

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2022.40565

高贵宾, 温星, 吴志庄, 钟浩, 潘雁红, 张小平. 不同土壤雷竹盆栽苗地下茎分枝数量特征及其分布格局[J]. 植物科学学报, 2022, 40(4): 565-575

Gao GB, Wen X, Wu ZZ, Zhong H, Pan YH, Zhang XP. Quantitative characteristics and distribution patterns of rhizome branches of potted *Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao 'Prevernalis' seedlings in different soils[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(4): 565-575

不同土壤雷竹盆栽苗地下茎分枝数量特征及其分布格局

高贵宾^{1,2,3}, 温星^{1,2,3}, 吴志庄^{1,2,3}, 钟浩^{1,3}, 潘雁红^{1,3}, 张小平^{1,2,3*}

(1. 国家林业和草原局竹子研究开发中心, 杭州 310012; 2. 浙江杭嘉湖平原森林生态系统国家定位观测研究站, 杭州 310012; 3. 竹林生态与资源利用国家林业和草原局重点实验室, 杭州 310012)

摘要: 为了探究竹子分株系统构建过程及其与人工经营的关系, 本文对雷竹 (*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao 'Prevernalis') 不同年龄母竹、不同覆盖年限竹林进行土壤盆栽实验, 比较了各处理竹苗地下茎分枝生长差异。结果显示: 在盆栽竹苗分株系统构建过程中, 地下茎以竹鞭分枝为主; 2年生母竹盆栽苗地下茎分枝数量普遍高于1年生盆栽苗, 且地下茎分枝表现出随竹林土壤覆盖年限增加而减少的趋势; 盆栽苗地下茎分枝主要分布于第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分枝的鞭中位置; 1年生母竹盆栽苗地下茎分枝以第Ⅱ分枝级别的鞭中、鞭梢部位为多, 而2年生母竹盆栽苗则以第Ⅲ分枝级别的鞭中、鞭梢部位为多; 随土壤覆盖年限增加, 地下茎分枝偏向分布于较为靠前的分枝级别。研究发现, 母竹盆栽苗分株系统的构建主要采取了扩大地下分枝的策略, 其2年生母竹与竹鞭中部着生侧芽的分枝生长对分株系统拓展贡献率较大; 竹林土壤覆盖时间越久越不利于地下茎分枝。由于竹子分株系统具有时空拓展性, 其地下茎分枝生长特征尚需持续观察。

关键词: 雷竹; 分株系统; 地下茎; 分枝生长; 竹林覆盖

中图分类号: S795

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)04-0565-11

Quantitative characteristics and distribution patterns of rhizome branches of potted *Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao 'Prevernalis' seedlings in different soils

Gao Gui-Bin^{1,2,3}, Wen Xing^{1,2,3}, Wu Zhi-Zhuang^{1,2,3}, Zhong Hao^{1,3},
Pan Yan-Hong^{1,3}, Zhang Xiao-Ping^{1,2,3*}

(1. China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, China; 2. National Long-Term Observation and Research Station for Forest Ecosystem in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain, Hangzhou 310012, China; 3. Key Laboratory of Bamboo Forest Ecology and Resource Utilization of National Forestry and Grassland Administration, Hangzhou 310012, China)

Abstract: To explore the construction process of the bamboo ramet system and its relationship with artificial management, we conducted pot experiments with mother bamboo (*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao 'Prevernalis') at different ages and under different mulching soils and compared growth differences of rhizome branches of bamboo seedlings. Results showed that during ramet system construction in the potted seedlings, the development of bamboo rhizome branches was dominant. The number of rhizome branches in 2-year-old mother bamboo potted seedlings was generally higher than that of 1-year-old potted

收稿日期: 2022-01-12, 修回日期: 2022-04-19。

基金项目: 国家自然科学基金(32001378); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2021QB007)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (32001378) and Fundamental Research Funds of CAF (CAFYBB2021QB007)。

作者简介: 高贵宾(1982-), 男, 助理研究员, 研究方向为竹林培育学(E-mail: anshu998@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: zxpyg2016@126.com)。

seedlings, and rhizome branches decreased with the increase in soil mulch period. The rhizome branches of potted seedlings were mainly distributed in the middle of the bamboo rhizome at the II, III, and IV branching grades. The rhizome branch of 1-year-old potted seedlings was more in the middle and tip of the rhizome at the II branching grade, but more in the middle and tip of the rhizome at the III branching grade in the 2-year-old potted seedlings. With the increase in soil mulch period, the rhizome branches tended to be distributed at the front branchings. Thus, expansion of underground branches was the main strategy used in ramet system construction in the potted seedlings. Branch growth in the 2-year-old mother bamboo and lateral buds in the middle of the bamboo rhizome greatly contributed to ramet system expansion. The longer the bamboo forest soil was mulched, the less conducive it was to rhizome branching. As the bamboo ramet system exhibited spatiotemporal expansion, the growth characteristics of rhizome branches need to be continuously observed.

Key words: *Phyllostachys praecox*; Ramet system; Rhizome; Branching; Bamboo forest mulching

雷竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao ‘Prevernalis’)是一种优良小径笋用竹种,在我国很多省份的栽种面积逐渐扩大,其造林方式以母竹造林为主^[1]。新造竹林自种植母竹开始,各单株母竹依靠连带的少量地下茎开始逐年进行地下竹鞭、地上竹株的不断拓展,直到竹林郁闭成为一个完整的种群^[2]。显而易见,这个种群是由单株母竹经过不断地上、地下构件分枝后所形成的多个无性系分株系统的集合体。这些分株系统相互独立又相互影响,共同构建并维持着竹林种群的发展,从而构成了竹子种群营养生长的独特特征。竹子分株系统的不断更新和拓展主要依靠地下茎着生的侧芽萌发分枝^[3, 4],掌握分株系统地下茎侧芽的数量特征及其竹株、竹鞭等构件的分枝性状,对于把握竹林经营技术措施对竹子种群生长的影响,了解竹子种群动态变化与竹林生产力的关系等问题都十分重要。

在关于竹林生长与经营技术研究中,通常以竹子个体^[5, 6]和种群^[7, 8]作为研究对象,往往忽视了对竹子分株系统的研究。尤其对于采用了竹林覆盖技术的高强度集约经营的雷竹林,由于采笋砍竹、施肥垦复、老鞭清理等技术措施的频繁应用,造成大量断鞭,致使原来的分株系统被人为破碎,使其分株系统的相关研究更具有独特的学术价值^[9]。竹林经过连年覆盖以后,土壤理化性质、菌群结构、竹子种群生长、竹株及地下茎生理生化生态等活动均发生了很大的变化^[10, 11],但目前关于覆盖

雷竹林分株系统地下茎侧芽分枝的研究却相对较少。

雷竹造林一般选用 1 ~ 2 年生竹子作为母竹^[12]。为了初步了解竹子分株系统分枝生长的基本特征,本研究设置了不同覆盖年限竹林土壤分别盆栽 1 年生、2 年生母竹雷竹苗的控制性试验。通过盆栽苗地下茎分枝数量特征调查,探究不同土壤栽培条件下竹子分株系统的构建与分枝形成的差异;调查盆栽苗地下茎分枝着生位点的分布格局,解析不同土壤竹子地下茎生长与分枝分布的关系,以期深入探究竹子分株系统与竹林生产力的关系以及大田竹林分株系统种群构建与维持等研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

于浙江省杭州市余杭区径山镇绿景村竹林基地开展雷竹盆栽试验。试验地属亚热带季风气候区,年均气温 16℃,年均降水量 1837 mm,年日照 1970 h,无霜期 244 d,土壤多为黄、红壤,土质肥沃,结构疏松,十分适宜竹类植物生长。分别选择立地条件和经营水平相近的不同覆盖栽培年限(覆盖 0 年(M0)、累积覆盖 6 年(M6)、累积覆盖 12 年(M12)、累积覆盖 18 年(M18))的竹林作为盆栽土壤源(土壤基本情况见表 1,参考鲁如坤^[13]的检测方法)。所选覆盖竹林起初采取连续覆盖 3 年,休园 1 年的方式,之后连续覆盖 2 年,休园 1

表 1 不同盆栽竹苗土壤基本情况
Table 1 Basic soil conditions of different potted bamboo seedlings

盆栽土壤 Potted soil	pH	电导率 Conductivity / $\mu\text{S}/\text{cm}$	有机质 Organic matter / g/kg	水解性氮 Hydrolytic nitrogen / mg/kg	有效磷 Available phosphorus / mg/kg	速效钾 Available potassium / mg/kg
M0	6.48	101.60	33.07	42.56	45.45	465.84
M6	5.25	69.88	21.61	53.20	35.95	418.52
M12	4.79	54.57	33.17	107.50	43.97	539.04
M18	4.76	213.70	41.37	163.86	65.61	552.96

年。于竹林中央位置选择合适的采挖点，采挖竹林 40 cm 土层以上的土壤用于盆栽，清除土壤中残留的竹鞭根和表层覆盖残留物。

在覆盖 0 年的竹林中随机选取胸径 3.50 cm 左右的 1 年生、2 年生健康竹株作为盆栽母竹(图 1)。采挖时，以母竹为中心，环绕母竹 17 cm 左右的距离挖取土球，土球直径 35 cm 左右，向下直至挖不到竹鞭为止。母竹统一留枝 5 ~ 6 盘，留取母竹来鞭、去鞭在 10 cm 以上长度，确保母竹连接的竹鞭上有一定量的休眠芽。1 年生母竹所连接竹鞭约有 10 ~ 15 个鞭节(即着生侧芽总量)，一般萌发岔鞭 0 ~ 2 个，萌发竹株(即母竹)1 株，其他则以休眠芽为主；2 年生母竹所连接竹鞭一般 20 ~ 25 个鞭节，一般萌发岔鞭 1 ~ 4 个，萌发竹株(即母竹)1 株，其他也以休眠芽为主。母竹挖出后，清除土球中的其他残鞭、断鞭，以确保上盆后竹子地下茎新的岔鞭发笋均来源于母竹连带的竹鞭。

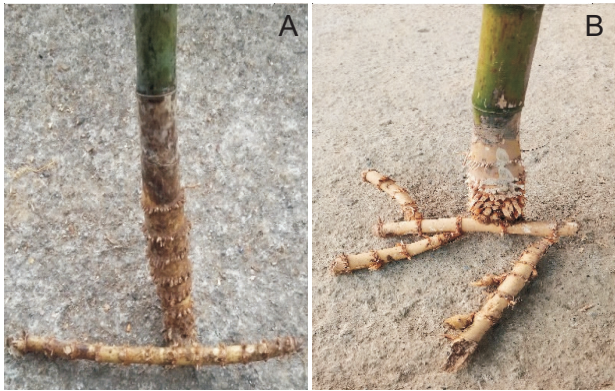


图 1 母竹
Fig. 1 Mother bamboo

1.2 盆栽处理

于 2019 年 6 月份实施盆栽试验，用控根容器

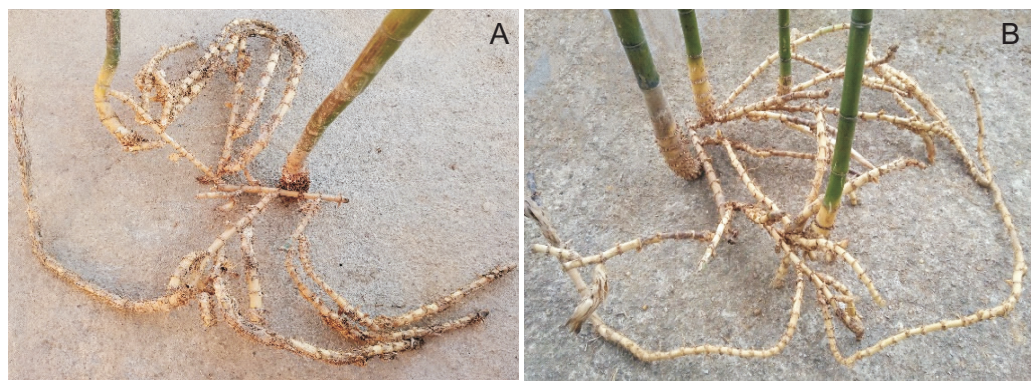
围成 100 cm(直径)× 40 cm(深)的苗盆。分别以 4 种覆盖竹林土壤作为育苗基质，采用杭州兰德生态农业发展有限公司生产的腐熟猪粪有机肥，基质、有机肥重量比为 8 : 1。上盆时母竹栽植于苗盆中央，深度 25 cm，每处理 25 盆。上盆后将竹苗用竹竿搭架联绑，防止风吹倒伏。自然光照，水分管理则采用 7.5 kw、流速 60 t/h 的水泵和花洒，缺水期每隔 3 ~ 4 d 均匀浇灌 1 次，以盆底渗水浇透为宜。上盆竹苗生长恢复期 5 ~ 6 个月，2020 年 1–12 月盆栽竹苗完成第 1 个完整的生长周期，2021 年 2 月开展地下茎分枝生长调查(图 2)。

1.3 地下茎采挖

每处理分别随机选取 4 盆进行调查，合计 32 盆。打开控根容器前适量浇水，使土壤疏松，然后用笋锹、小锄头清理土壤，待土壤松动，将竹株连带地下茎全部取出，分别用高压水枪洗净、晾干。将各处理盆栽竹苗地上部分截去，用修枝剪将地下茎竹鞭、竹根修剪分离。将地下茎分枝类型分别记为 Ra(竹鞭)、Rb(鞭芽)、Sa(竹株)、Sb(笋芽)；各盆栽竹苗地下茎第 1 级分枝均为竹鞭，盆栽母竹主要分布在地下茎第 2 分枝级别，1 年生母竹盆栽苗地下茎分枝级数主要为 4 ~ 5 级，2 年生母竹盆栽苗主要为 5 ~ 6 级(表 2)。

1.4 分枝生长调查

如图 3 所示，按照由来鞭到去鞭方向依次将各分枝标记为 I、II、III 级分枝不等，将上一级分枝生长出来的所有分枝均记作下一级分枝；每级不同分枝的数量则顺着侧芽生长方向依次标记为①、②、③不等，分别记录分枝类型及其所着生的鞭节数；统计每条竹鞭的鞭节数量，按鞭节数将竹鞭 3 等分，靠近鞭柄部分命名为鞭基，中间部分为鞭中，靠近梢部的为鞭梢，统计分枝的分布格局。



A: 1 年生母竹分枝; B: 2 年生母竹分枝。
A: Branching of 1 - year - old mother bamboo; B: Branching of 2 - year - old mother bamboo.

图 2 母竹地下茎分枝
Fig. 2 Rhizome branching of mother bamboo

表 2 不同盆栽竹苗地下茎分枝基本情况
Table 2 Basic information of rhizome branching in different potted bamboo seedlings

土壤类型 Soil type	1 年生母竹 1 - year - old mother bamboo				2 年生母竹 2 - year - old mother bamboo			
	第 1 级分枝类型 Type of first branching grade		分枝级数 Branching grade number	母竹所在级数 Grade of mother bamboo	第 1 级分枝类型 Type of first branching grade		分枝级数 Branching grade number	母竹所在级数 Grade of mother bamboo
	竹鞭 Ra	竹株 Sa			竹鞭 Ra	竹株 Sa		
M0	1 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	2 ± 0	1 ± 0	0 ± 0	6 ± 1	3 ± 1
M6	1 ± 0	0 ± 0	5 ± 1	2 ± 0	1 ± 0	0 ± 0	6 ± 1	2 ± 1
M12	1 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	2 ± 0	1 ± 0	0 ± 0	5 ± 1	2 ± 0
M18	1 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	2 ± 0	1 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	2 ± 0

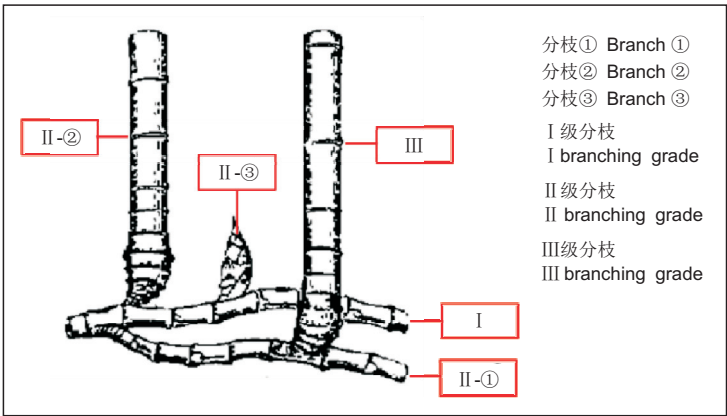


图 3 竹苗地下茎分枝(引自周芳纯^[14])
Fig. 3 Rhizome branches of bamboo seedlings(From Zhou^[14])

1.5 数据分析

利用 Excel 2007 软件计算数据平均值和标准差; 在 SPSS19.0 软件中采用 SNK 检验方法(q 检验) 进行多重比较分析; 利用 Origin 2016 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 地下茎分枝来源数量特征

盆栽竹苗地下茎分枝主要来源于竹鞭着生的侧芽, 且以萌发为竹鞭分枝为主; 同时也表现出一定

程度的竹株秆基侧芽萌发不同分枝的现象(表 3)。来源于竹鞭的 2 年生母竹盆栽苗的竹鞭分枝数量均高于 1 年生盆栽苗,其中 M0 高达(46 ± 9)个/盆;随土壤覆盖年限增加,1、2 年生母竹盆栽苗竹鞭分枝数量均呈递减趋势。截至本试验调查时间,各盆栽苗鞭芽分枝数量很少,且相互间差异不显著。来源于竹鞭的 2 年生母竹盆栽苗的竹株分枝数量高于其他处理,但相对于竹鞭分枝,其分枝数量明显偏低。来源于竹鞭的 M0 盆栽苗笋芽分枝数量显著高于其他各处理($P < 0.05$),说明未覆盖竹林土壤的盆栽苗笋芽分枝能力最强。来源于竹鞭的 2 年生母竹盆栽苗 M0 总分枝为(66 ± 12)个/盆,显著高于其他各处理($P < 0.05$);除来源于竹株的盆栽苗地下茎分枝类型外,来源于竹鞭的 1 年生母竹盆栽苗 M18 的总分枝数量仅(19 ± 4)个/盆,显著低于其他各处理($P < 0.05$);随土壤覆盖年限增加,来源于竹鞭的 1、2 年生母竹盆栽苗地下茎总分枝数量均呈递减趋势,说明竹林土壤覆盖时间越久越不利于竹鞭着生侧芽的分枝。

2.2 不同分枝级别地下茎分枝数量特征

由表 4 可见,第 I 分枝级别主要为竹鞭,竹株

分枝只有 1 ~ 2 株,几乎没有鞭芽和笋芽分枝,各处理间无显著差异。第 II 分枝级别也以竹鞭为主,并与其他分枝类型数量差异显著($P < 0.05$),其中 1 年生母竹竹鞭分枝数量总体高于 2 年生母竹盆栽苗, M0 高达(18 ± 4)个/盆。第 III 分枝级别 2 年生母竹竹鞭分枝数量整体最高,其中 M0 高达(19 ± 9)个/盆,显著高于其他处理($P < 0.05$);在此分枝级别,1 年生母竹笋芽的分枝数量相对高于 2 年生母竹。第 IV 分枝级别 2 年生母竹盆栽苗竹鞭分枝数量整体最高,其中 M0 高达(15 ± 5)个/盆,显著高于其他处理($P < 0.05$);在此分枝级别,2 年生母竹笋芽分枝数量高于 1 年生母竹。第 V 分枝级别 2 年生母竹盆栽苗竹鞭、笋芽分枝数量较多,但处理间差异不显著。第 VI 分枝级别基本无分枝。2 年生母竹盆栽苗不同分枝级别的竹鞭总分枝数量均高于其他各处理,其中 M0 高达(47 ± 6)个/盆($P < 0.05$);1 年生母竹盆栽苗不同分枝级别竹鞭总分枝显著高于鞭芽、竹株分枝($P < 0.05$);随盆栽土壤覆盖年限增加,1 年生和 2 年生母竹盆栽苗的竹鞭总分枝数量均呈递减趋势;M0 笋芽分枝数量明显高于 M6 ~ M18。

表 3 不同盆栽竹苗地下茎分枝来源数量特征

Table 3 Sources and quantitative characteristics of rhizome branches of different potted bamboo seedlings

分枝来源 Branching source	母竹年龄 Mother bamboo age	土壤类型 Soil type	分枝类型 / 个/盆 Branching type / ind. /pot				
			竹鞭 Ra	鞭芽 Rb	竹株 Sa	笋芽 Sb	合计 Total
竹鞭 Ra	1 年生	M0	30 ± 7 bc	0 ± 0 a	1 ± 0 d	13 ± 4 a	44 ± 8 bc
		M6	25 ± 5 bc	2 ± 1 a	2 ± 1 cd	2 ± 1 bc	31 ± 7 d
		M12	20 ± 4 cd	1 ± 1 a	1 ± 0 d	7 ± 2 b	28 ± 2 d
		M18	16 ± 3 d	0 ± 0 a	2 ± 1 cd	2 ± 1 bc	19 ± 4 e
	2 年生	M0	46 ± 9 a	3 ± 2 a	5 ± 3 a	12 ± 3 a	66 ± 12 a
		M6	37 ± 4 ab	1 ± 0 a	5 ± 1 a	5 ± 2 bc	47 ± 5 b
		M12	36 ± 6 bc	1 ± 1 a	3 ± 0 bc	4 ± 2 bc	44 ± 5 bc
		M18	33 ± 8 bc	0 ± 1 a	4 ± 2 ab	5 ± 1 bc	41 ± 8 cd
竹株 Sa	1 年生	M0	0 ± 0 e	0 ± 0 a	0 ± 0 d	0 ± 0 c	0 ± 0 f
		M6	4 ± 2 e	0 ± 1 a	0 ± 0 d	1 ± 1 c	5 ± 2 f
		M12	0 ± 0 e	0 ± 0 a	0 ± 0 d	0 ± 0 c	0 ± 0 f
		M18	1 ± 1 e	0 ± 1 a	0 ± 0 d	1 ± 0 c	2 ± 1 f
	2 年生	M0	0 ± 0 e	0 ± 0 a	0 ± 0 d	0 ± 0 c	0 ± 0 f
		M6	0 ± 0 e	0 ± 0 a	0 ± 0 d	0 ± 0 c	0 ± 0 f
		M12	1 ± 1 e	0 ± 0 a	0 ± 1 d	0 ± 0 c	1 ± 1 f
		M18	0 ± 1 e	0 ± 0 a	0 ± 0 d	0 ± 0 c	0 ± 1 f

注：同列不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。下同。
Note: Different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. Same below.

表 4 不同类型竹子地下茎分枝数量特征
Table 4 Quantitative characteristics of bamboo rhizome branches of different types

分枝类型 Branching type	母竹年龄 Mother bamboo age	土壤类型 Soil type	不同分枝级别的分枝数量 / 个/盆 Branching number at different branching grades /ind. /pot						
			I	II	III	IV	V	VI	合计 Total
竹鞭 Ra	1 年生	M0	3 ± 2 a	18 ± 4 a	8 ± 3 cd	1 ± 1 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	30 ± 7 bc
		M6	2 ± 1 a	10 ± 3 b	9 ± 3 bc	3 ± 1 d	2 ± 1 a	0 ± 0 a	25 ± 6 cd
		M12	2 ± 1 a	13 ± 4 ab	4 ± 2 de	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	20 ± 4 de
		M18	2 ± 1 a	11 ± 2 b	3 ± 1 e	0 ± 1 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	16 ± 4 e
	2 年生	M0	3 ± 1 a	8 ± 4 b	19 ± 9 a	15 ± 5 a	3 ± 1 a	0 ± 0 a	47 ± 6 a
		M6	3 ± 2 a	9 ± 3 b	13 ± 5 bc	9 ± 3 b	2 ± 1 a	1 ± 1 a	37 ± 4 b
		M12	2 ± 1 a	13 ± 3 ab	12 ± 4 bc	8 ± 2 bc	2 ± 1 a	0 ± 0 a	36 ± 6 bc
		M18	3 ± 1 a	7 ± 3 b	14 ± 4 b	8 ± 2 bc	1 ± 0 a	0 ± 0 a	33 ± 8 bc
鞭芽 Rb	1 年生	M0	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 0 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	0 ± 0 f
		M6	0 ± 0 a	0 ± 0 c	2 ± 1 e	0 ± 0 d	0 ± 1 a	0 ± 0 a	3 ± 2 f
		M12	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 1 e	0 ± 1 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	1 ± 1 f
		M18	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 1 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	0 ± 1 f
	2 年生	M0	0 ± 0 a	0 ± 0 c	1 ± 1 e	2 ± 1 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	3 ± 1 f
		M6	0 ± 0 a	1 ± 1 c	1 ± 1 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	1 ± 1 f
		M12	0 ± 0 a	0 ± 1 c	1 ± 1 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	1 ± 1 f
		M18	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 1 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	0 ± 1 f
竹株 Sa	1 年生	M0	1 ± 0 a	1 ± 0 c	0 ± 0 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	1 ± 0 f
		M6	1 ± 1 a	1 ± 1 c	0 ± 0 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	2 ± 1 f
		M12	1 ± 0 a	0 ± 1 c	0 ± 0 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	1 ± 0 f
		M18	1 ± 1 a	1 ± 1 c	0 ± 0 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	2 ± 1 f
	2 年生	M0	1 ± 1 a	1 ± 1 c	2 ± 1 e	1 ± 1 d	1 ± 1 a	0 ± 0 a	5 ± 3 f
		M6	1 ± 1 a	1 ± 1 c	2 ± 1 e	1 ± 1 d	0 ± 1 a	0 ± 0 a	5 ± 1 f
		M12	1 ± 0 a	1 ± 1 c	1 ± 1 e	1 ± 1 d	0 ± 1 a	0 ± 0 a	3 ± 1 f
		M18	1 ± 0 a	1 ± 1 c	2 ± 2 e	0 ± 1 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	4 ± 2 f
笋芽 Sb	1 年生	M0	0 ± 1 a	2 ± 1 c	7 ± 3 cd	4 ± 1 cd	0 ± 0 a	0 ± 0 a	13 ± 4 e
		M6	0 ± 1 a	0 ± 1 c	2 ± 1 e	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	3 ± 2 f
		M12	0 ± 0 a	2 ± 1 c	5 ± 2 cd	0 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	7 ± 3 ef
		M18	0 ± 0 a	0 ± 1 c	1 ± 1 e	1 ± 0 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	2 ± 1 f
	2 年生	M0	0 ± 0 a	0 ± 1 c	4 ± 2 de	7 ± 3 bc	1 ± 0 a	0 ± 0 a	12 ± 4 e
		M6	0 ± 0 a	0 ± 0 c	2 ± 1 e	2 ± 1 d	1 ± 1 a	0 ± 0 a	5 ± 2 f
		M12	0 ± 0 a	1 ± 1 c	1 ± 1 e	1 ± 1 d	1 ± 1 a	0 ± 0 a	3 ± 2 f
		M18	0 ± 0 a	1 ± 1 c	2 ± 1 e	2 ± 2 d	0 ± 0 a	0 ± 0 a	5 ± 3 f

盆栽苗地下茎分枝主要分布于第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分枝级别；第Ⅰ、Ⅴ分枝级别分枝总量较少，且各处理间无显著差异；第Ⅵ分枝级别几乎没有分布(表5)。第Ⅰ、Ⅱ分枝级别分枝总数随土壤覆盖年限增加没有明显规律性变化，而第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ分枝级别分枝总数具有随覆盖年限增加而减小的趋势。2年生母竹各分枝级别总数普遍高于1年生母竹，其中2- M0 达(66 ± 9)个/盆，显著高于其他各处理($P < 0.05$)，而1- M18 仅(20 ± 4)个/盆，显著低于其他各处理($P < 0.05$)。盆栽苗各分枝

级别分枝总数随土壤覆盖年限的增加均呈明显的递减趋势。

2.3 地下茎分枝的分布格局

由表6可知，1年生母竹盆栽苗 M0 分枝主要分布于第Ⅱ、Ⅲ分枝级别的鞭中、鞭梢部位，相互间无显著差异；M6 分枝相对均匀地分布于第Ⅱ、Ⅲ分枝级别的鞭基、鞭中、鞭梢部位，相互间也无显著差异；M12 和 M18 的分枝主要分布于第Ⅱ分枝级别的鞭中、鞭梢部位，相互间均无显著差异。2年生母竹盆栽苗 M0 分枝以第Ⅳ分枝级别的鞭中、

表 5 不同分枝级别地下茎分枝总数量特征

Table 5 Total quantitative characteristics of rhizome branches at different branching grades

母竹年龄 Mother bamboo age	土壤类型 Soil type	不同分枝级别的分枝数量 / 个/盆 Branching number at different branching grades /ind. /pot						
		I	II	III	IV	V	VI	合计 Total
1 年生	1- M0	5 ± 3 a	20 ± 5 a	15 ± 3 bc	5 ± 2 bc	0 ± 0 a	0 ± 0 a	44 ± 8 bc
	1- M6	3 ± 1 a	10 ± 3 b	14 ± 5 bc	3 ± 1 c	3 ± 1 a	0 ± 0 a	32 ± 3 bc
	1- M12	3 ± 1 a	15 ± 4 ab	10 ± 3 bc	0 ± 1 c	0 ± 0 a	0 ± 0 a	28 ± 2 c
	1- M18	3 ± 1 a	12 ± 2 b	3 ± 1 c	0 ± 0 c	0 ± 0 a	0 ± 0 a	20 ± 4 d
2 年生	2- M0	3 ± 1 a	9 ± 4 b	25 ± 8 a	25 ± 6 a	4 ± 1 a	0 ± 0 a	66 ± 9 a
	2- M6	3 ± 1 a	11 ± 4 b	18 ± 5 ab	11 ± 3 b	3 ± 1 a	1 ± 1 a	47 ± 5 b
	2- M12	3 ± 2 a	15 ± 5 ab	15 ± 4 bc	10 ± 2 bc	2 ± 1 a	0 ± 0 a	43 ± 5 bc
	2- M18	4 ± 1 a	9 ± 4 b	18 ± 4 ab	10 ± 2 bc	0 ± 0 a	0 ± 0 a	42 ± 5 bc

注：1- M0、1- M6、1- M12、1- M18 均为 1 年生母竹盆栽苗；2- M0、2- M6、2- M12、2- M18 均为 2 年生母竹盆栽苗。
Notes: 1- M0, 1- M6, 1- M12 and 1- M18 are potted seedlings of 1- year- old mother bamboo; 2- M0, 2- M6, 2- M12 and 2- M18 are potted seedlings of 2- year- old mother bamboo.

表 6 不同分枝级别竹子地下茎分枝的分布格局

Table 6 Distribution patterns of bamboo rhizome branches at different branching grades

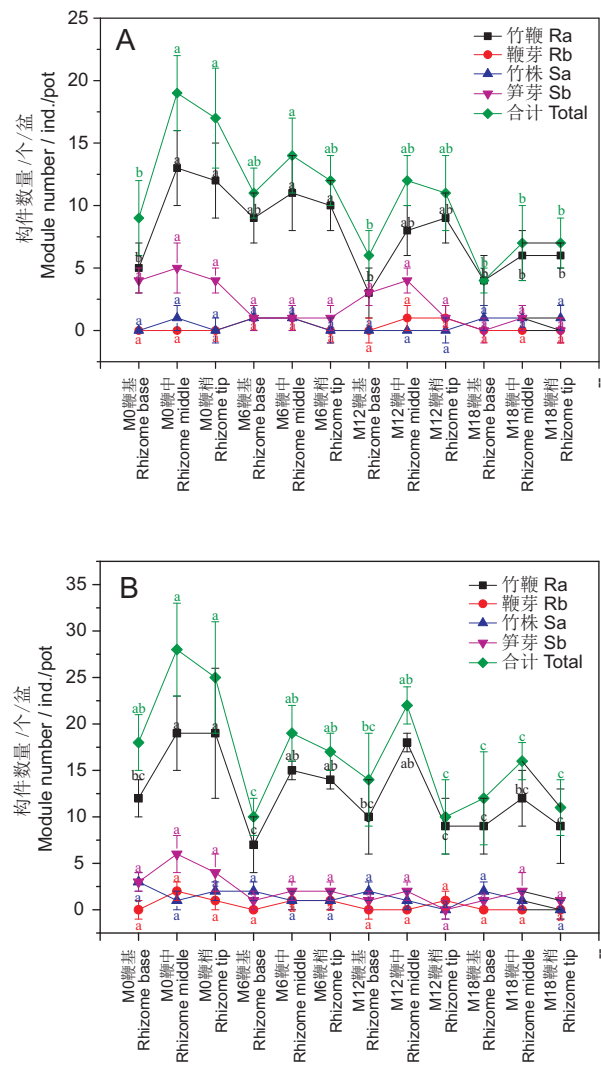
分枝级别 Branching grade	分枝部位 Branching site	分枝数量/ 个/盆 Branching number /ind. /pot							
		1 年生母竹 1- year- old mother bamboo				2 年生母竹 2- year- old mother bamboo			
		M0	M6	M12	M18	M0	M6	M12	M18
I	鞭基	1 ± 1 b	1 ± 1 a	1 ± 1 c	1 ± 1 a	1 ± 1 c	1 ± 1 b	2 ± 1 b	1 ± 1 b
	鞭中	2 ± 1 b	1 ± 1 a	1 ± 1 c	1 ± 1 a	2 ± 1 c	1 ± 1 b	1 ± 1 b	1 ± 0 b
	鞭梢	2 ± 1 b	2 ± 1 a	2 ± 1 c	2 ± 1 a	1 ± 1 c	2 ± 1 b	1 ± 1 b	2 ± 1 b
II	鞭基	4 ± 1 ab	3 ± 2 a	3 ± 1 bc	3 ± 1 a	3 ± 1 c	3 ± 1 ab	4 ± 2 ab	4 ± 1 ab
	鞭中	10 ± 3 a	4 ± 2 a	6 ± 1 a	5 ± 1 a	4 ± 2 c	5 ± 2 ab	9 ± 3 a	3 ± 1 b
	鞭梢	6 ± 2 ab	4 ± 2 a	6 ± 2 a	4 ± 1 a	1 ± 1 c	3 ± 1 ab	2 ± 1 b	2 ± 1 b
III	鞭基	3 ± 1 b	5 ± 2 a	2 ± 1 c	1 ± 1 a	8 ± 2 b	4 ± 1 ab	4 ± 1 ab	5 ± 1 ab
	鞭中	5 ± 1 ab	4 ± 2 a	5 ± 2 ab	1 ± 1 a	10 ± 4 ab	8 ± 3 a	6 ± 1 ab	8 ± 1 a
	鞭梢	7 ± 2 ab	4 ± 1 a	3 ± 1 bc	1 ± 1 a	7 ± 3 b	6 ± 1 ab	5 ± 2 ab	5 ± 1 ab
IV	鞭基	1 ± 1 b	0 ± 1 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	4 ± 2 c	2 ± 1 b	3 ± 1 b	3 ± 1 b
	鞭中	2 ± 1 b	1 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	12 ± 4 a	4 ± 1 ab	5 ± 1 ab	4 ± 1 ab
	鞭梢	2 ± 1 b	1 ± 1 a	0 ± 1 c	0 ± 0 a	14 ± 4 a	5 ± 2 ab	2 ± 1 b	3 ± 1 b
V	鞭基	0 ± 0 b	1 ± 1 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	2 ± 1 c	1 ± 1 b	1 ± 1 b	0 ± 0 b
	鞭中	0 ± 0 b	1 ± 1 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	1 ± 1 c	1 ± 1 b	1 ± 1 b	0 ± 0 b
	鞭梢	0 ± 0 b	1 ± 1 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	2 ± 1 c	2 ± 1 b	1 ± 1 b	0 ± 0 b
VI	鞭基	0 ± 0 b	2 ± 1 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 0 b	0 ± 0 b	0 ± 0 b
	鞭中	0 ± 0 b	2 ± 1 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 0 b	0 ± 1 b	0 ± 0 b
	鞭梢	0 ± 0 b	0 ± 0 a	0 ± 0 c	0 ± 0 a	0 ± 0 c	1 ± 1 b	0 ± 1 b	0 ± 0 b

鞭梢部位最多，且显著高于除第Ⅲ分枝级别鞭中分枝外的其他各处理 ($P < 0.05$)；M6 分枝主要分布于第Ⅲ、Ⅳ分枝级别的鞭中、鞭梢部位，相互间无显著差异；M12 分枝主要分布于第Ⅱ分枝级别的鞭中、第Ⅲ分枝级别的鞭中、鞭梢部位，相互间也无显著差异；而 M18 分枝则以第Ⅲ分枝级别的鞭中部位最多。总体而言，1 年生母竹盆栽苗地下茎

分枝以第Ⅱ分枝级别的鞭中、鞭梢部位数量为多，2 年生母竹地下茎分枝以第Ⅲ分枝级别的鞭中、鞭梢部位数量为多。随土壤遭受覆盖年限的增加，地下茎分枝数量偏向分布于较为靠前的分枝级别。

如图 4 所示，1、2 年生母竹盆栽苗笋芽、竹株、鞭芽分枝在竹鞭不同部位的分布数量基本都低于 5 个/盆；竹鞭分枝数量明显高于其他分枝，且

以鞭中为主，两种母竹盆栽苗竹鞭分枝数量峰值随土壤覆盖年限增加均呈减小趋势，其中 1 年生母竹 M18 处理显著低于 M0、M6($P < 0.05$)，2 年生母竹 M18 显著低于 M0($P < 0.05$)。两种母竹盆栽苗地下茎分枝均以鞭中分布为主，分布峰值随土壤覆盖年限增加也均呈降低趋势，其中 1 年生母竹盆栽苗 M18 显著低于 M0、M6($P < 0.05$)，2 年生母竹 M18 显著低于 M0、M6、M12($P < 0.05$)。



A: 1 年生母竹盆栽苗; B: 2 年生母竹盆栽苗。
A: Potted seedlings of 1-year-old mother bamboo; B: Potted seedlings of 2-year-old mother bamboo. $P < 0.05$.

图 4 不同盆栽苗竹子地下茎分枝总分布格局
Fig. 4 Total distribution patterns of bamboo rhizome branches with different potted seedlings

3 讨论

竹类植物根据地下茎的不同分为丛生竹、混生竹和散生竹 3 种类型^[14]。丛生竹主要依靠竹株秆

基着生的侧芽萌发分枝实现自身拓展，散生竹具有地下横向生长的竹鞭，主要依靠竹鞭着生的侧芽萌发分枝进行拓展，混生竹则兼具两者性状。雷竹作为散生竹的一种，主要通过地下根茎分枝和伸长，实现地上迅速传播分株。地下茎分枝的类型及分布位点在很大程度上决定了竹子分株系统的资源整合与分配方式^[15]，因此分枝结构在调控分株系统拓展生长与生理功能中起着至关重要的作用。本研究发现，在始于母竹的分株系统拓展过程中，雷竹盆栽苗地下茎侧芽以萌发为竹鞭分枝为主，而竹株分枝则相对较少，且不具节律性变化。这说明在母竹构建分株系统过程中，雷竹以扩大地下分枝为主，以扩大地上分枝为辅，充分体现了克隆植物趋利生长过程中的资源分配策略^[16]。由此推断，越小的分株系统地下分枝行为越强，随着分株系统体量增大，地上分枝行为可能才会提升到一定水平，以实现分株系统拓展效果的最大化。有研究表明，植物克隆构型容易因环境资源变化而发生相应的改变^[17]。本研究中，母竹采用不同覆盖竹林土壤进行盆栽后，竹苗表现出竹株秆基侧芽萌发不同分枝的现象，这是混生竹生长的基本性状。一般认为，竹子系统演化方向是由丛生竹向混生竹再向散生竹进行的^[18]，说明竹子分株系统的分枝生长性状因采用了覆盖土壤进行盆栽而出现了某种程度的退化。

张继涛等^[19]研究发现，无性系植物种群根茎不同部位分株着生数量越多者，对子株种群贡献率越大。本研究中，盆栽苗地下茎分枝主要分布于第 II、III、IV 分枝级别，且 2 年生母竹地下茎分枝级别与分枝数量普遍高于 1 年生母竹；1 年生母竹盆栽苗地下茎分枝主要以第 II 分枝级别的鞭中部位为多，2 年生母竹则以第 III 分枝级别的鞭中部位为多；不同覆盖年限土壤盆栽苗地下茎分枝数量也均以鞭中为多；地下茎分枝主要分布部位存在分枝级别的差异，但不存在土壤覆盖年限间的差异。这说明本试验观察周期内，在雷竹母竹盆栽苗分株系统构建过程中，从竹子年龄来讲，2 年生竹对分株系统拓展的贡献率较大；从分枝级别来讲，第 II、III 分枝级别对分株系统拓展的贡献率较大；从分枝部位来说，竹鞭中部着生的侧芽对分株系统拓展的贡献率较大。无性系植物随着营养生长的不断推进，其分枝数量和分布范围都会有所增加，且常以一定

方式和速度不断向外拓展其生长空间^[20],从而展现出克隆植物不同时间、不同空间、不同数量的分枝分布格局。因此,雷竹盆栽苗分株系统的地下茎分枝与空间拓展特征尚需持续观察。

土壤条件、气候因子、群落环境和生产方式等因素都会影响无性系植物地下茎克隆繁殖及其生长形态^[21, 22]。本研究发现,在竹苗地下茎不断分枝过程中,竹子分株系统对土壤生境的敏感度逐渐提高,并表现出分枝数量随土壤覆盖年限增加而逐渐减少的趋势,竹林土壤覆盖时间越久越不利于竹子地下茎分枝。同时,随土壤覆盖年限增加,盆栽苗地下茎分枝级别相对减少,分枝多偏向分布于较为靠前的分枝级别,盆栽苗分株系统拓展能力被弱化。克隆植物分株系统的再生和拓展能力因物种而异,并主要取决于环境条件^[23]。在干扰条件下,分株系统的生长,特别是小片段分株系统,对植物种群的动态有着深远的影响^[24]。杨小琴等^[25]研究发现,遮阴降低了千根草(*Euphorbia thymifolia* L.)的分枝强度和分枝密度,限制了基株拓展、资源捕获及无性分株能力,从而影响其盖度、密度及分生再生能力。Zhang 等^[26]研究认为,增加对克隆片段的干扰和减少水中的养分富集可以有效抑制一些漂浮克隆植物的分枝扩散。与此类似,竹林覆盖可能也构成了竹子分株系统分枝拓展的限制因子。

在竹子分株系统的不断拓展和种群构建过程中,营养繁殖持续进行,新的分枝不断产生,如很多克隆植物的生长特性一样,其生长不仅表现出分枝数量的增加和分株系统的增大^[27],还表现出分枝类型的差异化生长和分枝个体由小到大、从幼到老的生活史转变过程^[28]。竹类植物的生长性状由自身遗传特性所决定,但也容易受外界环境所影响^[29],故竹子分株系统的相关研究仍需深入探索。如不同分枝级别每条完整竹鞭上哪些部位的侧芽分别在什么时候萌发为笋芽、鞭芽分枝;这些笋芽、鞭芽分枝中又有哪些发生了退化,哪些分别生长发育为完整而健康的竹株、竹鞭分枝,这是不是竹子分株系统自疏作用的体现;同时还需要设计挖笋、砍竹、施肥、断鞭等处理,分别观察竹子分株系统遭受人为干扰后的分枝生长表现,从而深入探究竹子分株系统拓展与竹林种群构建和维持、竹林经营技术精准调控以及竹林生产力发掘的关系。

4 结论

雷竹母竹盆栽苗分株系统构建过程中,地下茎分枝主要来源于竹鞭着生的侧芽,且以萌发为竹鞭分枝为主,重点采取了扩大地下分枝的策略;竹苗因受到竹林覆盖的影响,表现出竹株秆基侧芽萌发不同分枝的现象,竹子生长性状出现退化。在本试验观察周期内,竹苗地下茎分枝主要分布于第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分枝级别;在地下茎分枝过程中,随分枝级别的增加,竹子分株系统对土壤生境的敏感度逐渐提高,表现出分枝数量随土壤覆盖年限增加而逐渐减少的趋势,竹林土壤覆盖时间越长越不利于地下茎分枝。随土壤覆盖年限增加,盆栽苗地下茎分枝级别相对减少,分枝多偏向分布于较为靠前的分枝级别,分株系统拓展能力被弱化,竹林覆盖干扰已然构成竹子分株系统分枝拓展的限制因子。不管是分枝级别还是分枝数量,2年生母竹盆栽苗均普遍高于1年生母竹,且地下茎分枝主要分布于鞭中,2年生竹与竹鞭中部着生侧芽的分枝行为对分株系统拓展的贡献率较大。由于竹子分株系统具有时空拓展性,其地下茎分枝生长特征尚需持续观察。

参考文献:

- [1] 王海霞,曾庆南,程平,况小宝,余林,等.雷竹10个种源(类型)引种试验初报[J].世界竹藤通讯,2018,16(3): 11-14.
Wang HX, Zeng QN, Cheng P, Kuang XB, Yu L, et al. Preliminary report on introduction trials of 10 cultivated forms (provenance) of *Phyllostachys violascens* [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2018, 16(3): 11-14.
- [2] 姜义龙,陈荣喜,张果,胡刚,谭林,等.金佛山方竹在黔中竹海森林公园不同类型林地上的造林效果[J].世界竹藤通讯,2021,19(6): 61-64.
Lou YL, Chen RX, Zhang G, Hu G, Tan L, et al. Afforestation effect of *Chimonobambusa utilis* at forestland of different types in bamboo forest park in central Guizhou province [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2021, 19(6): 61-64.
- [3] Gao G, Wu Z, Wen X, Zhang X, Zhong H, et al. Bud population characteristics of *Phyllostachys praecox* 'pre-vernalis' under different mulching cultivation periods [J]. *Bangl J Bot*, 2018, 47(4): 969-974.
- [4] 高贵宾,潘雁红,吴志庄,吴良如,钟浩,等.美丽箬竹盆栽苗地下茎侧芽萌发特征研究[J].植物科学学报,2016,34(3): 460-468.

Gao GB, Pan YH, Wu ZZ, Wu LR, Zhong H, et al. Lateral

- bud germination characteristics of bamboo rhizomes of *Indocalamus decorus* Q. H. Dai pot seedlings [J]. *Plant Science Journal*, 2016, 34(3): 460–468.
- [5] 胡添翼, 许婷婷, 魏强, 杨光耀, 于芬. 厚竹高生长过程中竹秆淀粉粒的变化规律[J]. *西北植物学报*, 2021, 41(11): 1843–1852.
- Hu TY, Xu TT, Wei Q, Yang GY, Yu F. Starch granule changes in bamboo shoots during the elongation growth of *Phyllostachys edulis* ‘Pachyloen’ [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, 41(11): 1843–1852.
- [6] 曾庆南, 余林, 王海霞, 陈小军. 笋期截梢对花叶唐竹株型的影响研究[J]. *南方林业科学*, 2020, 48(5): 52–56.
- Zeng QN, Yu L, Wang HX, Chen XJ. A study of the effect of bamboo shoot truncation on morphology of *Sinobambusa tootsik* f. *luteoalbostrata* [J]. *South China Forestry Science*, 2020, 48(5): 52–56.
- [7] 尹泽南, 董文渊, 郑静楠, 吴义远, 浦婵. 金佛山方竹无性系种群生长发育规律的研究[J]. *现代园艺*, 2019, 11: 32–34.
- Yin ZN, Dong WY, Zheng JN, Wu YY, Pu C. Study on the growth and development law of bamboo clones in *Chimonobambusa utilis* [J]. *Modern Horticulture*, 2019, 11: 32–34.
- [8] 余鸽, 龙风来, 刘建军, 马青青, 康永祥, 等. 不同年龄巴山木竹种群克隆结构[J]. *生态学报*, 2017, 37(14): 4743–4753.
- Yu G, Long FL, Liu JJ, Ma QQ, Kang YX, et al. Clonal structure of *Bashania fargesii* populations at different ages [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(14): 4743–4753.
- [9] Peng H, Ge D, Yuan G, Zou D, Jeppesen E. Effect of clonal fragmentation on the growth of *Vallisneria natans* (Lour.) Hara at contrasting nutrient and light conditions [J]. *Hydrobiologia*, 2021, 848(4): 903–912.
- [10] Qian Z, Zhuang S, Gui R, Tang L. Effect of soil aeration treatment on the physiological and biochemical characteristics of *Phyllostachys praecox* under the organic material mulching [J]. *Plant Soil*, 2020, 459(1): 357–369.
- [11] Zhang X, Zhong Z, Bian F, Yang C. Effects of composted bamboo residue amendments on soil microbial communities in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation [J]. *Appl Soil Ecol*, 2019, 136: 178–183.
- [12] 刘军, 任超, 胡秋涛, 张燕萍, 林新春. 早竹1年生与2年生母竹造林效果比较分析[J]. *世界竹藤通讯*, 2017, 15(6): 34–36.
- Liu J, Ren C, Hu QT, Zhang YP, Lin XC. Comparison of *Phyllostachys violascens* afforestation effect between one-year and two-year old mother bamboo [J]. *World Bamboo and Rattan*, 2017, 15(6): 34–36.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146–195.
- [14] 周芳纯. 竹林培育和利用[M]. 南京: 南京大学出版社, 1998: 21.
- [15] Shi J, Mao S, Wang L, Ye X, Wu J, et al. Clonal integration driven by source-sink relationships is constrained by rhizome branching architecture in a running bamboo species (*Phyllostachys glauca*): a 15N assessment in the field [J]. *Forest Ecol Manag*, 2021, 481: 118754.
- [16] Chen D, Ali A, Yong XH, Lin CG, Niu XH, et al. A multi-species comparison of selective placement patterns of ramets in invasive alien and native clonal plants to light, soil nutrient and water heterogeneity [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 657: 1568–1577.
- [17] Wang MZ, Li HL, Liu CX, Dong BC, Yu FH. Adaptive plasticity in response to light and nutrient availability in the clonal plant *Duchesnea indica* [J/OL]. *J Plant Ecol*, 2021, rtab116, <https://doi.org/10.1093/jpe/rtab116>.
- [18] 顾娟娇, 张参参, 汪金松, 施雪文, 夏瑞雪, 等. 中国竹类植物基本形态学功能性状的比较[J]. *生物多样性*, 2019, 27(6): 585–594.
- Gu HJ, Zhang CC, Wang JS, Shi XW, Xia RX, et al. Variation in basic morphological and functional traits of Chinese bamboo [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27(6): 585–594.
- [19] 张继涛, 李秀军, 田尚衣, 陈国双. 羊草克隆种群的螺旋扩张规律[J]. *生态学报*, 2015, 35(8): 2509–2515.
- Zhang JT, Li XJ, Tian SY, Chen GS. The spiral elongation rule in clonal population of *Leymus chinensis* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(8): 2509–2515.
- [20] Peng X, Li H, Yang Y, Zhi H, Li C, et al. Vegetative propagation capacity of invasive alligator weed through small stolon fragments under different treatments [J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 1–10.
- [21] Wang T, Shao R, Zhu P, Wang R. The reproductive strategy of the clonal helophyte *Leersia oryzoides* (L.) Swartz. in response to variable submergence conditions and different harvest times [J]. *Evol Ecol*, 2021, 35(1): 27–40.
- [22] Zhang LM, Lu HZ, Alpert P, Song L, Liu W, et al. Higher benefits of clonal integration in rhizome-derived than in frond-derived ramets of the tropical fern *Bolbitis heteroclita* [J]. *Flora*, 2019, 257: 151415.
- [23] Zhang LM, Alpert P, Si C, Si C, Yu FH. Interactive effects of fragment size, nutrients, and interspecific competition on growth of the floating, clonal plant *Salvinia natans* [J]. *Aquat Bot*, 2019, 153: 81–87.
- [24] Zhou J, Li HL, Alpert P, Zhang MX, Yu FH. Fragmentation of the invasive, clonal plant *Alternanthera philoxeroides* decreases its growth but not its competitive effect [J]. *Flora*, 2017, 228: 17–23.

[25] 杨小琴, 何林江, 刘金平, 兰芳, 马勇. 遮阴对干根草构件性状、克隆生长及繁殖策略的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(5): 918–926.
Yang XQ, He LJ, Liu JP, Lan F, Ma Y. Effects of shading on phenotypic plasticity, clonal characteristics, and reproduction index of *Euphorbia thymifolia* [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(5): 918–926.

[26] Zhang LM, Yao SM, Jin Y, Song MH, Yu FH. Effects of clonal fragmentation and nutrient availability on the competitive ability of the floating plant *Salvinia natans*[J]. *Folia Geobot*, 2020, 55: 63–71.

[27] Wang J, Abdullah I, Xu T, Zhu W, Wang L. Effects of mowing disturbance and competition on spatial expansion of the clonal plant *Leymus chinensis* into saline-alkali soil patches[J]. *Environ Exp Bot*, 2019, 168: 103890.

[28] Jiang K, Chen XY, Shi MM, Yu S. Small clones dominate a population of the short-lived perennial seagrass *Zostera japonica*[J]. *Aquat Bot*, 2019, 164: 103229.

[29] 张盟, 李磊, 柳佳莹, 荣俊冬, 陈礼光, 等. 不同林冠环境下竹类植物表型可塑性研究进展[J]. 世界林业研究, 2022, 35(1): 21–25.
Zhang M, Li L, Liu JY, Rong JD, Chen LG, *et al.* Research progress on phenotypic plasticity of bamboo in different forest canopy conditions [J]. *World Forestry Research*, 2022, 35(1): 21–25.

(责任编辑：李惠英)