

文章编号:1001-7380(2019)01-0001-05

红果榆播种苗高生长曲线拟合 与生长期的划分

李冬林¹, 崔梦凡², 黄琳曦², 裴文慧², 顾寅啸²

(1. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 2. 金陵科技学院园艺学院, 江苏 南京 210038)

摘要:以杭州西天目山红果榆种源为试材,研究了红果榆1年生播种苗高生长的季节变化,并利用 Logistic, Compertz 和 VonBertalanffy 3 种非线性模型对其高生长规律进行拟合,结果显示,3 种模型的拟合度(R^2)均在 0.98 以上; Von Bertalanffy 和 Gompertz 模型的拟合值与实际值偏离较大,而 Logistic 模型在整个测定时期其拟合值与实际值很接近,拟合度(R^2)达 0.994;依据 Logistic 生长模型,可将红果榆 1 年生实生苗的生长期划分为出苗期、生长初期、生长盛期和生长后期 4 个时期。其中,生长盛期幼苗高生长量占全年总生长量的 56.25%。沙床催芽、芽苗移栽育苗法具有出苗早、发芽齐、出苗率高、便于管理等优点,适于红果榆生产育苗中应用推广。

关键词:红果榆;幼苗培育;高生长曲线;生长期;划分

中图分类号:S723.1⁺31;S792.19

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2019.01.001

Height growth curve fitting of one-year-old seedlings of *Ulmus szechuanica* and division of growth period

Li Donglin¹, Cui Mengfan², Huang Linxi², Pei Wenhui², Gu Yinxiao²

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China;

2. Department of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China)

Abstract: The seasonal variation of height growth of one-year-old seedlings of *Ulmus szechuanica*, which came from West Tianmu Mountain, Hangzhou, was studied and three nonlinear models, such as Logistic, Compertz and VonBertalanffy, were used to fit the height growth ruler. The results showed the fitting degree (R^2) of the three models was above 0.98. The both fitting value of VonBertalanffy and Compertz model deviated greatly from the actual value, but the fitting value of Logistic model was very close to the actual value in the whole measuring period, and the fitting degree could reach 0.994. According to the Logistic growth model, the growth period of the one-year-old seedlings could be divided into four stages: emergence stage, early growth period, peak growth period and late growth period. Among them, the high growth rate of seedling in the growing period accounted for 56.25% of the total growth in the whole year. Higher germination rate, short germination time and homogeneous germination were the advantages of the method of accelerating germination in sand, so it is suitable for the cultivation of *U. szechuanica* seedlings in production.

Key words: *Ulmus szechuanica*; Seedlings cultivation; High growth curve; Growth period; Division

红果榆(*Ulmus szechuanica*)隶属榆科(Ulmaceae)榆属,落叶乔木,生长迅速,材质精良,为我国材用和景观绿化兼用树种之一^[1]。由于其种源有限,自然更新能力较差,加上环境恶化和人为破坏等因素的影

响,该物种自然分布有限,多零星散生于我国南方落叶阔叶林中。江苏是其自然分布的北缘,现存植株稀少(南京仅现1株,明孝陵),急需采取人为措施予以保护和拯救^[2]。红果榆树体高大、通直,枝叶平展、细

收稿日期:2019-01-06;修回日期:2019-01-19

基金项目:南京市绿化园林局科技计划项目“珍稀观赏树种红果榆的繁育栽培与应用技术研究”(YLKJ201701JH)

作者简介:李冬林(1969-),男,河南睢县人,研究员,博士。主要从事林木繁育等技术研究。E-mail:704020830@qq.com。

赋,生长期长,落叶迟,深秋叶片转黄。春季挂果,果核部分位于翅果的中部,上端接近缺口,淡红色,极具观赏价值,市场潜力巨大。目前,榆属植物的研究仅限于榔榆^[3-4]、白榆^[5-7]等常见的种类,有关红果榆育苗实践研究国内尚无报道。为保存红果榆这一珍贵植物资源,近年作者在我国浙江西天目山、江苏镇江进行了种源搜集和引进,并在江苏南京开展了播种育苗试验。本文通过播种育苗试验,对红果榆实生苗苗期形态特征及生长规律进行了动态研究,旨在为生产上开展红果榆的科学育苗与拯救管理提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 种实采集与处理

2018 年春季自结果母树上采集成熟的种实作为试验材料,种源来自浙江杭州西天目山(东经 119°45',北纬 30°32')。采集完后,稍作晾晒,并经人工过筛、手拣清除杂物后播种和待测。

1.2 试验地自然条件

试验地位于南京市金陵科技学院园艺实验站(东经 118° 46',北纬 31° 51')。地处北亚热带的边缘,季风气候,年均气温 15.8℃,极端最高气温 41.0℃,极端最低气温-13.1℃,年相对湿度78%—80%,年均降雨量 1 276 mm,年均日照时数2 212.8 h。土壤类型为山地黄棕壤,pH 值 6.8。土壤经精细整地、作高床,床高 25 cm,床宽 1 m。为防止病虫侵染,育苗前用 30%硫酸亚铁水溶液对苗床进行灭菌 1 次。

1.3 育苗方法

采用沙床催芽、芽苗移栽育苗法。沙床事先经曝晒和多菌灵水溶液消毒,于 4 月初播种,密度为 2 000—3 000 粒/m²,覆沙厚1.0—2.0 cm,后淋水覆膜,确保沙面含水量40%—45%。幼芽出土后,用竹签移苗,移植株行距为 10 cm×20 cm。芽苗移栽后

进行正常的土壤水管理。

1.4 苗期测定与生长曲线模拟

自 5 月 31 日开始进行苗期高生长量测定。采用定株定时测定法,选用幼苗 100 株作为测定株(标记),观测记载不同时间段幼苗的高生长量变化,并利用 Logistic、Compertz 和 VonBertalanffy 3 种非线性模型来拟合幼苗生长的动态变化,借助 Excel 2003 绘制生长曲线,用 SPSS 19.0 软件计算模型拟合参数^[8]。利用模型对幼苗生长期进行划分。3 种非线性模型及参数特征参数见表 1^[9]。苗木生长阶段的划分采用 Logister 曲线方程参数拟合法^[10-11]。

表 1 拟合的 3 种非线性模型及参数

数学模型	表达式	拐点高度	拐点时间	最大日增高量
Logistic	$Y=A/[1+B\cdot EXP(-kt)]$	A/2	(lnB)/k	kY/2
Compertz	$Y=Ae^{-B\cdot EXP(-kt)}$	A/e	(lnB)/k	kY
VonBertalanffy	$Y=A[1-B\cdot EXP(-kt)]^3$	8A/27	(ln3B)/k	3kY/2

A 为最大高度,k 为瞬时生长速度,B 为估计参数,t 为生长时间

2 结果与分析

2.1 红果榆种实发芽及幼苗高生长的季节变化

经观察,红果榆种实不具有休眠习性,可进行当年采种当年育苗。2018 年春季少雨,气温偏高,芽苗出土较快。4 月初播种,4 月 10 日开始陆续出苗,4 月 24 日进入出土盛期,到 5 月 2 日基本出齐,出苗时间 20 d 以上,平均出苗率在 65%以上。苗高生长量定期观测结果见表 2。

从表 2 可以看出,6—7 月幼苗细小幼嫩,生长缓慢,旬高生长量仅 0.28—11.39 cm。到了 8 月,随着气温升高,苗木进入速生期,高生长量急剧增加,

表 2 1 年生实生苗木高生长量定期观测结果

类别	日期									
	05-31	06-10	06-20	06-30	07-10	07-20	07-30	08-09	08-19	08-29
生长天数/d	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
苗高/cm	4.0	4.28	5.02	6.77	8.15	12.74	24.13	37.20	56.16	70.68
旬生长量/cm		0.28	0.74	1.75	1.38	4.59	11.39	13.07	18.96	14.52

类别	日期									
	09-08	09-18	09-28	10-07	10-17	10-27	11-07	11-17	11-20	11-30
生长天数/d	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
苗高/cm	80.89	86.73	91.46	94.27	96.91	98.14	99.12	101.26	102	102
旬生长量/cm	10.21	5.84	4.73	2.81	2.64	1.23	0.98	2.14	0.74	0

旬生长量平均为 15.51 cm,最长达 18.96 cm;进入 9 月以后,气温开始下降,幼苗生长变缓,11 月下旬幼苗渐趋停止生长。经测算,7—8 月苗高生长量约占全年高生长量的 62.65%。

2.2 高生长模型的构建与参数评估

红果榆 1 年生苗总体上呈现出 S 型的生长趋势(见图 1)。应用 SPSS 17.0 统计分析软件 Non-linear Regression 程序对各参数估计值见表 3。模型由 3 种参数组成: A, B, k ;在该试验中 A 为最大

生长高度, k 为瞬时生长速度, B 为待定参数。该研究结果显示 3 种模型均能拟合 1 年生红果榆的生长曲线,但 Logistic 曲线模型的拟合效果最好,其拟合度(R^2)和残差平方和(E)分别为 0.998 和 81.699,且生长速率在 88 d 左右达到最大;Compertz 曲线模型的拟合效果也较好,其 R^2 和 E 分别为 0.996 和 143.784;VonBertalanffy 曲线模型的拟合效果略差,其 R^2 和 E 分别为 0.983 和 581.053。

表 3 红果榆高生长曲线模型参数估计值及拟合度

数学模型	参数					拐点时间	拐点高度	最大日增量
	A	B	k	R^2	E			
Logistic	100.606	213.222	0.061	0.998	81.699	87.907	50.303	1.534
Compertz	102.715	24.704	0.041	0.996	143.784	78.219	51.358	2.105
VonBertalanffy	111.126	1.707	0.023	0.983	581.053	71.015	55.563	1.917

2.3 不同生长模型的比较与分析

运用最小二乘法以及不同模型参数(A, B, k),根据不同的生长方程计算出理论预期生长量见表 4,从而进一步绘制红果榆的高生长曲线。从 20 个观测时间点比较可以看出,Logistic 模型在不同时间点的拟合值与观测值总体上拟合较好;而 Compertz 和 VonBertalanffy 模型只有后期时间点拟合得很好。结合拟合度和残差平方和(E)等指标,认为 Logistic 模型是 3 种模型中拟合红果榆株高生长的最佳模型^[10-11]。

2.4 应用 Logistic 曲线方程对幼苗高生长时期的划分

Logistic 曲线方程为:

$$Y = \frac{A}{1 + Be^{-kt}}$$

将上式两边求一阶导数,可得连日生长量随时间的变化方程;其二阶导数为连日生长量变化的速率曲线,其方程为:

$$\frac{d^2 Y}{d^2 t} = \frac{BAk^2 e^{-kt}}{(1 + Be^{-kt})^3} (1 - Be^{-kt})$$

令上式等于 0,可得连日生长量最大时的 t 值,为

$$t = \frac{1}{k} \ln B$$

求三阶导数,并令其等于 0,可得连日生长量变化速率最快的 2 个点,即 t_1 和 t_2 ,即由种子萌发到速生期转入缓慢生长的分界点, t_1-t_2 为速生期,而

$$t_1 = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{B}{3.73205}\right), t_2 = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{B}{0.26795}\right)$$

表 4 红果榆幼苗高生长量与拟合值的比较

日期	生长期 /d	观测值 /cm	Logistic	Compertz	VonBertalanffy
05-31	10	4.0	0.86	0.00	-
06-10	20	4.28	1.57	0.00	-
06-20	30	5.02	2.86	0.08	0.33
06-30	40	6.77	5.14	0.85	3.63
07-10	50	8.15	9.07	4.27	10.78
07-20	60	12.74	15.51	12.45	20.64
07-30	70	24.13	25.27	25.31	31.77
08-09	80	37.2	38.40	40.54	43.03
08-19	90	56.16	53.51	55.43	53.67
08-29	100	70.68	68.06	68.21	63.28
09-08	110	80.89	79.86	78.28	71.68
09-18	120	86.73	88.16	85.77	78.86
09-28	130	91.46	93.44	91.13	84.89
10-07	140	94.27	96.58	94.87	89.90
10-17	150	96.91	98.38	97.44	94.02
10-27	160	98.14	99.38	99.18	97.38
11-07	170	99.12	99.94	100.36	100.11
11-17	180	101.26	100.24	101.14	102.31
11-20	190	102	100.41	101.67	104.08
11-30	200	102	101.11	101.93	106.71

依据红果榆 1 年生幼苗的生长数据,经 SPSS 17.0 软件测算,Logistic 曲线方程式中 $A = 100.606, B = 213.322, k = 0.061$ 。则

$$Y = \frac{100.606}{1 + 213.322e^{-0.061t}}$$

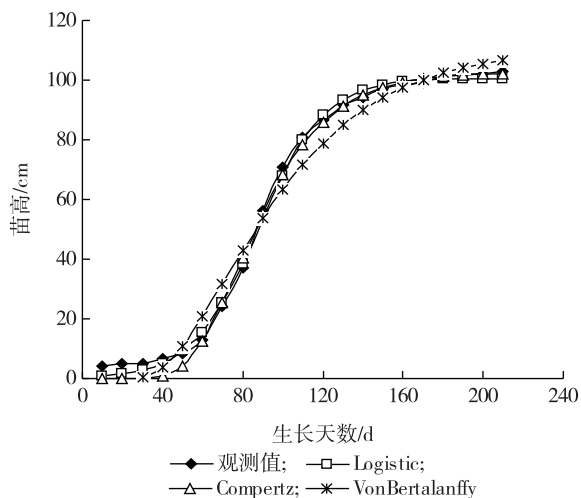


图 1 3 种模型幼苗高生长拟合曲线与观测值的比较

$$t = \frac{1}{k} \ln B = \frac{1}{0.061} \ln 213.322 = 88$$

应用以上公式可以对 t_1 和 t_2 进行计算,再结合苗木实际的生长情况,可将苗木高生长过程进行划分。

$$t_1 = \frac{1}{0.061} \ln \left(\frac{213.322}{3.73205} \right) = 66$$

$$t_2 = \frac{1}{0.061} \ln \left(\frac{213.322}{0.26795} \right) = 109$$

t_1, t_2 即由种子萌发到速生期转入缓慢生长的分界点, $t_1 - t_2$ 为生长盛期。

据此可以预测苗木生长期内苗高的生长量,并且由此方程导出的连日生长量变化与实际观测值基本相符,这一结论有助于对红果榆苗木生长动态的跟踪和最佳出圃时间的预测。

通过以上计算,再结合苗木实际的生长情况,可将苗木高生长过程大致划分为出苗期、生长初期、生长盛期、生长后期 4 个时期(见表 5)。

表 5 红果榆 1 年生幼苗高生长时期的划分

生长时期	起止日期	生长时间/d	生长量/cm	占比/%
出苗期	04-10—05-02	22	2.8	2.72
生长初期	05-03—07-25	83	9.94	9.65
生长盛期	07-26—08-30	34	57.94	56.25
生长后期	08-31—11-30	200	32.32	31.38

若取 4 月 10 日对应的 $t=0$, 则 t, t_1, t_2 所对应的时间分别为 8 月 17 日、7 月 26 日、8 月 30 日。从表 5 中也可以看出,红果榆种子萌发出土较快,到苗木基本出齐用了 22 d,相对其他树种,苗木的出苗期较

短,这是由于采取了沙床催芽、芽苗移栽育苗法的结果;生长初期维持时间较长,用了 83 d,苗木的净生长量仅占总生长量的 9.65%;生长盛期维持时间相对中等,为 34 d,但生长量却占总生长量的 56.25%;进入 9 月,苗木进入生长后期,即苗木缓慢生长期,生长量占总生长量的 31.38%,高生长速度逐渐缓慢,直至生长停止。

3 结论与讨论

(1) 红果榆种实为翅果,每年 4 月成熟。种子不具有休眠性,因此可以实现当年采种、当年育苗。种子经过适当浸泡后即可播种,芽苗出土较快。4 月初播种,4 月 10 日开始陆续出苗,4 月 24 日进入出土盛期,到 5 月 2 日基本出齐,出苗时间大致为 22 d,平均出苗率在 65% 以上。

(2) 生长模型是研究苗木年生长节律的有效手段,可描述苗木高、地径随时间增长而发生的规律性变化,也可反映苗木生长与外界环境的相互关系^[12]。目前用于拟合“S”曲线生长节律的模型主要有 Compertz 模型、Logistic 模型、Von Bertalanffy 模型等^[13-17],但应用最多的还是 Logistic 曲线模型。前人已经运用生长曲线对簸箕柳(*Salix suchowensis*)^[9]、丝棉木(*Euonymus maackii*)^[16]、青钱柳(*Cyclocarya paliurus*)^[12]、印楝(*Azadirachta indica*)^[18]、竹类^[19]等多种树木的生长节律进行过拟合,表明了 Logistic 生长模型在实际应用中效果均较好,且可得到合适的生物学解释。本文根据红果榆 1 年生苗的高生长量,选用 3 种生长模型对其苗高年生长节律进行拟合,各种模型的拟合度(R^2)均在 0.95 以上,表明 3 种非线性曲线模型均取得较好的拟合效果。Logistic 模型在不同时间点的拟合值与观测值总体上拟合最好($R^2 = 0.998$)。因此,Logistic 模型是 3 种模型中拟合红果榆株高生长的最佳模型。

(3) 依据 Logistic 生长模型,并结合实际测定的高生长量,将红果榆 1 年生实生苗的生长期划分为出苗期、生长初期、生长盛期和生长后期。其中,生长盛期幼苗高生长量占全年总生长量的 56.25%,说明生长盛期的生长量决定着整个生长期的生长量。因此,生产中应高度重视生长盛期的苗期管理。尤其要加强生长盛期内水分、施肥管理,为苗木的生长创造充分的地力和营养条件,以加速幼苗生长,提高幼苗的质量。

(4) 种实发芽需要苗床具有合理的温度、水分

和良好的透气性。这对于土壤粘重、春季多雨的南方,小粒种实的播种常会受到一定限制。而红果榆种实属于典型的翅果,种粒小,播种育苗对土壤要求条件高,受到天气和土壤的限制,大田播种会出现出苗不齐,发芽率不高的结果。而沙床催芽、芽苗移栽的育苗方法则具有出苗早、发芽齐、出苗率高等优点,适于生产单位育苗应用推广。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志第 22 卷[M].北京:科学出版社,1998.
- [2] 黄宝龙.江苏森林[M].南京:江苏人民出版社,1998:227-229.
- [3] 吴晓宇,李存华,王 志,等.低温胁迫对榔榆生理生化指标的影响[J].天津农业科学,2017,23(7):10-13.
- [4] 张清瑜,李存华,杨庆山.榔榆幼苗耐旱特性及补偿效应机制研究[J].山东林业科技,2017(5):22-04.
- [5] 续九如,宋 婉,邹受益,等.榆属树种遗传改良研究现状及思考[J].北京林业大学学报,2000,22(6):95-99.
- [6] 顾万春,刘德安,田玉林,等.白榆种源与家系的选种研究[J].林业科学,1987,23(4):415-424.
- [7] 朱延林,董铁民,茹桃勤.白榆速生、高抗榆蓝叶甲优良无性系 65212 选育研究[J].林业科学,1997,33(专刊 1):39-46.
- [8] 戴国俊,王金玉,杨建生,等.应用统计软件 SPSS 拟合生长曲线方程[J].畜牧与兽医,2006,38(9):28-30.
- [9] 马秋月,陈赢男,渠纪腾,等.簕簕柳种内杂交 F1 群体株高生长曲线的拟合[J].南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(4):13-16.
- [10] 狄香香,方升佐,汪红卫,等.青檀一年生播种苗年生长规律的研究[J].南京林业大学学报,2001,25(6):11-14.
- [11] 张纪林,李淑琴.树木生长建增性的数学模型探讨[J].林业科技通讯,1990(3):8-11.
- [12] 余诚祺,杨万霞,兰传亮,等.青钱柳一年生实生苗的年生长节律[J].林业科技开发,2009,23(2):45-47.
- [13] RICKLEFS R E. A graphical method of fitting equations to growth curves[J]. Ecology, 1967, 48(6): 978-983.
- [14] WEST G B, BROWN J H, ENQUIST B J. A general model for ontogenetic growth[J]. Nature, 2001, 413: 628-631.
- [15] KUIH H D, KEBREAB E, LOPEZ S, et al. An evaluation of different growth functions for describing the profile of live weight with time (age) in meat and egg strains of chicken [J]. Poultry Science, 2003, 82(10): 1536-1543.
- [16] 卢 芳,王荣华,徐小林,等.丝棉木 1 年生实生苗生长发育规律[J].江苏农业科学,2017,45(24):141-142,145.
- [17] 黄石嘉,李铁华,文仕知,等.青冈栎的生长规律及生物量分布格局研究[J].中南林业科技大学学报,2017,37(3):57-62.
- [18] 郑益兴,冯永刚,彭兴民,等.印楝 1 年生苗木生长节律与数量分级标准[J].南京林业大学学报(自然科学版),2008,32(3):25-30.
- [19] 凡美玲,方水元,冯俊娇,等.4 个竹种高生长模型的比较[J].竹子学报,2018,37(2):64-70.

· 征订启事 ·

欢迎订阅 2019 年度《江苏林业科技》

《江苏林业科技》为国内外公开发行的综合性林业科学技术刊物。1974 年创刊。为《中国学术期刊(网络版)》入编期刊、全国优秀期刊、江苏省优秀期刊、全国优秀农业期刊、华东地区优秀期刊。加入“万方数据——数字化期刊群”和中国期刊网等。

《江苏林业科技》主要刊登良种选育、育苗造林、园林绿化、林副特产、森林经营、森林保护、调查设计、野生动物等方面的学术论文、科研报告、经验总结,以及林业新成果、新技术,有较强的指导性、技术性、实用性,是林业科研、教学工作者、管理部门及广大林业生产者不可少的参考资料。欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎刊登广告,宣传产品等。

《江苏林业科技》为双月刊,大 16 开本,国内外公开发行。国内统一刊号:CN 32-1236/S,国际标准刊号:ISSN 1001-7380,每期定价 6.00 元,全年订费 36.00 元。全年办理订阅手续,需订阅者请到当地邮局订阅或将订款汇至南京市江宁区东善桥江苏省林业科学研究院本刊编辑部,邮政编码 211153。电话(025)52745438,83602820,83602060。由银行或邮局汇寄均可。开户银行:南京市农业银行金鹰支行,户名:江苏省林业科学研究院,帐号:10105101040000010。邮发代号:28-303。