

谭秋锦,黄锡云,许 鹏,等. 基于 Logistic 模型的澳洲坚果果实生长发育研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):146-148.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.039

# 基于 Logistic 模型的澳洲坚果果实生长发育研究

谭秋锦,黄锡云,许 鹏,王文林,陈海生,覃振师,郑树芳,何铨扬

(广西南亚热带农业科学研究所,广西龙州 532415)

**摘要:**2014—2015 连续 2 年对 6 个澳洲坚果品种 OV、788、NG<sub>18</sub>、695、桂热 1 号、842 的果实纵横径生长动态进行测量,构建果实纵径和横径生长的 Logistic 模型。结果发现,澳洲坚果果实生长呈典型的“S”形曲线,Logistic 拟合系数均超过 0.85,与实测数据相关性均达到极显著水平,其中纵径最大相对生长速率为桂热 1 号 > 842 > 788 > OV > NG<sub>18</sub> > 695;横径为 OV > NG<sub>18</sub> > 788 > 桂热 1 号 > 695 > 842。拟合方程确定各种果实生长初期、速生期、生长后期的时间节点,即果实膨大期和种仁充实期,明确各品种果实发育进程。Logistic 模型可准确地预测澳洲坚果果实的生长发育。

**关键词:**澳洲坚果;果实生长发育;Logistic 模型;纵径;横径

**中图分类号:**S664.901 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)07-0146-03

澳洲坚果(*Macadamia ternifolia*)别称夏威夷果,原产于澳大利亚昆士兰与新南威尔州的亚热带雨林,为山龙眼科(Proteaceae)澳洲坚果,属常绿乔木,是果用、油用、材用于一身的著名经济林果。澳洲坚果的果仁营养丰富,含油量在 70% 以上,蛋白质含量在 9% 左右,含有人体必需的 8 种氨基酸,还富含多种人体必需的矿物质和维生素,是一种新兴的高档坚果类果树,正在为越来越多的国家和地区所重视<sup>[1-2]</sup>。近几年来,我国大力发展木本粮油树种和实施木材储备战略,作为兼具两者于一身的澳洲坚果备受关注,目前云南、广东、广西等地出现种植热潮,但缺乏科研和生产积累。中国于 20 世纪开始引种,随后开展引种试种试验,从修枝整形、病虫害防治、栽培模式、产品加工等方面进行研究<sup>[3]</sup>。但很少关注果实生长初期的土壤水分管理、速生期的肥水管理和生长后期的养分管理等<sup>[4-5]</sup>,国外对果实发育方面的研究结果也还没定论<sup>[6]</sup>。果实生长主要包括果质量与形态的变化,形态是果实外观品质的重要指标,主要由果实横径与纵径表示,产量是变化的结果,其大小直接影响果实的商品性。果实生长发育进程受品种、气候影响很大,因此建立澳洲坚果横径与纵径的生长模拟模型,进而通过果实横径、纵径模拟果实生长的动态变化,预测果实鲜质量和产量,了解澳洲坚果品种的果实发育进程对果园生产管理、提高果实品质和产量具有指导意义。

## 1 材料与方法

收稿日期:2016-02-18

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFC0502406);广西公益基金(编号:GXNYRKS201506、GXNYRKS201611、GXNYRKS201612);广西防城港市科技成果转化与推广项目(编号:防科转 15013005);农业部热带作物种质资源保护项目(编号:14RZZY-36)。

作者简介:谭秋锦(1987—),女,广西灵山人,硕士,助理研究员,主要从事果树养分研究。E-mail:907483807@qq.com。

通信作者:覃振师,硕士,高级农艺师,主要从事作物栽培研究。E-mail:macadamia168@126.com。

### 1.1 试验材料

本试验在广西省南亚热带农业科学研究所澳洲坚果种质资源圃中进行。试验材料均为 2004 年 4 月种植(2 年生实生砧木嫁接苗),选择生长、管理水平一致的 6 个不同品种(OV、788、NG<sub>18</sub>、695、桂热 1 号、842)(表 1)。每个品种选 1 株作样本挂牌测量,3 次重复。

### 1.2 试验地概况

研究区为广西龙州县彬桥乡境内,属于广西西南部,位于 106°33'~107°12'E、22°8'~22°44'N 之间,最高海拔 1 045 m,一般海拔约 200 m,以盆地著称,属亚热带季风气候区,年平均气温 22.3~23℃,年极端高温为 41.6℃,最低气温为 -3.0℃,日照时数 1 582.7 h,无霜期达 350 d 以上。年均降水量 1 304.1 mm,集中在 6—9 月,年均空气相对湿度 81%~87%。西北高,中南低,以喀斯特地形石山为主,很多独立的小山峰陡而散碎,属二迭纪岩层风化而成的石灰土。

### 1.3 试验方法

于 2014—2015 年连续观测 2 年,每年自第 1 次生理落果开始,至果实自然成熟采收时结束。每个样本选取 50 个果实,按东南西北中 5 个方向在树冠外围平均选样,挂牌编号并用记号画定测量位置,每 20 d 测量果实纵横径 1 次,果实纵横径用电子游标卡尺测量。以每次测得的纵横径平均值为标准,果实质量用百分位电子天平称量。

### 1.4 数据处理

利用 Excel 2007 进行回归分析,构建 Logistic 模型对果实纵横径生长进程进行拟合,表达式为<sup>[7-8]</sup>:

$$y = \frac{k}{1 + e^{a+bt}}; \quad (1)$$

$$k = \frac{y_2^2(y_1 + y_3) - 2y_1y_2y_3}{y_2^2 - y_1y_3}; \quad (2)$$

$$t_1 = \frac{1}{b} \ln \frac{2 - \sqrt{3}}{a}; \quad (3)$$

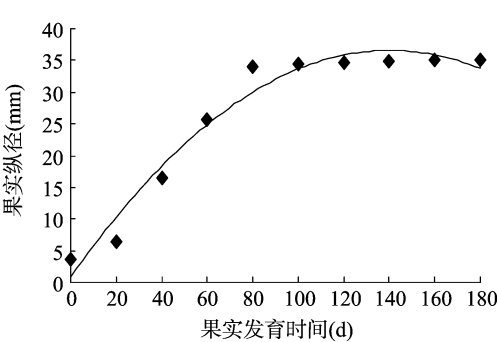
$$t_2 = \frac{1}{b} \ln \frac{2 + \sqrt{3}}{a}; \quad (4)$$

$$v_m = -\frac{bk}{4}; \tag{5}$$

$$t_m = -\frac{\ln a}{b}。 \tag{6}$$

式中:  $y$  为果实纵径或横径, mm;  $t$  为果实生长时间, d;  $k$  为果实纵径或横径理论极值, mm;  $a$ 、 $b$  为参数;  $t_1$  为果实快速生长起始时间, d;  $t_2$  为果实快速生长终止时间, d;  $v_m$  为最大相对生长速率;  $t_m$  为最大相对生长出现时间, d。

2 结果与分析



2.1 澳洲坚果果实实生长模型构建

澳洲坚果果实实生长可用公式(1)进行拟合,其中桂热 1 号纵径、横径生长拟合曲线见图 1,其他品种拟合曲线与之类似,可见澳洲坚果果实实生长发育呈快—慢—稳定的“S”形曲线。对其他品种果实实纵横径生长拟合(表 1),决定系数均超过 0.85,与  $F$  对应的概率值  $P$  均小于 0.001,表明拟合方程与实测数据相关性均达到极显著水平,理论极值  $K$  与实测值非常接近,因此,利用 Logistic 模型拟合澳洲坚果果实实生长是可行的。

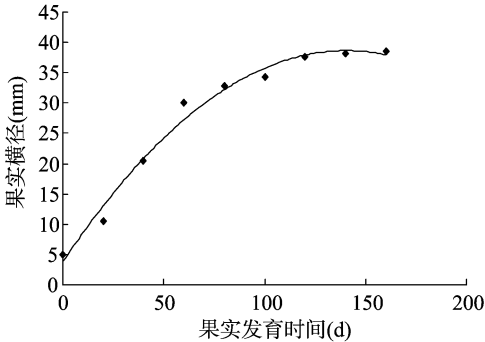


图1 桂热 1 号纵径、横径生长拟合曲线

表 1 6 个澳洲坚果品种果实生长的 Logistic 模型参数及检验指标

品种	Logistic 方程	相关系数 $r$	决定系数 $r^2$	$F$ 值	实测值 $k$
桂热 1 号	$y = 35.64/[1 + \exp(9.2156 - 0.0377x)]$	0.933 1	0.870 7	53.882 1	35.583 1
	$y = 39.26/[1 + \exp(9.7407 - 0.0354x)]$	0.986 1	0.972 5	282.908 9	39.189 9
OV	$y = 33.64/[1 + \exp(11.4272 - 0.0357x)]$	0.915 6	0.853 8	41.521 4	33.999 4
	$y = 46.92/[1 + \exp(7.7245 - 0.0344x)]$	0.934 2	0.856 9	54.917 4	46.877 7
788	$y = 35.71/[1 + \exp(10.4780 - 0.0349x)]$	0.917 4	0.851 7	42.554 9	35.243 2
	$y = 44.46/[1 + \exp(6.6745 - 0.0326x)]$	0.949 1	0.900 8	72.718 0	43.723 7
NG <sub>18</sub>	$y = 35.96/[1 + \exp(6.6379 - 0.0333x)]$	0.945 5	0.894 1	67.572 0	35.836 4
	$y = 41.64/[1 + \exp(5.0581 - 0.0377x)]$	0.965 7	0.932 7	110.885 9	41.241 6
695	$y = 35.64/[1 + \exp(8.5514 - 0.0294x)]$	0.945 0	0.893 1	66.865 5	35.558 8
	$y = 41.88/[1 + \exp(5.7299 - 0.0329x)]$	0.963 9	0.929 1	104.988 0	42.058 0
842	$y = 31.74/[1 + \exp(10.7413 - 0.0416x)]$	0.934 7	0.873 6	55.334 6	32.085 0
	$y = 40.64/[1 + \exp(4.7242 - 0.0349x)]$	0.942 5	0.888 3	63.647 2	39.512 4

2.2 澳洲坚果果实实生长阶段划分

根据公式(3)、(4)、(5)、(6)得出果实生长速率转折点及其他物候期参数(表 2),将澳洲坚果生长划分为生长初期(坐果,  $t_1$ )、快速生长期( $t_1$ ,  $t_2$ )、生长后期( $t_2$ , 成熟)3 个阶段(表 2)。从整体发育进程看,NG<sub>18</sub> 最早,842、桂热 1 号、695、788 次之,OV 最迟。从纵径发育看,NG<sub>18</sub> 最早进入速生期,仅需 17.29 d,而桂热 1 号则需要 33.97 d 最晚进入速生期;从横径发育看,842 仅需 6.75 d 最早进入速生期,同时发现,所有品种果实横径生长要先于纵径生长,平均早 10 d,除 NG<sub>18</sub> 和 695 外,其他品种果实横径速生期长于纵径速生期,桂热 1 号和 842 相差 10 d 外,另外 4 个品种相差少于 10 d,6 个品种均在 7 月下旬达到最大相对生长,其中纵径最大相对生长速率为桂热 1 号 > 842 > 788 > OV > NG<sub>18</sub> > 695;横径为 OV > NG<sub>18</sub> > 788 > 桂热 1 号 > 695 > 842。

2.3 澳洲坚果果实实重量的变化

果实质量特别是单粒鲜质量是果实数量性状中的重要因

子,一定程度上反映和决定着果实质量<sup>[9]</sup>。6 个澳洲坚果品种果实生长过程中果实鲜重变化曲线基本与纵横径变化一致,呈“S”形快—慢—稳定增长规律,果实鲜质量在快速生长后出现几天的停滞或缓慢增长,然后再次缓慢增长,最终趋于稳定(图 2),原因可能是由该时间段天气干旱,水分不能满足果实发育需求导致,由于时间较短,果实干物质积累受到的影响不大。

3 讨论与结论

澳洲坚果为雌雄同株、但花期不一致,种植时必须搭配不同品种保证授粉受精。本研究从果实生长与发育指数的关系出发,用果实纵横径与坐果时间(或定植时间)的 Logistic 方程或直线方程来模拟果实的生长发育,建立澳洲坚果果实实生长模型,从结果看,不同品种的澳洲坚果果实实生长进程差异较大,特别是速生期又是果实发育的关键阶段,因此结合 Logistic 生长曲线方程,通过生长时间预测澳洲坚果果实发育

表 2 6 个澳洲坚果品种果实生长特征值

品种	指标	$t_1$ (d)	$t_2$ (d)	$t_2 - t_1$ (d)	$t_m$ (d)	$v_m$ (mm/d)
桂热 1 号	纵径	23.97	93.84	59.87	58.910	0.335 0
	横径	24.04	98.45	74.41	61.240	0.346 8
OV	纵径	31.35	105.12	73.78	68.235	0.303 4
	横径	21.15	97.71	76.57	59.430	0.403 1
788	纵径	29.59	105.05	75.46	67.315	0.307 4
	横径	17.83	98.63	80.79	58.230	0.356 3
NG <sub>18</sub>	纵径	17.29	96.39	79.09	56.841	0.298 3
	横径	8.04	77.72	69.68	42.883	0.389 7
695	纵径	28.20	117.79	89.59	72.995	0.261 3
	横径	13.03	93.08	80.06	53.061	0.345 9
842	纵径	25.41	88.72	63.32	57.069	0.333 6
	横径	6.75	82.22	75.47	44.489	0.344 7

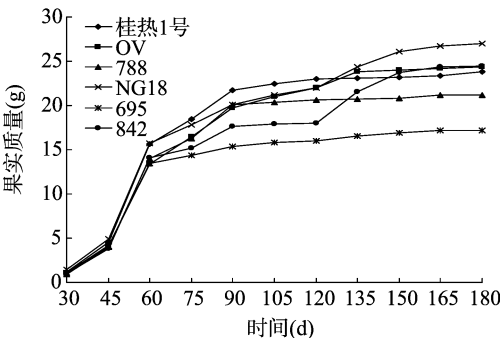


图2 6 个澳洲坚果品种果实鲜质量的生长

情况,掌握其生长发育规律和节点,对于科学合理安排果园管理、提高果实商品性及经济效益具有重要意义。

本研究构建了澳洲坚果果实纵横径生长的 Logistic 模型,拟合系数超过 0.850,与实测数据相关性达到极显著水平,证明该模型预测澳洲坚果果实生长是可行的。相关研究结果表明果实纵横径与发育时间呈“S”形曲线变化规律<sup>[10-11]</sup>,澳洲坚果果实生长发育也呈典型的“S”形曲线,也与朱海军等在坚果方面研究的山核桃相近<sup>[12-13]</sup>。整个生长期分生长初期(6月前)、速生期(6月初到8月底)、生长后期(9月初到成熟)3个阶段;也有研究<sup>[14]</sup>将其分为果实膨大期、种仁充实期2个阶段,前者指授粉受精到种壳开始硬化,与本研究生长初期到速生期时间基本吻合,后者指果实灌浆、种仁充实,与本研究生长后期时间吻合。前2个阶段典型特征是果实持续膨大和胚缓慢发育,生长后期主要特征是总苞(青果皮)增厚、种壳开始硬化、核仁由液态转变为固态。此类模型,可为合理安排果期和栽培管理提供依据,即在果实发育高峰期到来之前是加强田间肥水管理的关键时期,既要注意促控结合,供给植株充足的营养,促进果实迅速膨大,又要注意氮、磷、钾肥配合施用,防止植株早衰和病虫害发生,保持较大的光合面积,以提高果实营养物质积累与转化,促进果实成熟,提高澳洲坚果的产量和品质。本研究采用果实横、纵径预测澳洲坚果发育进程,在澳洲坚果果实非离体的情况下对同一果实进行连续的动态测定。

在生长初期,果实生长速度较慢,为病虫防治的关键时期;速生期是果实形态生长的关键阶段,速生期结束果实也达到最终大小,该阶段土壤肥水是果实大小的决定性条件,应加强肥水管理;灌浆期为水分需求关键期,该阶段土壤水分是果

仁发育完全、果实饱满的重要保障。影响果实大小的因素很多,包括树体活力、年龄、果实着生位置、负载量、果园郁闭度、土壤肥水条件等<sup>[15-16]</sup>,因此还应结合气候、环境条件综合考虑,才能更准确地掌握澳洲坚果果实形态生长及发育进程。

参考文献:

[1] 杨帆,魏舒娅,胡发广,等. 干热河谷地区澳洲坚果果实发育特性及落果调查[J]. 中国农学通报,2016,32(1):1-6.

[2] 曾黎明,陈显国,崔明勇,等. 不同品种澳洲坚果生长、开花与坐果性状比较[J]. 广东农业科学,2011,38(22):36-38.

[3] 杨为海,王维,曾辉,等. 澳洲坚果不同种质果实数量性状的研究[J]. 热带作物学报,2011,32(8):1434-1438.

[4] Haulik T K, Holtzhausen L C. Evaluation of five pecan (*Carya illinoensis*) cultivars for nut quality[J]. South African Journal of Plant and Soil,1988,5(1):1-4.

[5] Byford R, Herrera E. Growth and development of pecan nuts[M]. Las Cruces: New Mexico State University, 2005.

[6] 董涓泉. 美国薄壳山核桃果实发育研究[J]. 云南林业科技,2002(3):66-70.

[7] 张智优,曹鑫鑫,陈兵林,等. 设施番茄果实生长及产量形成模拟模型[J]. 江苏农业学报,2012,28(1):145-151.

[8] 胡文冉,范玲,田晓莉,等. Excel 在 Logistic 曲线拟合中的应用[J]. 农业网络信息,2013(3):14-16.

[9] 杨为海,王维,邹明宏,等. 澳洲坚果果实数量性状的因子分析[J]. 热带作物学报,2011,32(9):1600-1604.

[10] 贺超兴,齐维强,马丽丽,等. 日光温室不同番茄品种生长发育动态规律的研究[J]. 农业网络信息,2008(9):127-130,133.

[11] 薛俊华,罗新兰,李东,等. 温室番茄干物质分配及果实生长发育规律的研究[J]. 河南农业科学,2008(10):110-112,115.

[12] 朱海军,生静雅,刘广勤,等. 基于 Logistic 模型的薄壳山核桃果实生长发育研究[J]. 西南农业学报,2015,28(3):1231-1235.

[13] 张怀龙,赵俊芳,张兆欣,等. 核桃果实发育动态规律研究[J]. 北方园艺,2012(5):38-39.

[14] 解红恩,黄有军,薛霞铭,等. 山核桃果实生长发育规律[J]. 浙江林学院学报,2008,25(4):527-531.

[15] 曹卫星,罗卫红. 作物系统模拟及智能管理[M]. 北京:高等教育出版社,2003.

[16] 李慧峰,李林光,张琮,等. 苹果果实生长发育数学模型研究[J]. 江西农业学报,2008,20(4):40-42.