

印楝实生苗年生长规律研究

郑益兴¹, 彭兴民¹, 赵保荣², 张燕平¹

(1 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 2 云南省元江县林业局, 云南 元江 653300)

摘要: 研究了 1 年生印楝实生苗生长动态、苗木生物量积累与分配模式以及苗木生长与气象因子的关系, 结果表明: 印楝苗的年生长规律符合 Logistic 曲线特征, 据此方程可以建立苗高、地径与生长时间的拟合模型, 结合二次多项式对苗木连日生长量的动态模拟, 可将苗木生长划分为 4 个阶段: 出苗期、生长初期、速生期和生长后期, 其中处于速生阶段苗木的高和地径生长量均超过全年总量的 70%, 地径处于生长初期阶段的时间短于苗高, 但生长量占全年总量之比是苗高的 2 倍; 苗木生物量积累与苗高和地径的相关性极为密切, 其中地上部分生物量占全株的 69.1%, 全株含水量是干质量的 1.58 倍; 在制约苗木生长节律的气象因子中, 偏相关分析表明: 温度是苗木生长的主导因子。

关键词: 印楝; 年生长; 实生苗; Logistic 方程

中图分类号: S723.1 文献标识码: A

Study on Annual Growth Dynamics of *Azadirachta indica* Seedling

ZHENG Yi-xing¹, PENG Xing-min¹, ZHAO Bao-rong², ZHANG Yan-ping¹

(1. Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224 Yunnan, China;

2. Forestry Bureau of Yuanjiang County, Yunnan Province, Yuanjiang 653300 Yunnan, China)

Abstract Annual growth dynamics of one-year seedling, the accumulation and distribution of biomass and relation between growth of *Azadirachta indica* seedling and the meteorologic factors were studied. The result showed that annual growth dynamics of seedling agreed Logistic's curve feature. According to this equation, fitting model about height and caliper of seedling with meteorologic factors could be created. According to Logistic's model and continuous growth model of quadratic polynomial, the growing period of seedling could be divided into 4 stages, i.e. emergence phase, initiation phase, prosperous phase and later phase. The growth of prosperous phase was over 70% of total increment. Period of caliper's initiation phase was shorter than that of the height increment, but the percentage of caliper's initiation period increment vs total was 2 times of height increment. The biomass' accumulation of seedling was closely related to height and caliper of seedling. The aboveground biomass was 69.1% of all biomass. The moisture content of whole tree was 1.58 times of total dry biomass. According to partial correlation analysis, the air temperature is the key factor affecting the growth of seedling among all meteorologic factors which restrict the growth of seedling.

Key words *Azadirachta indica*; annual growth; Logistic equation; seedling

印楝 (*Azadirachta indica* A. Juss), 楝科 (Meliaceae) 乔木树种, 原产南亚次大陆, 20 世纪 80 至 90 年代引进, 现主要栽培在我国西南干热河谷地区, 因其种子含多种效果显著、易于提取的生物杀虫、杀菌的

活性物质 (以印楝素为主), 成为国际上公认的最具潜力的杀虫植物品种和生物农药原料之一^[1]。近年来, 印楝的研究主要集中于药效试验^[2]、繁殖栽培及生态适应^[3-6]等方面, 尚无苗木方面的研究。本文

收稿日期: 2005-05-15

基金项目: 云南省“十五”攻关课题“印楝农药原料林优质丰产种源试验示范及印楝杀虫剂研制”(2001NG31)

作者简介: 郑益兴 (1972-), 男, 四川射洪人, 在读博士生。

以印楝实生裸根苗群体为研究对象, 揭示其 1 年生苗的生长发育规律, 为制订有关印楝苗的行业标准奠定基础。

1 试验地概况

试验点设于云南省元江县中国林业科学研究院资源昆虫研究所元江试验站 (101°00'E, 23°36'N, 海拔 490 m), 该点位于元江坝河谷, 属于热带性干热河谷气候^[7]。年均气温 23.9℃, 最冷月平均气温 16.9℃, 最热月平均气温 29.4℃, 绝对最低气温 6.1℃, ≥10℃的活动积温 8 690.2℃, 年均降水量 764.6 mm, 年平均蒸发量为 2 750.9 mm, 雨季为 5—10 月, 雨季降水量占全年降水量的 67.5%。试验地苗圃面积 0.2 hm², 平整、空旷。土壤为燥红土, 有机质 20.9 g·kg⁻¹, 全 N 0.110 mg·kg⁻¹, 全 P 0.046, 全 K 2 406 mg·kg⁻¹, pH 值 6.9。

2 研究方法

2.1 试验材料及试验设计

试验种子于 2003 年 8 月采自本试验站由实生苗培育的 7 年生印楝母树林。播种前测定种子质量指标 (表 1), 自然水温浸种 48 h 后均匀撒播于苗圃。播种后 3 周, 出苗基本整齐, 及时除草、间苗, 定株后苗木密度控制在 100 株·m⁻²。随机设置 6 个观测样方, 样方面积 1 m × 1 m, 每样方随机选定 10 株, 总计 60 株作为生长量测定的固定标准样株, 从 2003 年 11 月 1 日至 2004 年 10 月 30 日, 每 10 d 定期测定苗木的地径和株高。在苗木生长期间, 按常规的圃地技术措施管理, 但不进行肥力补充, 同时进行基本气象要素观测。生长观测结束后, 分别测定 60 株苗木地上和地下部分的鲜质量, 之后自然干燥, 4 个月分别测定其气干质量。

表 1 印楝种子质量检验

检验项目	净度 / 优良度 / 干粒质		含水量 / 发芽率 / 发芽势 /			
	%	%	量 / g	%	%	
测定结果	98.0	92.0	208.3	11.3	87.0	61.0

2.2 数据分析方法

2.2.1 Logistic 生长曲线 以模拟动植物生长过程的数学方程^[8], 其表达式为:

$$y = \frac{K}{1 + ae^{-bx}} \quad (1)$$

其中, x 是自变量, 表示生长时间; y 为应变量, 表示

观测指标累积生长量; a , b 是待定常量; K 为生长终极量, 其推算公式为: $K = \frac{y_2^2(y_1 + y_3) - 2y_1y_2y_3}{y_2^2 - y_1y_3}$, 其中 y_1 表示生长始点生长量; y_2 表示生长中点生长量; y_3 表示生长终点生长量。

2.2.2 连日生长量变化速率曲线 对 Logistic 曲线方程求一阶导数得连日生长量随时间变化的方程, 求二阶导数为连日生长量的变化速率曲线, 其公式为: $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{akb^2e^{-bx}}{(1+ae^{-bx})^3}(1-ae^{-bx})$ (2)

2.2.3 日平均生长量拟合方程 苗木的日平均生长量是指苗高观测值与生长时间的比值。印楝实生苗日平均生长量随时间的变化函数可用二次多项式来拟合^[9], 其表达式为:

$$y = b_0 + b_1t + b_2t^2 \quad (b_0, b_1 \text{ 和 } b_2 \text{ 为待定常数}) \quad (3)$$

3 结果与分析

3.1 印楝苗高生长的年变化规律

3.1.1 苗高生长量累积过程 印楝果实间成熟期差异较大, 种子无休眠特性, 采用相同催芽方式处理的种子初始发芽时间因季节而异。试验于 10 月上旬末播种, 至月底出苗基本整齐, 苗木生长期苗高动态定期观察结果见图 1。从图 1 可以看出, 印楝实生苗苗高生长期很长, 大约 360 d, 其最终生长量平均值达 188.1 cm。苗高从观察日始到第 160 天期间 (即 11 月 1 日—翌年 4 月 10 日,) 生长较为平缓, 之后生长陡然加速, 至第 310 天左右 (9 月 10 日) 出现高峰, 此后生长量逐渐减小, 到第 360 天左右 (10 月 30 日) 生长基本停止, 整个生长动态呈现“慢—快—慢”的生长节律。

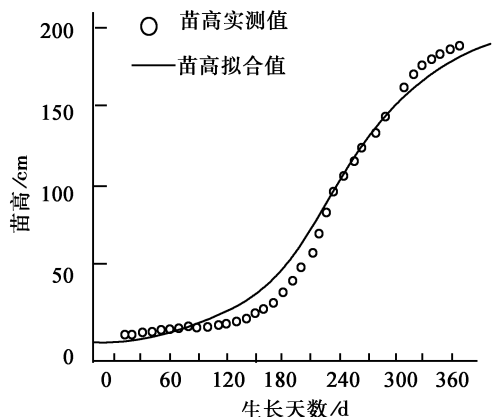


图 1 印楝苗高生长动态与 Logistic 拟合曲线

3.1.2 苗高生长动态曲线拟合 对观测的苗高值利用 SPSS 软件^[10]拟合, 得到苗高生长量随生长时

间变化的 Logistic 方程, 其拟合曲线见图 1, 参数估计值以及方差分析结果见表 2, 拟合方程如下:

$$y = \frac{202.311}{1 + 80.640e^{-0.018x}} \quad (R^2 = 0.961)$$

由表 2 可知, Logistic 拟合模型回归关系达到极显著水平, 回归的剩余均方也很小, 一般认为剩余均

方越小其拟合的效果就越好, 而且所得拟合方程的决定系数达到 0.961, 接近于 1, 因此可以说明回归方程的结果是比较可靠的, 这一点从图 1 的回归拟合曲线也可以看出, 总体拟合程度与观测的实际值之间相吻合。

表 2 Logistic 曲线拟合苗高累积生长量参数值以及回归关系的假设检验

回归分析结果 (x, y')				方差分析结果 (x, y')				
系数	估计值	变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
常数	$K = 202.311$	回归	1	139.964	139.964	865.415	4.12	7.42
1	$a' = 4.390$ $a = 80.640$	离回归	35	5.661	0.162			
2	$b' = -0.018$ $b = 0.018$	总变异	36	145.625				

注: $a = e^a$; $b = -b'$

3.1.3 苗高连日生长量拟合与苗高生长阶段划分

Logistic 曲线方程不但能够模拟生物生长的总体动态过程, 而且通过对方程求导可以得出连日生长量最大时的 x 值以及连日生长量变化速率最快的 2 个点, 即 x_1 和 x_2 。

令 (2) 式为 0, 求得理论上连日生长量最大时的 x 值, 如下: $x = \frac{1}{b} \ln a$ (4)

对 (1) 式求三阶导数并令其等于 0, 求得理论上连日生长量变化速率最快的 2 个点:

$$x_1 = \frac{1}{b} \ln\left(\frac{a}{3.7321}\right); x_2 = \frac{1}{b} \ln(0.2680) \quad (5)$$

根据 Logistic 方程的基本特征, 从 x_1 到 x_2 表示苗木生长由萌动到速生及由速生转入缓慢生长的分界点, 其中 $x_2 \sim x_1$ 为速生阶段。

根据 (4) 式求得理论上苗高生长最大时间等于 243 d, 即出现在 7 月 3 日, 与观测的真实值 (第 230 天, 6 月 20 日) 之间相差 13 d, 其日平均生长速度达 1.11 cm, 与实际观测值 (1.22 cm) 相差 0.11 cm; 按 (5) 式分析得知印楝苗高生长理论上的速生阶段为 [170, 317], 即从 4 月 20 日至 9 月 17 日, 在这一时期平均每天生长量大约 0.98 cm, 其速生期的生长量占整个生长量的 76.8%, 该计算结果的理论值与图 1 中苗高实际观测值相对比, 可以看出其估计误差范围很小, 与观测的真实值之间相吻合。

根据以上分析并结合实际苗高观测值, 可以把印楝实生苗的高生长过程划分为 4 个阶段: 第 1 阶段, 从 10 月 10 日至月底为出苗期, 该时期较短, 种子萌发出土时间较快, 出苗时间相对集中; 第 2 阶

段, 从 11 月 1 日至 4 月 19 日为生长初期, 占全年总生长时间的 47.2%, 生长量仅占全年总生长量的 14.5%, 在此期间苗木要经过冬季低温, 因此持续时间较长且生长缓慢; 第 3 阶段为速生期, 即从 4 月 20 日至 9 月 17 日, 生长持续时间占全年总生长时间的 40.8%, 但生长量却占全年总生长量的 76.8%, 此段时间正值元江干热河谷的雨季, 气温高且湿度大, 是印楝苗生长的黄金时期; 第 4 阶段从 9 月 18 日至 10 月 30 日为生长后期, 占全年总生长时间的 12.0%, 生长量仅占全年总生长量的 8.7%。

3.1.4 苗高日平均生长量拟合 对 (3) 式求一阶导数, 并令 $\frac{dy}{dt} = 0$ 则可得 t 为生长速度最快的时间。

由苗高观测值得到的日平均生长量随生长时间的关系采用计算机拟合, 其拟合的多项式为:

$$y = 0.303 - 2 \times 10^{-3}t + 4.2 \times 10^{-6}t^2 \quad (R^2 = 0.713)$$

参数估计值以及方差分析结果见表 3, 拟合曲线见图 2。从方差分析结果可以看出, 其关系达到极显著水平, 说明拟合的多项式方程是适合的; 从图 2 中的生长曲线趋势来看, 印楝实生苗苗高的日平均生长量的拟合曲线与实际值之间基本一致。通过该拟合方程计算出理论上印楝苗高生长速度最大的 t 值为 238 d, 即 6 月 28 日, 生长量为 1.15 cm, 与前面由连日生长量曲线方程推算的连日生长量出现最大值的时间 (7 月 3 日) 基本相符, 但结果更接近于实测值 (1.22 cm), 与实际观测值相比, 时间滞后 8 d, 最大生长量误差 0.07 cm, 由此可见所配合的苗高二次多项式方程其拟合效果好。

表 3 二次多项式拟合苗高日平均生长量参数值以及回归关系的假设检验

回归分析结果				方差分析结果					
系数	估计值	标准误	变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
b_0	0.303	0.049	回归	2	0.739	0.369	42.210	3.28	5.29
b_1	-2×10^{-3}	0.001	离回归	34	0.298	0.009			
b_2	4.2×10^{-6}	0.000	总变异	36	1.037				

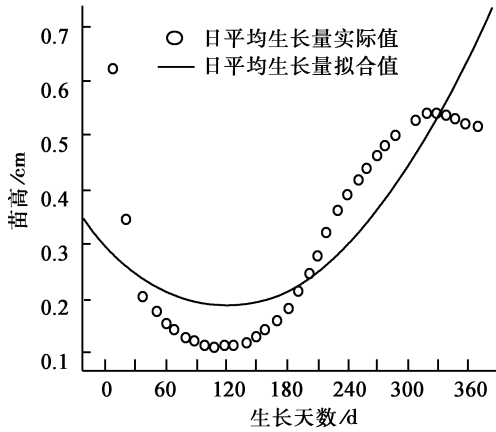


图 2 印楝苗高日平均生长量拟合曲线

3.2 印楝地径生长的年变化规律

3.2.1 地径生长量累积过程 苗木生长的地上和地下部分相辅相成, 地径生长的季节变化与苗高生长之间有密切的相关关系, 其生长期与苗高相差无几。地径生长量累积动态如图 3 所示, 与图 1 相比, 在苗木生长开始的 30 d 内, 地径生长迅速而苗高生长极为平缓, 在之后的 60 d 中地径生长放慢, 但仍然快于苗高。在余下的生长期, 二者生长节律基于一致, 但地径生长在苗高生长下降后仍会维持一

段生长时间, 因此其速生期时间要大于苗高。在地径观测的生长期, 其总生长量平均值为 1.61 cm。

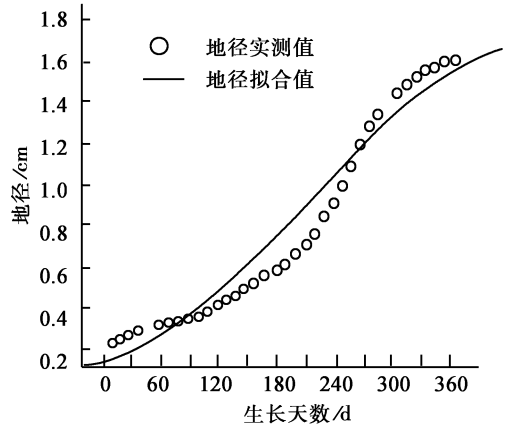


图 3 印楝地径生长动态与 Logistic 拟合

3.2.2 地径生长动态曲线拟合 采用 Logistic 曲线方程拟合印楝苗地径的生长动态, 其拟合曲线见图 3 其参数估计值以及回归假设检验结果见表 4 拟合方程的表达式为:

$$y = \frac{1.84}{1 + 11.917e^{-0.011x}} \quad (R^2 = 0.955)$$

表 4 地径 Logistic 曲线拟合其参数值以及回归关系的假设检验

回归分析结果 (x, y')				方差分析结果 (x, y')					
系数	估计值	变异来源	自由度	平方和	均方	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	
常数	$K = 1.840$	回归	1	55.485	55.485	738.531	4.12	7.42	
1	$a' = 2.498$	离回归	35	2.630	0.75				
2	$b' = -0.011$	总变异	36	58.115					

注: $a = e^{a'}$; $b = -b'$

表 4 回归关系检验结果表明: 地径生长的 Logistic 拟合模型其直线回归关系达极显著水平, 其方差分析所得的剩余均方值较小, 所得拟合方程的决定系数达到 0.955 略小于苗高拟合方程, 因而其拟合效果不如苗高曲线理想, 但是配合的 Logistic 函数方程是适合且比较可靠的, 这一点可从图 3 中实际观测值与理论拟合值的对比关系得到证实。

3.2.3 地径生长阶段划分 根据地径观测资料可以计算实际连日平均生长量, 结果表明: 地径与苗高出现最大日平均生长量的时间巧同一天, 也在 6 月

20 日。根据 (4) 式求出理论上印楝地径最大连日生长量出现的时间为第 225 天, 与实际值 (第 230 天) 之间仅相差 5 d 即出现在 6 月 15 日, 其日平均生长速度达 0.07 mm, 与实际观测值仅相差 0.01 mm。

如前面所述, 可用计算机对地径日平均生长量与时间变化的函数关系式进行拟合, 其拟合结果为:

$$y = 0.012 - 9.02 \times 10^{-5}t + 2.02 \times 10^{-7}t^2 \quad (R^2 = 0.756)$$

对方程求一阶导数并令 $\frac{dy}{dt} = 0$ 求出 $t = 223$ 即

地径日生长速度最快的时间在第 223 天,与连日生长量曲线方程推算的连日生长量出现最大值的时间(225 d)仅相差 2 d 与实际值(第 230 天)之间相差 7 d。按(5)式分析得知印楝地径生长理论上的速生期为[105, 344],即从 3 月 15 日至 10 月 14 日,速生期长达 7 个月,比苗高的速生期多 2 个月,此期间的地径净生长量为 1.14 cm,占整个生长量的 70.8%。

根据上面分析,从理论上把印楝苗地径生长划分为 4 个阶段:出苗期(11 月 1 日前);生长初期(11 月 1 日至 3 月 14 日),约占全年总生长时间的 37.2%,生长量占全年总生长量的 26.7%,生长时间短于苗高,但生长量远大于苗高占全年的总生长量的比例(14.5%);速生期(3 月 15 日至 10 月 14 日),生长持续时间占全年总生长时间的 58.3%,生长量约占全年总生长量的 70.8%;生长后期(10 月 14 日至 10 月 30 日),仅占全年总生长时间的 4.5%,生长量仅占全年总生长量的 2.5%。

3.3 印楝苗生物量的积累与分配及其与生长观测指标的相关分析

植物生物量的积累是地上光合作用与地下矿物质代谢、水分代谢等复杂生命活动共同协调作用的结果。为了更确切地探讨生长观测指标对生物量的贡

献及苗木生物量的分配模式,本研究以 60 株大样本对苗高、地径 2 个生长指标与地上部分、地下部分及整株的生物量和含水量进行了回归分析,同时测定了 1 年生印楝实生苗其它生长性状指标(表 5)。

表 5 表明:1 年生印楝实生苗在元江坝区其平均苗高可达 188.1 cm,地径可达 1.61 cm,可谓热带速生树种;苗木含水量丰富,平均株含水量 174.8 g 为全株干质量的 1.58 倍;苗木平均生物量 110.8 g 其中地上部分占全株质量的 69.1%;苗木主根发达,渗透土壤达 59.7 cm,根系分布广,侧根数目多。

从表 6 的分析可以看出:除主根长度与苗木的地径和苗高所建立的回归方程未达到显著水平外,其余各组分的模型回归方程都达极显著水平,其中以全株生物量、地上气干质量与地径、苗高的相关关系达高度相关,其复相关系数分别达 0.999 和 0.998 接近于 1.0 从气干质量与观测指标的偏相关系数看,苗高与气干质量的相关关系明显比地径更密切,以全株气干质量为例,苗高与之的偏相关系数达 0.994 而地径仅为 0.879,并且这一结论同样适用于全株含水量、主根长度和根幅等研究对象,这说明印楝苗的高度对其生物量、含水量、主根长度和根幅的贡献率要大于地径。

表 5 1 年生印楝实生苗各生长性状指标平均值及生物量分配模式

生物组分	平均地径 /cm	平均苗高 /cm	地上气干质量 /g	地下气干质量 /g	全株含水量 /g	主根长度 /cm	根幅 /cm	冠幅 /cm	大于 5 cm 一级侧根条
测定值	1.61	188.1	76.6	34.2	174.8	59.7	67.5	45×47	8.5

表 6 印楝苗各测定组分与生长指标(地径 x_1 、苗高 x_2)的多元回归方程

组分	回归方程	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
地上气干质量 /g	$y = -211.022 + 0.326x_1 + 152.727x_2$	99.736	3.16	5.02
地下气干质量 /g	$y = -61.558 - 0.002x_1 + 61.272x_2$	24.023		
全株气干质量 /g	$y = -272.580 + 0.324x_1 + 213.999x_2$	1.338.646		
全株含水量 /g	$y = -675.686 + 0.469x_1 + 489.295x_2$	15.545		
主根长度 /cm	$y = -31.012 - 0.159x_1 + 72.220x_2$	2.815		
根幅 /cm	$y = -74.746 - 0.241x_1 + 112.435x_2$	24.212		

表 7 印楝苗各测定组分与生长指标(地径、苗高)的偏相关分析

组分	地径			苗高		
	地径	苗高	R 复	地径	苗高	R 复
地上气干质量	0.893	0.988	0.998	全株含水量	0.849	0.982
地下气干质量	0.815	0.990	0.990	主根长度	0.614	0.795
全株气干质量	0.879	0.994	0.999	根幅	0.665	0.963

注: $r_{0.05} = 0.325$

3.4 印楝苗年生长规律与气象要素的相关分析

印楝苗不同生长阶段实际上是综合环境因子与苗木生理过程相互作用的结果,但各个因子对植物生长的影响效果并非同等重要,当某个因子接近生物的耐受限度而成为限制因子时,其作用就会显得

很大^[11]。在诸多环境要素中,气象因子是导致苗木产生不同生长节律的主要物理因子,为了解气象因子与印楝苗生长之间的相关关系,筛选其主要影响因素,建立线性回归模型以探讨它们之间的关系,结果见表 8 9。

表 8 印楝苗地径和苗高生长分别与各气象因子的多元回归方程 ($F_{0.05} = 4.12; F_{0.01} = 7.85$)

生长指标	回归方程	F 值		标准化系数		
苗高 / cm	$y = -27.051 + 1.934x_1 + 0.112x_2 - 0.204x_3 - 0.047x_4$	37.305	0.679	0.440	-0.094	-0.137
地径 / cm	$y = -0.156 + 0.007x_1 + 0.021x_2 - 0.002x_3 + 0.001x_4$	12.498	0.647	0.546	-0.071	0.112

注: $x_1 \sim x_4$ 分别表示平均温度 ($^{\circ}\text{C}$), 降雨量 (mm), 降雨日数 (d) 和日照时数 (h)。

表 9 印楝苗地径和苗高生长分别与
各气象因子的偏相关系数

生长指标	平均气温	降雨量	降雨日数	日照时数	R^2
苗高	0.896	0.840	0.805	-0.494	0.955
地径	0.905	0.849	0.834	-0.416	0.877

注: $r_{0.05} = 0.838$, R^2 为复回归方程的决定系数。

对表 8、9 的分析表明: 各气象因子与苗高、地径所建立的复回归方程达到极显著水平, 决定系数分别达 0.955 和 0.877, 因此该方程能够体现各气象要素与苗木生长的相关关系。

从表 9 中偏相关系数分布并结合表 8 中复回归方程的标准化系数来看, 平均气温对苗高和地径的生长影响最大, 贡献率最大, 降雨量次之; 从相关性来看, 在研究的 4 个气象因子中, 平均气温及降雨量与苗高和地径的关系都表现出了显著相关, 而与降雨日数和日照时数的相关性不显著; 日照时数与苗高、地径的生长呈负相关趋势, 这是因为从苗木开始生长的 11 月至次年 4 月为干旱季节, 气温较低, 日照强烈而苗木生长缓慢, 临夏雨季后, 有效日照时数相对减少而苗木生长却极为迅速; 表中平均气温与苗高、地径生长呈正相关, 但并不意味温度越高, 生长越快, 因为生物生长都存在“温度三基点”, 并且任何生理过程都是各作用因子的综合效应, 印楝原产地高温多雨, 正如表 8 中所列复回归方程的决定系数和表 9 中所列偏相关系数所示: 温高、降雨量丰富而形成的湿热气候是印楝生长的最佳气候环境。

4 小结与讨论

(1) 印楝实生苗的年生长节律遵循 Logistic 曲线, 并且用此方程可以模拟地径和苗高的年生长过程, 拟合效果理想, 据此方程可以预测苗木生长期间的苗高和地径的生长量, 并且由此方程导出的最大日平均生长量的出现时间及连日生长量变化速率的 2 个拐点与实际观测值基本相符, 这有助于对印楝苗木生长动态的跟踪和最佳出圃时间的预测。

(2) 印楝苗地径和苗高生长期基本一致, 根据对苗木连日生长量的动态模拟, 可以将印楝苗的生长划分为 4 个阶段: 出苗期, 11 月前; 生长初期, 至 4 月中旬止; 生长旺期, 从 4 月下旬止于 9 月下旬; 生长后期, 止于 10 月下旬。生长初期主要是根系入土

过程; 在生长旺期, 苗高和地径加速生长, 生物量积累迅速增加, 此间苗木地径与苗高生长量均占全年总量的 70% 以上。

(3) 苗木生物量积累与苗高和地径的相关性极为密切, 其中地上部分生物量占全株重量的 69.1%, 所建立的“苗高、地径——全株生物量”回归方程其决定系数甚至接近于 1.0 苗木含水量丰富, 为全株干质量的 1.58 倍, 主根入渗土壤达 59.7 cm, 根幅达 67.5 cm。印楝苗主根发达, 有利于固定株体; 根系广布, 能够有效利用水分, 根系这些生长性状与其作为速生耐旱树种之特性是分不开的, 但苗木生长节律始终受到气象因子的制约, 在这些因子中, 温度是影响苗木生长的主导因子。

本文中印楝苗生长阶段的划分是依据元江干热河谷的气候特征而作出的, 并不能完全代表其它不同气候区。尽管温度和降雨量与苗木生长的相关性均达显著水平, 但由于圃地管理过程中人为给水影响了降雨量与苗木生长相关关系的可靠性, 因此剔除了降雨量作为影响苗木生长的主导因子。

参考文献:

- [1] Schmutteer H. The Neem Tree [M]. Germany: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1995
- [2] 谭卫红, 宋湛谦. 天然植物杀虫剂印楝素的研究进展 [J]. 华南热带农业大学学报, 2004, 10(1): 23~28
- [3] 张燕平, 赖永祺. 印楝的世界地理分布与引种栽培概况 [J]. 林业调查规划, 2002, 27(3): 98~101
- [4] 张燕平, 赵粉侠, 刘秀贤, 等. 干热河谷印楝生长与立地条件关系 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(1): 74~79
- [5] 郑益兴, 刘秀贤, 杨朝凤, 等. 元谋干热河谷印楝幼林施肥效应初步研究 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 137~142
- [6] 彭兴民, 张燕平, 赖永祺, 等. 印楝生物学特性及引种栽培 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 75~80
- [7] 金振洲. 云南元江干热河谷半萨王纳植被的植物群落学研究 [J]. 广西植物, 1999, 19(4): 289~302
- [8] 李春喜, 王志和, 王文林, 等. 生物统计学 [M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [9] 赖文胜. 长序榆一年生播种苗的年生长规律 [J]. 南京林业大学学报, 2001, 25(4): 57~60
- [10] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [11] 邱学清, 江希钿. 回归积分在树木生长与气候关系中的应用 [J]. 福建林学院学报, 1989, 9(4): 418~422