

张艳艳,赵 玮,杨 帅,等.‘红颜’草莓果实生长与光热条件的关系[J].干旱气象,2019,37(1):134-138, [ZHANG Yanyan, ZHAO Wei, YANG Shuai, et al. Growth Dynamics of Strawberry and Its Relationship with Heat and Light Conditions[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(1):134-138], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2019)-01-0134

‘红颜’草莓果实生长与光热条件的关系

张艳艳¹,赵 玮¹,杨 帅¹,高庆先²

(1.河北省廊坊市气象局,河北 廊坊 065000;2.中国环境科学研究院,北京 100012)

摘 要:利用河北省廊坊市日光温室‘红颜’草莓生长和气象要素观测数据,采用偏最小二乘回归(PLSR)方法,分析日光温室草莓果实生长变化特征及其与光热条件的关系。结果表明,草莓果径在整个生长发育过程中一直呈平稳增长,横径生长速度始终大于纵径,花后40 d左右开始进入快速生长期,横径增长极大值为 $1.43 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。光照和热量条件是影响草莓果径增长的主要因素,光照的强弱对果实白熟期至成熟期的影响最明显,此期间光照较好能使果实提前转色成熟。利用光照和热量条件拟合果实横、纵径增长量,拟合效果较好。

关键词:草莓;果实生长;光热条件

文章编号:1006-7639(2019)01-0134-05 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2019)-01-0134

中图分类号:S668.4

文献标志码:A

引 言

草莓属蔷薇科草莓属,多年生草本植物,鲜美红嫩,是深受欢迎的鲜食果品之一。近些年日光温室草莓的种植面积在逐年增加,随着人们生活水平的提高,栽培也从追求高产转变成优质高产和高效益。然而温室草莓管理技术精细化程度的不足同产业快速发展之间的矛盾逐渐凸显,需要针对温室草莓的生长习性、光热条件等开展研究。研究表明,番茄、苹果以及草莓等果实生长呈单S型,生长曲线具有明显的增长特征^[1-4],具有跟踪观测分析的价值。日光温室草莓生长季横跨秋、冬、春三季,受外界环境影响,草莓生长的气候环境管理难度较大,光照和热量是影响温室草莓生长的关键环境因素,研究温室草莓生长与光热条件的关系至关重要。阎立英等^[4]发现草莓具有2个生长高峰期,为草莓生长曲线的研究提供参考。不同光质对草莓质量和品质的贡献不同^[5-6],且不同光温条件下草莓生长具有明显差异^[7-8],钟需霖等^[9]开展光照强度对草莓主要品质的影响研究,为划分不同光照条件及分析光照对草莓转色期时长的影响提供依据。李莉等^[10]、杨

雷等^[11]开展了对草莓果实生长规律和营养成分的研究,动态监测草莓果径变化规律,对果实膨大不同阶段进行了划分。孙军波等^[12]开展了大棚草莓产量预测模型研究,建立了适用于设施大棚草莓产量动态预报模型。

目前关于陆地和冷棚草莓生长发育规律及其与气象条件关系方面的分析较多,但对日光温室草莓果实生长与光热条件之间相关关系的研究还较少。温室草莓栽培改变了草莓多年生的习性,本文利用河北廊坊地区日光温室‘红颜’草莓果实生长观测数据及气象观测数据,从草莓果实生长规律、模拟生长动态方程入手,分析2个生长周期草莓果实生长变化特征与光热条件的关系,以期对提高日光温室草莓精细化管理水平、调控生长周期、提高草莓产量和品质等提供有益的参考依据。

1 资料与方法

1.1 试材及取样

以河北省廊坊市安次区北旺乡相士屯村农业园区日光温室2016—2017年秋冬茬草莓(‘红颜’)为试材,草莓定植期为2016年9月15日。选定30株

收稿日期:2018-07-04;改回日期:2018-09-28

基金项目:中国清洁发展机制基金赠款项目(2014042)和河北省局面上项目“基于GIS技术河北省设施农业气象灾害风险区划研究”(17ky18)共同资助

作者简介:张艳艳(1985—),天津人,硕士研究生,工程师,现主要从事农业气象科研和服务工作。E-mail: yanyanzhang0322@126.com。

通信作者:高庆先(1962—),男,博士,研究员,主要研究方向为大气环境与气候变化领域。E-mail: gaqx@caes.org.cn。

(果实60个)以观测果实果径增长情况,从盛花后第7天开始每5 d用游标卡尺(精度0.1 mm)测定一次果实的最大横、纵径,果实转色期加测一次。果实成熟后记录其鲜重。观测共计2组,第1组和第2组的盛花期起始时间分别为2017年1月19日和2月19日,采摘期分别为2017年3月3日和3月27日。温室内安装小气候自动观测仪,观测要素为气温、15 cm地温、光照、相对湿度等,观测频次为1 h记录一次。

1.2 方法

使用SPSS、Excel等工具进行数据统计、计算、分析及模拟,采用Origin作图。分析方法主要包括相关分析法、主成分分析法以及偏最小二乘回归分析法等。

按照《地面气象观测规范自动观测》(GB/T 35237—2017)对采集的气温、地温、相对湿度以及光照数据进行统计,剔除异常值,观测项目均以北京时间20:00为日界。

2 结果与分析

2.1 果实生长规律

2.1.1 果实横、纵径

草莓的果实生长天数按照日序进行描述,开始

记录果实果径的第一天记为1,即1月26日为1,27日为2,以此类推。将草莓果实横、纵径观测资料分别进行模拟,得出果实生长曲线方程,对方程进行二次分析,得出果实横、纵径最大增长速率及果实增长最快出现时间(表1)。拟合方程的相关系数均>0.96,通过0.01显著性检验,达到极显著水平。

由表1可以看出,第1组草莓横径增长最快出现在花后41.8 d,极大值为 $1.43 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;纵径增长最快出现在花后43.4 d,极大值为 $1.45 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,横径增长最快出现时间较纵径提前1.6 d。第2组横径增长最快出现在花后33.9 d,极大值为 $1.71 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;纵径增长最快出现在花后36.9 d,极大值为 $1.37 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,横径增长最快出现时间较纵径提前3 d。即草莓横径增长最快出现时间较纵径早。

2.1.2 果实生长阶段划分

图1为2组实验中草莓果径的增长变化。可以看出,2组草莓果实生长均呈现出阶段性特征,根据果实横、纵径的生长速度可将草莓果实生长分为2个阶段:第1阶段,花后至绿熟期,果实横、纵径平均增长速率分别为 2.91 、 $2.19 \text{ mm} \cdot (5 \text{ d})^{-1}$;第2阶段,白熟期至红熟期,果实横、纵径平均增长速率为 6.87 、 $5.14 \text{ mm} \cdot (5 \text{ d})^{-1}$ 。

表1 两组实验中草莓果实生长曲线方程

Tab.1 Curvilinear equation of strawberry growth of the two experiments

组别	果径	拟合方程	相关系数	增长最快出现时间/d	生长最大速率/($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)
第1组	横径	$Y_h = 50.3 / (1 + 35.787e^{-0.113t})$	0.978 **	41.8	1.43
	纵径	$Y_z = 33.6 / (1 + 37.3566e^{-0.1733t})$	0.969 **	43.4	1.45
第2组	横径	$Y_h = 54.9 / (1 + 27.9140e^{-0.124t})$	0.964 **	33.9	1.71
	纵径	$Y_z = 35.5 / (1 + 30.8901e^{-0.154t})$	0.973 **	36.9	1.37

注:**表示通过0.01的显著性检验;t为1月26日至3月3日(2月21日至3月27日)的日序数。

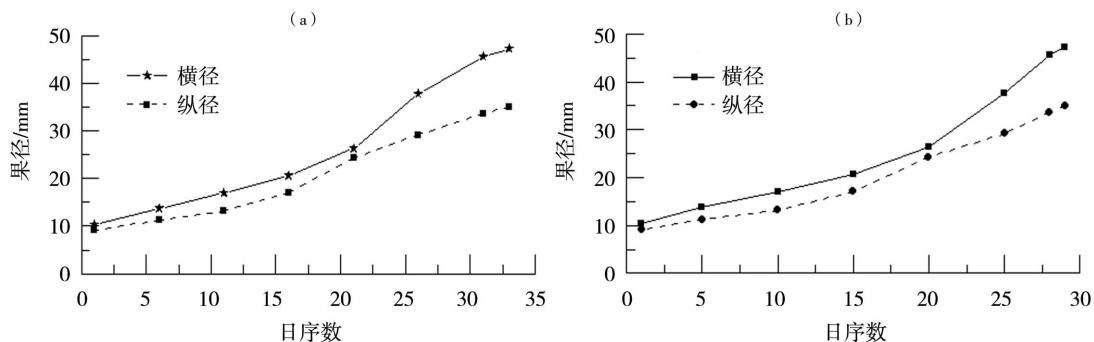


图1 第1组(a)和第2组(b)草莓果径变化

Fig.1 The variation of strawberry diameter growth of the first group (a) and the second group (b)

2.2 果实生长与光热条件关系

利用主成分分析和偏最小二乘回归分析法^[13-15]对草莓果径生长与热量条件(积温、日平均气温、15 cm 地温、相对湿度)和光照条件(日照时数)等气象要素的相关性进行分析(表2)。结果表明,热量(积温)和光照(日照时数)特征值分别为1.23和1.22,是影响草莓果径增长的重要因素。因此对热量和光照2个要素与草莓果实生长的相关性进行详细分析。

表2 气象要素与草莓果径生长相关性分析

Tab.2 Correlation analysis between meteorological elements and strawberry fruit diameter growth

要素	特征值	重要性
积温	1.23	最重要因素
日照时数	1.22	重要因素
日平均气温	0.96	-
15 cm 地温	0.77	-
相对湿度	0.64	-

2.2.1 光照条件

光照条件是日光温室草莓生长的主要气象条件之一,草莓光补偿点约为 0.5×10^4 lx,光饱和点为 $(2 \sim 3) \times 10^4$ lx^[16],计算2组实验观测期大于 0.5×10^4 lx的时长作为草莓有效光照时间,大于 3×10^4 lx的时长作为草莓高效光照时间。将2组观测的有效光照时间与各阶段果实横、纵径乘积进行拟合,发现二者之间存在明显的相关,光照强弱直接影响草莓果实生长进度,拟合方程如下:

$$\begin{aligned} \text{第1组: } y &= 84.953 \ln s - 384.61 \\ (R^2 &= 0.9967) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{第2组: } y = 80.193 \ln s - 341.02$$

$$(R^2 = 0.9962) \quad (2)$$

式中: $y(\text{mm}^2)$ 为果实横、纵径的乘积, $s(\text{h})$ 为有效光照时间。

表3列出两组实验中草莓转色期光照条件,可以看出,光照的强弱对果实白熟期至成熟期的影响最明显。2组观测中,第1组从白熟期至成熟期历时6 d,第2组历时8 d,但在第2组观测时遇到了阴天寡照天气,高效光照时间明显低于第1组,导致草莓转色期延长。张秀刚^[17]研究表明大于 3×10^4 lx的光照时间长短是草莓转色用时长短的关键因素。此阶段开展光照条件管理,可对草莓全红期进行有效控制,以便合理安排采摘。

2.2.2 热量条件

第1组草莓观测期日平均气温为 $9.0 \sim 17.2$ °C,低于 10 °C天数为2 d,第2组为 $9.0 \sim 18.1$ °C,低于 10 °C天数为1 d;2组草莓生长期日平均气温相差 0.6 °C,除短时阴雨天气导致棚内温度不足的情况外,其余时间温室内气温均能满足草莓花芽分化和开花坐果的需要。

表4列出两组实验中草莓生长期热量条件。可以看出,第1组草莓果实从开花到成熟的平均气温为 14.2 °C,平均最低气温 8.9 °C,积温为 866.1 °C·d;第2组草莓果实从开花到成熟的平均气温为 15.8 °C,平均最低气温 11.3 °C,积温为 773.5 °C·d。在草莓生长适宜气温条件下,气温越高草莓从开花到成熟需要的积温越少,所需的时间越短,但积温高的第1组草莓果实鲜重较大。

2.2.3 草莓果径生长量模拟

热量(积温)和光照(日照时数)是影响草莓果径增长的重要因素,图2是通过引入重要气象因素,利用偏最小二乘回归模型对草莓横、纵经增长量进

表3 两组实验中草莓转色期光照条件

Tab.3 Lighting condition in the period of the strawberry turning into red

组别	平均气温/°C	有效光照时间/h	高效光照时间/h	转色期历时/d
第1组	16.8	42.2	32.4	6
第2组	16.2	68.1	24.3	8

表4 两组实验中草莓生长期热量条件

Tab.4 Heat condition in the period of the strawberry growth period

组别	平均气温/°C	积温/(°C·d)	平均最低气温/°C	成熟历时/d	果实鲜重/g
第1组	14.2	866.1	8.9	44	19.4
第2组	15.8	773.5	11.3	37	14.1

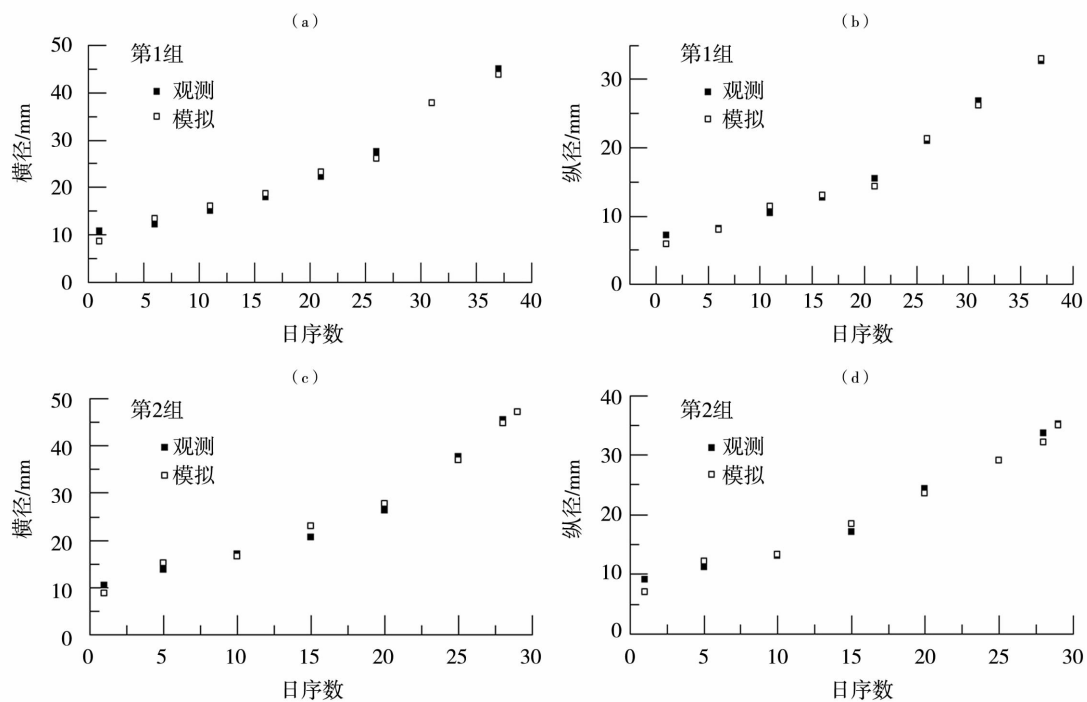


图2 第1组(a,b)和第2组(c,d)草莓横(a,c)、纵(b,d)径增长量的模拟与观测值对比

Fig.2 Comparison of the simulations and observations of horizontal diameter (a, c) and vertical diameter (b, d) of strawberry from the first group (a, b) and the second group (c, d)

行模拟。可以看出,方程拟合效果较好,能够较准确地反映草莓果实增长量随积温变化的过程。第1组草莓果实横、纵径增长最快时所需积温分别为879、841 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,第2组分别为741、768 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,第1组所需积温大于第2组,果径增长最快出现在花后40 d左右,所得时间与前面分析的果径增长极大值时间吻合。

3 结论与讨论

日光温室‘红颜’草莓果径增长符合S型曲线变化。光照和热量是影响草莓果径增长的主要因素,低温时积温累积慢,果实成熟时间延长,有利于果实鲜重的增加,充足的光照可使草莓转色期缩短。采用偏最小二乘法拟合草莓果径增长量,拟合效果较好。

光热条件是影响草莓生长的主要气象因素,但也不可忽视土壤水分、肥力以及栽培管理技术、种植模式等因素^[18-20]。本实验1月开始,3月结束,并未覆盖日光温室草莓整个生长期,存在一定局限性,今后将继续开展长时间序列的综合性实验研究,对草莓生产提供更加科学的指导依据。

参考文献:

[1] 任鹤麟,王瑞芳. 番茄果实膨大与气象条件的关系[J]. 中国农

业气象,1995,16(6):17-18,44.

- [2] 马兴祥. 皇冠苹果果实生长动态数学模式应用与水热条件分析[J]. 中国农业气象,1995,16(4):11-13,18.
- [3] 姚小英,马杰,李瞳,等. 陇东南“花牛”苹果果实生长动态及其与热量条件的关系[J]. 中国农业气象,2017,38(12):780-786.
- [4] 阎立英. 草莓果实生长曲线的研究[J]. 河北林果研究,1998,13(增刊):49-51,57.
- [5] 徐凯,郭延平,张上隆,等. 不同光质膜对草莓果实品质的影响[J]. 园艺学报,2007,34(3):585-590.
- [6] 徐凯,郭延平,张上隆,等. 不同光质对丰香草莓生长发育的影响[J]. 果树学报,2006,23(6):818-824.
- [7] 陈玉波,张学明,张鹏,等. 日光温室光温条件对立体栽培草莓的影响[J]. 中国果树,2017(5):49-51,57.
- [8] 林晓,罗赞,王红清. 草莓日光温室立体栽培的光温效应及其影响分析[J]. 中国农业大学学报,2014,19(2):67-73.
- [9] 钟霏霖,杨仕品,乔荣,等. 光照强度对草莓主要品质的影响[J]. 西南农业学报,2011,24(3):1219-1221.
- [10] 李莉,杨雷,杨莉,等. 草莓果实生长发育及主要营养成分变化规律研究[J]. 江西农业学报,2006,18(2):67-70.
- [11] 杨雷,杨莉,李莉,等. 草莓果实重要性状动态规律研究[J]. 华北农学报,2010,25(增刊):96-99.
- [12] 孙军波,杨栋,魏莎莎,等. 大棚草莓产量动态预报模型研究[J]. 浙江农业学报,2016,28(9):1514-1521.
- [13] 王慧文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.
- [14] 赵中军,刘善亮,游大鸣,等. 偏最小二乘回归模型在辽宁汛期降水预测中的应用[J]. 干旱气象,2015,33(6):1038-1044.

- [15] 张艳艳,赵玮,高庆先,等. 气候变化背景下陇东塬区‘红富士’苹果始花期研究[J]. 果树学报,2017,34(4):427-434.
- [16] 森下昌三,郑宏清,叶正文. 草莓——生理生态及实用栽培技术[M]. 上海:上海科学技术出版社,1993:71-77.
- [17] 张秀刚. 草莓基础生理及其栽培[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [18] 曹锦丽. 果树栽培[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [19] 刘明池,小岛孝之,田中宗浩,等. 亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响[J]. 园艺学报,2001,28(4):307-211.
- [20] 张建军,刘红. 不同配方施肥对大棚草莓生长结实的影响[J]. 西北林学院学报,2013,28(2):114-117.

Growth Dynamics of Strawberry and Its Relationship with Heat and Light Conditions

ZHANG Yanyan¹, ZHAO Wei¹, YANG Shuai¹, GAO Qingxian²

(1. Langfang Meteorological Bureau of Hebei Province, Langfang 065000, Hebei, China;
2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on the meteorological observations and the greenhouse strawberry growth experiment data in Langfang of Hebei Province, the correlation between the strawberry growth and light and heat conditions was analyzed by using the partial least square regression method (PLSR). The results indicate that the fruit diameter increased steadily during the whole growth period of strawberry. The vertical diameter increased slower than transect diameter. The fastest growth appeared approximately 40 days after post-flowering, the maximum transect diameter increased rate was $1.43 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. The main factors affecting fruit diameter growth were lighting and heat. The intensity of lighting had obvious effect on the fruit from white maturing stage to maturation stage, during this period, the fruits with good light condition were able to mature ahead of time. Fitting the strawberry diameter used lighting and heat elements, the effect was very well.

Key words: strawberry; growth dynamics; heat and light conditions