

# 基于 Logistic模型研究南丰蜜橘 (*Citrus reticulata* Blanco)果实的生长动态

徐回林, 陈金印, 辜青青\*, 喻晓强, 曾 涛

(江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 应用 Origin软件对南丰蜜橘果实生长动态进行 Logistic曲线拟合, 并对拟合结果进行分析和验证。结果表明, 南丰蜜橘单果重与果实发育时间可以用 Logistic曲线方程拟合, 南丰蜜橘各品 (株)系果实单果重的 Logistic曲线方程相关系数大于 0.95, 并呈显著水平; 南丰蜜橘小果系 SS- 28和小果系 97- 1的 Logistic曲线方程的预测值与实测值的相关系数分别为 0.903 3和 0.944 4并呈显著水平, 标准误差分别为 4.506 3和 3.268 4。Logistic曲线能较好地反映南丰蜜橘果实的生长动态。

关键词: 南丰蜜橘; Logistic模型; 生长动态; Origin软件

中图分类号: S666.201; F224.0 文献标志码: A 文章编号: 1000- 2286(2010)06- 1131- 05

## A Study on Growth Dynamic of Nanfeng Tangerine (*Citrus reticulata* Blanco) Fruit Based on Logistic Model

XU Hui-lin, CHEN Jin-yin, GU Qing-qing\*, YU Xiao-qiang, ZENG Tao

(College of Agronomy JAU, Nanchang 330045, China)

**Abstract** This paper deals with fitting Logistic curve of the growth dynamic of Nanfeng tangerine with Origin software. And the results were analysed. The regression between fruit mass and development days could be simulated by Logistic equation. All the correlation coefficients of the Logistic equation were higher than 0.95. Significant levels of correlation were showed. The correlation coefficient between predicted values from Logistic equations and measured values of Nanfeng tangerine small- fruit selections SS- 28 and 97- 1 were 0.903 3 and 0.944 4 respectively and the values of standard errors were 4.500 63 and 3.268 4 respectively. The correlation of the predicted values and the measured values was significant. The Logistic curve reflected the growth dynamic of Nanfeng tangerine fruit commendably.

**Key words** Nanfeng tangerine; Logistic model; growth dynamic; Origin software

南丰蜜橘 (*Citrus reticulata* Blanco cv. Nanfeng tangerine)源出乳橘, 系芸香科柑橘属宽皮柑橘, 是我国优良的果树种质资源<sup>[1]</sup>。南丰蜜橘果实单果重生长速率呈“慢—快—慢”的变化规律, 为单 S型生长曲线<sup>[2]</sup>。Logistic曲线是 S型曲线, 能较好地描述某些有界增长现象。生物科学的许多动态过程都遵循 Logistic增长规律, 如 Avanza<sup>[3]</sup>认为 Logistic是描述甜橙果实生长的最佳统计模型。目前, Logistic模型

收稿日期: 2010- 05- 20 修回日期: 2010- 09- 14

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30760145)、江西省科技厅项目 ([2005]93号)、江西省自然科学基金项目 (081230) 和江西省科技厅重大战略产品创新规划项目 ([2008]212号)

作者简介: 徐回林 (1986- ), 男, 硕士生, 主要从事果树种质资源与生物技术研究, E-mail: xurli@163.com; \* 通讯作者: 辜青青, 副教授, 硕士生导师, E-mail: qingqinggu200@126.com.

已经在番茄果实<sup>[4]</sup>、越橘果实<sup>[5]</sup>、油桃叶片和果实<sup>[6]</sup>、甜橙果实<sup>[7]</sup>等的生长动态以及猕猴桃成熟期果实重量的预测<sup>[8]</sup>、果实分级产生的机械损伤<sup>[9]</sup>、桃果实生长与锈斑病毒的关系<sup>[10]</sup>等拟合中广泛应用。Logistic模型分析是一种研究南丰蜜橘果实生长发育规律的新方法,通过对模型曲线的分析,可确定南丰蜜橘在实际生产条件下栽培管理的关键时期。本研究通过田间试验获得有关资料,借助 Origin 软件建立南丰蜜橘果实生长的 Logistic 模型,利用该模型研究南丰蜜橘果实的生长规律,对制定栽培管理方案以提高果实品质具有指导意义,此外还为南丰蜜橘智能化栽培管理提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

南丰蜜橘在长期的栽培过程中,由于芽变和自然杂交等原因形成了许多品系,如小果系、大果系、早熟系和桂花蒂等<sup>[11]</sup>。试验以江西农业大学生态园小果系普通南丰蜜橘及江西省南丰县柑橘技术推广中心南丰蜜橘种质圃南丰蜜橘小果系 QW 3 SS- 28 97- 1、97- 2 和大果系 97- 1 和早熟系 97- 1 为试材。选择生长发育良好及长势、花期一致的为试验树,分别从每株树体东、南、西、北 4 个方位高度一致的中部外围果枝上取均匀一致的果实 20 个,一直到果实成熟。谢花座果时记为花后第 1 d 采样时间分别记为花后 1、7、15、28、42、56、70、84、98、112、140、155、168、182 d。单株小区,重复 3 次,试验分 2008 年及 2009 年 2 年进行。

### 1.2 试验方法

用电子天平称量南丰蜜橘果实的单果重。用 Origin Pro 8.0 的内置函数 Sigmoid 对 2008 年江西农业大学生态园小果系普通南丰蜜橘的试验数据进行 Logistic 曲线拟合和方差分析,并以此方法求解 2008 年不同南丰蜜橘品(株)系果实生长的 Logistic 方程及其相关性。用南丰蜜橘小果系 SS- 28 和 97- 1 的 Logistic 方程求解出 2009 年的预测值,然后用 Origin 软件做预测值与实测值之间的相关性及其误差估计。

Origin Pro 8.0 的内置函数 Sigmoid 方程为:  $y = a / (1 + \exp(-k(x - xc)))$ , 式中  $y$  为果实单果重;  $x$  为果实发育时间;  $a$ 、 $k$ 、 $xc$  为参数<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 南丰蜜橘果实单果重的 Logistic 曲线拟合

用于 Logistic 曲线拟合的 2008 年江西农业大学生态园小果系普通南丰蜜橘果实的生长情况见图 1; 南丰蜜橘果实生长拟合 Logistic 曲线方程参数估计和方差分析见表 1。由表 1 可知,南丰蜜橘果实生长动态曲线的拐点为花后 138 d 拐点表示果实单果重增加先快后慢。由图 1 可知,曲线斜率从花后第 1 d 开始逐渐变大,接着花后 60 d 前后迅速变大,最后逐渐变小。柑橘类果实发育分为幼果期(4 月底 - 6 月底)、膨大期(7 月上旬 - 9 月中旬)、着色期(9 月中旬 - 10 月中旬)和成熟期(10 月中旬 - 11 月中旬),试验测得南丰蜜橘果实的生长速率由大到小依次为膨大期、着色期、成熟期、幼果期。

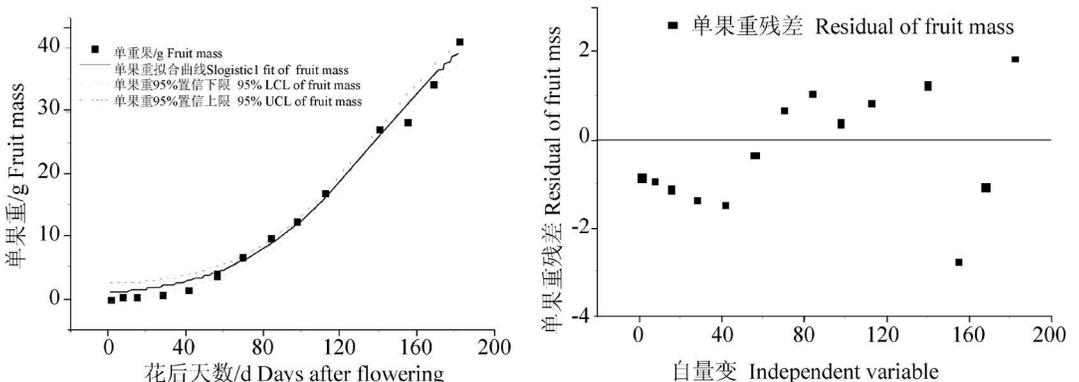


图 1 2008 年小果系普通南丰蜜橘果实发育过程中单果重的 Logistic 曲线及其残差

Fig 1 Logistic curve and residual of the fruit mass of general Nanfeng tangerine small-fruit selection in 2008

表 1 Logistic 曲线方程的参数估计和方差分析

Tab 1 The parameter estimate and ANOVA of Logistic curve equation

	参数 Parameter	估计值 Value	标准误差 Standard error
参数估计	<i>a</i>	50 384 9	5 619 1
Parameter estimate	<i>xc</i>	138 410 5	9 512 3
	<i>k</i>	0 029 1	0 003 2
	指标 Index	回归分析 Regression	残差 Residual
方差分析	自由度 DF	3	11
ANOVA	平方和 Sum of squares	4 975 541 1	23 480 5
	均方 Mean square	1 658 513 7	2 134 6
$R^2 = 0.9894^*$ , $F = 776.9689$ , $P < 0.0001$			

\* 表示  $P < 0.05$  水平上显著; \*\* 表示  $P < 0.01$  水平上极显著。

\* represents remarkable significance at  $P < 0.05$  level; \*\* represents remarkable significance at  $P < 0.01$  level

从图 1 可以看出, 南丰蜜橘果实发育过程中单果重的 Logistic 曲线与试验数据点十分吻合, 95% 置信带几乎囊括了所有试验数据点; 曲线拟合残差散点居于直线两侧, 残差散点图显示残差值随时间变化具有微弱的增加趋势, 表明其随着时间变化拟合模型的误差增大。从表 1 可知, 曲线拟合的回归方程的决定系数  $R^2$  ( $R$  为相关系数) 达 0.9894, 统计量值  $F$  达 776.9689, 与  $F$  对应的概率值  $P$  小于 0.0001, 表明拟合方程与试验数据点相关性达到极显著水平, 故可以使用 Logistic 曲线模拟南丰蜜橘果实的生长动态。

## 2.2 南丰蜜橘不同品(株)系的 Logistic 方程

用 Origin Pro 8.0 的内置函数 Slogistic1 方法求解 2008 年不同南丰蜜橘品(株)系单果重变化的 Logistic 方程及其相关性, 其相关系数均大于 0.95 (表 2), 说明各方程可较好地预测南丰蜜橘各品(株)系

表 2 2008 年不同南丰蜜橘品(株)系果实生长的 Logistic 方程

Tab 2 Logistic equations of different Nanfeng tangerine selections in 2008

品(株)系 Variety	Logistic 方程 Logistic equation	F 值	P 值	相关系数 R
小果系 QW <sub>3</sub> Small-fruit QW <sub>3</sub>	$y = 31.0611 / (1 + \exp(-0.0282(x - 121.9005)))$	508 067 5	0 002 0	0 993 3**
小果系 SS-28 Small-fruit SS-28	$y = 44.4021 / (1 + \exp(-0.0231(x - 140.3776)))$	223 835 5	0 004 5	0 984 6**
小果系 97-1 Small-fruit 97-1	$y = 34.2782 / (1 + \exp(-0.0286(x - 120.5671)))$	76 518 5	0 012 9	0 957 0*
小果系 97-2 Small-fruit 97-2	$y = 30.7599 / (1 + \exp(-0.0278(x - 115.8754)))$	87 107 8	0 011 4	0 957 3*
大果系 97-1 Large-fruit 97-1	$y = 66.0681 / (1 + \exp(-0.0293(x - 130.7218)))$	1 149 147 0	0 000 9	0 997 5**
早熟系 97-1 Early-maturity 97-1	$y = 44.0545 / (1 + \exp(-0.0254(x - 147.7314)))$	270 577 5	0 003 7	0 989 8**

$y$  表示某一时间顺序南丰蜜橘单果重;  $x$  表示南丰蜜橘坐果至取样的生育天数, 且  $x \leq$  该品(株)系南丰蜜橘坐果至成熟的天数; \* 表示  $P < 0.05$  水平上显著; \*\* 表示  $P < 0.01$  水平上极显著。

$y$  represents fruit mass of Nanfeng tangerine;  $x$  represents the growth days from fruit-set to sampling which is no more than the days from fruit-set to maturity of the same sample; \* represents remarkable significance at  $P < 0.05$  level; \*\* represents remarkable significance at  $P < 0.01$  level

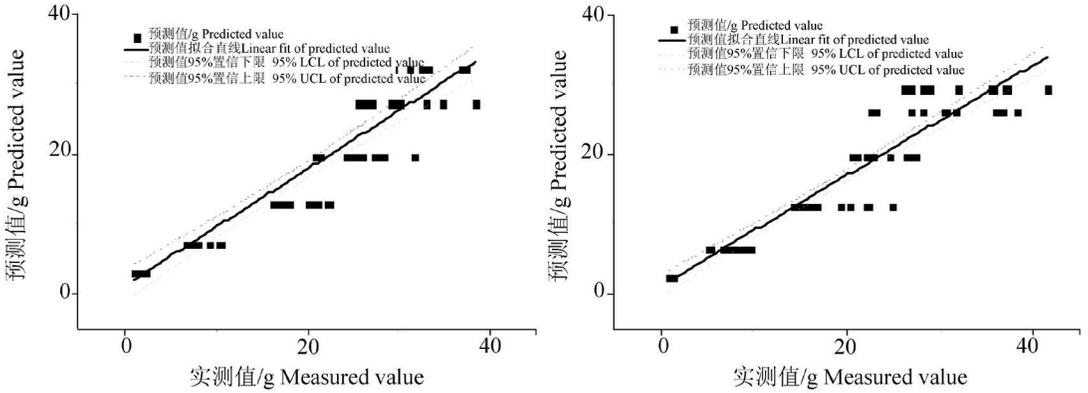


图 2 小果系 SS-28 和小果系 97-1 单果重实测值与预测值的关系

Fig 2 Comparison between measured value and predicted value of small-fruit selections SS-28 and 97-1

果实的生长动态。Logistic 曲线方程拟合程度越好,其相关系数越大,吻合程度由大到小依次为:大果系 97-1 小果系 QW 3 早熟系 97-1 小果系 SS-28 小果系 97-2 小果系 97-1。经统计分析,大果系 97-1 小果系 QW 3 早熟系 97-1 和小果系 SS-28 各曲线方程拟合程度达到极显著水平,小果系 97-2 和果系 97-1 曲线方程拟合程度达到显著水平。

### 2.3 模型验证与应用

以 2009 年南丰蜜橘小果系 SS-28 和 97-1 单果重为实测值作为横坐标,以表 2 中其对应的 Logistic 曲线方程求解相应花后天数的值为预测值,作为纵坐标,用 Origin 软件绘制散点图并作线性拟合(图 2)。

表 3 实测值与预测值的相关性及标准误差

Tab 3 Correlation and standard error between measured value and predicted value

品(株)系 Sample	自由度 DF	相关系数 R	F 值	P 值	标准误差 Standard error
小果系 SS-28 Small-fruit SS-28	59	0.9033*	262.7288	0	4.5063
小果系 97-1 Small-fruit 97-1	59	0.9444*	487.6176	0	3.2684

\* 表示  $P < 0.05$  水平上显著; \*\* 表示  $P < 0.01$  水平上极显著。

\* represents remarkable significance at  $P < 0.05$  level; \*\* represents remarkable significance at  $P < 0.01$  level

由表 3 可知,小果系 SS-28 和 97-1 预测值与实测值拟合的回归方程的相关系数分别为 0.9033 和 0.9444 统计量值  $F$  分别达 262.7288 和 487.6176 标准误差分别为 4.5063 和 3.2684 与  $F$  对应的概率值  $P$  均为 0 表明拟合方程与试验数据点相关性达到极显著水平,故可以用 Logistic 曲线预测南丰蜜橘果实的生长动态。

### 3 结论与讨论

果实生长的描述常常使用生长速率 (GR) 和相对生长速率 (RGR) 曲线方法。GR 曲线是对果实生长的总体描述,反映果实在某特定时刻下的生长状态, RGR 曲线则表示瞬时值,反映一段时间内的平均生长率<sup>[13]</sup>。Logistic 曲线不仅能像 GR 曲线和 RGR 曲线那样描述果实的生长状态,还能将南丰蜜橘果实生长规律函数化。在生产上,可以根据 Logistic 生长曲线方程,通过发育时间预测南丰蜜橘的果实发育情况,对合理安排挂果期的栽培管理工作及果实商品性分类具有重要意义。如南丰蜜橘果实 Logistic 生长曲线方程中的  $a$  表示发育时间无限延长时的终极生长量,  $xc$  表示单果重增长出现拐点的时刻,曲线的拐点标志着生长速率从越来越快开始变为越来越慢,是生长的关键时期<sup>[14-15]</sup>。试验测定后发现 2008 年不同南丰蜜橘品(株)系平均单果重大小与 Logistic 方程参数  $a$  的大小排序基本一致,着色度与 Logistic 方程参数  $xc$  的大小排序一致(表 2)。用  $a$  反映南丰蜜橘品(株)系果重的大、中、小,  $xc$  反映南丰蜜橘品(株)系成熟的早、中、晚,为南丰蜜橘品(株)系的划分提供了可能性。

从本文的实测值和预测值比较来看,两者之间存在一定的误差。这主要是由于以下两点造成的:第一,数学模型的建立是以微分方程为基础,而动态微分方程不能直接地估计待定参数;第二,果实的发育

规律会随着气候因子、栽培管理及树龄树势等的变化而变化。我们可以从统计学角度进一步提高模型的精度(如增加生态因子或修正模型),改进试验测定方法,缩小实测值与预测值之间的误差。

据 Avanza<sup>[3]</sup> 研究, Logistic Gompertz Weibull Morgan Mercer Flodin 和 Richards 等 S 型曲线模型可以用来描述甜橙果实生长曲线。Logistic 模型有几种函数方程,其中  $y = 1 / (\alpha + \exp(\beta - \gamma x))$  的 Logistic 模型是描述甜橙果实生长的最佳模型,  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  与果实大小之间存在一定的关系。因此,今后应重点比较南丰蜜橘果实生长动态的各个 Logistic 模型,找到其中最佳 Logistic 模型方程,并对模型参数与果实生长发育、品种品系及商品性评价等之间的关系进行探讨。

#### 参考文献:

- [1] 胡正月, 王泽义, 李跃进. 南丰蜜橘优质丰产栽培 [M]. 北京: 金盾出版社, 2002: 10-11.
- [2] 辜青青, 徐回林, 曲雪艳, 等. 南丰蜜桔果实生长发育的研究 [J]. 现代园艺, 2010(6): 4-5, 66.
- [3] Avanza M M, Branardi S J, Mazza S M. Statistical models to describe the fruit growth pattern in sweet orange 'Valencia late' [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2008, 6(4): 577-585.
- [4] 杨丽丽, 王一鸣, 康孟珍, 等. 基于修正 logistic 模型的番茄单个果实生长规律模拟 [J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 81-84.
- [5] Godoy C, Monteubbianesi G, Tognetti J. Analysis of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit growth with exponential mixed models [J]. Scientia Horticulturae, 2008, 115: 368-376.
- [6] 刘慧, 张国桢, 张宏辉, 等. 温室油桃叶片与果实生长模型及其分析 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 86-89.
- [7] Gardá Petilb M, Castel J R. The response of Valencia orange trees to irrigation in Uruguay [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2004, 2(3): 429-443.
- [8] M inchin P E H, Richardson A C, Patterson K J, et al. Prediction of final weight for *Actinidia chinensis* 'Hort 16A' fruit [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2003, 31(2): 147-157.
- [9] B elza C, Barriño P, Rodríguez M I, et al. Logistic regression for simulating damage occurrence on a fruit grading line [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 39(2): 95-113.
- [10] Fum an L A, Lalancette N, White J F. Peach Rusty Spot Epidemics: Temporal Analysis and Relationship to Fruit Growth [J]. Plant Disease, 2003, 87(4): 366-374.
- [11] 中国柑橘学会. 中国柑橘品种 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 41.
- [12] 陈旭红. 用 Origin 软件的线性拟合和非线性曲线拟合功能处理实验数据 [J]. 江苏技术师范学院学报, 2006, 12(6): 85-89.
- [13] 关军锋. 果实品质生理 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 28-29.
- [14] 李春喜, 王志和, 王文林. 生物统计学 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 131-133.
- [15] 严秀将, 冯长松, 卢欣石. 北京地区不同秋眠级苜蓿品种生长动态比较 [J]. 草业科学, 2009, 26(6): 78-83.