

天目山米心水青冈群落物种组成特点与萌条更新*

于 硕^{1,2} 王 嵘^{1,2} 刘 敏^{1,2} 杨淑贞³ 罗 远³ 陈小勇^{1,2,*}

(¹ 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; ² 浙江天童森林生态系统国家野外观测研究站, 上海 200062;

³ 浙江省西天目山自然保护区管理局, 浙江临安 311311)

摘 要 由于特定的温湿需求, 中国的水青冈多分布于亚热带山地, 而分布于欧洲和北美的水青冈则为温带的优势种。本文对浙江天目山自然保护区内米心水青冈群落物种组成特点和更新进行了研究。结果表明: 在 3 个 30 m × 30 m 样方中共发现 132 种高等植物, 分属于 51 科 86 属。种-面积关系符合 Arrhenius 模型, $\lg S = 0.384 \lg A + 0.6443$; log-series 模型能很好地模拟米心水青冈群落中乔木层种-多度关系 ($R^2 = 0.9596$); 乔木层优势种为壳斗科的米心水青冈、短柄枹、锥栗等; 灌木层优势种有伞形绣球、宜昌荚蒾等; 草本层优势种为箬竹、苔草等; 群落物种多样性较高, 而灌木层和草本层物种多样性与乔木层多样性呈负相关; 群落结构表明, 天目山米心水青冈群落是稳定的顶极群落, 萌条更新在米心水青冈群落中十分常见, 55% 的乔木层物种具有萌条现象, 尤其是米心水青冈, 萌条数与母株的胸径呈显著的正相关。

关键词 米心水青冈; 种-面积关系; 种-多度关系; 物种多样性; 萌条; 天目山

中图分类号 Q145 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)02-0182-06

Species composition and sprouting regeneration of *Fagus engleriana* community in Tianmushan Mountain. YU Shuo^{1,2}, WANG Rong^{1,2}, LIU Min^{1,2}, YANG Shu-zhen³, LUO Yuan³, CHEN Xiao-yong^{1,2} (¹Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China; ²Tiantong National Observation Station for Forest Ecosystem, Shanghai 200062, China; ³Zhejiang West Tianmushan National Nature Reserve Management Bureau, Lin'an 311311, Zhejiang, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(2):182-187.

Abstract: Owing to the special requirements of humidity and temperature, *Fagus engleriana* in China mainly distributes in the mountains of subtropical areas, while its congeners distributed in Europe and North America are of the dominant species in temperate zones. In this paper, the species composition and sprout regeneration of *F. engleriana* community in Tianmushan Mountain National Nature Reserve were studied. In three 30 m × 30 m sampling quadrates, 132 higher plant species were found, belonging to 51 families and 86 genera. The species (S)-area (A) relationship accorded with Arrhenius model, and the species-abundance relationship in the tree layer of the community met log-series model well ($R^2 = 0.9596$). *F. engleriana*, *Quercus serrata* var. *brevipetiolata*, and *Castanea henryi* were the dominant species in tree layer, *Hydrangea umbellata* and *Viburnum erosum* were the dominant species in shrub layer, and *Indocalamus tessellates* and *Carex tristachya* were the dominant species in herb layer. Higher species diversity was found in the community, and the diversity in shrub and herb layers was negatively correlated with that in tree layer. The *F. engleriana* community in Tianmushan Mountain was of climax community. Sprout regeneration was very common in the community, and 55% of the species in tree layer had the ability of sprouting. Especially for *F. engleriana*, its sprout number had a significant positive correlation with the DBH of mother plants.

Key words: *Fagus engleriana*; species-area relationship; species-abundance relationship; species diversity; sprout; Tianmushan Mountain.

* 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20060269018)、教育部新世纪优秀人才计划项目(NCET-05-0431)和浙江省临安市科技发展资助项目(2007-48)。

* * 通讯作者 E-mail: xychen@des.ecnu.edu.cn

收稿日期: 2008-05-29 接受日期: 2008-10-16

壳斗科的水青冈属 (*Fagus*) 植物喜凉湿性气候 (Fang *et al.* 2006) 广布于北半球温带区域。在欧洲和北美大陆,水青冈是最重要的树种之一;在日本,水青冈属植物也是阔叶落叶林的常见优势种。中国温带地区面积广泛,晚第三纪时期,水青冈广泛分布于华南至东北;第三纪末期以来,季风气候开始形成,青藏高原的抬升阻碍了暖湿气流的北移,水青冈属植物从北方地区退出(刘鸿雁 2002)。由于水青冈对温湿的特殊需求,目前中国水青冈属植物基本上分布于亚热带地区海拔 700 m 以上的山地(吴刚,1997)。尽管中国水青冈属植物的分布范围也较广(洪必恭和安树青,1993),但呈现不连续分布,多散生于落叶阔叶林或常绿落叶阔叶混交林中,仅在局部存在以水青冈为优势种的落叶阔叶林或常绿阔叶混交林,这些群落多位于中国中西部的地势第二阶梯(王献溥和李俊清,1996;喻理飞等,1998;杨礼旦等,2005;汪正祥等,2006;熊莉军等,2007)。而中国东部平原、丘陵地区超过 1000 m 的山峰不多,很少形成以水青冈属植物为优势种的群落类型,对这类群落的结构和更新的了解也少(张方钢,2001;何建源等,2003)。

天目山是重要的国家级自然保护区,物种丰富,其中不乏孑遗植物,1956 年被列入国有林场,1996 年纳入“人与生物圈”。在对天目山植被调查的基础上,发现了较大面积的米心水青冈 (*Fagus engleriana*) 为优势种的落叶阔叶林。本文对这一群落类型进行调查,拟揭示其群落组成、结构以及更新状况,并与其他水青冈群落进行比较,为水青冈的保护提供基本信息。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

天目山国家级自然保护区地处浙江省西北部临安市境内,为中亚热带向北亚热带过渡地带,地质古老。年平均气温 14.8 °C ~ 8.8 °C,雨水充沛,年雨日 159.2 ~ 183.1 d,降水量 1390 ~ 1870 mm,是浙西北的多雨中心。天目山植物区系古老、复杂、种类丰富,有大型真菌 279 种,地衣 48 种,苔藓植物 285 种,蕨类植物 171 种,种子植物 1641 种(丁炳扬和潘承文,2003)。

常绿阔叶林是天目山的地带性植被,主要分布在 700 m 以下,成小片分布;主要树种有青冈 (*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠 (*Castanopsis sclerophyl-*

la)、紫楠 (*Phoebe sheareri*)、交让木 (*Daphniphyllum macropodum*) 等。常绿、落叶阔叶混交林是天目山的主要植被类型,集中分布在低海拔的禅源寺周围和海拔 850 ~ 1100 m 的地段。植物种类丰富,群落结构复杂多样;主要树种有细叶青冈 (*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、天目木姜子 (*Litsea auriculata*)、短柄栲 (*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*)、交让木。海拔 1100 ~ 1380 m 分布着落叶阔叶林,主要树种包括小叶白辛树 (*Pterostyrax corymbosus*)、茅栗 (*Castanea seguinii*)、灯台树 (*Cornus controversa*)、天目槭 (*Acer sinopurpurascens*)、米心水青冈等。海拔 1380 m 以上,主要植被为落叶矮林(丁炳扬和潘承文,2003)。

1.2 调查方法

米心水青冈分布在西天目山海拔 1100 ~ 1400 m,多为伴生种,散生于落叶阔叶林中,但在天目山自然保护区缓冲区存在数公顷的米心水青冈为优势种的落叶阔叶林。由于位于海拔较高处,受人类活动的干扰较小。初步踏查表明,群落的最小面积约为 600 m²,在此基础上,2007 年 10 月初在 3 个典型地段设置 30 m × 30 m 样方,总面积 2700 m²,海拔 1180 ~ 1240 m,位于 30°21'22.2"N,119°25'79.0"E,3 个样方的基本情况见表 1。每个大样方再划分为 9 个 10 m × 10 m 的样方开展调查。乔木层大致可以分 2 层,乔木 1 层高度为 > 8 m,乔木 2 层高度为 4 ~ 8 m;对乔木层中胸径 > 2.5 cm 的个体进行每木调查,测量胸围、树高等,并定位。灌木层记录树木名称及株数,草本层记录植物名称,并对乔木层、灌木层和草本层进行盖度估测。在每个 10 m × 10 m 样方中,相同方位的角内设置 1 个 1 m × 1 m 小样方,调查草本层种类和植物,用于计算重要值、物种多样性参数。

为了解米心水青冈群落物种数 (*S*) 和面积 (*A*) 之间的相关关系,采用巢式样方法进行调查,样方面积分别为 0.1 m × 0.1 m、1 m × 1 m、2 m × 2 m、10 m × 10 m、20 m × 20 m 和 30 m × 30 m,分别记录其中存在的种类。

为分析群落结构更新和稳定性,对群落中乔木层树种按 V 级立木级划分,具体标准如下: I 级幼苗,高度在 33 cm 以下; II 级幼树,高度在 33 cm 以上,胸径不足 2.5 cm; III 级小树,胸径 2.5 ~ 7.5 cm; IV 级中树,胸径 7.5 ~ 22.5 cm; V 级大树,胸径在 22.5 cm 以上。

表1 天目山自然保护区米心水青冈样地的基本性质
Tab.1 Basic characteristics of three *F. engleriana* plots in Tianmushan National Nature Reserve

样方	海拔 (m)	坡向	坡度 (°)	岩石露头率 (%)	土层厚度 (cm)	盖度 (%)
样方1	1180	东偏南 18°	27.5	20	30~50	85
样方2	1230	东偏南 30°	22.5	5	50	90
样方3	1210	东偏南 9°	16	2	80	95

1.3 数据处理

(1)种-面积关系。常用的种-面积关系有 Arrhenius(1921)的种-面积指数关系($S = CA^z$)和 Gleason(1922)的种-面积半对数关系($S = a + b \log A$),其中 S 为物种数 A 为面积。本研究也采用这2种模型对获得的数据进行拟合,并进行显著性检验。

(2)种-多度关系。常见的种-多度关系式样有对数-级数(log-series)分布、对数-正态(log-normal)分布以及 MarArthur 的截棍(broken-stick)模型(Hubbell 2001)。采用 MATLAB 进行编程对获得的数据进行模拟。

(3)重要值(important value, IV)。分别计算乔木层、灌木层和草本层各物种的重要值,公式为:

乔木层 $IV = (\text{相对多度} + \text{相对优势度} + \text{相对频度}) \times 100/3$

灌木层、草本层 $IV = (\text{相对多度} + \text{相对频度}) \times 100/2$

(4)多样性指数。采用如下参数衡量群落内物种多样性:物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数($H' = -\sum P_i \ln P_i$)、Simpson 指数($D = 1 / \sum P_i^2$)、Pielou 指数($E = H' / \ln S$),其中 $P_i = n_i / N$, n_i 为第 i 个物种的重要值, N 为群落中所有物种的总重要值(张金屯, 2004)。

2 结果与分析

2.1 米心水青冈群落的种-面积关系

根据巢式样方法获得数据,进行种-面积关系拟合,表明物种数与面积分别采用 Arrhenius 模型和 Gleason 模型模拟均达到极显著程度,表明2种模型都可以用来说明米心水青冈群落中的种-面积关系,但 Arrhenius 模型拟合($R^2 = 0.8500$)的精度远高于 Gleason 模型($R^2 = 0.6294$)。Arrhenius 模型拟合的关系中 z 值为 0.384,高于一般的 0.25,根据该关系预测的每平方米物种数为 4.4。

由于3个样方处于同一米心水青冈群落内,相距不远,为提高拟合精度,将3个样方合并分析种-多度关系(图2)。该曲线符合 log-series 分布($R^2 = 0.9596$, α 为 17.35)。多度最高的为山鸡椒,其次为米心水青冈,另外有近 20 个物种仅出现 1 次。

2.2 米心水青冈群落植物种类组成

在调查的 2700 m² 的样地中,共发现 132 种高等植物,分属于 51 科 86 属。其中蕨类植物 4 科 6 属 6 种,种子植物 47 科 80 属 126 种(表2)。种数较多的科有蔷薇科(Rosaceae, 6 属 12 种)、忍冬科(Caprifoliaceae 4 属 10 种)、樟科(Lauraceae 4 属 8 种)和壳斗科(Fagaceae 4 属 5 种)。灌木层物种数最丰富(81 种),高于乔木层(60 种,胸径 > 2.5 cm)和草本层(65 种)。在乔木层,除大柄冬青(*Ilex macropoda*)、交让木为常绿树种外,其他均为落叶树种,灌木层植物也多为落叶灌木。

乔木层主要种类为壳斗科的米心水青冈、短柄栲、锥栗,樟科的山鸡椒、红脉钓樟等。灌木层优势种有米心水青冈(萌枝)、伞形绣球、宜昌荚蒾、雷公鹅耳枥、野鸦椿、小叶石楠、野桐。草本层优势种为

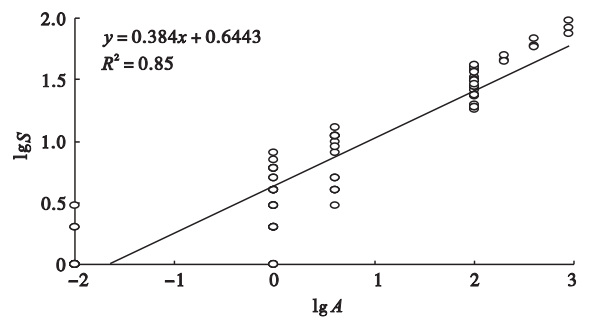


图1 天目山米心水青冈群落种(S)-面积(A)关系
Fig.1 Relationship between species (S) and area (A) in the *F. engleriana* community

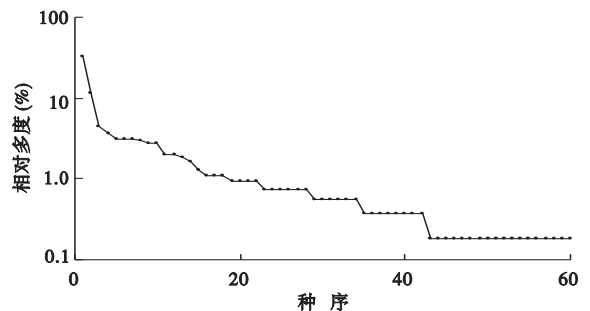


图2 天目山米心水青冈群落种-多度关系
Fig.2 Abundance-diversity curve in the *F. engleriana* community

箬竹、苔草、荇草、金星蕨,其中箬竹优势更为明显,覆盖率高,生长旺盛。虽然这些物种在3个样方中都有分布,但由于各样方的自然条件及其各物种的生活型不同,分布均匀度是不同的。

2.3 米心水青冈群落物种多样性

群落中物种丰富度为132种,其中样方1中最高,样方2中最低。乔木层 Simpson 指数平均为 0.904 ± 0.028 ,其大小与样方间物种丰富度的次序一致(表3)。灌木层、草本层物种多样性在样方间的大小次序正好与乔木层相反,说明灌木层和草本层植物物种多样性受乔木层物种多样性的影响很大。Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数基本上有类似规律(表3)。

2.4 米心水青冈群落主要树种的结构特征与萌条更新

乔木层主要种类的有效更新和稳定性影响着群落的性质和稳定性,对乔木层主要种类根据径级和

高度进行分级(图3)。总体来看,该群落类型属于相对稳定的群落类型,米心水青冈尽管实生幼体较少,但无性繁殖形成的萌条多,维持着在群落中的优势地位。而短柄枹以胸径大的老龄个体为主,预期将逐渐退出该群落(图3)。山鸡椒数量多,大多为胸径5~8 cm的个体,反映了这些个体具有较近的年龄,很可能是10余年前大树倒下时形成的林窗为这一阳性树种提供了进入机会;然而幼苗、幼树少,随着时间延伸,也将逐渐退出该群落。

萌条在米心水青冈群落更新和维持中起着重要作用,乔木层33个(55%)物种具有萌条更新现象,其中以米心水青冈最为明显。每丛米心水青冈胸径>2.5 cm 茎干平均 3.24 ± 0.34 个,最多的达15株。米心水青冈的萌条数与母株的胸径成正比,母株胸径越大,萌条数越多。大柄冬青、灰白蜡瓣花的萌条能力也较强,考虑萌条时,它们的重要值也有所增加,但总体来看,不如米心水青冈的发达(表2)。

表2 米心水青冈样方中主要物种的重要值

Tab.2 Importance values of main species in the *F. engleriana* plots

群落层次	物种	样方1		样方2		样方3	
		N	S	N	S	N	S
乔木层	米心水青冈(<i>Fagus engleriana</i>)	21.67	26.40	20.41	24.39	20.81	27.43
	山鸡椒(<i>Litsea cubeba</i>)	1.061	0.779	25.27	19.14	16.47	12.18
	大柄冬青(<i>Ilex macropoda</i>)	2.483	2.526	7.462	9.075	3.126	2.752
	青钱柳(<i>Cyclocarya paliurus</i>)	3.845	3.521	1.124	1.160	6.141	5.726
	小叶白辛树(<i>Pterostgrax</i>)	3.123	2.788	4.360	4.264	7.616	7.078
	灰白蜡瓣花(<i>Corylopsis glandulifera</i>)	4.017	4.796	3.991	4.582	3.147	3.910
	短柄枹(<i>Quercus serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i>)	1.956	1.674	3.981	4.178	8.873	8.500
	锥栗(<i>Castanea henryi</i>)	5.610	4.853	3.920	3.732	3.603	3.775
	红脉钓樟(<i>Lindera rubronervia</i>)	5.719	9.301	1.769	2.148	2.590	2.634
	灌木层	米心水青冈	-	23.83	-	20.56	-
伞形绣球(<i>Hydrangea umbellata</i>)		12.86	9.115	7.713	6.105	14.52	9.364
宜昌荚蒾(<i>Viburnum erosum</i>)		11.75	8.594	7.929	6.105	12.39	8.841
雷公鹅耳枥(<i>Carpinus viminea</i>)		9.466	6.351	2.682	2.200	0.664	0.547
野鸦椿(<i>Euscaphis japonica</i>)		1.475	1.186	4.532	3.734	6.549	4.850
小叶石楠(<i>Photinia parvifolia</i>)		6.951	4.716	14.71	7.027	6.122	4.589
草本层	箬竹(<i>Indocalamus tessellates</i>)	53.068		51.38		49.10	
	苔草(<i>Carex tristachya</i>)	15.568		11.51		9.464	
	荇草(<i>Arthraxon hispidus</i>)	-		6.471		9.109	

主要物种指各层次中3个样方重要值之和>10的种类,N:不包括萌条,S:包括萌条。

表3 米心水青冈群落乔木、灌木和草本层物种多样性

Tab.3 Species diversity of tree, shrub and herb layers of *F. engleriana* plots

样地	乔木层				灌木层				草本层			
	S	H'	D	E	S	H'	D	E	S	H'	D	E
样方1	49	0.932	3.353	0.857	41	0.912	3.065	0.815	35	0.930	3.024	0.898
样方2	31	0.876	2.651	0.772	47	0.932	3.289	0.845	47	0.949	3.247	0.913
样方3	31	0.904	2.811	0.818	42	0.925	3.171	0.828	46	0.938	3.099	0.894
平均	37	0.904	2.938	0.816	43	0.923	3.175	0.829	43	0.939	3.123	0.901

S:物种丰富度;H':Simpson 指数;D:Shannon-Wiener 指数;E:Pielou 指数。

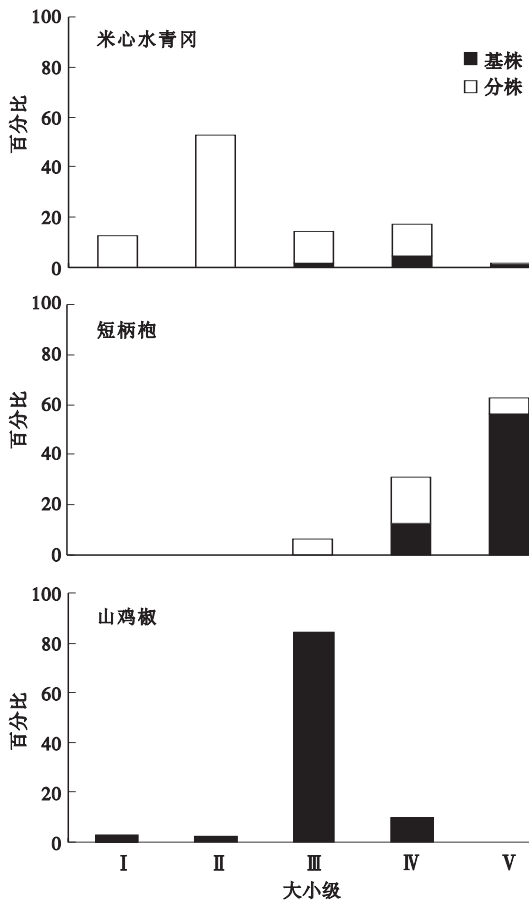


图3 天目山米心水青冈群落中3个乔木优势种的大小级结构

Fig. 3 Size classes of 3 dominant species in tree layer of the *Fagus engleriana* community

3 讨论

天目山植物种类丰富,米心水青冈群落中种-面积呈现显著的指数关系,物种多样性高,乔木层物种的种-多度关系符合 log-series 分布。2700 m² 样地中存在分属于 51 个科 86 个属的 132 种高等植物。米心水青冈群落中较高的植物多样性与其所处的环境和干扰有关。群落结构表明,天目山米心水青冈群落是一种稳定的群落类型,萌条在米心水青冈群落更新中起着重要作用,乔木层中 55% 的物种存在萌条现象,水青冈以萌条更新为主,而其他主要优势种(如山鸡椒)则以种子更新为主。

米心水青冈群落种-面积的幂指数关系中 z 值达到 0.384,大量的研究表明植物和动物群落中种-面积关系中的 z 值一般为 0.25 (Pimm & Askins, 1995; Crawley & Harral, 2001),表明在天目山米心水青冈群落中,随着面积的增加,物种数的增加速率高于一般情形。植物种-面积关系中的 z 与取样尺度

有关, Crawley 和 Harral (2001) 发现中等尺度上 (1000 m² ~ 10 km²) 的 z 值最大, 达 0.4 ~ 0.5, 而在小尺度和更大尺度上 z 值都较低, 为 0.1 ~ 0.2。本文中最大样方面积为 900 m², 小于他们所指的中等尺度, 因此, 本文中较大的 z 值并非由于跨尺度的缘故, 而是由群落性质以及所处生境特点影响的。

天目山米心水青冈群落物种多样性高于其他地点的米心水青冈林, 在湖北宜昌大老岭, 半径为 10 m 的样圆 (314 m²) 中仅包含 9 ~ 26 个物种 (李矿明等, 2000); 本文 2700 m² 样方中乔木层发现 63 种植物, 甚至高于神农架地区 9600 m² 中的 46 种 (张谧等, 2003)。武夷山亮叶水青冈群落中 400 m² 有 42 种高等植物, 其中乔木 18 种 (何建源等, 2003); 贵州、湖南亮叶水青冈林含 36 ~ 57 种植物 (汪正祥等, 2006)。总种数低于四川大巴山巴山水青冈群落 (217 种), 可能是熊莉军等 (2007) 选取的样方较多之故。天目山米心水青冈群落丰富的物种多样性主要是由于所处地形复杂, 形成了多样的微生境, 因而维持了较高的物种多样性。另一方面, 在本文研究的样地中, 存在一些年龄约 10 余年的更新林窗, 因而一些阳性植物也包含在群落中, 如在 2 和 3 这两个样方中存在数量较多的胸径为 5 ~ 8 cm 的山鸡椒。样方 1 中物种数最多, 则是由于该样方岩石露头率明显高于样方 2 和 3, 林冠层盖度较小, 持续存在着异质生境。对欧洲水青冈林的大量研究表明, 群落内植物物种多样性与盖度呈反比 (Estevan *et al.*, 2007)。

与欧洲的水青冈群落相比 (Estevan *et al.*, 2007; von Oheimb *et al.*, 2007), 中国水青冈群落中物种多样性普遍较高, 这与我国水青冈群落的分布特点有关。水青冈喜凉湿性气候, 欧洲的水青冈分布于温带地区, 物种组成较单一, 群落结构较简单。而在中国, 大陆性气候影响明显, 温带地区不适宜水青冈生长, 水青冈分布于亚热带中山地带。已有研究表明, 水青冈群落中物种多样性随低温相关干扰 (如冰冻、雪压) 的减轻而增加 (Cao & Peters, 1997), 这解释了中国水青冈群落中较高的植物多样性。

萌条是植物常见的一种更新方式 (Bellingham & Sparrow, 2000; Bond & Midgley, 2001; Vesik & Westoby, 2004; Randall *et al.*, 2005)。许多壳斗科植物具有萌条更新的能力 (Ohkubo *et al.*, 1996; 张欣等, 2007), 米心水青冈也是如此 (江明喜等, 1995; 贺金生等, 1998, 1999), 它是具多干的乔木, 包括种

子繁殖和萌条 2 种更新方式,其中萌条是米心水青冈的主要更新方式。米心水青冈新出土的幼苗不耐郁闭生境,更新幼苗阶段需要较好的光照条件,且肥沃土壤可能也无助于改善郁闭林冠下幼苗的定居(郭柯 2003),而生境中竹子密度往往较大(Cao & Peters, 1998)。天目山水青冈林乔木层 55% 的植物具有萌条能力,表明萌条更新在群落更新和维持中起着重要作用。对浙江东部天童常绿阔叶林的研究表明,萌条更新在次生群落演替中起着重要作用,由于优势植物存在萌条现象,受到破坏后的次生演替过程中,萌条更新改变了演替格局、加快了演替进程(Wang *et al.* 2007)。

在中国东部由于温湿条件限制和人类活动影响,保存较好的水青冈为优势种的群落不多。天目山米心水青冈群落具有较高的物种多样性,群落结构相对完整,属于稳定的顶级群落,该米心水青冈群落具有较高的保护价值,该处大面积米心水青冈群落与天目山国家级自然保护区核心区相距不远,因此,建议在适当时期进行调整,将该群落类型纳入到核心区范围之内。

致谢 野外工作得到石苗苗、徐娜娜、周学锋、赵睿、赵明水、刘亮和林建余等的协助,高邦权提供了部分拟合结果,特此致谢。

参考文献

丁炳扬,潘承文. 2003. 天目山植物学实习手册. 杭州:浙江大学出版社.

何建源,刘初钿,李振基,等. 2003. 武夷山亮叶水青冈林物种多样性研究. 武夷科学, **19**(1):149-153.

洪必恭,安树青. 1993. 中国水青冈属植物地理分布初探. 植物学报, **35**(3):229-233.

贺金生,陈伟烈,刘峰. 1998. 神农架地区米心水青冈萌枝过程的研究. 植物生态学报, **22**(5):385-391.

贺金生,刘峰,陈伟烈,等. 1999. 神农架地区米心水青冈林和锐齿槲栎林群落干扰历史及更新策略. 植物学报, **41**(8):887-892.

郭柯. 2003. 山地落叶阔叶林优势树种米心水青冈幼苗的定居. 应用生态学报, **12**(2):161-164.

江明喜,金义兴,张全发. 1995. 太阳坪米心水青冈林林窗更新动力学的初步研究. 武汉植物学研究, **13**(3):225-230.

李矿明,汤晓珍,包焱. 2000. 大老岭米心水青冈群落物种多样性研究. 中南林业调查规划, **19**(3):36-39.

刘鸿雁. 2002. 第四纪生态学与全球变化. 北京:科学出版社.

汪正祥,雷耘, Fujiwara K, 等. 2006. 亚热带山地亮叶水青冈林的群落分类及物种组成与更新. 生物多样性, **14**(1):29-40.

王献溥,李俊清. 1996. 广西水青冈的分类研究. 植物研究, **16**(4):369-404.

吴刚. 1997. 中国水青冈分布、生长和更新特点. 生态学杂志, **16**(4):47-51.

熊莉军,郭柯,赵常明,等. 2007. 四川大巴山巴山水青冈群落的物种多样性特征. 生物多样性, **15**(4):400-

407.

杨礼旦,王安文,李朝志. 2005. 水青冈群落物种多样性及乔木种群分布格局. 南京林业大学学报(自然科学版), **29**(3):107-110.

喻理飞,朱守谦,魏鲁明. 1998. 贵州喀斯特台原亮叶水青冈林种-多度结构研究. 山地农业生物学报, **1**(1):9-15.

张方钢. 2001. 浙江清凉峰台湾水青冈林的群落学特征. 浙江大学学报(农业与生命科学版), **27**(4):403-406.

张金屯. 2004. 数量生态学. 北京:科学出版社.

张谥,熊高明,赵常明,等. 2003. 神农架地区米心水青冈-曼青冈群落的结构与格局研究. 植物生态学报, **27**(5):603-609.

张欣,徐高福,沈栋伟,等. 2007. 千岛湖岛屿苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)种群的维持和天然更新. 生态学报, **27**(2):424-431.

Arrhenius O. 1921. Species and area. *Journal of Ecology*, **9**:95-99.

Bellingham PJ, Sparrow AD. 2000. Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. *Oikos*, **89**:409-416.

Bond WJ, Midgley JJ. 2001. Ecology of sprouting in woody plants: The persistence niche. *Trends in Ecology & Evolution*, **16**:45-51.

Cao KF, Peters R. 1998. Structure and stem growth of multi-stemmed trees of *Fagus engleriana* in China. *Plant Ecology*, **139**:211-220.

Cao KF, Peters R. 1997. Species diversity of Chinese beech forests in relation to warmth and climatic disturbances. *Ecological Research*, **12**:175-189.

Crawley MJ, Hurrall JE. 2001. Scale dependence in plant biodiversity. *Science*, **291**:864-868.

Estevan H, Lloret F, Vayreda J, *et al.* 2007. Determinants of woody species richness in Scot pine and beech forests: Climate, forest patch size and forest structure. *Acta Oecologica*, **31**:325-331.

Fang JY, Lechowicz MJ. 2006. Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *Journal of Biogeography*, **33**:1804-1819.

Gleason HA. 1922. On the relation between species and area. *Ecology*, **3**:158-162.

Hubbell SP. 2001. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton: Princeton University Press.

Ohkubo T, Tanimoto T, Peters R. 1996. Response of Japanese beech (*Fagus japonica* Maxim.) sprouts to canopy gaps. *Vegetatio*, **124**:1-8.

Pimm SL, Askins RA. 1995. Forest losses predict bird extinctions in eastern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **92**:9343-9347.

Randall CK, Duryea ML, Vince SW, *et al.* 2005. Factors influencing stump sprouting by pondcypress (*Taxodium distichum* var. *nutans* (Ait.) Sweet). *New Forests*, **29**:245-260.

Vesk PA, Westoby M. 2004. Sprouting ability across diverse disturbances and vegetation types worldwide. *Journal of Ecology*, **92**:310-320.

von Oheimb G, Friedel A, Bertsch A, *et al.* 2007. The effects of windthrow on plant species richness in a Central European beech forest. *Plant Ecology*, **191**:47-65.

Wang XH, Kent M, Fang XF. 2007. Evergreen broad-leaved forest in eastern China: Its ecology and conservation and the importance of resprouting in forest restoration. *Forest Ecology and Management*, **245**:76-87.

作者简介 于 硕,女,1985年生,硕士研究生。主要从事种群生物学研究。E-mail: yushuo2005@163.com
责任编辑 魏中青

