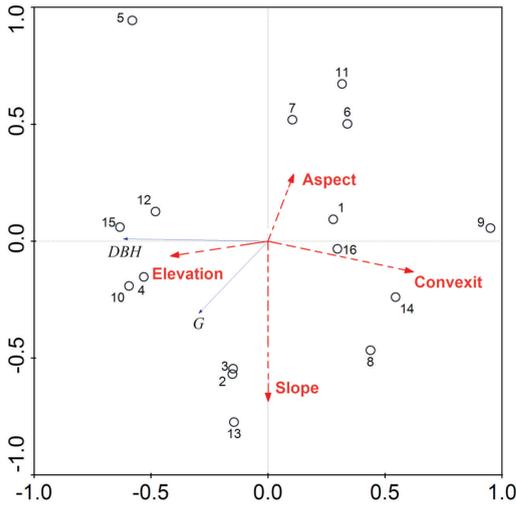


图3 相对生长率及胸径与环境因子的RDA约束排序分析的双标图。实线特征向量表示相对生长率及胸径,虚线特征向量表示环境因子。

Fig. 3 Biplots of RDA analysis between environmental factor and relative growth rate, and DBH. Relative growth rate and DBH are displayed in solid arrows, environmental factor in dashed arrows.

水青冈种群更新特点主要表现在以下方面:

从种群年龄结构来看,台湾水青冈种群的龄级结构呈反“J”形, I~III龄级的个体数量较多,占整个种群的79.9%。从台湾水青冈种群静态生命表来看,种群的期望寿命在成年时最高。这可能主要与台湾水青冈的生长规律有关。幼龄时期,台湾水青冈的生长比较缓慢,幼苗较多,竞争激烈,导致其死亡率较高,期望寿命较低。随着径级的增大,台湾水青冈在高度、冠幅等生物指标已经超过多数个体,竞争得到释放,其生长良好,期望寿命较高,这与胡进耀(2009)所研究的巴山水青冈结果相一致。另外,台湾水青冈种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,均出现3个高峰,第IV龄级到达第1个高峰的原因可能是处于此阶段的个体受到非生物环境和生物环境的较大影响,在生长过程中受到的选择压力较大,死亡率较高;第VI龄级出现第2个死亡高峰的原因可能是由于自疏过程所导致,即可能是由于密度制约等机制的影响较大,导致死亡率增高。第3个峰值均都在第X龄级阶段,这可能是与树龄老化,与土壤养分、水分等环境因子受到限制有关。

野外观察结果与静态生命表的分析结果相一致。调查发现,该种群成年个体周围具有一定数量($DBH \leq 1$ cm)的个体且生长旺盛,种群自然更新良

好、结构稳定。本区域中的台湾水青冈种群呈块状分布且密度较小,成年个体较其他树种的高度和冠幅更大,树冠下其他树种幼苗较稀疏,为台湾水青冈幼苗的更新和生长提供了空间,这与陈子英等(2011)的研究所提出的孔隙更新理论相一致,这种现象也发生在其他水青冈属植物的更新中。值得注意的是,台湾水青冈平均4~6 a结一次种子,且结实率较低,可能由于动物的取食,种子的数量较少,而且发芽率较低。但我们的研究结果显示,清凉峰样地内台湾水青冈的种群结构却处于稳定增长型,这可能与台湾水青冈的种子和幼苗能够适应在林下阴暗的条件下萌发以及正常生长有关,具体的原因还需要进一步地研究。

3.2 台湾水青冈种群更新与生境的关系

林木是否能够天然更新,取决于生活史中各个阶段的生长状况,而其生长的环境则直接决定其生长状况的优劣。冗余分析(RDA)方法,能有效的对环境因子进行统计分析,并确定能够影响其种群更新的环境因子的作用大小。RDA结果表明,海拔、凹凸度、坡向与坡度的对台湾水青冈的分布及生长均有影响。地形的影响可能是通过影响温度、湿度、土壤养分等环境因子,从而作用在台湾水青冈的更新和生长上。

本研究表明,台湾水青冈种群中的较大个体主要分布在样地内凹凸度较小、海拔较高的地方,提示台湾水青冈适宜生长光照和土壤水分充足的生境中。同时,台湾水青冈在这些地方的生长速度也较快,进一步提示了这种生境对于各年龄阶段的水青冈都是较适宜的,这与光照和土壤养分是水青冈种群生长的关键因素的研究结果相一致(郭柯,2003)。另外,值得注意的是,坡度和水青冈的生长也有一定的关系,而与大树的分布相关性很小,这提示水青冈幼龄阶段和成年阶段对生境偏好可能有所差异,也可能是由于存在密度制约等因素所导致,需要进一步研究来证实。台湾水青冈属中性树种(熊莉军等,2007),但我们的研究发现,生长在坡向偏南的台湾水青冈生长更快,说明其在能够适应较低光照水平的同时,在光照更强的阳坡生长更快,表明台湾水青冈在其适应的光照范围内对于光照的变化有较明显的反应,这一特点或许对我们制定保护台湾水青冈种群有所帮助,值得更深入的研究。

植物的更新与生长同时受到其遗传特性和环境因素的影响。本研究发现,台湾水青冈成年个体多

分布在样地内海拔较高,凹凸度较小的位置,表明台湾水青冈适宜于较低温度和土层较厚,土壤水分较充足的生境。而生长率与 4 个地形环境因子的相关性差异不大,提示台湾水青冈的生长对某一种地形因子没有特别的偏好。该结果表明在样地尺度上,对于台湾水青冈的生长来说,没有特定的限制性环境因子,进而反映了样地所在的地形环境对于台湾水青冈种群的生长是较为适宜的。另外,以往研究发现,近年来由于全球变暖趋势,台湾水青冈生长的低温湿润的气候逐渐恶化,致使其向高海拔迁移。而我们对于清凉峰 1 hm² 台湾水青冈样地 5 a 动态的分析结果表明,在样地尺度上,台湾水青冈种群结构及生长更新良好,要了解气候变化对于台湾水青冈种群的影响,需要更长时间的动态监测结果。

参考文献:

Caroline B, Nielsen PM, Steven P, *et al.* 2001. Freezing effects on carbon and nitrogen cycling in northern hardwood forest soils[J]. *Soil Sci Society Am J*, **65**:1 723—1 730

Chen ZY(陈子英), Xie CF(谢长富), Mao JJ(毛俊杰), *et al.* 2011. Taiwan beech: a relict summer-green forest(冰河子遗的夏绿林—台湾水青冈)[M]. Taipei(台北): Forestry Bureau(行政院农业委员会林务局): 1—26

De Cáceres M, Legendre P, Valencia R, *et al.* 2012. The variation of tree beta diversity across a global network of forest plots[J]. *Global Ecol & Biogeogr*, **21**:1 191—1 202

Ding J(丁佳), Wu Q(吴茜), Yan H(闫慧), *et al.* 2011. Effects of topographic variations and soil characteristics on plant functional traits in a subtropical evergreen broad-leaved forest(地形和土壤特性对亚热带常绿阔叶林内植物功能性状的影响)[J]. *Biodivers Sci(生物多样性)*, **19**(2): 158—167

Guo K(郭柯). 2003. Seedling establishment of *Fagus engleriana*, a dominant in mountain deciduous forests(山地落叶阔叶林优势树种米心水青冈幼苗的定居)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **14**(2): 161—164

He J(何俊), Wang ZX(汪正祥), Li G(雷耘), *et al.* 2008. The study on coenological characteristics of *Fagus hayatae* community in Qizimei mountain natural reserve(七姊妹山自然保护区台湾水青冈林群落学特征研究)[J]. *J Huazhong Norm Univ(华中师范大学学报)*, **42**(2): 271—277

Hu JY(胡进耀). 2009. Study on the ecological characteristics of natural and secondary forest of *Fagus pashanica* (巴山水青冈原始林及天然次生林生态学特征研究)[D]. Chengdu(成都): Sichuan Agricultural University(四川大学)

Jiang H(江洪). 1992. Population ecology of spruce(云杉种群生态学)[M]. Beijing(北京): China Forestry Press(中国林业出版社)

Li L(李玲), Zhang GF(张光富), Wang R(王锐), *et al.* 2011. Life table of natural *Ginkgo biloba* population in Tianmu Mountain Nature Reserve(天目山自然保护区银杏天然种群生命表)[J]. *Chin J Ecol(生态学杂志)*, **30**(1): 53—58

Li MH(李明华). 2006. Records of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve(清凉峰自然保护区志)[M]. Changchun(长春): Jilin People's Republishing House Press(吉林人民出版社): 1—67

Li TF(李腾飞), Li JQ(李俊清). 2008. The origination, distribution, regeneration and genetic diversity of Chinese beech(中国水青冈起源、分布、更新以及遗传多样性)[J]. *Chinese Sci Bull(中国农学通报)*, **24**(10): 185—191

Richard C, Peter A, Sarayudh B, *et al.* 2006. The Importance of Demographic Niches to Tree Diversity[J]. *Science*, **313**: 98—101

Song CZ(宋朝枢). 1997. Scientific investigation of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve(浙江清凉峰自然保护区科学考察集)[M]. Beijing(北京): China Forestry Press(中国林业出版社): 1—25, 86—115

Ter Braak CJF, Smilauer P. 2002. CANOCO reference manual and user's guide to CANOCO for Windows: Software for canonical community ordination (Version 4.5)[M]. New York: Microcomputer Power: 1—352

Wang ZX(汪正祥), Lie Y(雷耘). 2006. Community classification, species composition, and regeneration of *Fagus lucida* forests in subtropical mountains, China(亚热带山地亮叶水青冈林的群落分类及物种组成与更新)[J]. *Biodivers Sci(生物多样性)*, **14**(1): 29—40

Wong DM(翁东明), Zhang L(张磊), Chen XD(陈晓栋), *et al.* 2009. Species diversity of *Fagus hayatae* community in Qingliangfeng National Nature Reserve(清凉峰自然保护区台湾水青冈群落物种多样性研究)[J]. *J Zhejiang For Sci & Tech(浙江林业科技)*, **29**(4): 1—6

Xiong LJ(熊莉军), Guo K(郭柯), Zhao CM(赵常明), *et al.* 2007. Species diversity of *Fagus pashanica* community in Daba Mountains, Sichuan(四川大巴山巴山水青冈群落的物种多样性特征)[J]. *Biodivers Sci(生物多样性)*, **15**(4): 400—407

Zhang FG(张方钢). 2001. The community characteristics of the taiwan beech forest of Qingliangfeng Mountain in Zhejiang(浙江清凉峰台湾水青冈林群落学特征)[J]. *J Zhejiang Univ(浙江大学学报)*, **27**(4): 403—406

Zhang M(张谥), Xiong GM(熊高明), Zhao CM(赵常明), *et al.* 2003. The structures and patterns of a *Fagus engleriana*-*Cyclobalanopsis oxyodon* community in Shennongjia area, Hubei province(神农架地区米心水青冈—曼青冈群落的结构与格局研究)[J]. *Acta Phytoeco Sin(植物生态学报)*, **27**(5): 603—609