

酒竹的个体生长发育规律及其相关模型

李伟成¹, 王树东¹, 钟哲科¹, 盛海燕², 周妍¹

(1. 国家林业局竹子研究开发中心, 浙江 杭州 310012; 2. 杭州市环境保护科学研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要:对酒竹钩梢带箨移植后枝叶数量分布和酒竹笋个体生长发育的可塑性规律进行了研究,探讨了基于个体生长的经验模型参数的特征。结果表明:去除顶端优势并经过1 a多恢复生长的酒竹,其各枝盘的枝叶数量分别与枝盘号存在着乘幂关系;钩梢后的酒竹植株自身具备补偿作用,这种补偿作用对酒竹适应我国半干旱区生境十分关键,钩梢后剩余留枝盘数与累积枝叶数量占完整植株枝叶数量比例的关系可用二次函数表达;枝叶数量的密度分布函数可直接运用 Weibull 和 Gamma 概率密度函数进行拟合,拟合效果较好。可以利用胸径参数进行酒竹地上部分各构件生物量的预测,但1年生竹秆和2年生竹枝没有达到相关。酒竹出笋量动态和高生长曲线呈“S”形,根据 Logistic 动态方程的一阶、二阶导数将出笋时间划分为初期、盛期和末期,进而得到笋-幼竹的高生长方程的3个阶段渐增期、快增期、缓增期;酒竹出笋期约为150 d左右,基本与移植当地的雨季重叠,笋期的第48~51天完成初期,盛期出现在第69~72天,此时出笋速度达到最高峰,末期则出现在第90~93天。在不同的出笋期,酒竹高生长表现出对雨量的可塑性响应:出笋初期以前,酒竹笋发育比较迟缓,特别是渐增期需要25~26 d,而缓增期只需12 d就可完成;盛期酒竹笋的高生长几乎没有渐增期的准备,直接进入直线的快速生长期,且缓增期历时也短,仅为9~10 d;末期酒竹笋表现则与初期的酒竹笋截然相反,其缓增期的明显延长说明受到环境的胁迫。

关键词:竹林培育;丛生竹;半干旱区;引种;钩梢;可塑性响应

中图分类号: S795

文献标识码: A

Growth Rhythm and Individual Models of Wine Bamboo Plantation, *Oxytenanthera braunii*

LI Wei-cheng¹, WANG Shu-dong¹, ZHONG Zhe-ke¹, SHENG Hai-yan², ZHOU Yan¹

(1. China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, Zhejiang, China;

2. Institute of Environmental Protection Science, Hangzhou City, Hangzhou 310014, Zhejiang, China)

Abstract: The authors studied the shoot growth rhythm of wine bamboo, *Oxytenanthera braunii*, which is of great economic importance in Tanzania and has been introduced to China recently. And also, individual-based model was used to delineate and capture the essence of the shoot growth system well enough addressing specific characteristics of parameters about the system. The results showed that the power function could be used to set up the relationship between leaf number and node number, which was the same as branch number after truncating. Compensation effect of mother individuals after transplanting was important for wine bamboo adapting to the semi-arid area in southwest China. The quadratic function could be used to express the relationship between the number of residual nodes with branch and the percentage of branch number contributing to the total number of the individual without truncating which was also shown by the percentage of leaf number. The probability distribution function such as Weibull and Gamma were used to simulate the distribution of branch and leaf number on each culm node after truncating and

收稿日期: 2010-09-17

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(Y5110267);国家林业局“948”引进项目(2002-31);浙江省科技厅资助项目(2005F11002)

作者简介: 李伟成(1978—),男,浙江湖州人,博士,主要从事系统生态学研究。

transplanting with stump. Results indicated that distribution curve was successfully simulated, and Weibull and Gamma functions gave the best answer compared with normal distribution. Repression models based on *DBH* (diameter at breast height) showed that the fitted curve of power functions was more significant than others except the groups of one-year-old culm and two-years-old branch. The height growth and dynamic germination process of shoots fitted to the sigmoid curve, which could be well described by Logistic equation. And both the processes of different levels were divided into three sub-periods like beginning, flourish and end periods according to the first and second order derivatives of Logistic equation. The shoot's germination period lasted about 150 days, which was about from May to October and coincident with the local rain season essentially. The beginning sub-period finished at the 48 – 51 days, and flourishing sub-period arrived at the 69 – 72 days, then the germination speed was down and the end sub-period showed at the 90 – 93 days similarly, following the rules of slow-quick-slow, shoot individuals displayed Logistic growth and showed a significant plastic growth rhythm responding to the local rain season. Height growth of shoot lasted longer at beginning sub-period and spent more time before entering fast growth stage. Meanwhile, the slow growth stage lasted only 12 days. And the shoots in the end sub-period displayed the contrary behavior, which was threatened by the decreasing rainfall and low humidity. There were only two stages for shoots in the flourishing sub-period which was no initial stage and shoots entered the fast growth stage directly. The whole growth period was the shortest. So humidity was the main ecological factor influencing the growth of bamboo shoots. Understanding the advantage of plasticity response and its limits is of critical importance for numerous issues in ecology and evolution for *O. braunii*.

Key words: bamboo culture; sympodial bamboo; semi-arid area; introduction; truncation; plasticity response

酒竹 (*Oxytenanthera braunii* Pilger ap. Engler) 属竹亚科 (Bambusoideae) 锐药竹属 (*Oxytenanthera* Munro) 竹种, 原产非洲东部坦桑尼亚中高山地区, 其新竹秆在砍梢后流出的伤流液可以经自然发酵形成具有一定酒精度 (5.0% ~ 5.5%) 的营养丰富的上等饮料^[1], 开发潜力巨大。该竹种分布地偏僻, 交通不便, 分布面积小, 生产、经营几乎都处于原始状态, 故目前世界上对酒竹研究、开发和利用尚处于起始阶段; 坦桑尼亚主要在种质保护和扩大种植范围上进行了初步试验^[2], 但没有形成系统性的研究; 印度和美国在上世纪七八十年代都有引种, 但没有成功, 可能是引种区域的土壤、气候和海拔等条件同原产地差距较大造成的^[1]。

对有机体与所处环境相互作用过程的个体发育的系统研究, 特别是克隆种群的生活史结构研究可以对克隆种群的不同生活习性有一个比较全面的了解^[3]。研究竹子的生物量, 有利于评价经营措施, 发展丰产技术, 制定合理的经营开发措施^[4]。2005年, 本项目组在我国云南半干旱地区引种酒竹获得成功^[5-7], 从引种繁育结果分析, 该竹种适应在我国西南地区热带的一些具明显干雨季的中高海拔区域生长。本试验对酒竹钩梢带篾移植后枝叶数量分布和酒竹笋个体生长发育节律的可塑性规律进行研究, 探讨了酒竹的补偿作用及其基于个体生长的经

验模型参数的特征, 旨在为酒竹近自然培育的经营决策以及造林区划提供重要的基础数据, 为其今后的繁殖、栽培和应用提供参考。

1 试验地概况

试验点设于云南省墨江哈尼族自治县, 101°10' E, 22°58' N, 海拔 935 m, 位于我国西南中高山地区, 因受南亚热带季风的影响, 无明显冬季, 年温差小, 日温差大, 四季不明显。年平均气温 18.3 °C, 极端最高气温 34.2 °C, ≥10 °C 的活动积温 6 302.6 °C, 年日照时数 2 148.1 h。多年平均有霜期 15.3 d, 无霜期 306 d。降水丰沛而集中, 年分布不均, 干雨季分明, 雨季 5—10 月, 干季 11 月—翌年 4 月, 年降水量 1 338 mm, 年蒸发量 1 696.7 mm, 稍大于年降水量。引种基地土壤主要以红壤和赤红壤 (海拔 800 ~ 1 500 m) 为主, 为东西朝向的开阔山脊台地, 有机质含量 17 mg · g⁻¹, pH 值 6.9, 全氮 0.83 mg · g⁻¹, 全磷 0.32 mg · g⁻¹^[5]。

2007 年雨季前 (4 月中下旬), 在引种基地进行酒竹母株钩梢 (于第 9 ~ 11 节处截断) 带篾移植, 株距 5 ~ 6 m, 占地面积约 0.7 hm²。雨季接近结束时 (9 月底, 酒竹已经抽枝展叶), 施用 48% 硫酸钾型复合肥 (含氮量约 15%), 每株沟施 0.25 kg, 覆土。12 月进入干季和气温下降后, 对酒竹母竹进行覆膜处理, 越冬^[5]。

2 材料与方法

2.1 钩梢后枝叶密度分布的建模

2008年5—6月,选择健壮无虫害的酒竹母株进行各枝盘的分枝数、叶片数量和胸径的调查,对各参数之间的关系进行分析,建立各枝盘分枝数和叶片数量的相关模型^[4]。利用Gamma概率密度函数 $f(x; \alpha, \beta, \gamma) = \exp(\alpha - 1)x^\gamma \exp(\beta x)$, 建立完整植物各枝盘的分枝数分布函数,其中 x 为枝盘号, α 、 β 和 γ 分别为待定参数;利用Weibull概率密度函数 $f(x; \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(\frac{x}{\beta})^\alpha}$, 建立完整植物各枝盘的叶片数量分布函数,其中 x 为枝盘号, α 和 β 分别为待定参数,利用Marquardt迭代法确定待定参数。

2.2 出笋和幼竹生长调查及建模

2008年于笋期(4—11月)观察记录酒竹正常生长期的生长情况:每隔天观察1次,记录出笋(以笋尖露出地面为标准)、退笋(以停止生长、不出枝叶为标准)数量;随机选取出笋初期(5—6月)、盛期(7—8月)和末期(9—10月)各3~5支竹笋,每天测其高度直至高生长停止,高生长天数和日高生长量取其平均值。利用Logistic生长方程 $H_i = \frac{H_0}{1 + e^{\frac{a+b}{x}}}$ ^[3], 建立笋—幼竹高生长的经验模型和出

笋动态分布密度函数模型,其中, H_i 为某时刻笋(幼竹)的高度或密度值, H_0 为环境最大值,这里取样本最大值的平均值, t 为数据采集步长(出笋量动态观察 $t = 3$ d);以Logistic动态方程的一阶、二阶导数将出笋时间划分为初期、盛期和末期^[8]。

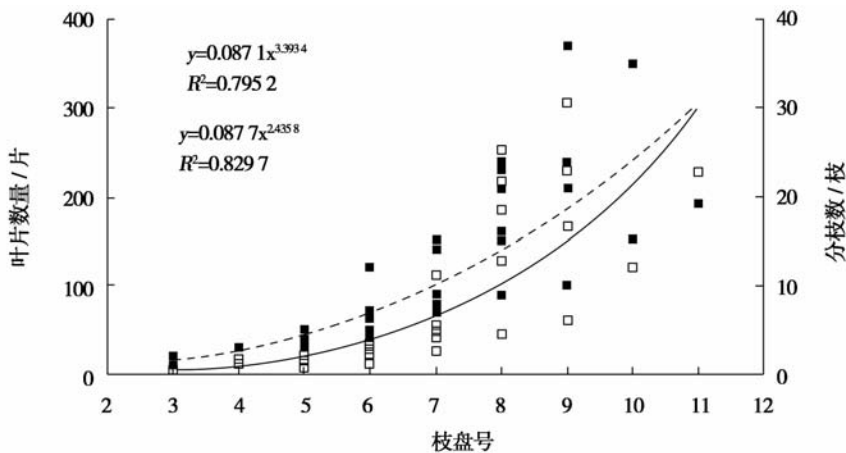
2.3 单株生物量预测模型

2008年4月和2009年4月,根据当年生、1年生和2年生分年龄进行每竹调查,求得当年生、1年生和2年生平均高度及平均胸径;各选择平均标准竹5~6秆,测定标准竹地径、胸径和株高,直接称取标准竹各器官(竹秆、竹枝、竹叶)的鲜质量。然后按竹秆、竹枝、竹叶等构件分别取样带回实验室,80℃烘干至恒质量,拟合并确定适合该竹种的生物量模型。全部过程运用SPSS 15.0统计软件进行数据分析处理。

3 结果与分析

3.1 钩梢后酒竹枝叶密度分布

去除顶端优势并经过1a多恢复生长的酒竹,其各枝盘的分枝数、叶片数量分别与枝盘号存在着乘幂关系(图1),可以用 $Y = aX^b$ 的关系式表达。分枝数、叶片数量与枝盘号的乘幂关系式中,调整相关系数(R^2)分别为0.7952和0.8297。



□叶片数量与枝盘号的关系 ■分枝数与枝盘号的关系 - - -乘幂(分枝数与枝盘号的关系) ——乘幂(叶片数量与枝盘号的关系)

图1 钩梢后酒竹各枝盘枝叶数量与枝盘号的关系

钩梢后剩余留枝盘数(包括下部枝盘补充长枝的节)与累积叶片数量占完整植株叶片数量比例的关系可以用二次函数($p < 0.05$, $R^2 = 0.9765$)表达(图2),说明钩梢带筲移植的最佳留枝盘数为5~6盘,其占完整植株累积叶片数量的 $81.1400\% \pm$

3.5497% ,如保留3盘(地上部总共保留5~7节)情况下,则叶片数量会急剧下降,能进行光合作用的辅助植株生长的叶片仅占完整植株的 $(18.3112 \pm 2.4324)\%$,超过7盘则叶片数量也会下降。完整植株的各枝盘叶片数量在对应枝盘(以枝盘号表示,

从下往上进行计数)上的分布符合 Weibull 概率密度函数(图2),其中 α 为2.358 0, β 为18.962 4($F=63.505 4, p < 0.000 1, R^2 = 0.902 6$),表现出两端低中段高的形式,其偏度系数 α' 为 $-0.366 0 < 0$,说明分布为尾左偏,峰度系数 β' 为 $-0.705 0 < 0$,说明分布为低峰度,比正态分布平坦,也表明酒竹秆中部节(约13~17节)的叶片数量比较均匀。图3表明:钩梢后剩余留枝盘数与累积分枝数占完整植株分枝数比例的关系也可用二次函数($p < 0.05, R^2 = 0.846 0$)

表达,所表现的规律与钩梢后的叶片数量相同(图2);钩梢后的累积分枝数也表明,钩梢带篾移植的最佳留枝盘数为5~6盘,其占完整植株总分枝数的 $(43.856 3 \pm 2.975 1)\%$ 。完整植株的各枝盘叶片数量在对应枝盘上的分布符合 Gamma 概率密度函数(图3),其中, α, β 和 γ 分别为 $-4.300 5, -0.152 2$ 和 $1.696 0$ ($F=49.036 4, p < 0.000 1, R^2 = 0.816 8$),其偏度系数 α' 为 $-0.417 0 < 0$,为尾左偏的分布,峰度系数 β' 为 $-1.163 0 < 0$,为低峰度分布。

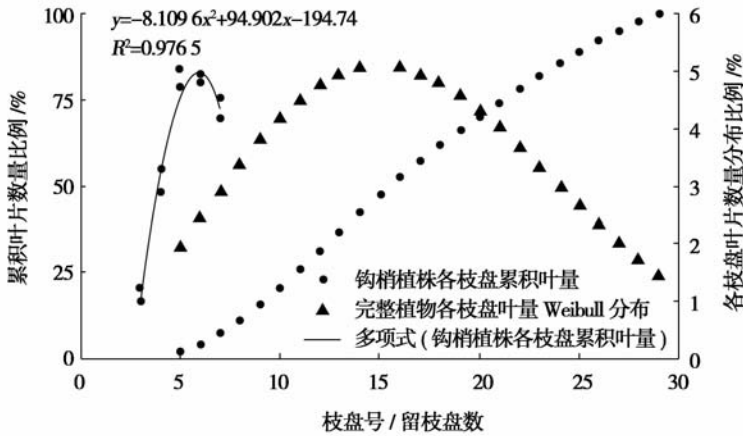
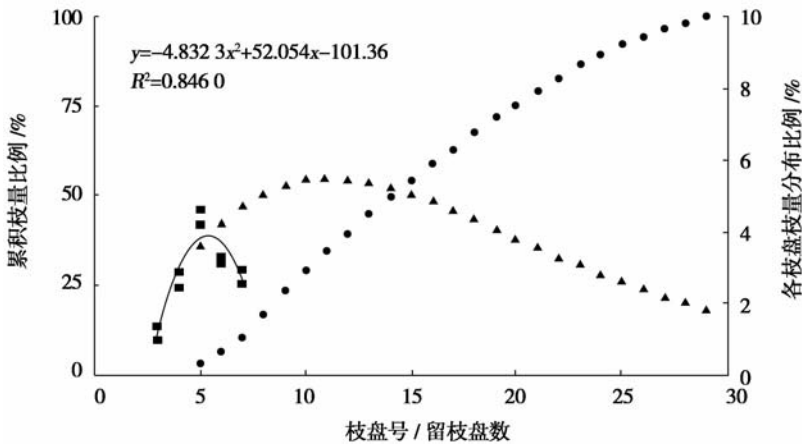


图2 累积叶片数量比例与留枝盘数的关系/各枝盘叶片数量分布比例



●完整植株各枝盘累积枝量 ■钩梢留枝盘的累积枝量 ▲完整植物各枝盘枝量 Gamma 分布 ——多项式(钩梢留枝盘的累积枝量)

图3 累积分枝数比例与留枝盘数的关系/各枝盘分枝数分布比例

酒竹钩梢带篾移植后,其顶端生长优势明显被压抑,而对余留的顶端节部具有强大的补偿作用,余留的顶端单节枝盘的最大分枝数和叶片数量分别可达37枝和350片,单节枝盘补偿的叶片数量远大于毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lae) [4];同时对下部节部也有一定的补充,如钩梢后酒竹在第3~5节可以萌发一定数量的分枝

(1~5支),以提供受损植株足够多的光合作用面积和空间。

3.2 酒竹出笋和幼竹生长动态

酒竹出笋量动态和高生长曲线呈“S”形。图4表明:根据 Logistic 动态方程的一阶、二阶导数可将出笋时间划分为初期、盛期和末期。酒竹出笋从5月26日开始,至10月29日结束,以3d为一个步长

计数单位,整个出笋持续时间较长,为150 d左右,出笋量(H_0)为307支,基本与移植当地的雨季重叠。出笋数量先逐渐上升,其初期结束于进入笋期的第48~51天,出笋57支,占全期出笋总数的15.96%;盛期出现在第69~72天,此时出笋速度达到最高峰,出笋171支,占全期出笋总数的55.70%,平均每天出笋量为3.6支,尔后逐渐下降;末期则出现在第90~93天(图4),出笋87支,占全期出笋总数的28.33%。由此可见,酒竹出笋集中在7月中旬至8月下旬,这一时段是竹笋产量形成的重要阶段。

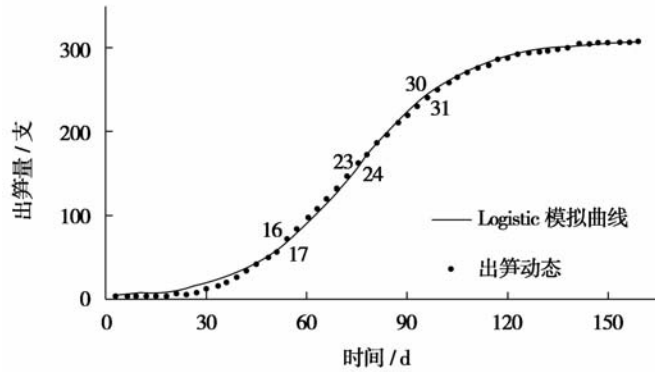


图4 酒竹出笋期动态

初期的酒竹笋完成高生长时间平均为(60.2 ± 5.6) d,历时较长,特别是高生长准备期(渐增期)约为25~26 d,其达到高速生长的时间(快增期)出现在第37天左右(图5, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.9952$)。盛期的酒竹笋完成高生长的情况较特殊(图6, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.9840$):整个过程历时(49.6 ± 4.5) d,几乎以线性方式生长,完成时间最短,高生长量大,平均株高达到(4.82 ± 0.59) m,第12天进入快速生长期,利用 Logistic 方程计算得到第21天达到峰期。末期酒竹笋的高生长期历时(56.2 ± 4.1) d,于第16天进入快速生长期,约在第24天达到最快生长速度,第33天则进入缓增期(图7, $p < 0.0001$, $R^2 = 0.9990$)。

在不同的出笋期,酒竹高生长表现出对雨量的可塑性响应:出笋初期以前,雨季刚开始,由于植株吸收水分、传输营养直至分株发育(萌笋)都有一定的时滞效应^[9],这个时期的酒竹笋发育比较迟缓,特别是进入直线生长速度以前需要25~26 d的准备,而进入雨季约2个月后,植株整体向分株汇聚营养的过程已经完成,高生长缓增期只需12 d就可以完成;盛期的酒竹笋由于植株已经完成萌笋的准备,笋

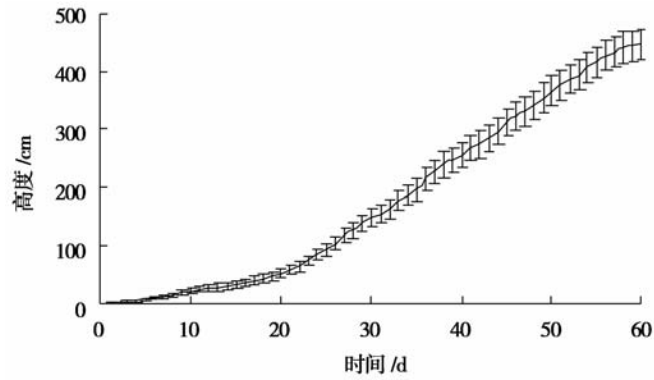


图5 初期酒竹笋高生长动态

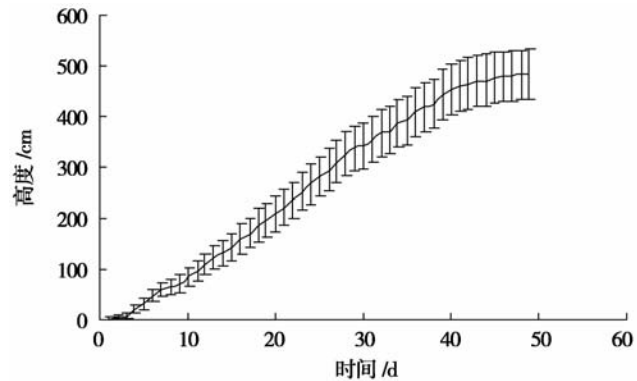


图6 盛期酒竹笋高生长动态

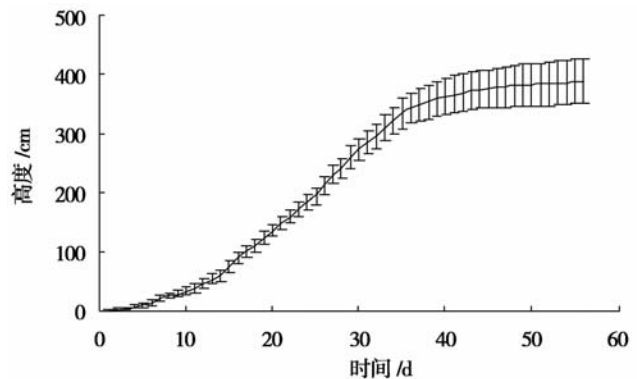


图7 末期酒竹笋高生长动态

高生长几乎没有渐增期的准备,而是直接进入快速生长期,且缓增期历时也较短,仅为9~10 d;末期的酒竹笋,其表现则与初期的酒竹笋截然相反,其缓增期的明显延长说明受到环境的胁迫,自身需要作出适应和调整。

排除竹林害虫如横锥大象(*Cyrtotrachelus buqueti* Guer)和笋直锥大象(*C. longimanus* Fabricius)等寄主直接对笋的啃噬造成的损失,酒竹的成竹率为93.07%,成竹率很高。一般而言,酒竹在进入发笋期到末期的开端,这一时期的笋基本都可以成长

为幼竹,进入末期的后期即雨季结束时,此时出笋较少,平均 $0.53 \text{ 支} \cdot \text{d}^{-1}$,大多退笋,停止生长,退笋过程中的营养物质将转移到其它器官。

3.3 酒竹单株生物量预测模型

通过基于胸径的乘幂函数回归可以得到不同年龄酒竹地上部分各构件的生物量的经验性预测模型(表1)。回归方程中除了1年生竹秆和2年生竹枝没有达到相关($p > 0.05$),其余相关性检验都呈显著

相关($p < 0.05$),其中当年生竹秆和1年生竹叶与胸径的相关性极显著($p < 0.01, R^2 = 0.9508, 0.9836$)。

一般而言,利用基径、高度等参数预测竹子的生物量是常用的方法^[3],本试验发现,酒竹可以利用胸径参数进行生物量的预测,但1年生竹秆和2年生竹枝没有达到相关($p > 0.05$),这应该与酒竹强大的气生根的数据干扰有关。

表1 酒竹地上部分各构件的生物量预测模型

年龄	构件	基于胸径的回归方程	F 检验值	p	修正 R ²
当年生	竹秆	$487.7598 D^{0.4868}$	58.1406	0.0047**	0.9508
	竹枝	$56.3610 D^{0.1989}$	11.6578	0.0420*	0.7953
	竹叶	$46.7186 D^{0.2816}$	15.1828	0.0300*	0.8350
1年生	竹秆	$529.6721 D^{0.5576}$	16.1520	0.0567	0.8898
	竹枝	$53.9170 D^{0.8108}$	42.0799	0.0229*	0.9546
	竹叶	$64.3859 D^{0.4361}$	120.1938	0.0082**	0.9836
2年生	竹秆	$686.792 D^{0.3238}$	16.6648	0.0266*	0.8474
	竹枝	$67.1376 D^{0.6995}$	7.1569	0.0754	0.7046
	竹叶	$52.8633 D^{0.6328}$	15.3481	0.0296*	0.8365

4 结论与讨论

试验表明,酒竹钩梢带箨移植后各枝盘的枝叶数量分别与枝盘号存在着乘幂关系,这与毛竹钩梢后存在的关系类似^[4],不同的是毛竹钩梢后叶片数量与留枝盘数的乘幂关系的待定系数遵循线性关系,酒竹并没有发现这种关系,但酒竹剩余留枝盘数与累积枝叶数量占完整植株叶片数量比例的关系可用二次函数表达,在推导枝叶密度分布函数时直接运用 Gamma、Weibull 概率密度函数对枝叶进行拟合,拟合效果较好,从偏度和峰度分析可以得到,不宜用正态分布拟合。与幂函数方程和多项式方程等经验式^[10-11]进行拟合比较而言,以 Logistic 方程回归效果最好^[3-4],酒竹出笋量动态和高生长曲线符合这一规律。高生长和出笋期的划分,曾有采用聚类方法将出笋期定量地划分为3个时期^[11],但此种方法的置信区间设置过于主观,同时对异常数据的干扰很敏感,聚类往往产生偏差;以1个观察单元的出笋数占笋期出笋总数 $P = 10\%$ 为界限,将出笋期划分为3个时期^[3,12]的方法最为常见,但 $P = 10\%$ 的划分也是经验性主观划分,没有考虑到非线性物理过程的自身性质。Logistic 曲线方程在预测中应用广泛^[4,8],本文通过对 Logistic 曲线生长过程速度函数求导解析,得到 Logistic 曲线生长动态过程的3个关键期,即出笋初期、盛期和末期,进而得到笋 -

幼竹的高生长方程的3个阶段渐增期、快增期和缓增期,可以在预测的基础上较好地掌握酒竹高生长和出笋过程的3个阶段,对其增长或生长的物理过程和特性进行科学解释,为酒竹近自然培育的经营决策提供理论依据。

酒竹移植1a后竹丛间枝叶已经初显重叠现象,更因其枝叶生长量大,气生根发育能力强大,顶端优势明显,在笋-幼竹的自然生长过程中易形成风倒,株型往往较差。酒竹钩梢带箨移植后,其顶端优势明显被压抑,而对余留的顶端节部具有强大的补偿作用,这种补偿作用一般在雨季结束前已经完成;同时,对植株下部节部也有一定的补充,这种补偿作用对于酒竹适应我国半干旱区生境十分关键,因为在适当钩梢的初期对植株的再生能力和根系生长造成一定影响,但后期地上部分得到补偿后,根系可以再次受惠于地上部分的补偿,钩梢或者刈割行为对地上部分与地下部分的相互影响尚待深入研究;而且,带箨移植时箨可以供养再生分蘖和初期生长所需的营养,在此基础上,抑制顶端优势,可促进中下部腋芽的萌发。进入雨季中后期,下部枝与顶端节部的枝发育速度相似,到一定数量即停止,而顶端枝在数量上则会继续增加,且在顶端节部的枝完全发育和展叶后,由于顶端枝拓展的空间遮盖了下部枝节,下部枝叶逐渐失去作用,营养物质转移至新的器官,直至换叶凋谢。因此,雨季后需要对酒竹进

行适当的整形修剪,这样能够改善株型通风透光条件,保持健壮的株势。同时,实行垄台栽培和间歇性湿润灌溉^[5],创建湿润透气的土壤环境,提高根系活力,合成更多的细胞分裂素,也可提高移植初期的中下部腋芽的启动和萌发。

在异质性的生长条件下,克隆植物通过自身的表型可塑性,尤其是生长发育可塑性对周围环境变化产生响应,使之对生境作出选择^[9,13],故同一竹种不同栽培地点,其所表现的特征不同。在不同的出笋期,酒竹高生长表现出对雨量的可塑性响应,与我国10种丛生竹出笋的时间和成竹率相比较^[10],酒竹出笋的时间延长1个月左右,大致与栽培当地的雨季重合;集中出笋期类似,都在7月上旬;除有虫害造成虫退的影响以外,酒竹成竹率较高,这与毛竹退笋的正态分布、辣韭矢竹的偏正态分布有所差异^[4,12],酒竹退笋主要出现在雨季结束前后,主要原因是:(1)末期的雨水供应不足,土壤干燥,造成生长停止而退笋;(2)钩梢带篾移植的栽培密度小,单丛可利用资源大,故总体退笋量少。

参考文献:

[1] Roy W. Bamboo beer and bamboo wine [J]. Southern California Bamboo; The Newsletter of the Southern California Chapter of the American Bamboo Society, 2005, 15(6): 2-3

- [2] Liese W. The structure of bamboo in relation to its properties and utilization [C]//Zhu S, Li W, Zhang X, *et al.* Bamboo and its use: International symposium on industrial use of bamboo. Beijing: ITTO-CAF, 1992: 7-11
- [3] 李伟成, 葛 滢, 盛海燕, 等. 濒危植物明党参种群生存过程研究[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1137-1143
- [4] 周芳纯. 竹林培育和利用[J]. 竹类研究, 1998(1-2): 74-115
- [5] 李伟成, 陈 岩, 钟哲科, 等. 覆膜对酒竹干旱季节移栽和越冬的影响研究[J]. 竹子研究汇刊, 2008, 27(3): 27-30
- [6] 王树东, 李伟成, 钟哲科, 等. 特用竹种——酒竹的引种繁育初报[J]. 竹子研究汇刊, 2008, 27(1): 5-8
- [7] 李伟成, 王树东, 钟哲科, 等. 覆膜对酒竹笋营养元素与成分的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 732-735
- [8] 崔党群. Logistic 曲线方程的解析与拟合优度测验[J]. 数理统计与管理, 2005, 24(1): 112-115
- [9] Ikegami M, Whigham D F, Wegera M J A. Optimal biomass allocation in heterogeneous environments in a clonal plant-Spatial division of labor[J]. Ecological Modeling, 2008, 213(2): 156-164
- [10] 陈松河. 10种园林竹类植物出笋及幼竹高生长节律[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(11): 11-26
- [11] 郑 蓉, 郑维鹏, 黄 勇, 等. 不同地理种源的麻竹笋-幼竹生长规律的研究[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(4): 17-24
- [12] 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
- [13] Aphalo P J, Ballare C I. On the importance of information-acquiring systems in plant-plant interactions[J]. Function Ecology, 1995, 9(1): 5-14