

# 屏边空竹四季出笋动态及其与气象因子相关性分析

李露双<sup>1,2</sup>, 陈凌娜<sup>1</sup>, 李斌<sup>1</sup>, 夏体泽<sup>1</sup>, 窦沛彤<sup>1</sup>, 杨汉奇<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650233; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210018)

**摘要:**以云南大围山自然保护区内的屏边空竹为研究对象,观测定点竹丛的周年出笋、退笋情况,将出笋量与其生境主要气象因子(气温、降雨量,土壤温度、土壤湿度)数据分别进行逐年错位分析,探讨气象因子对出笋量影响的滞后效应。结果表明:1)屏边空竹笋期为7月下旬至翌年6月下旬,出笋盛期为8—11月;2)出笋量与出笋前60 d内的气温、土壤温度、降雨量呈显著正相关( $P<0.05$ ),与出笋前30~60 d内的土壤湿度呈极显著正相关( $P<0.01$ );3)不同气象因子对各季节出笋的影响滞后期为15~60 d不等。夏季出笋量与降雨量、土壤湿度的相关性较高,秋、冬季节出笋量与气温、土壤湿度的相关性较高。由此可知,屏边空竹具有四季出笋的特性,且出笋量与气象因子密切相关。夏季出笋主要受降雨和土壤湿度的影响,而秋、冬季节出笋主要受气温和土壤湿度的影响。

**关键词:**屏边空竹;出笋;气象因子;相关性分析

中图分类号:S795.02      文献标志码:A      文章编号:1001-7461(2021)04-0066-07

## Seasonal Variations of Bamboo Shooting and Its Correlation with Meteorological Factors on *Cephalostachyum pingbianense*

LI Lu-shuang<sup>1,2</sup>, CHEN Ling-na<sup>1</sup>, LI Bin<sup>1</sup>, XIA Ti-ze<sup>1</sup>, DOU Pei-tong<sup>1</sup>, YANG Han-qi<sup>1\*</sup>

(1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650233, Yunnan, China;  
2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210018, Jiangsu, China)

**Abstract:** The bamboo species of *Cephalostachyum pingbianense* occurring in Daweishan National Nature Reserve was taken as the research object. The data of annual emerging shoot number, degraded shoot number were collected from marked bamboo clusters. The cross-correlation analysis was conducted to estimate the time lag between emerging shoot number and climate factors, such as air temperature, rainfall, soil temperature and soil humidity. The results showed that 1) the shooting duration of *C. pingbianense* was from late July to June of the next year, and the prosperous stage of bamboo shooting was from August to November. 2) The emerging bamboo shoot number was positively correlated with air temperature, soil temperature and rainfall within 60 days before bamboo shooting ( $P<0.05$ ), and showed a significantly positive correlation with soil humidity within 30 to 60 days before bamboo shooting ( $P<0.01$ ). 3) The lag time of different meteorological factor effect on the amount of bamboo shoots in each season ranged from 15 to 60 days, and the emerging shoot number had a stronger correlation with rainfall and soil humidity than those with air temperature and soil temperature in summer, while it was opposite in autumn and winter. It could thus be seen that *C. pingbianense* had the characteristics of producing bamboo shoots all the year round and the amount of bamboo shoots was closely related to meteorological factors. Shoot emergence in summer were mainly affected by the hysteresis effect of rainfall and soil moisture, while it was

收稿日期:2020-08-26    修回日期:2020-10-17

基金项目:国家自然科学基金(31870574)。

作者简介:李露双,博士在读。研究方向:林木遗传育种。E-mail:lilushuang@126.com

\* 通信作者:杨汉奇,研究员。研究方向:林木遗传育种。E-mail:yanghanqikm@aliyun.com

more obviously affected by the hysteresis effect of air temperature and soil temperature in autumn and winter.

**Key words:** *Cephalostachyum pingbianense*; bamboo shooting; meteorological factor; correlation analysis

竹类植物的出笋期是其生长发育周期的一个重要阶段<sup>[1-2]</sup>,了解竹子出笋的生物学特性对竹林生产和管理工作有重要的指导意义。近年来有学者对竹类植物 20 多个属 50 多个竹种的出笋特性进行了研究,发现各类竹子的出笋季节及出笋持续时间有较大的差异<sup>[3-6]</sup>。竹子的出笋时间及生长规律除了受自身遗传因素的调控,还明显受环境条件的影响。研究表明降水、温度对竹子的出笋数量、质量及新竹的形态有明显影响<sup>[7-8]</sup>,人为提高土壤温度可以有效提高出笋率,调控笋期<sup>[9-10]</sup>,而不同年份的降雨量对竹笋的数量、质量和形态影响有明显差异<sup>[11]</sup>。

气候条件除了影响植物当时的生长发育外,还存在一定时间的滞后影响。研究发现,气温和降水对浙江大部分地区植被生长的影响存在约 50 d 的滞后期<sup>[12]</sup>,高原草原植被在生长盛期对降水变化的响应存在 1~3 个月的滞后期<sup>[13]</sup>,不同海拔树木的生长对气温和降水也存在一定的滞后响应<sup>[14]</sup>。竹笋出土前会经历一段时间的地下生长,鉴于丛生竹从秆基上的笋目开始萌发到笋体破土而出一般需要 1~2 个月,而散生竹从笋芽分化到竹笋出土需历时 3~4 月之久<sup>[15]</sup>,气候因子对于出笋量的影响可能存在一定的滞后性。有研究显示雷竹笋的产量与上年度 9 月、10 月的气温呈显著相关关系<sup>[7]</sup>,而毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.)大、小年的出笋量分别受上年度春夏之交和夏末秋初的降雨量的显著影响<sup>[16]</sup>。

屏边空竹(*Cephalostachyum pingbianense*)隶属于竹亚科空竹属,是新近发表的中小型丛生竹<sup>[17-18]</sup>,自然分布于云南省东南部红河、文山等地的湿润性常绿阔叶林下,具有终年发笋的特性,且笋质优良,是当地主要的采笋竹<sup>[19]</sup>。屏边空竹是目前已知在自然条件下唯一能够四季产笋的竹种<sup>[20]</sup>,这一特性对于研究竹类植物笋芽萌发特性的多样性及完善我国及云南省周年鲜笋供应的竹种配置有重要价值。但目前关于屏边空竹出笋生物学特性的研究较少,仅有学者对屏边空竹 1 a 内出笋成竹的生长发育情况做了初步研究<sup>[21]</sup>,而关于出笋量与气象因子的相关性研究尚未见报道。本研究以云南大围山的屏边空竹为研究对象,调查标记样丛不同季节内的发笋、退笋情况,统计生境气温、降雨量数据,并对其土壤温湿度进行观测记录,旨在进一步明确屏边空竹出笋规律,并探讨出笋量与主要气象因子之间的相关性,为全面认识竹子笋芽萌发的生态机制提供

科学资料,同时也为全面有效地保护、培育和推广该种质资源奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

试验地位于云南省红河州屏边县的大围山国家级自然保护区内(22°54'N,103°42'E),气候类型为热带季风气候。受太平洋东南暖湿气流的影响,保护区内温暖高湿,水热条件优越。雨季(5—10月)降水占全年的 80%,旱季(11月至次年4月)降水较少,但旱季多雾或多“雾雨”,使保护区内终年湿润,相对湿度达 85%以上。年均无霜期 334 d 以上,年均日照时数 1 555 h,年平均气温 15.2~22.9℃,年降水量 1 262~2 200 mm<sup>[22]</sup>,土壤类型为黄壤。所调查屏边空竹竹林为 20 年生实生林,立竹度 34 600 株·hm<sup>-2</sup>,竹丛度 2 200 丛·hm<sup>-2</sup>,竹丛径 0.8~1.3 m,郁闭度 0.75。竹林上层乔木以壳斗科(*Fagaceae*)石栎属(*Lithocarpus*)树种为主,如球果石栎(*Lithocarpus sphaerocarpus*),屏边石栎(*Lithocarpus laetus*)等。

### 1.2 研究方法

1.2.1 出笋物候观测 在屏边空竹林分布区内随机选择 30 丛竹丛为样丛(分为 3 组),逐丛挂牌标记进行定点观测。调查时间为 2019 年 3 月至 2020 年 3 月,每 15 d 观察 1 次,记录出笋(以笋尖露出地面 1~2 cm 为标准)及退笋情况。

1.2.2 生境气象因子数据来源 屏边空竹根系分布较浅,大多分布在 10~20 cm 的土层中。利用能够连续自动观测记录的土壤温湿度仪(BL121TW,雨根,北京),对竹丛覆盖区林地进行土壤温度和湿度的连续观测(此处土壤湿度指的是土壤体积含水量,即单位土壤总容积中水分所占的容积分数),监测土壤深度为 15 cm。数据采集间隔时间为 0.5 h,存储时间 1 h。观测时间为 2019 年 3 月至 2020 年 3 月。

日均气温、降雨量资料来源于国家气象科学数据中心(<http://data.cma.cn/data/cdcindex/cid/6d1b5efbdcbf9a58.html>)屏边国家基本气象站地面气候资料数据集,统计时间为 2019 年 3 月至 2020 年 3 月。

1.2.3 数据处理 采用 Excel 2019 进行数据整合处理,SPSS 24.0 进行各因素间差异分析、相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 屏边空竹出笋习性

2.1.1 出笋和退笋的时间及数量规律 屏边空竹

发笋历期较长,1 a 中仅在 7 月上旬未出现新笋,呈现出四季发笋的生物学习性(图 1)。因丛生竹的笋目多在夏季开始萌动<sup>[15]</sup>,推测屏边空竹的笋期为 7 月下旬至次年 6 月下旬。竹林的出笋量从 7 月下旬开始大幅度增加,在 8、9、10、11 月保持着较高的发笋率,后逐渐下降。以 10% 的出笋率为标准<sup>[6,23]</sup>,将屏边空竹笋期划分为初期、盛期和末期 3 个时期。7 月下旬为出笋初期,出笋数占总出笋量的 8.57%;8—11 月为出笋盛期,出笋数占总体的 58.6%,峰值出现在 9 月上旬;12 月至次年 6 月为出笋末期,出笋占比 35.58%。初期出笋数量虽少,但营养充足,退笋较少;盛期退笋率随着出笋量的增加逐渐升高;末期持续时间较长,但出笋率随时间逐渐降低,且出笋后大多退笋,成竹率较低(表 1)。

表 1 屏边空竹出笋期各阶段划分

Table 1 The shooting stages of <i>C. pingbianense</i>					
月份	出笋数 /个	出笋率 /%	退笋数 /个	退笋率 /%	笋期划分
7	35	5.84	3	8.57	初期
8	92	15.36	16	17.39	
9	101	16.86	21	20.79	
10	90	15.03	28	31.11	盛期
11	68	11.35	29	42.65	
12	52	8.68	29	55.77	
1	44	7.35	25	56.82	末期
2	33	5.51	20	60.61	
3	31	5.18	24	77.42	
4	27	4.51	19	70.37	
5	18	3.01	16	88.89	
6	8	1.34	7	87.5	

2.1.2 出笋的季节性差异 按照气象划分法,结合屏边当地气候划分四季,即春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12 至次年 2 月)。屏边空竹的四季出笋量分别为 76(12.69%),135(22.54%),259(43.24%),129(21.53%),秋季为出笋高峰期。对不同季节出笋量进行显著性差异分析,结果表明,夏季、冬季出笋量无显著差异,秋季出笋量极显著高于其他季节,春季出笋量最少,且与其他季节差异达到极显著水平(图 2)。

2.2 屏边空竹生境环境因子变化规律

统计 2019 年 3 月至 2020 年 3 月屏边国家基本气象站日平均气温、降水资料可知,屏边全年气温日均值均在 10℃ 以上,最低值出现在 1 月中旬(13.5℃),最高值出现在 6 月中旬(25.4℃)。15 cm 深度的土壤温度与气温变化趋势基本一致,但冬夏两季的土壤温度变化较为缓和,最低值为 1 月中旬的 9.47℃,最高值为七月的 17.8℃(图 3a)。全年降水过程主要集中在 5—9 月,降水最少的月份为 1

月(22.26 mm),最多的月份为 7 月(215.74 mm),干湿季节分明。土壤湿度的年度变化主要受降水量的影响,但其变化趋势较为缓慢平滑,最大值出现在 7 月上旬,为 41.36%;最小值出现在 1 月下旬,为 33.26%(图 3b)。

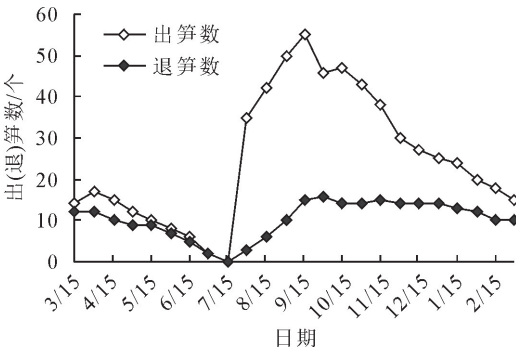
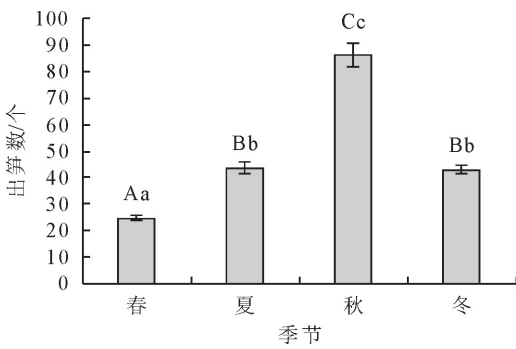


图 1 屏边空竹出笋及退笋年度变化规律

Fig.1 Annual variation of emerging and degraded shoots in *C. pingbianense*



注:不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平上差异显著,不同大写字母表示在  $P<0.01$  水平上差异显著。

图 2 不同季节出笋量显著性差异分析

Fig.2 Significant analysis of bamboo shooting in each season

2.3 出笋量与气象因子的相关性分析

2.3.1 出笋量与气象因子的滞后性相关分析 为研究气象因子对屏边空竹出笋量的影响是否存在滞后效应,按照观测时间顺序,建立屏边空竹出笋数与对应的生境气温、土壤温度、降雨量、土壤湿度数据列,将出笋量分别与气温、降雨量、土壤温度、土壤湿度逐次按 15 d 向前进行错位移动,分析错位后数据的相关性(考虑到出笋后期导致出笋数量骤减的主要因素是营养供应不足,故 2 月后出笋数据不在计算范围之内)。结果显示出笋量与近 60 d 的气温、土壤温度、降雨量均有极显著性相关关系,相关系数最大时所对应的错位时间分别为 15、60 d 和 60 d;出笋量与土壤湿度在短时间内无明显相关性,但与出笋前 30 d 至 60 d 的数据表现为极显著相关关系,表明气象因子对出笋量的影响可能存在一定的滞后性(表 2)。

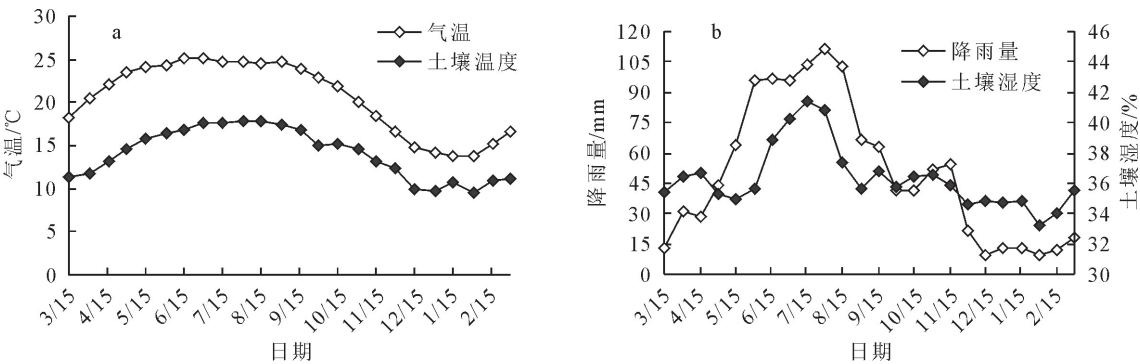


图 3 屏边空竹生境气象因子年变化规律

Fig. 3 Annual variation of habitat meteorological factors of *C. pingbianense*

表 2 出笋量与气象因子的滞后性相关分析

Table 2 The lag analysis of meteorological factors and shoot yield

错位移动时间	0 d	15 d	30 d	45 d	60 d
气温	0.868 **	0.899 **	0.887 **	0.868 **	0.864 **
土壤温度	0.838 **	0.853 **	0.871 **	0.894 **	0.933 **
降雨量	0.634 *	0.761 **	0.824 **	0.866 **	0.889 **
土壤湿度	0.328	0.501	0.698 **	0.798 **	0.697 **

注: \* 表示在  $P<0.05$  水平相关关系显著, \*\* 表示在  $P<0.01$  水平相关关系显著。

2.3.2 出笋量与气象因子的回归分析 基于出笋量与气象因子的滞后性相关分析结果,以出笋前 15 d、45 d 的土壤湿度及前 60 d 的土壤温度和降雨量数据为自变量,出笋数量为因变量,采用多元逐步回归分析方法进行多元回归分析计算,结果显示仅有土壤温度与出笋数据表现出显著相关性,其他 3 个

变量被剔除,表明各自变量间非相互独立,多元回归中存在较强的多重共线性现象。对出笋量与各气象因子进行一元回归分析,并进行回归方程显著性检验,发现回归分析结果在  $P<0.01$  水平上均以多项式模型拟合效果最佳(图 4)。

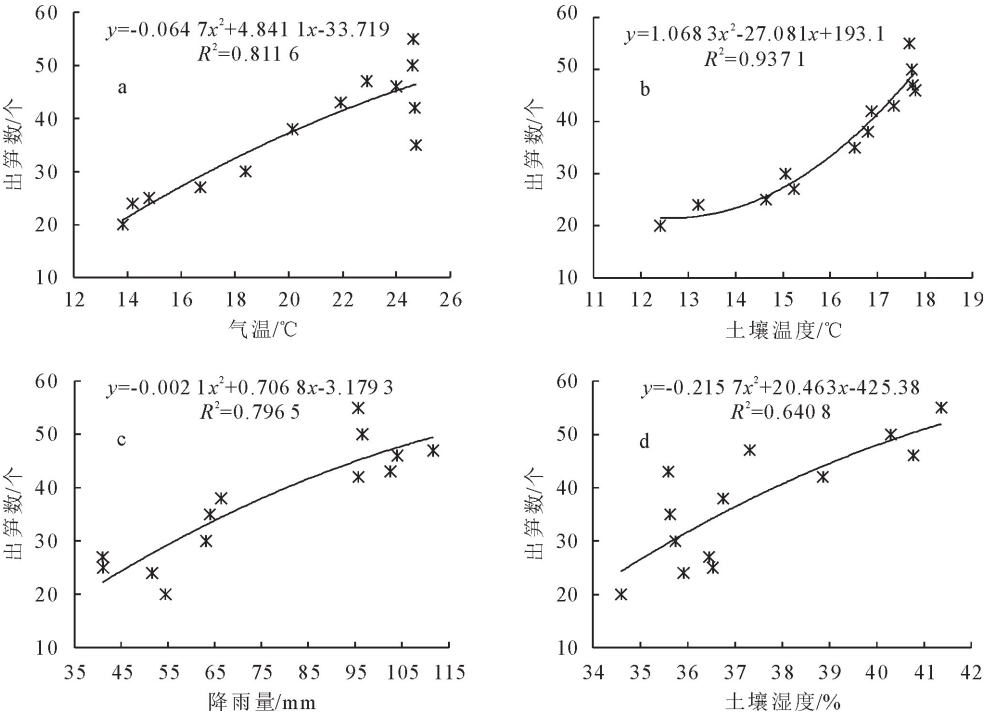


图 4 出笋量与气象因子回归方程拟合

Fig. 4 The regression curve of shoot yield and meteorological factors



2.3.3 季节出笋量与气象因子的滞后性相关分析

将季节出笋量分别与各气象因子逐行按 15 d 向前进行错位移动,分析气象因子对各季节出笋影响的滞后性,结果表明气象因子对不同季节出笋量影响的滞后时间有较大差异。夏季出笋量与土壤温度、降雨量、土壤湿度相关系数达最大值时对应的时滞分别为 30、60 d 和 30 d,与气温相关性不显著;秋季出笋量与出笋前 60 d 内的气温、土壤温度显著相关,与出笋前 15 d 的气温、土壤温度相关性最强;冬季出笋量与气温、土壤湿度相关系数达最大值时对应

应的时滞为 60 d,与降雨量、土壤湿度相关系数达最大值时对应的时滞为 45 d。春季出笋量与各气象因子表现出无相关或负相关关系。比较各气象因子的不同滞后时间与出笋量之间的相关系数,发现夏季出笋量与降雨量、土壤湿度的相关系数最大值均大于土壤温度,而秋、冬季节出笋量与气温、土壤温度的相关系数最大值均大于降雨量、土壤湿度,表明夏季出笋量受降雨量和土壤湿度的影响更大,而秋冬季节的出笋量受气温、土壤温度的影响更为明显(表 3)。

表 3 季节出笋量与气象因子的滞后性相关分析

Table 3 The lag analysis of meteorological factorsand shoot yield in season

季节	气象因子	0 d	15 d	30 d	45 d	60 d
春	气温	−0.733	−0.832 *	−0.879 *	−0.885 *	<b>−0.950</b> **
	土壤温度	−0.910 *	<b>−0.950</b> **	−0.904 *	−0.709	−0.899 *
	降雨量	<b>−0.910</b> *	−0.865 *	−0.789	−0.807	−0.480
	土壤湿度	0.369	−0.312	−0.767	<b>−0.961</b> **	−0.549
夏	气温	−0.747	−0.487	0.256	0.745	0.754
	土壤温度	0.152	0.632	<b>0.852</b> *	0.788 *	0.812 *
	降雨量	0.828 *	0.609	0.655	0.871 *	<b>0.945</b> **
	土壤湿度	0.190	0.819 *	<b>0.988</b> **	0.813 *	0.336
秋	气温	0.938 **	<b>0.963</b> **	0.940 **	0.933 **	0.894 *
	土壤温度	0.906 *	<b>0.915</b> *	0.881 *	0.882 *	0.884 *
	降雨量	0.246	0.760	0.860 *	<b>0.875</b> *	0.754
	土壤湿度	−0.326	0.291	0.663	0.759	0.740
冬	气温	−0.647	0.454	0.876 *	0.948 **	<b>0.976</b> **
	土壤温度	−0.627	0.259	0.752	0.860 *	<b>0.966</b> **
	降雨量	0.550	0.690	0.825 *	<b>0.869</b> *	0.691
	土壤湿度	0.629	0.795	0.708	<b>0.902</b> *	0.759

3 结论与讨论

3.1 讨论

3.1.1 屏边空竹出笋、退笋规律 丛生竹一般于夏季出笋长竹,与自然分布区的雨季同步<sup>[24]</sup>,出笋时间从 35~240 d 不等,但基本在 11 月上旬之前结束笋期<sup>[25]</sup>,而屏边空竹笋期从 7 月下旬开始直至次年的 6 月,在冬季仍然保持着较高的出笋率,除了与竹种本身的生物学特性相关之外,可能与屏边空竹特殊的生境气候因子有关。屏边空竹退笋率随着笋期的推移逐渐升高,至出笋末期 6 月,所出新笋基本全部衰退,这一现象在黄秆乌哺鸡竹(*Phyllostachys vivax*)<sup>[23]</sup>、葆竹(*Phyllostachys nidularia*)<sup>[26]</sup>等竹种中均有体现,推测主要原因为母竹营养供应不足。由于丛生竹竹根重叠集中,对矿物质的吸收和营养物质的贮存有一定的限制作用,出笋初期和盛期幼笋的萌发和生长消耗了母竹大量的养分,导致后期营养供应不足引起大量退笋<sup>[15]</sup>。

竹子出笋受竹种、气候、立地条件、病虫害、人为

干扰等多种因素的影响,即使是同一竹种,在不同的年份,由于物候的差异,发笋的具体情况也不尽相同<sup>[9,27]</sup>。如小蓬竹(*Drepanostachyum luodianense*)的出笋持续时间在不同年份的调查结果表现出 35 d 和 65 d 的差异,出笋盛期的划分时间也有所变化<sup>[28-29]</sup>。本研究发现屏边空竹的发笋历期为 7 月至次年 6 月,相比前人研究结果笋期有所延长<sup>[21]</sup>,可能是调查期内物候差异所致。

3.1.2 气象因子对屏边空竹出笋的影响 屏边空竹分布区气温和降水量显著影响 15 cm 深度土壤的温湿度变化,年变化趋势基本一致,说明生境浅层土壤对气温和降水的响应无明显滞后性。研究表明,降水、温度和竹林生长状态是影响竹笋地下生长的主要因素,孕笋期间降雨量及其分配显著影响出笋的数量<sup>[15]</sup>。屏边空竹分布区内终年湿润,使得土壤含水量长时间稳定在竹笋形成所需水平之上,保证了孕笋期水分的供给。另外,笋芽的分化发育与温度特别是土壤温度关系密切。春季的低温抑制了毛竹笋芽的分化和发育,而雷竹(*Phyllostachys viola-*

scens)在各土层平均温度持续 10 d 在 8.5℃ 以上条件下才开始破土出笋<sup>[30]</sup>。屏边空竹分布区最低气温≥10℃,土壤温度≥9℃,冬无酷暑,夏无严寒,为笋芽的分化和萌发提供了十分有利的温度条件,可能是屏边空竹能够长时间出笋的重要因素之一。

气候变化对植物生长的影响往往产生滞后效应。本研究发现,气象因子显著影响屏边空竹出笋数量,且不同气象因子影响的滞后期不同。气温对出笋影响的滞后期较短,说明屏边空竹对气温变化反应敏感,出笋对气温的直接依赖性较强。降雨量对出笋影响的滞后时间长于土壤湿度,推测是由于竹子生长对水分的需求主要来自于土壤水分,而降水是土壤水分得到补充的重要来源,土壤湿度对降水的响应本身存在一定的滞后性<sup>[31]</sup>。不同季节出笋量受气象因子影响的滞后时间和程度不同。夏季出笋主要受到降雨量和土壤湿度的影响,可能是由于夏季日均气温较高,能够满足笋芽萌发生长的需求,因而出笋更依赖于降雨量的变化。而在秋冬季节,气温和土壤温度相对较低,竹子笋芽形成到出笋所需达到的积温成为出笋主要的限制因子。春季出笋量与气候因子不相关或呈负相关关系,与毛竹春季出笋伴随着温度的升高有所不同,推测是由于春季处于屏边空竹出笋末期,导致出笋数量骤减的主要因素是母竹营养供应不足,气象因子并非为出笋的主要限制因素。有研究表明,雷竹的出笋量受出笋前 10 d 的气温的显著影响<sup>[32]</sup>,气温、10 cm 土壤温度、20cm 土壤温度、相对湿度等气象因子对绿竹的竹笋产量的影响存在 5~10 d 的滞后时间<sup>[33]</sup>,本研究发现气象因子对出笋量影响的时滞时间为 15~60 d 不等,滞后时间较长,可能是屏边空竹相比其他竹种生长周期更长的原因所致<sup>[21]</sup>。植物物候期及其变化受多个环境因子的综合影响<sup>[34]</sup>,本研究所讨论内容仅为一时一地的初步探索,今后还需继续进行长期观测研究,进一步全面分析屏边空竹的出笋规律及其与气象因子的相关关系。

3.2 结论

屏边空竹具有四季出笋的特性,出笋期为 7 月下旬至翌年 6 月下旬,秋季为出笋高峰期。退笋率随着时间的推移逐渐升高,在出笋末期达到最大值。屏边空竹生境 15 cm 深度土壤的温度和湿度主要受气温和降雨量的影响,年变化趋势基本一致。气象因子显著影响屏边空竹出笋数量,且影响有一定的滞后性。不同季节出笋量受气象因子影响的滞后时间和程度不同,夏季出笋主要受到降雨量和土壤湿度的影响,而秋、冬季节出笋受气温、土壤温度影响更为明显。

参考文献:

[1] CHRISTIAN A L,KNOTT KK,VANCE C K,*et al.* Nutrient and mineral composition during shoot growth in seven species of *Phyllostachys* and *Pseudosasa* bamboo consumed by giant panda[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2015,99(6):1172-1183.

[2] LI L,CHENG Z C,MA Y J,*et al.* The association of hormone signalling genes, transcription and changes in shoot anatomy during Moso bamboo growth[J]. Plant Biotechnology Journal, 2018,16(1):72-85.

[3] 陈松河. 匍匐镰序竹和花叶唐竹生物学特性初报[J]. 西北林学院学报,2009,24(6):35-38.

CHEN S H. Preliminary studies on the biological characteristics of *Drepanostachyum stoloniforme* and *Sinobambusa tootsik* f. *luteolo-albo-striata* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(6): 35-38. (in Chinese)

[4] 陈阿丽,赵婉琪,阮羽清,等. 厚竹出退笋规律及退笋过程中营养成分的变化[J]. 林业科学,2019,55(12):32-40.

CHEN A L,ZHAO W Q,RUAN Y Q,*et al.* Pattern of emergence and degradation of *Phyllostachys edulis* ‘pachyloeni’ shoot and the changes of nutrient composition during degradation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(12): 32-40. (in Chinese)

[5] 刘广路,范少辉,蔡春菊,等. 2 种大径丛生竹林结构与生长特征[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):83-87.

LIU G L,FAN S H,CAI C J,*et al.* Stand structure and growth characteristics of *Bambusa pervariabilis* × *dendrocalamopsis daii* and *B. rigida* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(4): 83-87. (in Chinese)

[6] 何奇江,童晓青,叶华琳,等. 辣韭矢竹的出笋及幼竹生长节律[J]. 林业科学,2007,43(6):143-145.

HE Q J,TONG X Q,YE H L,*et al.* Shooting and growth rhythm of *Pseudosasa japonica* var. *tsutsumiana* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(6): 143-145. (in Chinese)

[7] 周菊敏,邵香君,李绍进,等. 气温变化对浙江临安区雷竹笋产量的影响研究[J]. 世界竹藤通讯,2019,17(1):11-14.

[8] 李应,陈双林,李迎春,等. 气候因子对竹子生长的影响研究综述[J]. 竹子研究汇刊,2011,30(3):9-12,17.

LI Y,CHEN S L,LI Y C,*et al.* Research review in the effects of climate factors on bamboo growth[J]. Journal of Bamboo Research, 2011, 30(3): 9-12, 17. (in Chinese)

[9] 钟远标,江雪,楼崇. 竹类植物生长规律研究进展[J]. 世界竹藤通讯,2014,12(3):35-44.

[10] 高贵宾,钟浩,田新立,等. 不同覆盖雷竹林出笋规律及其与温度的相关性[J]. 四川农业大学学报,2015,33(3):270-274.

GAO G B,ZHONG H,TIAN X L,*et al.* Shooting law and its correlation with temperature of *Phyllostachys praecox* cv. *prevernalis* in different mulching cultivation periods[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2015, 33(3): 270-274. (in Chinese)

[11] 朱会芸. 不同年份降雨量对毛竹林冬笋生长与经营效益影响[J]. 林业资源管理,2008(3):90-92.

ZHU H Y. Study on the influence of rainfall in late august

and winter in different years on the bamboo shoot growth and production benefit[J]. Forest Resources Management, 2008 (3):90-92. (in Chinese)

[12] 彭代亮,黄敬峰,王秀珍. 基于 MODIS-EVI 区域植被季节变化与气象因子的关系[J]. 应用生态学报,2007,18(5):983-989.

PENG D L, HUANG J F, WANG X Z. Correlation analysis of regional vegetation seasonal fluctuation and climate factors based on MODIS-EVI[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(5): 983-989. (in Chinese)

[13] 神祥金,周道玮,李飞,等. 中国草原区植被变化及其对气候变化的响应[J]. 地理科学,2015,35(5):622-629.

[14] 陈力,尹云鹤,赵东升,等. 长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异[J]. 生态学报,2014,34(6):1568-1574.

CHEN L, YIN Y H, ZHAO D S, *et al.* Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1568-1574.

[15] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002: 85-92.

[16] 周文伟. 降水对毛竹林生长的影响分析[J]. 竹子研究汇刊, 1991, 9(2): 33-39.

ZHOU W W. An analysis of the influence of precipitation on the growth of bamboo forest [J]. Journal of Bamboo Research, 1991, 9(2): 33-39. (in Chinese)

[17] 杨汉奇,李德铎. 中国竹亚科空竹属的整理[J]. 植物分类与资源学报,2015,37(5):546-550.

YANG H Q, LI D Z. Revision on *Cephalostachyum* Munro (*Poaceae*; *Bambusoideae*) in China[J]. Plant Diversity And Resources, 2015, 37(5): 546-550. (in Chinese)

[18] YANG H Q, SUN M S, MAO W, *et al.* *Cephalostachyum pingbianense* (*Poaceae*; *Bambusoideae*), comb. Nova [J]. Annales Botanici Fennici, 2008, 45(5): 394-395.

[19] 杨宇明,薛纪如. 云南大围山地区天然竹林的初步研究[J]. 西南林学院学报, 1990, 10(1): 21-30.

YANG Y M, XUE J R. A preliminary study on the natural bamboo forests in the Dawei mountain of Southeastern Yunnan[J]. Journal of Southwest Forestry College, 1990, 10(1): 21-30. (in Chinese)

[20] 易同培,史军义,马丽莎,等. 中国竹类图志[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 457-458.

[21] 郑祥乾,崔永忠,陈凌娜,等. 屏边空竹四季出笋及幼竹生长发育规律研究[J]. 林业科学研究, 2018, 31(5): 131-136.

ZHENG X Q, CUI Y Z, CHEN L N, *et al.* Study on bamboo shooting and shoot growth of *Cephalostachyum pingbianense* [J]. Forest Research, 2018, 31(5): 131-136. (in Chinese)

[22] 王平,程清平,张开平. 云南大围山地区 55 年来可利用降水量与干旱强度变化特征分析[J]. 云南师范大学学报: 自然科学版, 2018, 38(6): 64-70.

WANG P, CHENG Q P, ZHANG K P. Evolutional characteristics of utilizable precipitation and drought intensity over Yunnan Dawei mountain area in the past 55 years[J]. Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition, 2018, 38(6): 64-70. (in Chinese)

[23] 张衡锋,汤庚国. 黄秆乌哺鸡竹出笋退笋规律研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 20921-20922.

[24] 顾大彤,陈双林,郑炜曼,等. 竹子生态适应性研究综述[J]. 竹子研究会刊, 2010, 29(1): 17-23.

GU D X, CHEN S L, ZHENG W M, *et al.* Review of the ecological adaptability of bamboo [J]. Journal of Bamboo Research, 2010, 29(1): 17-23. (in Chinese)

[25] 张玮,林振清,杨前宇,等. 椴竹出笋与幼竹生长规律[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(3): 478-482.

ZHANG W, LIN Z Q, YANG Q Y, *et al.* *Bambusa textilis* var. *fasca* shooting and young bamboo growth rhythm [J]. Journal of Zhejiang A and F University, 2015, 32(3): 478-482. (in Chinese)

[26] 陈玉华,宋丁全. 茭竹出笋成竹生长规律研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2005, 29(4): 109-112.

CHEN Y H, SONG D Q. A study on growth regularity of *Phyllostachys nidularia* Munro in shooting period [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2005, 29(4): 109-112. (in Chinese)

[27] 石明,陈宝昆,杨宇明,等. 云南甜龙竹发笋生物学特性初报[J]. 西南林业大学学报, 2007, 27(2): 16-19.

SHI M, CHEN B K, YANG Y M, *et al.* Preliminary research on bamboo shooting biology of *Dendrocalamus brandisi* [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2007, 27(2): 16-19. (in Chinese)

[28] 杨智,陈洪,刘济明,等. 小蓬竹生长发育规律的研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7781-7783.

[29] 孟勇,刘国华,王福升. 小蓬竹地理分布及生长发育规律研究[J]. 竹子研究汇刊, 2010, 29(3): 15-20.

MENG Y, LIU G H, WANG F S. Geographical distribution and growth pattern of *Ampelocalamus luodianensis* [J]. Journal of Bamboo Research, 2010, 29(3): 15-20. (in Chinese)

[30] 俞樟福. 雷竹生长与温度关系的探讨[J]. 竹子研究汇刊, 1997, 16(3): 54-57.

YU Z F. A probe to the relationship of *Phyllostachys praecox* f. *prevernalis* growth and temperature [J]. Journal of Bamboo Research, 1997, 16(3): 54-57. (in Chinese)

[31] 杨启红,陈丽华,张富,等. 土壤水分变异对降雨和植被的响应[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(Supp. 2): 88-94.

YANG Q H, CHEN L H, ZHANG F, *et al.* Responses of soil moisture variations to rainfall and vegetation [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(Supp. 2): 88-94. (in Chinese)

[32] 王涛,李绍进,孙小平,等. 雷笋产量与雷竹林小气候气象因子相关性分析[J]. 中国农业信息, 2015(22): 100-102.

[33] 朱勇. 气象因子与绿竹笋产量和质量的相关分析[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(2): 79-83.

ZHU Y. The effects of meteorological factor on the productivity and quality of *Bambusa oldhamii* bamboo shoot [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2015, 35(2): 79-83. (in Chinese)

[34] CAMILLE P, HANLEY M E. Plants and climate change: complexities and surprises[J]. Annals of Botany, 2015, 116(6): 849-864.