

DOI:10.11937/bfyy.201710007

# 西瓜主蔓和果实生长发育数学模型的研究

王志强, 刘声锋, 郭松, 董瑞, 田梅, 于蓉

(宁夏农林科学院 种质资源研究所, 宁夏 银川 750002)

**摘要:**以‘Sugarlee’西瓜为试材,通过观测不同发育时期主蔓长度、果实纵径、果实横径和果实质量的变化过程,研究了西瓜主蔓和果实的生长变化规律,并建立了西瓜主蔓和果实的生长发育数学模型,为西瓜高产高效栽培提供科学依据。结果表明:西瓜主蔓的生长主要分为2个时期,一个是快速生长期,一个是缓慢生长期;果实纵径、果实横径和果实质量的生长主要分为5个时期,且表现出慢-快-慢-快-慢的生长节奏;西瓜果实质量的增加量在花后12 d和22 d有2个明显的高峰。西瓜开花后天数与西瓜主蔓、果径和果实质量的回归方程,并对各指标进行相关分析。回归方程相关系数较高,拟合优度较好,置信度达到99.99%。

**关键词:**西瓜;主蔓;生长发育;数学模型

**中图分类号:**S 651 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2017)10-0031-04

西瓜 (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum and Nakai) 是一种世界性的园艺作物,栽培历史悠久,分布地域广泛,素有“夏季水果之王”的美称。西瓜是宁夏一大优势特色农产品。宁夏种植的西瓜果大、瓤甜、产量高,不仅能满足宁夏全区人们的生活需要,而且还远销周边省市地区。西瓜作为一种营养价值极高的夏季消暑水果,在显著提高农民经济效益

的同时,对稳定人们的日常生活和夏季水果市场的消费极为重要。

西瓜果实发育和产量的形成密切相关,果实发育的好坏直接影响到产量的大小和品质的高低。因此果实生长动态变化规律对于以果实为生产目的西瓜来说尤为重要。西瓜是主蔓结果为主的一种蔓生植物,了解主蔓生长变化规律有助于了解西瓜结果后对主蔓及植株的影响过程。果实生长发育的数学模型被广泛应用在荔枝<sup>[1]</sup>、甜柿<sup>[2]</sup>、苹果<sup>[3]</sup>、梨<sup>[4]</sup>、砧瓜<sup>[5]</sup>、油桃<sup>[6]</sup>、杂交榛<sup>[7]</sup>等作物中。在西瓜的研究中,段金辉等<sup>[8]</sup>对西瓜果实的纵横径进行了研究,建立了果实生长模型;常高正等<sup>[9]</sup>通过对“中华拳王”西瓜授粉后果实发育过程进行观察,描述了果径和果实质量的变化过程。但尚鲜见对西瓜主蔓和果实质量变化生长发育数学模型的研究。通过西瓜主要器官的生长发育数学模型,可以明确生长期间的变化规律,为在生产栽培和育种过程中确定合理的田间

**第一作者简介:**王志强(1979-),男,硕士,副研究员,现主要从事西瓜栽培和育种等研究工作。E-mail: wzq2003135@163.com.

**责任作者:**刘声锋(1964-),男,本科,研究员,现主要从事西瓜栽培和育种等研究工作。E-mail: shengfeng.liu@163.com.

**基金项目:**宁夏回族自治区自然科学基金资助项目(NZ16120);宁夏农林科学院科技创新先导资金资助项目(NKYG-15-02);现代农业产业技术体系建设专项“中卫综合试验站”资助项目(CARS-26-41)。

**收稿日期:**2016-12-12

‘Fuji/M26/*M. micromalus*’ > ‘Fuji/M26’ > ‘Fuji/*M. micromalus*’. The cultivars ‘Gala’ of evaluation and sorting of fruit quality as follow, ‘Gala/M26’/‘*M. micromalus*’ > ‘Gala/M9-T337’/‘*M. micromalus*’ > ‘Gala/M9-T337’ > ‘Gala/M26’ > ‘Gala’/‘*M. micromalus*’. The ‘Fuji’ and ‘Gala’ of all stock-scion combinations of yield performance, self-rooted rootstock > interstock > standard stock, and ‘Fuji/M9-T337’ and ‘Gala/M9-T337’ five years cumulative production were highest than else. After comprehensive analysis, it was found the ‘Fuji/M9-T337’ and ‘Gala/M9-T337’ stock-scion combinations had the best performance in Qianyang area of Shaanxi Province, which was suitable for vigorous development.

**Keywords:** apple; growth; stock-scion combinations; quality; yield

管理措施,进行高产高效栽培和获得理想产品提供理论基础,同时为进一步开展西瓜栽培自动化调控研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为‘Sugarlee’西瓜的高代自交选系,其主要性状表现为果皮底色浅绿,覆深绿色条带,果实高圆形,植株生长势强,种子大,麻褐色。

### 1.2 试验方法

试验于 2015 年在宁夏农林科学院园林场试验基地进行,采用深沟宽垄覆膜栽培模式,瓜蔓对爬。沟深 40 cm,沟宽 50 cm,垄宽 3.5 m,株距 35 cm。5 月 10 日播种,试验植株采用双蔓整枝,西瓜制种的管理方式,共计播种 30 株,选择长势一致的植株 10 株作为测量对象。6 月 15 日瓜蔓长度达 20 cm 后调查主蔓长度,6 月 23 日雌花开花后开始套纸帽自花授粉,果实发育期测果实纵、横径及果实质量。

### 1.3 项目测定

参照马双武等<sup>[10]</sup>方法每 2 d 测量一次主蔓长度、果实纵横径和果实质量,且每次测量均在 17:00 进行。用钢卷尺测量主蔓长度,使用游标卡尺测量果实横径和纵径,使用精度为 0.01 g 的电子秤及精度为 1 g 的弹簧秤测量果实质量。所有测量数据为 10 株植株的平均值。

### 1.4 数据分析

采用 Office 2003 系列软件对试验数据进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 西瓜主蔓生长变化规律

由图 1 可知,主蔓的生长主要体现 2 个阶段:迅速生长期与缓慢生长期。主蔓的迅速生长期从伸蔓开始,一直持续到 7 月 9 日结束,共历时 24 d,每 2 d 主蔓的生长量都达到 10 cm 以上,最多可以达到 30 cm。从 7 月 11 日(26 d 后)起进入缓慢生长期,7 月 17 日起(32 d 后),主蔓长度不再变化。

### 2.2 西瓜果实纵、横径生长变化规律

由图 2 可知,果实纵径和横径的生长变化趋势相似,果实纵、横径变化规律为缓慢-快速-缓慢-快速-缓慢。西瓜果实自 6 月 23 日授粉开始,前 4 d(6 月 23—27 日)为缓慢生长期,然后进入快速生长期,并持续到 7 月 7 日,共历时 10 d(6 月 27 日至 7 月 7 日)。然后进入缓慢生长期(7 月 7—11 日),并持续 4 d。然后果径增长进入快速生长期(7 月 11—

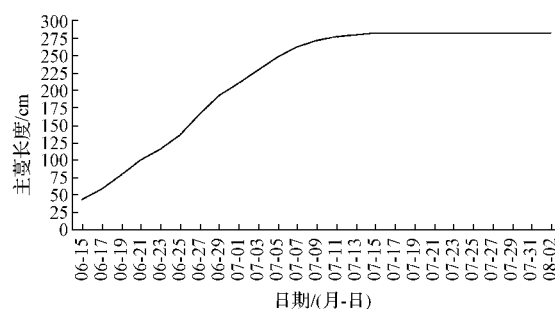


图 1 主蔓生长变化规律

Fig. 1 Growth and development regulation of main vane

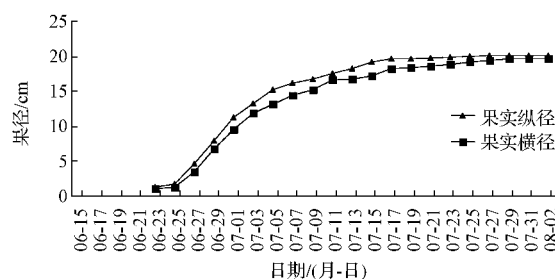


图 2 果实纵横径生长变化规律

Fig. 2 Growth and development regulation of fruit longitudinal diameter and transverse diameter

15 日),历经 4 d;然后再次进入缓慢增长期,直至果实成熟,果径增长不再变化。

### 2.3 西瓜果实质量的变化规律

由图 3 可知,果实质量的变化明显分为 5 个时期。花后 6 d 的一段时间内,西瓜果实质量缓慢增长,花后 6~14 d 的一段时间,西瓜果实质量迅速增长,花后 14~20 d,西瓜果实质量增长趋缓,花后 20~24 d,西瓜果实质量再迅速增长,花后 24 d 以后,西瓜果实质量增长再次趋缓。至花后 36 d,果实质量不再变化。

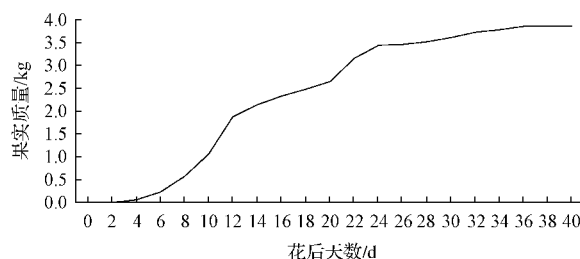


图 3 西瓜果实质量变化规律

Fig. 3 Growth and development regulation of fruit weight

由图 4 可知,西瓜花后果实质量的增加明显有 2 个高峰。第一个高峰在花后 12 d,果实质量的增加量达到 810 g,第二个高峰在花后 22 d,果实质量的

增加量达到 520 g。这一结果恰恰印证了西瓜果实发育有 2 次膨果期的结论。

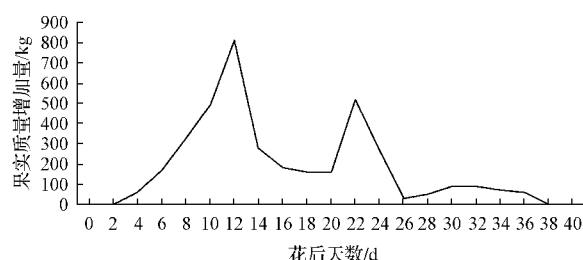


图 4 西瓜果实质量增加量变化规律

Fig. 4 Growth and development regulation of fruit weight gain

表 1 观测项目的回归方程

项目 Item	回归方程 Regression equation	相关系数 Multiple R	拟合优度 $R^2$	置信度 P value
主蔓长度 Main vane length	$y = -0.21x^2 + 15x + 24.38$	0.99	0.99	$P < 0.0001$
果实纵径 Fruit longitudinal diameter	$y = -0.02x^2 + 1.31x + 1.02$	0.99	0.98	$P < 0.0001$
果实横径 Fruit transverse diameter	$y = -0.02x^2 + 1.2x + 0.4$	0.99	0.98	$P < 0.0001$
果实质量 Fruit weight	$y = -2.66x^2 + 218.98x - 565.54$	0.99	0.97	$P < 0.0001$

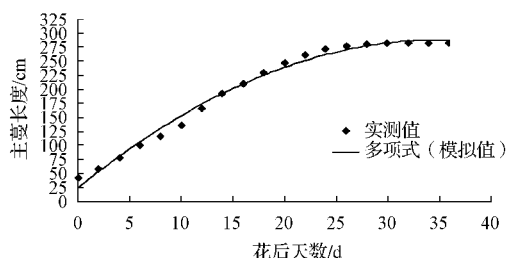


图 5 西瓜主蔓长度变化规律预测

Fig. 5 Variation prediction in main vane length

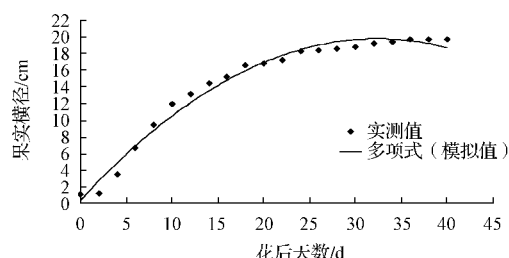


图 7 西瓜果实横径变化规律预测

Fig. 7 Variation prediction in fruit transverse diameter

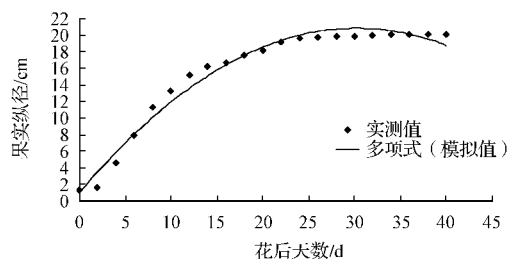


图 6 西瓜果实纵径变化规律预测

Fig. 6 Variation prediction in fruit longitudinal diameter

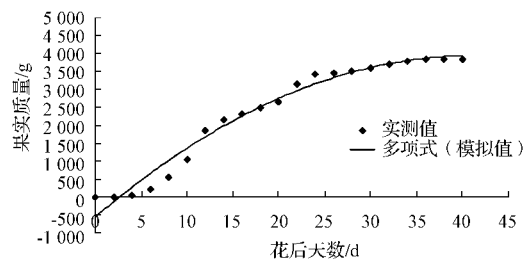


图 8 西瓜果实质量变化规律预测

Fig. 8 Variation prediction in fruit weight

的周围。说明模型预测较为准确,可以代表西瓜主蔓生长、果实纵横径增长和果实质量增长变化规律。

### 3 讨论

供试的‘Sugarlee’西瓜为美国类型西瓜的育种材料,该材料果实圆形、果型较大,为多亲本聚合育成品种。自20世纪引入我国后,受多家育种单位重视,并不断被开发利用。北方的许多品种均为该材料的选系配组而成,具有一定的代表性。在西瓜主蔓和果实的生长节奏上,西瓜果实发育前期主蔓迅速生长,到一定阶段后,果实开始快速膨大;然而果实发育后期,主蔓生长变缓,果实进行第二次膨大生长。而果实纵横径和果实质量的增加变化趋势是基本相同的。果实发育前期,果实增大主要是细胞数量的增加,果实发育中后期果实增大主要是细胞体积的膨大。因此,在西瓜的生产管理中,应注重西瓜果实生长的发育规律,找准果实膨大的2个关键时期,采取合理的农业措施,加强水肥管理,提高西瓜果实的质量从而达到高产的目的。

西瓜主蔓和果实的生长发育规律是一个复杂的过程,不仅受遗传因子的控制,在各种环境条件和随机因素的影响下,其生长随时间和空间呈现出随机性。一般来说,西瓜果实的生长和发育受雌花素质(包括遗传因子不同的品种特点和自身发育条件)、光合同化面积(坐果节位和有效光合叶面积)、植株

营养状况(温湿度和土壤水肥条件)和授粉状况(授粉是否均匀)等条件制约。往往大果型的品种,子房充实肥大的雌花,授粉均匀,中期合理整枝,选留恰当的坐果节位,后期管理得当往往会发育成大果,反之,则形成果实较小。

### 参考文献

- [1] 朱建华,刘冰浩,朱松生,等.‘鸡嘴荔’果实发育及其数学模型建立与分析[J].中国农学通报,2013,29(34):107-110.
- [2] 金方伦,罗会贤,杨李娟,等.2个甜柿品种果实的生长发育规律[J].贵州农业科学,2011,39(5):201-204.
- [3] 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.
- [4] 杨晓平,胡红菊,田瑞,等.脆冠梨新梢与果实生长发育动态及相关性研究[J].湖北农业科学,2009,48(12):3050-3052.
- [5] 曹振木,刘维侠,詹园凤,等.砍瓜果实生长发育规律研究[J].中国农学通报,2006,22(10):422-425.
- [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] 韩强,董玉芝,宋锋惠,等.新疆杂交榛果实生长发育动态及模型研究[J].果树学报,2014,31(2):258-264.
- [8] 段金辉,赵连德,翟英临,等.旱砂西瓜果实生长发育数学模型研究[J].北方园艺,2012(6):23-25.
- [9] 常高正,荆艳彩,徐小利,等.中华拳王西瓜果实发育规律的研究[J].河南农业科技,2007(5):97-98.
- [10] 马双武,刘君璞.西瓜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2005:27-30.

## Mathematical Model of Growth and Development of Watermelon Main Vane and Fruit

WANG Zhiqiang, LIU Shengfeng, GUO Song, DONG Rui, TIAN Mei, YU Rong

(Genetic Germplasm Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan, Ningxia 750002)

**Abstract:** Watermelon cultivars ‘Sugarlee’ was used as material, the main vane length, fruit longitudinal diameter, fruit transverse diameter and fruit weight in the growth development period were measured. Growth and development regulation of main vane and fruit were researched, mathematical model of growth and development of main vane and fruit were established in order to supply reference for high yield and high efficiency cultivation for watermelon. The results showed that there were two growth stages during the growth period. One was rapid growth stage, one was slow growth stage. There were five growth stages during the growth period, and exhibited slow-fast-slow-fast-slow rhythm. There were two growth peaks during the fruit growth period. Regression equation of days after flower and main vane, fruit longitudinal diameter, fruit transverse diameter and fruit weight were established by software. It showed that four regression equations coefficient correlation were high, and credibility was 99.99%.

**Keywords:** watermelon; main vane; growth and development; mathematical model