

•研究报告•

# 古田山常绿阔叶林萌生特征及其与群落物种多样性的关系

叶 铎<sup>1</sup> 董瑞瑞<sup>1</sup> 米湘成<sup>2</sup> 芦 伟<sup>1</sup> 郑振杰<sup>1</sup>  
于明坚<sup>3</sup> 倪 健<sup>1</sup> 陈建华<sup>1\*</sup>

1 (浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江金华 321004)

2 (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

3 (浙江大学生命科学学院, 杭州 310058)

**摘要:** 萌生更新是森林木本植物重要的生活史策略, 能够促使萌生树种长时间占据原有空间, 对物种共存、群落构建与生态系统稳定性有重要的潜在影响; 同时, 萌生更新的植株具有较强的资源获取与竞争能力。但萌生更新对群落物种共存的作用还远未被理解。本文基于古田山5 ha亚热带常绿阔叶林监测样地的调查数据, 研究了萌生更新对群落物种多样性的影响及作用机制。结果表明: (1)古田山常绿阔叶林中萌生树种的丰富度比例较高(63.95%), 已发生萌生的物种多度比例较高(38.53%), 潜在萌生多度比例更高(59.51%); (2)萌生现象在各分类群普遍发生, 壳斗科、杜鹃花科、金缕梅科、山茶科等类群的萌生能力较强; (3)萌生物种丰富度比例与群落物种多样性的关系不显著, 萌生物种多度比例与群落物种多样性呈负相关关系。由此推测, 作为古田山亚热带常绿阔叶林中一种占优势的更新方式, 萌生更新在保证萌生树种持续存活从而增加群落物种多样性的同时, 在一定阶段又能抑制群落物种多样性的发展, 对群落物种共存、生物多样性维持起到了较重要的调节作用。

**关键词:** 萌生; 物种组成; 生物多样性; 常绿阔叶林; 驻留生态位

## Characteristics and effects of sprouting on species diversity in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Gutianshan, East China

Duo Ye<sup>1</sup>, Ruirui Dong<sup>1</sup>, Xiangcheng Mi<sup>2</sup>, Wei Lu<sup>1</sup>, Zhenjie Zheng<sup>1</sup>, Mingjian Yu<sup>3</sup>, Jian Ni<sup>1</sup>, Jianhua Chen<sup>1\*</sup>

1 College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

3 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058

**Abstract:** Sprouting, a life history strategy found in woody plant communities, enables woody plants to persist *in situ* through disturbance events. The ‘persistence niche’ of sprouting has important influences on species coexistence, community assembly, and ecosystem stability. However, the mechanism of the ‘persistence niche’ in maintaining species diversity is not well understood. Based on data collected in a 5 ha plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in the Gutianshan National Natural Reserve of Zhejiang Province, China, we analyzed the characteristics of sprouting and their relationships with species diversity. Our results revealed that the sprouting species had a great proportion of 63.95% in richness and a high proportion of 38.53% in abundance, especially a higher abundance proportion of 59.51% of potential sprouting at the community level. Sprouting occurred in most taxa, and there was high ability of sprouting in Fagaceae, Ericaceae, Hamamelidaceae, and Theaceae. There were significant negative correlations between abundance proportion of sprouting species and the biodiversity index of the community, despite no relationships between richness proportion of sprouting species and biodiversity index. Therefore, the sprouters could retain their position in forests and reduce biodiversity of the forest community. This trade-off of sprouting may result in the maintenance of community stability.

**Key words:** sprouting; species composition; biodiversity; evergreen broad-leaved forest; persistence niche

收稿日期: 2016-10-12; 接受日期: 2017-03-30

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY17C030001)、国家自然科学基金(41471049)和浙江师范大学博士科研启动项目(ZC304015065)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: sky78@zjnu.cn

萌生(sprouting)与实生(seedling)是森林群落更新中两种截然不同的生活史策略(Bellingham & Sparrow, 2000; 闫恩荣等, 2005; 朱万泽等, 2007)。实生更新依靠种子进行有性繁殖, 而萌生更新主要依靠干基萌生(stem base sprouting)、根出条(root sprouting)等方式进行营养生长, 形成多茎干的丛生植株(Johnston & Lacey, 1983; Del Tredici, 2001; 闫恩荣等, 2005)。然而, 以往的森林群落研究中多把萌生茎干作为实生更新看待, 忽略了萌生更新与实生更新的差别。

萌生更新是森林树种保持物种延续所采取的重要生活史对策, 对物种共存、群落构建与生态系统稳定性有重要的潜在影响(Johnston & Lacey, 1983; 陈沐等, 2007; Clarke et al, 2013)。尤其在受到干扰后, 实生更新将面临种子传播和萌发、幼苗生长与定居过程中的各种风险, 而萌生更新的树种却可以通过产生萌生茎干, 并借助其原有根系迅速补充干扰造成的地上生物量损失, 在原位快速更新, 占据原有空间, 保持物种的持久性, 这被称为“驻留生态位”(Bond & Midgley, 2001)。即使在没有干扰的情况下, 萌生更新也会通过新萌生的茎干增加碳积累以及扩大有性繁殖输出, 最终增加树木的适合度(Chamberlin & Aarsen, 1996; Fujiki & Kikuzawa, 2006)。这些过程对保证种群及群落的持续与稳定有着十分重要的意义(Wang et al, 2007; Caplat & Anand, 2009)。

萌生更新常常被认为是植物应对干扰与环境胁迫从而快速恢复自身与群落生物多样性所采取的策略。对森林树木的砍伐会造成大量树种的萌生更新(何永涛等, 2000; 王希华等, 2004; 孟令彬等, 2006)。随着洪水干扰程度加剧, 青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)种群逐渐形成以萌生为主的更新策略(陈小勇和宋永昌, 1997)。在遭受火灾干扰后, 大多数植物会产生大量的萌生个体, 以萌生更新方式进行群落的演替(Lloret & Vilà, 1997; Cirne & Scarano, 2001; 林露湘等, 2002; Lawes & Clarke, 2011), 促进群落生物多样性的恢复。在海拔较高且水热受限、海拔较低且雨水冲刷较强、坡度较陡、土层较薄等生存条件相对恶劣的情况下, 萌生容易发生且树种的萌生能力较强, 有利于维持种群与群落的稳定(Ye et al, 2014; 刘海波等, 2014)。然而, 萌生更新使树种快速恢复其母树原有的生态位, 导致群落保留

了较多的原有物种, 从而使群落外其他物种难以有侵入并定居的机会, 在一定程度上降低了物种周转率和群落内的物种多样性(Clarke et al, 2013)。尽管萌生更新在维持森林群落生物多样性中的生态学意义得到普遍认可, 但对于萌生更新与森林群落生物多样性之间的关系一直缺乏实验证据。

集中分布于中国的亚热带常绿阔叶林是世界上主要的植被类型之一。但由于自然资源开发利用历史悠久、人口众多、近期经济发展迅速等原因, 人类干扰对天然常绿阔叶林植被的影响巨大, 原生常绿阔叶林几乎已丧失殆尽(宋永昌等, 2013)。树种的萌生更新对受干扰后的次生森林恢复与重建具有十分重要的作用。那么, 常绿阔叶林萌生更新的主要特征是什么? 萌生更新对群落生物多样性的作用如何? 我们根据前期的研究, 假设萌生树种凭借原有根系, 其萌生生长迅速并产生竞争优势, 可能会导致群落多样性的降低。本文基于古田山亚热带常绿阔叶林5 ha样地的调查数据, 初步分析了该森林群落萌生更新的基本特征及其与群落物种多样性的关系, 探讨了萌生树种在森林中的位置与作用, 以期受干扰后的亚热带次生常绿阔叶林的恢复与重建提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

古田山国家级自然保护区(29°10'19"–29°17'41" N, 118°03'50"–118°11'12" E)位于浙江省开化县, 总面积8,107 ha。该地属亚热带季风气候区, 年平均温度15.3℃, 7月平均温27.6℃, 1月平均温4.1℃, 年平均降水量1,963.7 mm, 相对湿度92.4%。土壤类型主要为红壤、黄红壤、红黄壤与部分沼泽土。保护区内的主要植被类型有常绿阔叶林(海拔350–800 m)、针阔叶混交林(海拔800–1,100 m)和针叶林(海拔1,100 m以上)等, 保存有发育典型的中亚热带常绿阔叶林生态系统, 植物种类丰富(于明坚等, 2001)。

### 1.2 样地设置与调查

选择保存相对完好的常绿阔叶林, 建立5 ha固定监测样地。样地中心位置29°15'05" N, 118°07'16" E, 南北宽200 m, 东西长250 m。该样地建成于2002年, 每隔5年进行一次复查。按CTFS (Center for Tropical Forest Science)的样地调查标准(Condit, 1995), 对样地内胸径(DBH) ≥ 1 cm的所有木本植物进行挂牌标

定与调查, 调查内容包括物种名称、胸径、坐标等永久监测指标。样地优势种明显, 乔木层优势种主要有甜槠(*Castanopsis eyrei*)、木荷(*Schima superba*)、马尾松(*Pinus massoniana*)和虎皮楠(*Daphniphyllum oldhamii*)等, 灌木层为毛花连蕊茶(*Camellia fraterna*)、柳叶蜡梅(*Chimonanthus salicifolius*)和马银花(*Rhododendron ovatum*)等(汪殷华等, 2011)。本次研究采用2007年的调查数据, 并选取其中的200 m × 240 m区域(将其划分为120个20 m × 20 m的小样方)来研究群落的萌生特征。

1.3 萌生更新的确定与调查

本研究以多茎干(multi-stemmed)的萌生现象来代表萌生更新, 即新的茎干从主茎基部萌生出来, 形成一丛多茎干的萌生植株(Del Tredici, 2001)。在样地调查时, 记录萌生树种的种类、主茎胸径、萌生茎干的数量与胸径等。

1.4 数据分析

物种的萌生能力与群落的萌生能力计算均以20 m × 20 m的小样方为取样单元。选择物种的萌生能力代表群落内该物种发生萌生的强度: 物种萌生能力 = (该物种的萌生个体数/该物种总个体数) × 100%; 采用群落萌生物种丰富度比例与萌生物种多度比例来代表群落的萌生能力: 群落萌生物种丰

富度比例 = 萌生物种丰富度/群落总物种丰富度, 即群落内已发生萌生的种类强度; 群落萌生物种多度比例 = 萌生物种多度/群落物种多度, 即群落内已发生萌生现象的树种个体数量强度。

所有统计分析与作图均在R 3.1.2 (R Development Core Team, 2014)中进行, 多样性指数使用vegan软件包(Oksanen et al, 2014)计算。采用线性回归模型(linear model)的二项式回归检验群落萌生能力与群落多样性各指数之间的关系, 并添加一个二次项以提高回归的预测精度。

2 结果

2.1 样地内萌生物种的基本特征

本次调查共发现147个物种, 隶属46科100属。样地物种总个体数为23,450株。其中, 具有萌生现象的物种94种, 隶属33科60属, 科属种数量分别占样地植物的71.74%、64.00%与63.95%。发生萌生的个体总数为9,036株, 占样地总个体数的38.53%。属于萌生物种但暂未发生萌生现象(潜在萌生)的个体总数为13,955株, 占样地总个体数的59.51%。样地内不具有萌生现象的物种有53种, 占样地物种数的36.05%, 共459株, 隶属32科49属。

比较样地内个体数量最高的前20个物种发现(表1),

表1 古田山5 ha样地中20个常见物种的萌生特征  
Table 1 Sprouting characteristics of 20 common species in the 5 ha Gutianshan plot

物种 Species	科名 Family	个体数 Individuals	萌生个体数 Individuals of sprouting	萌生能力 Ability of sprouting	生活型 Life form
柳叶蜡梅 <i>Chimonanthus salicifolius</i>	蜡梅科 Calycanthaceae	3,233	2,339	0.64 ± 0.24	灌木 Shrub
毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	山茶科 Theaceae	2,573	723	0.25 ± 0.20	灌木 Shrub
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	杜鹃花科 Ericaceae	1,423	562	0.29 ± 0.24	灌木 Shrub
格药柃 <i>Eurya muricata</i>	山茶科 Theaceae	1,172	231	0.13 ± 0.17	灌木 Shrub
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	壳斗科 Fagaceae	1,003	426	0.31 ± 0.29	乔木 Tree
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	壳斗科 Fagaceae	845	542	0.48 ± 0.38	乔木 Tree
檫木 <i>Loropetalum chinense</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	845	215	0.21 ± 0.24	灌木 Shrub
鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	杜鹃花科 Ericaceae	839	385	0.30 ± 0.29	灌木 Shrub
栲树 <i>Castanopsis fargesii</i>	壳斗科 Fagaceae	838	329	0.30 ± 0.31	乔木 Tree
矩叶鼠刺 <i>Itea oblonga</i>	虎耳草科 Saxifragaceae	771	316	0.31 ± 0.30	灌木 Shrub
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	交让木科 Daphniphyllaceae	699	77	0.05 ± 0.12	乔木 Tree
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	樟科 Lauraceae	614	126	0.18 ± 0.26	乔木 Tree
浙江新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>chekiangensis</i>	樟科 Lauraceae	557	112	0.15 ± 0.27	灌木 Shrub
石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	壳斗科 Fagaceae	530	341	0.46 ± 0.38	乔木 Tree
钩栲 <i>Castanopsis tibetana</i>	壳斗科 Fagaceae	466	156	0.28 ± 0.31	乔木 Tree
美丽马醉木 <i>Pieris formosa</i>	杜鹃花科 Ericaceae	447	301	0.52 ± 0.37	灌木 Shrub
腺蜡瓣花 <i>Corylopsis glandulifera</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	397	322	0.78 ± 0.27	灌木 Shrub
猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>	杜英科 Elaeocarpaceae	394	20	0.04 ± 0.13	乔木 Tree
木荷 <i>Schima superba</i>	山茶科 Theaceae	330	67	0.11 ± 0.20	乔木 Tree
江南越橘 <i>Vaccinium mandarinorum</i>	杜鹃花科 Ericaceae	320	87	0.19 ± 0.29	灌木 Shrub

萌生个体数较多的灌木物种有柳叶蜡梅、毛花连蕊茶、马银花等, 乔木物种有甜槠、青冈等。萌生能力较强的物种是腺蜡瓣花(*Corylopsis glandulifera*)、柳叶蜡梅、青冈、石栎(*Lithocarpus glaber*)等。从谱系结构上看, 萌生物种主要集中在壳斗科、杜鹃花科、金缕梅科、山茶科等类群(表1)。

## 2.2 萌生物种丰富度与群落多样性的关系

在研究的120个群落样方内, 已发生萌生现象的物种占群落物种丰富度的比例为9.52–63.64%, 平均值为33.8% (图1)。萌生物种丰富度比例与群落物种丰富度( $P = 0.46$ , 图1a)、Shannon-Wiener指数( $P = 0.90$ , 图1b)、Simpson指数( $P = 0.54$ , 图1c)以及Pielou均匀度指数( $P = 0.77$ , 图1d)之间没有表现出显著的相关关系。

## 2.3 萌生物种多度与群落多样性的关系

群落的萌生能力在9.52–63.92%之间, 平均值为36.56% (图2)。群落萌生能力与群落Shannon-Wiener指数( $R^2 = 0.08$ ,  $P = 0.006$ , 图2b)、Simpson指

数( $R^2 = 0.10$ ,  $P = 0.002$ , 图2c)以及Pielou均匀度指数( $R^2 = 0.11$ ,  $P < 0.001$ , 图2d)之间均表现出显著的负相关关系。随着群落萌生能力的增强, 群落多样性指数均呈下降的趋势。但群落萌生能力与物种丰富度之间不存在显著的关系( $P = 0.12$ , 图2a)。

## 3 讨论

### 3.1 萌生树种在群落中的地位

本研究发现, 不管是萌生树种的物种数还是已发生萌生的树种个体数, 其在群落中的比例均较高, 暂未发生萌生现象的萌生树种个体数比例更高。这说明古田山常绿阔叶林中的萌生树种在群落物种组成中占优势。前人的研究也发现, 萌生现象在各种森林类型中都较为普遍(Vesk & Westoby, 2004), 且占有较大比重(陈沐等, 2008; Bellingham & Sparrow, 2009; 周长宁和沈有信, 2012; 刘海波等, 2014)。萌生植株在物质分配策略上与实生植株不同, 可将大量的淀粉等物质储存到根、地下茎等地下器官

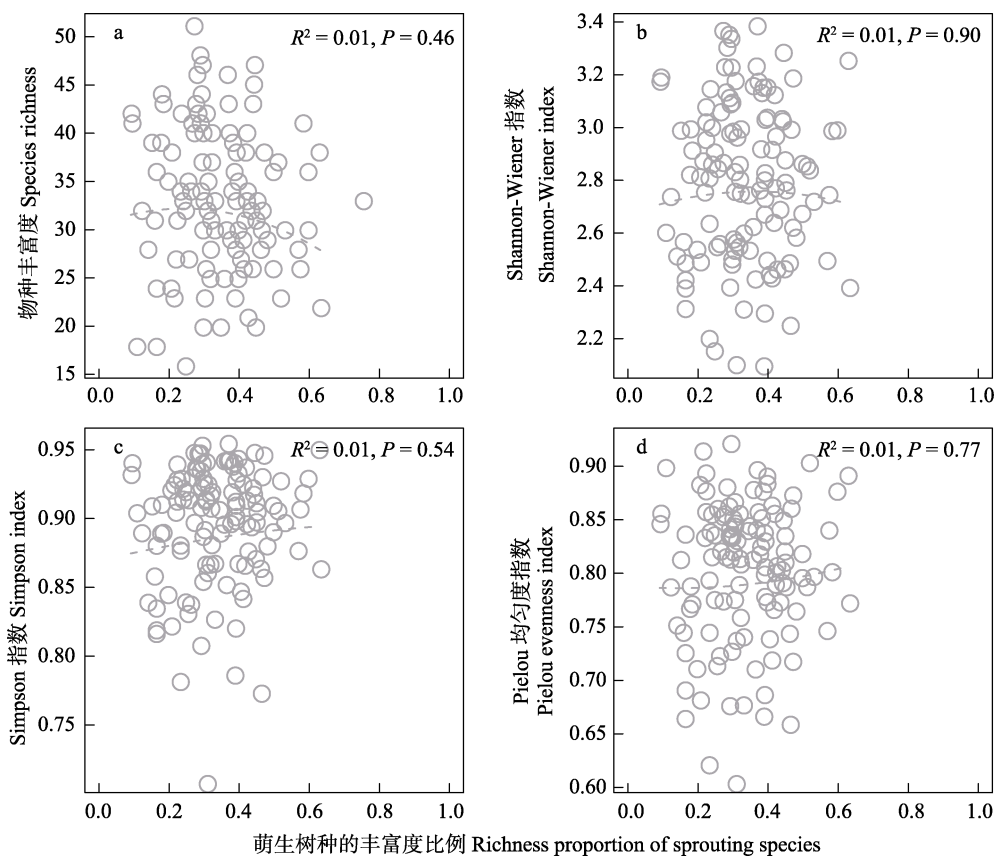


图1 古田山5 ha样地中萌生树种丰富度比例与群落物种多样性指数之间的关系

Fig. 1 Relationships between richness proportion of sprouting species and species diversity indices of community in the 5 ha Gutian-shan plot

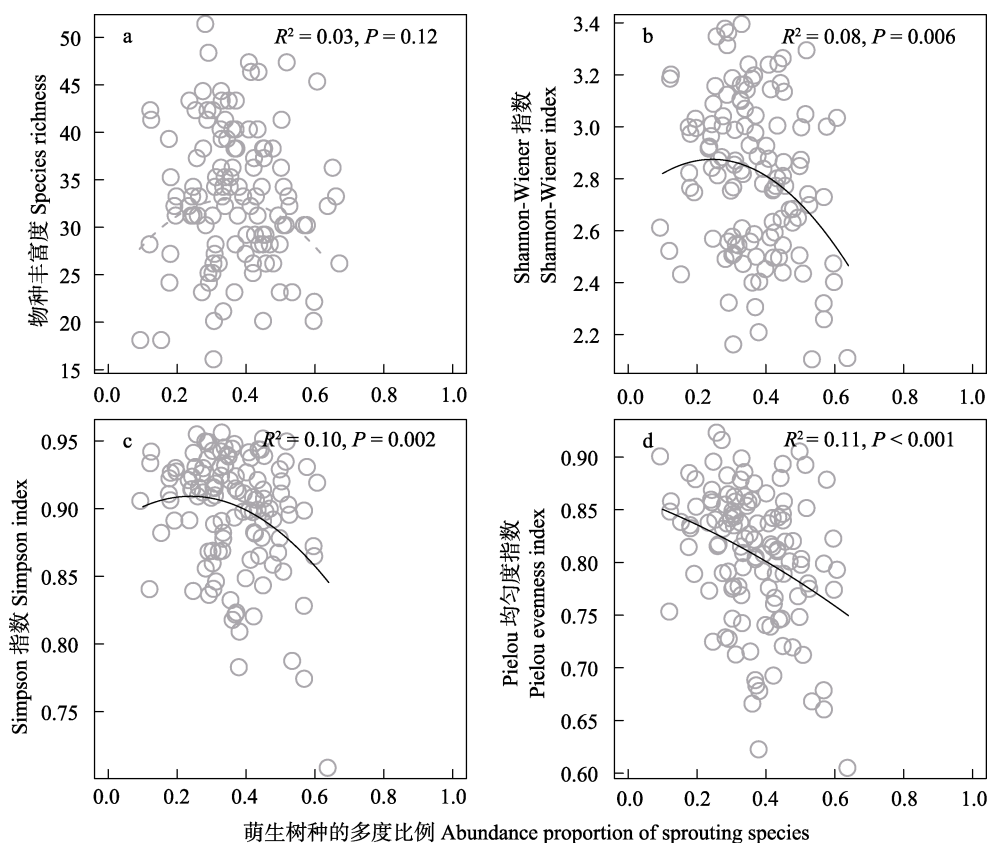


图2 古田山5 ha样地中萌生树种多度比例与群落物种多样性指数之间的关系

Fig. 2 Relationships between abundance proportion of sprouting species and species diversity indices of community in the 5 ha Gutianshan plot

(Moreira et al, 2012; Tomlinson et al, 2012), 而强大的地下系统为萌生茎干的生长提供了保障。新萌生茎干的产生不仅可以巩固实生个体的定居, 还可以拓展植株的生长空间。这些独特的生长策略增强了萌生树种对森林环境资源的利用能力, 使萌生树种拥有相当大的生物量和相当长的寿命(Bellingham & Sparrow, 2009; Clarke et al, 2013), 逐渐在森林群落中占据优势地位。另外, 一些研究发现, 在遭遇火灾、洪水等环境胁迫后, 实生更新受到限制, 很多物种采用萌生策略来进行自身恢复(陈小勇和宋永昌, 1997; Cirne & Scarano, 2001; 王希华等, 2004; Lawes & Clarke, 2011), 这可能也是萌生树种在群落中占优势地位的原因之一。古田山5 ha样地中土层较薄, 岩石裸露率较高, 这可能在一定程度上影响了种子的实生更新, 使得萌生更新相对普遍。作为森林发展进程中一种特别的更新策略, 萌生现象的普遍性与萌生树种的优势地位也暗示着萌生树种对森林生态系统稳定性的维持起着重要的作用。

本研究还发现, 壳斗科、杜鹃花科、山茶科与

金缕梅科等谱系分支中的一些物种容易发生萌生现象, 萌生能力也较强。其他研究也发现上述谱系分支在森林群落中的萌生现象比较常见(王希华等, 2004; 刘常幸等, 2014; 刘海波等, 2014; 骆争荣等, 2015)。这可能与物种的进化历史有关, 值得进一步研究。

### 3.2 萌生树种对群落生物多样性的作用

本研究发现, 在浙江古田山中亚热带常绿阔叶林中, 尽管群落物种多样性随着其萌生物种的增多并没有产生显著变化, 但是随着萌生物种多度的增加, 群落的物种多样性指数逐渐下降。这一结果与我们的假设一致。对南非南开普省森林萌生树种的研究也发现, 随着萌生物种多度的增加, 冠层树种的丰富度逐渐降低(Kruger & Midgley, 2001)。造成这一现象的原因可能多个, 比如萌生树种自身的遗传缺陷、萌生树种的强大竞争力等。从物种维持角度来看, 萌生树种的萌生繁殖始终维持着所谓“当代”的基因型, 缺少代际间的遗传多样性变化, 从而在一定程度上降低了群落内的物种周转率

(Phillips et al, 1994; Clarke et al, 2013), 最终导致群落物种多样性的降低。从种间关系来看, 萌生植株通过其强大的地上与地下部分, 比实生植株能更有效地利用地上、地下的环境资源, 在种间竞争上明显处于优势(Del Tredici, 2001; Clarke et al, 2010), 压制了其他物种的发展。另外, 植物群落在受到外界干扰作用后, 萌生树种能够以萌生更新的方式尽快占领其母树原有的生态位, 使群落外其他物种难以有侵入并定居的机会, 从而可能在一定程度上降低了群落内的物种多样性。

我们同时发现, 萌生树种多度影响着群落内物种的均匀度格局, 这可能也是导致群落物种多样性降低的原因之一。萌生树种具有高度密集的分株和种群, 并且寿命较长, 容易形成长时间固定的空间格局, 从而减缓演替进程与群落物种多样性的发展(Kruger & Midgley, 2001; Pausas et al, 2016)。

然而, Kammesheidt (1998)对巴拉圭热带湿润森林恢复的研究发现, 萌生会增加群落生物多样性。在云南西双版纳刀耕火种弃耕地的群落演替研究中同样发现, 演替早期萌生树种的增多会增加群落生物多样性(林露湘等, 2002)。这可能主要是由于时间尺度的影响: 在群落演替早期, 具有较强恢复能力的萌生植物可以成功恢复与拓展, 改善干扰后的群落生境, 促进其他物种的定居, 从而增加群落生物多样性(Caplat & Anand, 2009; Lawes & Clarke, 2011; Torres et al, 2014)。从演替进程来看, 萌生物种在演替早期的出现对森林的恢复可能起到一定的促进作用。我们建议, 在常绿阔叶林受损生态系统的植被恢复中, 可尝试把常见萌生树种如柳叶蜡梅、马银花、青冈、木荷等作为恢复初期阶段优先使用的先锋树种。

本研究表明, 古田山常绿阔叶林中的萌生树种一方面维持着自身生态位的延续, 一方面又可能延缓群落生物多样性的发展。树种的萌生生活史策略权衡将会对物种共存起到重要的调节作用, 这也说明了萌生树种在群落构建中的重要地位。未来的气候变化如升温、干旱、极端低温等干扰可能会促进萌生现象的增多, 深入了解萌生生活史策略在森林群落中的功能在未来研究中尤为重要。另外, 群落生物多样性的变化还会受到其他生境条件的影响, 其与萌生现象之间也可能缺乏必然的联系。因此, 萌生现象与群落生物多样性的关系有待于在更大

空间尺度或更多的群落类型上进行进一步检验, 同时建议开展不同演替阶段的研究。

**致谢:** 中国科学院植物研究所、浙江大学、古田山国家级自然保护区管理局、浙江师范大学多位老师、同学与工作人员参加野外工作与原始数据整理工作, 特此致谢!

## 参考文献

- Bellingham PJ, Sparrow AD (2000) Resprouting as a life history strategy in woody plant communities. *Oikos*, 89, 409–416.
- Bellingham PJ, Sparrow AD (2009) Multi-stemmed trees in montane rain forests: their frequency and demography in relation to elevation, soil nutrients and disturbance. *Journal of Ecology*, 97, 472–483.
- Bond WJ, Midgley JJ (2001) Ecology of sprouting in woody plants: the persistence niche. *Trends in Ecology & Evolution*, 16, 45–51.
- Caplat P, Anand M (2009) Effects of disturbance frequency, species traits and resprouting on directional succession in an individual-based model of forest dynamics. *Journal of Ecology*, 97, 1028–1036.
- Chamberlin EA, Aarsen LW (1996) The cost of apical dominance in white pine (*Pinus strobus* L.): growth in multi-stemmed versus single-stemmed trees. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 123, 268–272.
- Chen M, Cao M, Lin LX (2007) Research advances in regeneration of woody plants by sprouting. *Chinese Journal of Ecology*, 26, 1114–1118. (in Chinese with English abstract) [陈沐, 曹敏, 林露湘 (2007) 木本植物萌生更新研究进展. *生态学杂志*, 26, 1114–1118.]
- Chen M, Fang H, Cao M (2008) Sprouting characteristics of sprouted woody plants in the mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan Province. *Guihaia*, 28, 627–632. (in Chinese with English abstract) [陈沐, 房辉, 曹敏 (2008) 云南哀牢山中山湿性常绿阔叶林树种萌生特征研究. *广西植物*, 28, 627–632.]
- Chen XY, Song YC (1997) Influence of flood disturbance on the regeneration of *Cyclobalanopsis glauca* populations. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 5, 53–58. (in Chinese with English abstract) [陈小勇, 宋永昌 (1997) 洪水干扰对青冈种群更新的影响. *热带亚热带植物学报*, 5, 53–58.]
- Cirne P, Scarano FR (2001) Resprouting and growth dynamics after fire of the clonal shrub *Andira legalis* (Leguminosae) in a sandy coastal plain in south-eastern Brazil. *Journal of Ecology*, 89, 351–357.
- Clarke PJ, Lawes MJ, Midgley JJ (2010) Resprouting as a key functional trait in woody plants—challenges to developing

- new organizing principles. *New Phytologist*, 188, 651–654.
- Clarke PJ, Lawes MJ, Midgley JJ, Lamont BB, Ojeda F, Burrows GE, Enright NJ, Knox KJE (2013) Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire. *New Phytologist*, 197, 19–35.
- Condit R (1995) Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 18–22.
- Del Tredici P (2001) Sprouting in temperate trees: a morphological and ecological review. *Botanical Review*, 67, 121–140.
- Fujiki D, Kikuzawa K (2006) Stem turnover strategy of multiple-stemmed woody plants. *Ecological Research*, 21, 380–386.
- He YT, Cao M, Tang Y, Li GC (2000) A preliminary study on sprouting of canopy trees in middle mountain moist evergreen broad-leaved forest of Ailao Mountain, Yunnan. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 18, 523–527. (in Chinese with English abstract) [何永涛, 曹敏, 唐勇, 李贵才 (2000) 云南省哀牢山中山湿性常绿阔叶林萌生现象的初步研究. *武汉植物学研究*, 18, 523–527.]
- Johnston RD, Lacey CJ (1983) Multi-stemmed trees in rainforest. *Australian Journal of Botany*, 31, 189–195.
- Kammesheidt L (1998) The role of tree sprouts in the restoration of stand structure and species diversity in tropical moist forest after slash-and-burn agriculture in eastern Paraguay. *Plant Ecology*, 139, 155–165.
- Kruger LM, Midgley JJ (2001) The influence of resprouting forest canopy species on richness in Southern Cape forests, South Africa. *Global Ecology and Biogeography*, 10, 567–572.
- Lawes MJ, Clarke PJ (2011) Ecology of plant resprouting: populations to community responses in fire-prone ecosystems. *Plant Ecology*, 212, 1937–1943.
- Lin LX, Cao M, Tang Y, Fu XH, Zhang JH (2002) Tree species diversity in abandoned fields of Xishuangbanna, SW China. *Acta Phytocologica Sinica*, 26, 216–222. (in Chinese with English abstract) [林露湘, 曹敏, 唐勇, 付先惠, 张建侯 (2002) 西双版纳刀耕火种弃耕地树种多样性比较研究. *植物生态学报*, 26, 216–222.]
- Liu CX, Jin Y, Yu JP, Chen SW, Tian L, Wang YQ, Chen JH (2014) Characteristics of root sprouting trees of *Castanopsis eyrei* and *Schima superba* communities in 1 hm<sup>2</sup> forest plot at Chawan, Gutianshan National Nature Reserve. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 41, 573–582, 592. (in Chinese with English abstract) [刘常幸, 金毅, 余建平, 陈声文, 田磊, 王云泉, 陈建华 (2014) 古田山茶湾样地甜槠-木荷林根萌特征分析. *浙江大学学报(理学版)*, 41, 573–582, 592.]
- Liu HB, Wang QG, Lu JM, Xu YZ, Lu ZJ, Qiao XJ, Bao DC, Guo YL, Meng HJ, Jiang MX (2014) Root-sprouting ability in an evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest. *Chinese Science Bulletin (Chinese Version)*, 59, 3491–3499. (in Chinese with English abstract) [刘海波, 王庆刚, 路俊盟, 徐耀粘, 卢志军, 乔秀娟, 鲍大川, 郭屹立, 孟红杰, 江明喜 (2014) 八大公山常绿落叶阔叶混交林根萌能力. *科学通报*, 59, 3491–3499.]
- Lloret F, Vilà M (1997) Clearing of vegetation in Mediterranean garrigue: response after a wildfire. *Forest Ecology and Management*, 93, 227–234.
- Luo ZR, Chen DL, Yang H, Su LL, Ding BY (2015) Sprouting propagation characteristics of *Cleyera pachyphylla* in the Baishanzu subtropical evergreen forest. *Acta Ecologica Sinica*, 35, 5385–5392. (in Chinese with English abstract) [骆争荣, 陈德良, 杨辉, 苏立蕾, 丁炳扬 (2015) 百山祖常绿阔叶林厚叶红淡比的萌蘖繁殖特性. *生态学报*, 35, 5385–5392.]
- Meng LB, Bao WK, Pang XY, Sun F (2006) Effects of ramets adjustment on *Quercus liaotungensis* growth and seed generation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17, 1771–1776. (in Chinese with English abstract) [孟令彬, 包维楷, 庞学勇, 孙凡 (2006) 萌蘖调控对辽东栎留存萌生株生长与结实的影响. *应用生态学报*, 17, 1771–1776.]
- Moreira B, Tormo J, Pausas JG (2012) To resprout or not to resprout: factors driving intraspecific variability in resprouting. *Oikos*, 121, 1577–1584.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H (2014) *Vegan: Community Ecology Package*. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan/>. (accessed on 2016-08-25)
- Pausas JG, Pratt RB, Keeley JE, Jacobsen AL, Ramirez AR, Vilagrosa A, Paula S, Kaneakua-Pia IN, Davis SD (2016) Towards understanding resprouting at the global scale. *New Phytologist*, 209, 945–954.
- Phillips OL, Hall P, Gentry AH, Sawyer SA, Vasquez R (1994) Dynamics and species richness of tropical rain forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 91, 2805–2809.
- R Development Core Team (2014) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. <http://www.r-project.org/>. (accessed on 2016-08-25)
- Song YC, Wang XH, Yan ER (2013) *Evergreen Broad-leaved Forests in China: Classification, Ecology, Conservation*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [宋永昌, 王希华, 阎恩荣 (2013) *中国常绿阔叶林: 分类·生态·保育*. 科学出版社, 北京.]
- Tomlinson KW, Sterck FJ, Bongers F, da Silva DA, Barbosa ERM, Ward D, Bakker FT, van Kaauwen M, Prins HHT, de Bie S, van Langevelde F (2012) Biomass partitioning and root morphology of savanna trees across a water gradient. *Journal of Ecology*, 100, 1113–1121.
- Torres RC, Giorgis MA, Trillo C, Volkmann L, Demaio P, Heredia J, Renison D (2014) Post-fire recovery occurs overwhelmingly by resprouting in the Chaco Serrano forest of Central Argentina. *Austral Ecology*, 39, 346–354.
- Vesk PA, Westoby M (2004) Sprouting ability across diverse

- disturbances and vegetation types worldwide. *Journal of Ecology*, 92, 310–320.
- 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.
- Wang XH, Yan X, Yan ER, Jin Y (2004) Primary study on sprout regeneration of several dominant species of evergreen broad-leaved forest after logging in Tiantong. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 22, 52–57. (in Chinese with English abstract) [王希华, 严晓, 闫恩荣, 金毅 (2004) 天童几种常绿阔叶林优势种在砍伐后萌枝更新的初步研究. *武汉植物学研究*, 22, 52–57.]
- Wang YH, Mi XC, Chen SW, Li MH, Yu MJ (2011) Regeneration dynamics of major tree species during 2002–2007 in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Gutianshan National Nature Reserve in East China. *Biodiversity Science*, 19, 178–189. (in Chinese with English abstract) [汪殷华, 米湘成, 陈声文, 李铭红, 于明坚 (2011) 古田山常绿阔叶林主要树种2002–2007年间更新动态. *生物多样性*, 19, 178–189.]
- Yan ER, Wang XH, Shi JY, Wang XB, Wang LY (2005) Sprouting ecology of woody plants: a research review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 16, 2459–2464. (in Chinese with English abstract) [闫恩荣, 王希华, 施家月, 王希波, 王良衍 (2005) 木本植物萌枝生态学研究进展. *应用生态学报*, 16, 2459–2464.]
- Ye J, Hao ZQ, Wang XG, Bai XJ, Xing DL, Yuan ZQ (2014) Local-scale drivers of multi-stemmed tree formation in *Acer*, in a temperate forest of northeast China. *Chinese Science Bulletin*, 59, 320–325.
- Yu MJ, Hu ZH, Yu JP, Ding BY, Fang T (2001) Forest vegetation types in Gutianshan Natural Reserve in Zhejiang. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 27, 375–380. (in Chinese with English abstract) [于明坚, 胡正华, 余建平, 丁炳扬, 方腾 (2001) 浙江古田山自然保护区森林植被类型. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 27, 375–380.]
- Zhou CN, Shen YX (2012) Sprouting characteristics of plant in a semi-humid evergreen broad-leaved forest on the karst hill slope. *Journal of Yunnan University*, 34(Suppl.1), 135–140, 148. (in Chinese with English abstract) [周长宁, 沈有信 (2012) 半湿润常绿阔叶林植物萌生特征在喀斯特丘陵坡面上的变化. *云南大学学报(自然科学版)*, 34(Suppl.1), 135–140, 148.]
- Zhu WZ, Wang JX, Luo CR, Duan XM (2007) Progresses of studies on forest sprout regeneration. *Scientia Silvae Sinicae*, 43(9), 74–82. (in Chinese with English abstract) [朱万泽, 王金锡, 罗成荣, 段学梅 (2007) 森林萌生更新研究进展. *林业科学*, 43(9), 74–82.]

(责任编辑: 王希华 责任编辑: 黄祥忠)