

基于气象因子的赣南脐橙气候品质指标评价模型

谢远玉¹ 王培娟^{2*} 朱凌金³ 陈 星¹ 黄 莹¹

(¹江西省赣州市气象局, 江西赣州 341000; ²中国气象科学研究院, 北京 100081; ³赣州市赣县区气象局, 江西赣县 341100)

摘 要 基于江西省赣州市 11 个脐橙主产县 2008—2011 年脐橙品质和气象数据, 采用相关普查、逐步回归和主成分回归分析等方法筛选影响脐橙品质的关键气象因子, 建立脐橙气候品质指标评价模型。结果表明: 6—11 月的温度、日照、降水是影响脐橙品质形成的关键气象因子; 可溶性固形物与 9—10 月平均气温、10 月气温日较差和日照呈极显著正相关, 与 10 月降水量呈极显著负相关; VC 含量与 10 月最高气温、日照、气温日较差呈显著正相关; 可食率与 10 月气温日较差、7—10 月最高气温和 8—10 月日照呈显著负相关; 总酸含量与 10—11 月平均气温、10 月最低气温、7—10 月降水量呈显著负相关; 单果重与 6—11 月平均气温、6—7 月最高气温和 10 月降水量呈显著正相关; 分别建立了基于气象因子的可溶性固形物、总酸、固酸比、VC、可食率、单果重等 6 个脐橙品质指标的评价模型, 模型验证结果表明, 各品质指标模拟的平均相对误差均小于 12%, 其中可溶性固形物和可食率的平均相对误差小于 5%。

关键词 脐橙; 气候品质; 气象因子; 主成分回归; 评价模型

Climate quality evaluation model for navel orange in Ganzhou. XIE Yuan-yu¹, WANG Pei-juan^{2*}, ZHU Ling-jin³, CHEN Xing¹, HUANG Ying¹ (¹Ganzhou Meteorological Bureau, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; ²Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; ³Ganxian District Meteorological Bureau, Ganzhou 341100, Jiangxi, China).

Abstract: The quality of navel orange is closely related to meteorological conditions. In this study, six indicators for the quality of navel orange, including total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), the ratio of TSS to TA (RTT), vitamin C content (VC), edible rate (ER), and single fruit weight (SW), and daily meteorological data at corresponding meteorological stations in 11 counties in Ganzhou City were analyzed in 2008–2011. The key meteorological factors affecting six quality indicators of navel orange were quantified with correlation analysis and stepwise regression. Six climate quality evaluation models for navel orange were constructed by using principal component regression. The results showed that temperature, sunshine, and precipitation from June to November were critical factors affecting the quality of navel orange. TSS was significantly positively correlated with the average temperature from September to October, diurnal temperature variation, and sunshine in October, while it was significantly negatively correlated with the precipitation in October. VC was positively correlated with the maximum temperature, sunshine, and diurnal temperature variation in October. ER was negatively correlated with diurnal temperature variation in October, maximum temperature in July–October, and sunshine in August–October. TA was negatively correlated with average temperature from October to November, minimum temperature in October, and precipitation during July–October. SW was positively correlated with average temperature in June–November, maximum temperature in June–July, and precipitation in October. Models of six quality indices for navel orange were built based on meteorological factors during critical period. The validation results with in-situ observed qualities of navel orange in

中国气象科学研究院基本科研业务费重点项目 (2017Z004)、江西省气象局面上项目 (JXQXMS2017006) 和江西省气象局重点项目 (JXQXZ2018012) 资助。

收稿日期: 2018-10-10 接受日期: 2019-03-15

* 通讯作者 E-mail: wangpj@cma.gov.cn

2017 showed that the average relative errors for simulated qualities of navel orange were all within 12%, with the errors of both TSS and ER being less than 5%.

Key words: navel orange; climate quality; meteorological factor; principal component regression; evaluation model.

农作物气候品质评价是指天气气候条件对作物品质影响的优劣等级的评定(姜伟平等,2014;金志凤等,2015)。中国农产品出口竞争力不强,除了价格因素之外,产品品质因素更加不可漠视。随着经济的发展和人们生活水平的提高,消费者对各类农产品的需求已经由量的满足逐渐转向质的追求。中国加入WTO后,国际国内市场对农产品内在品质和外观形态上也提出了更高的要求,农业生产面临更加严峻的挑战(李秀香等,2016)。农产品品质的优劣严重制约着经济效益的高低,中国目前及今后一段时期内农业生产面临的主要问题是如何提高农产品的品质。脐橙是世界各国竞相栽培的柑橘良种,中国脐橙种植区分布较广,但脐橙品质差异较大。因此,研究气候条件对脐橙品质的影响,建立脐橙气候品质指标评价模型,可为客观评价脐橙品质、提高市场竞争力提供科学依据。

脐橙果实的品质不仅与纬度(卢晓鹏等,2014)、海拔和坡向(王涛等,1995;彭良志等,2000)有关,还与土壤性质、栽培管理措施、品种特性关系密切(赖久江等,2012),同时又受气候条件制约。研究表明,红壤和紫色土果园脐橙果实品质较好,黄壤稍差(赖久江等,2012);施用花生饼肥或生物有机肥的果园脐橙果实品质更好,可溶性固形物含量和固酸比显著高于施用化肥为主的果园(赖久江等,2012);不同颜色的套袋技术对脐橙果皮的亮度、色度和饱和度影响较大(淳长品等,2008)。对同一地区果园而言,果园的地理地形要素、土壤性质、管理措施、品种等基本不变,但不同年份内气候条件却变异较大,气候条件的差异成为制约同一果园脐橙品质的关键因素。李金强(1999)认为,年均温19.6℃脐橙品质上等,但丰产性受到裂果和落果的影响;彭良志等(2000)研究表明,10月的降雨量、日照时数、昼夜温差对果实的可溶性糖、酸的影响比其他月份更明显;孙巍巍等(2015)研究表明,日照时数、昼夜温差、降雨量等气象因子对冰糖橙果实的可溶性固形物含量、酸含量和果实大小等品质有重要影响;谢远玉等(2012)研究表明,脐橙果品外观品质与气温、风速等气象因子有关,可溶性固形物和

总酸含量等主要受果实生长后期气温、降水量、日照和气温日较差的影响。近年来,国内学者采用主成分分析法、逐步回归法、隶属函数法、加权指数求和法等数理统计方法对茶叶(黄寿波,1984;汪春园等,1996;姜伟平等,2014;金志凤等,2015)、猕猴桃(张向荣等,2015;刘璐等,2017)、葡萄(张晓煜等,2007;徐腊梅等,2015)、芒果(车秀芬等,2017)、水蜜桃(杨栋等,2018)、稻米(龚金龙等,2013;王潇等,2014;王华等,2017)等农产品开展了气候品质分析、评价以及模型的研究,分析了大气中臭氧浓度变化对冬小麦籽粒品质(郭建平等,2001)、中量元素和微量元素含量(高素华等,2001)的影响,并综述了CO₂浓度增加对冬小麦、棉花、玉米和大豆品质的影响(郭建平,2015)。

国内学者对脐橙品质关注得相对较晚,使得脐橙品质数据的积累相对较少,目前,对脐橙品质影响和评价的研究报道尚不多见。张智勇与作者等(2016)已开展了赣南脐橙气候品质评价的初步尝试,但评价因子比较单一,评价模型还有待进一步完善。本文根据赣南脐橙主产区连续4年脐橙品质数据和相应的气象数据,对脐橙主要品质评价指标与气象因子进行相关性普查,得到影响脐橙品质的关键气象因子和重要时段;采用主成分回归方法研究建立脐橙气候品质指标评价模型,以提高赣南脐橙气候品质指标评价的定量化水平,为开展脐橙气候品质评价服务提供技术支撑。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

赣州市位于江西省南部,俗称赣南,地理坐标为24°29'N—27°09'N,113°54'E—116°38'E(图1)。赣南境内以丘陵为主,属亚热带湿润季风气候,无霜期长,四季分明,气候温和,热量丰富,降水充沛,具有种植脐橙“得天独厚”的气候资源优势,为农业部颁布的《全国优势农产品区域布局规划(2008—2015年)》的赣南-湘南-桂北脐橙优势带的中心,是全国最大的脐橙主产区(卢占军等,2015)。现赣南地区拥有300亩以上规模的脐橙生产基地800多个,脐

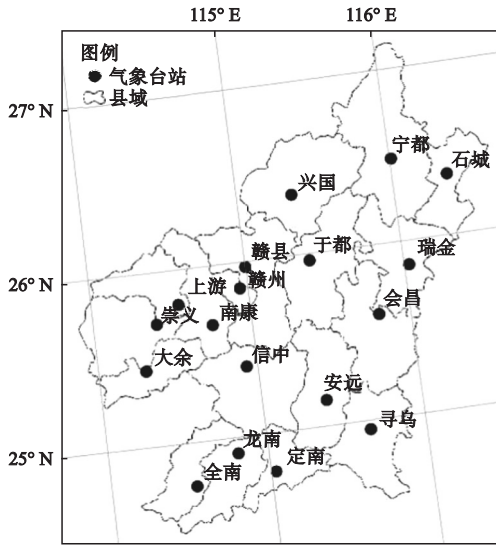


图1 研究区气象站分布
Fig.1 The distribution of meteorological stations in the study area

橙种植户约 20 万户,从业人员 60 余万人,脐橙种植几乎覆盖了赣州整个区域,是当地农民收入的重要来源,已成为地方农业领域的重要支柱产业(马小焕,2015)。

1.2 数据来源

1.2.1 建模数据 脐橙品质数据来自赣南脐橙工程技术研究中心,研究收集了 2008—2011 年赣南 11 个脐橙主产区(于都、南康、信丰、安远、赣县、会昌、兴国、寻乌、龙南、全南和章贡区)抽样检测的 6 个品质指标数据,包括可溶性固形物(total soluble solids, TSS)、总酸(可滴定酸)(titratable acidity, TA)、固酸比(the ratio of TSS to TA, RTT)、VC(vitamin C content, VC)、可食率(edible rate, ER)和单果重(single fruit weight, SW)。参检脐橙样本为赣南主栽品种纽荷尔,树龄均为 10~12 年,管理水平中上,平均产量在 $12915 \sim 14910 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,属当地正常产量水平。相同区县同一年有多个样本的取样本平均值,4 年总样本数为 26 个。

1.2.2 验证数据 为验证赣南脐橙气候品质指标模型的评价效果,2017 年 11 月中旬分别在兴国、赣县、信丰等脐橙主产区进行脐橙果实实地取样,样品为赣南主栽品种纽荷尔,树龄均为 10~12 年,管理水平中上,产量水平正常,由国家脐橙工程技术研究中心按 GB/T 8210-2011 标准进行检测,检测项目包括可溶性固形物、总酸(可滴定酸)、固酸比、可食

率、单果重。

1.3 气象数据

气象数据来自脐橙品质检测样本对应的县气象站(图 1),包括 2008—2011 年和 2017 年的逐日平均气温、最高气温、最低气温、气温日较差(昼夜温差)、降水量和日照时数等。赣州市果业部门根据多年的纽荷尔脐橙生产管理实践,总结得到赣南纽荷尔脐橙的发育规律,即赣南脐橙一般于 2 月下旬到 3 月上旬现蕾,4 月上旬开花,下旬进入第一次生理落果,5 月上、中旬第二次生理落果,5 月底果实开始膨大,6 月为果实膨大初期,7—9 月为果实快速膨大期,10 月为果实着色前期,11 月为果实着色后期和成熟期。可见,脐橙果实品质形成期主要为 6—11 月,因此,可采用以月为单位的方法进行气象资料处理,其中温度计算月平均值,降水量和日照时数计算逐月累积值。

1.4 研究方法

1.4.1 脐橙气候品质指标的确定 鲍江峰等(2004a)用主成分回归分析研究发现用单果重、可溶性固形物、总酸、VC、出汁率、果皮亮度值等 6 个品质指标可以反映纽荷尔脐橙品质的绝大部分信息,而 GB/T 21488-2008(钟八莲等,2008)衡量脐橙品质的理化指标主要有可溶性固形物、总酸、固酸比和可食率等 4 项。可溶性固形物和总酸是检测果实风味的重要参数(关军锋,2001;聂继云等,2012);固酸比是评价水果果实风味和成熟程度的指标;VC 又称为抗坏血酸,VC 含量的多少是衡量水果营养品质的重要指标之一;可食率是果实可食用部分质量占全果质量之比(钟八莲等,2008),单果重是脐橙外观品质的主要指标之一(谢远玉等,2009)。因此,本文选取能够代表脐橙外观品质(单果重)、风味品质(可溶性固形物、总酸/可滴定酸、固酸比、可食率)和营养品质(VC 含量)的 6 个指标作为脐橙气候品质指标进行研究。

1.4.2 脐橙品质指标测定与计算方法 可溶性固形物含量(%)采用手持式折光仪测定,可滴定酸含量(%)采用 NaOH 溶液中和滴定法测定,维生素 C 含量($\text{mg} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$)采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定,单果重(g)用电子天平测定。

固酸比用可溶性固形物含量与总酸含量的比值表示。可食率(%)用果实可供食用的部分与整果

重的百分比表示,并按下面公式计算:

可食率=
$$\frac{\text{全果重量}-(\text{果皮重量}+\text{种子重量})}{\text{全果重量}}\times 100\%$$

1.4.3 脐橙气候品质评价因子筛选 温度主要通过影响果树光合作用的效率而影响果实碳水化合物的积累,温度较高的地区果实含糖量高,含酸量低;光是植物光合作用的能量来源,光照状况直接影响果实的品质,光照不足,果树光合作用受到影响,进而影响脐橙糖分的积累(关军锋,2001);水是脐橙光合作用的反应物之一,对果实品质有着重要影响,水分的多少主要影响果实大小、质地、果汁量和风味(鲍江峰等,2004b)。本文选取平均气温、最高气温、最低气温、气温日较差(昼夜温差)、降水量和日照时数 6 个气象要素作为脐橙气候品质指标评价的气象因子。

1.4.4 模型构建方法 运用 DPS 数据处理系统(唐启义等,2007)对气象因子与脐橙品质指标进行相关性普查;采用逐步回归方法筛选影响脐橙气候品质指标的关键气象因子;利用主成分回归方法建立赣南脐橙气候品质指标评价模型。

主成分回归(principal component regression, PCR)是一种多元回归分析方法,旨在解决自变量间存在多重共线性问题。其基本原理是将解释变量转换成若干个主成分,这些主成分从不同侧面反映解释变量的综合影响,并且互不相关。因此,可以将被解释变量转换为独立的主成分进行回归,再根据主

成分与解释变量之间的对应关系,求得原回归模型的估计方程。

2 结果与分析

2.1 脐橙品质指标

根据 GB/T 12947—2008 鲜柑橘规定(解维域等,2011):甜橙类可溶性固形 $\geq 10.5\%$ 、总酸量 $\leq 0.9\%$ 、固酸比 ≥ 11.6 、可食率 $\geq 70\%$ 为优等果。从图 2 可见,赣南脐橙各项品质指标均达优等果标准,表明赣南脐橙风味、色泽、营养俱佳,与实际情况相吻合。但脐橙品质年际间还存在明显差异,2009 年可溶性固形物含量最高,而单果重最低;2010 年总酸和可食率最高,固酸比和 VC 含量最低。

2.2 气象条件影响脐橙品质的关键期

纽荷尔脐橙是赣南脐橙主栽品种,种植面积占赣南脐橙总面积的 90% 以上。根据赣南脐橙生产的实际情况,利用脐橙品质形成关键期 6—11 月的气象条件与脐橙品质指标进行相关性普查(表 1)。

由表 1 可知,9—11 月是气象条件影响可溶性固形物和固酸比的关键期;7—11 月是影响脐橙总酸的关键期;7—10 月是影响可食率的关键期;9—10 月是影响 VC 含量的关键期;6—11 月是影响单果重的关键期,即气象条件影响不同脐橙品质指标的关键期不同。

2.3 气象因子对脐橙品质指标的影响

根据不同时段气象因子与脐橙品质指标的相关

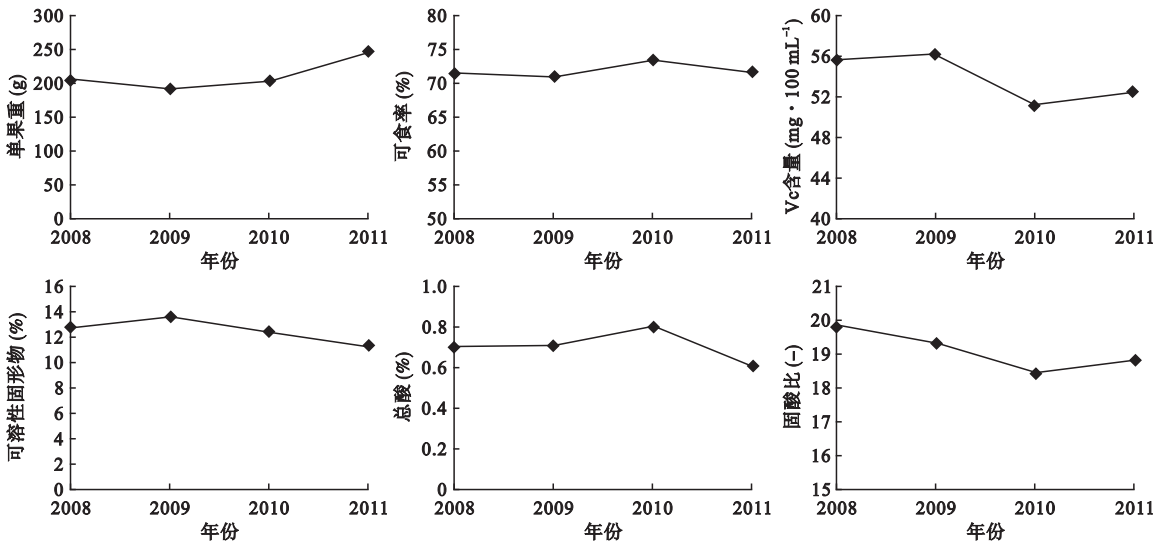


图 2 2008—2011 年赣南脐橙品质指标对比
Fig.2 Comparison of six quality indicators for navel orange in Ganzhou during 2008–2011

表 1 气象因子与脐橙品质指标的相关关系

Table 1 Correlation between meteorological factors and navel orange quality indicators

脐橙品质指标	相关性	平均气温	最高气温	最低气温	气温日较差	降水量	日照时数
可溶性固形物	正	09,10,09-10	09,10,09-10	09	10		10
	负	11	11	11		09,10,09-10	
总酸	正						
	负	10-11	10-11	10,11		07-10	
可食率	正						09,10,08-10,
	负		07-10,08-10		10,09-10		09-10
VC 含量	正	10,09-10			10,09-10		10,07-10
	负		10,08-10,09-10			09	
固酸比	正	10,09-10,10-11	09,10,09-11	10,07-10	09,09-10	07	09,10,09-10,
	负				11		10-11
单果重	正	06-11	11,06-07,10-11	11,06-11			08
	负					10	

表中数字表示月份(MM),所列因子均通过了0.05显著性水平检验。如:VC含量分别与10月平均气温、9—10月平均气温、10月气温日较差、9—10月气温日较差、10月日照时数和7—10月日照时数呈显著正相关,与10月、8—10月、9—10月最高气温和9月降水量呈显著负相关。

.....

性普查结果,选取相关性较高且因子间自相关性不明显的气象因子,采用逐步回归方法分析主要气象条件(关键因子)对脐橙品质的影响。

2.3.1 可溶性固形物 不同时段气象因子与脐橙可溶性固形物的相关普查发现(表1),气象条件对脐橙可溶性固形物的影响从果实膨大期开始,持续到成熟可采期,但以10月脐橙着色期影响最显著。从图3可知,可溶性固形物与9—10月平均气温、10月气温日较差和日照时数均呈极显著正相关,相关系数都通过了0.01的极显著性水平检验,表明9—10月平均气温愈高,10月气温日较差愈大、日照愈多,则可溶性固形物愈高,脐橙品质愈好。可溶性固

形物与10月降水量呈极显著负相关,相关系数也通过了0.01的极显著性水平检验,10月降水量愈多可溶性固形物愈低。

2.3.2 总酸 气象条件对脐橙总酸的影响也集中在6月果实膨大到11月果实成熟期间,但对果实生长后期的影响最显著(表1)。从图4可见,总酸与10—11月平均气温呈极显著负相关,相关系数通过了0.01的显著性水平检验,与10月最低气温、7—10月降水量呈显著负相关,相关系数均通过了0.05的显著性水平检验。表明果实生长期气温愈高,脐橙总酸含量愈低,特别是果实生长后期10—11月的气温影响更为突出;7—10月降水量愈多,脐橙总酸

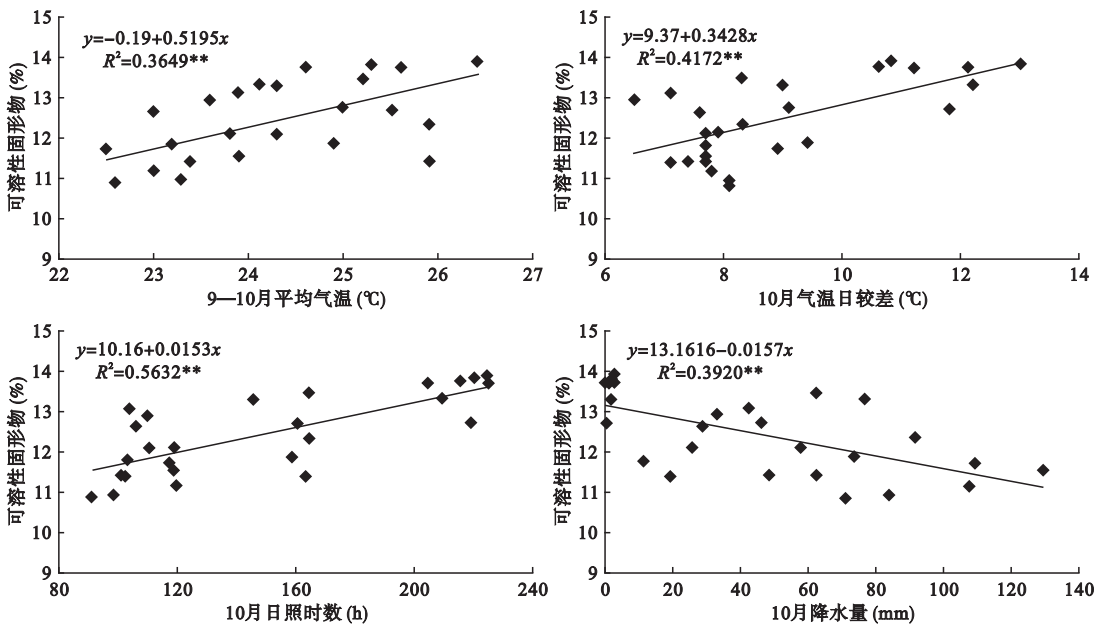


图 3 脐橙可溶性固形物与气象因子的关系

Fig.3 Relationship between TSS of navel orange and meteorological factors

** 和 * 分别表示通过 0.01 和 0.05 的显著性检验。下同。

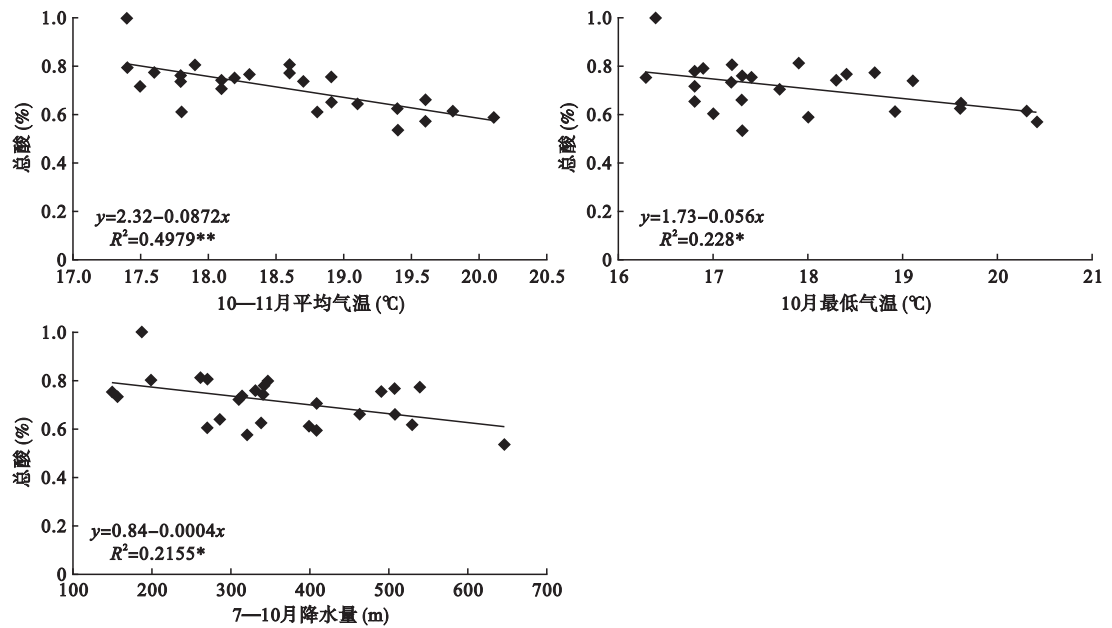


图 4 脐橙总酸含量与气象因子间的关系
Fig.4 Relationship between TA of navel orange and meteorological factors

含量愈低。

2.3.3 VC 含量 由表 1 可见,气象条件对 VC 含量的影响主要在果实膨大后期到果实转色期。VC 含量与 10 月最高气温、日照时数呈极显著正相关,相关系数通过了 0.01 的显著性水平检验;与 10 月气温日较差呈显著正相关,与 9 月降水量呈显著负相关,两个因子相关系数均通过了 0.05 的显著性水

平检验。表明 10 月最高气温愈高,气温日较差愈大,日照时数愈多,则 VC 含量也愈高,反之亦然;而 9 月降水量愈多 VC 含量反而降低(图 5)。

2.3.4 可食率 气象条件对脐橙可食率的影响主要在果实膨大期到着色初期(表 1)。由图 6 可见,可食率与 10 月气温日较差、7—10 月最高气温和 8—10 月日照时数呈显著负相关,其相关系数均通

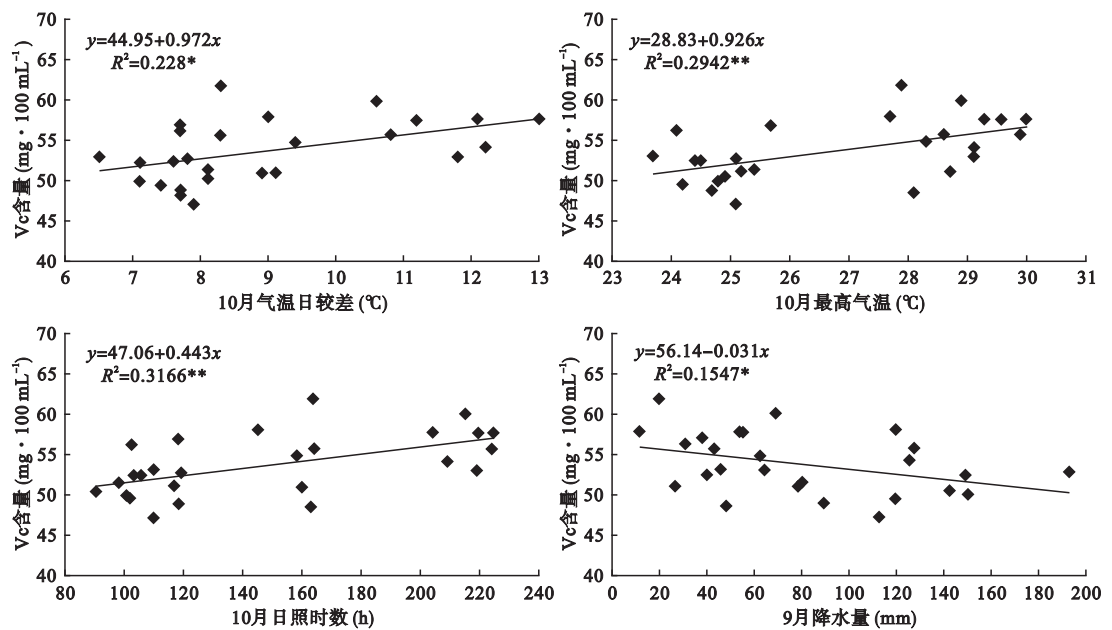


图 5 脐橙 VC 含量与气象因子间的关系
Fig.5 Relationship between VC of navel orange and meteorological factors

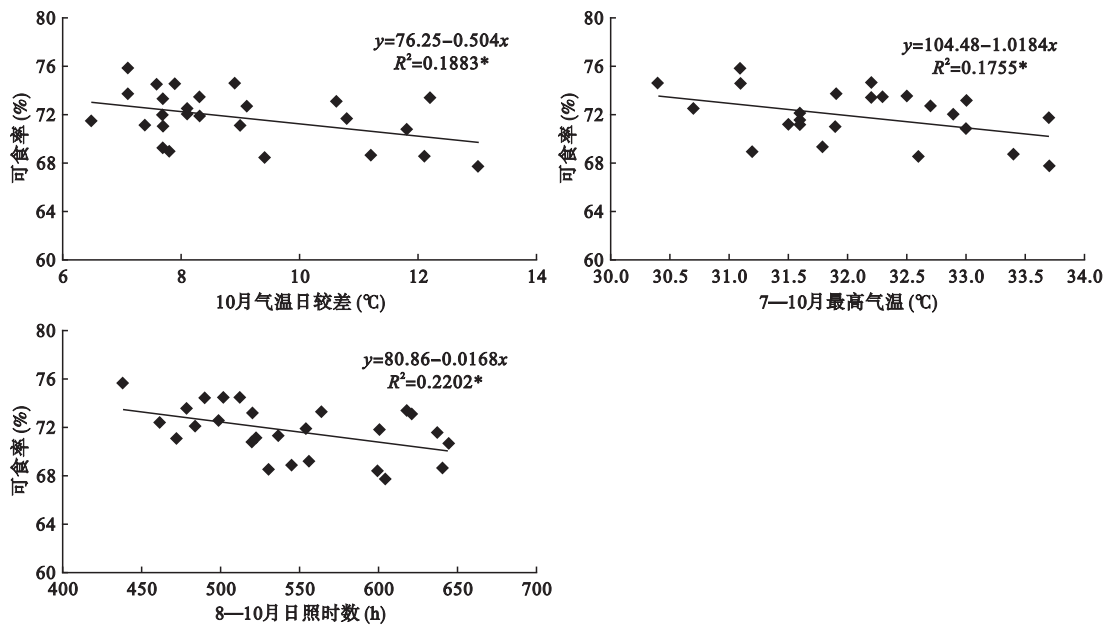


图 6 脐橙可食率与气象因子间的关系

Fig.6 Relationship between ER of navel orange and meteorological factors

过了 0.05 的显著性水平检验。10 月气温日较差、7—10 月最高气温和 8—10 月日照时数的增加对脐橙可食率起负作用,因为日较差大表明白天最高气温高,高温易产生厚皮果,而强光照将导致日灼果增多,可食率降低,结果与生产实际相符。

2.3.5 单果重 气象条件对单果重的影响时间较长(表 1)。从图 7 可知,单果重与 10 月降水量、6—

11 月平均气温和 6—7 月最高气温呈显著正相关,其中与 6—11 月平均气温呈极显著正相关,3 个气象因子的相关系数均通过了 0.05 以上的显著性水平检验。表明 10 月降水愈多,6—11 月平均气温和 6—7 月最高气温愈高,脐橙单果愈重,产量愈高。

2.4 赣南脐橙气候品质指标评价模型

2.4.1 模型建立 前面分析表明,脐橙品质与气象

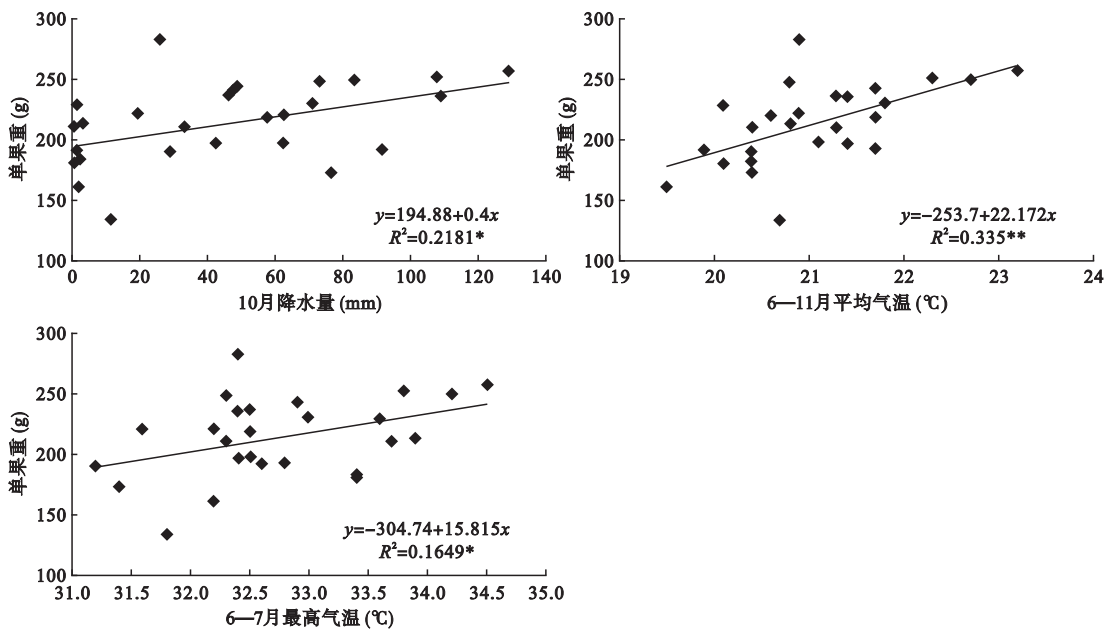


图 7 脐橙单果重与气象因子间的关系

Fig.7 Relationship between SW of navel orange and meteorological factors

表 2 赣南脐橙气候品质指标评价模型
Table 2 Evaluation models of six climate quality indicators for navel orange

脐橙品质因子	气候品质评价模型	<i>R</i>	<i>P</i>
可溶性固形物 (%)	$TSS = 10.67 + 0.145Td_{10} + 0.006S_{10} - 0.008R_{10}$	0.796	<0.0001
总酸 (%)	$TA = 1.97 - 0.042T_{10-11} - 0.022TL_{10} - 0.0002R_{7-10}$	0.701	<0.001
固酸比	$RTT = TSS/TA$	-	-
VC (mg · 100 mL ⁻¹)	$VC = 41.04 + 0.019S_{10} + 0.414TH_{10} - 0.017R_9$	0.594	<0.01
可食率 (%)	$ER = 80.22 - 0.331Td_{10} - 0.01S_{8-10}$	0.505	<0.01
单果重 (g)	$SW = -346.94 + 10.995T_{6-11} + 9.775TH_{6-7} + 0.185R_{10}$	0.607	<0.01

表中所列因子均通过了 0.05 显著性水平检验。式中, *T*、*TL*、*TH*、*Td* 分别表示月平均气温、最低气温、最高气温、气温日较差(℃), *S* 为月日照时数(h), *R* 为月降水量(mm), 下标表示月份。

条件关系密切,因而可利用气象因子评价脐橙品质指标的优劣。本文采用主成分回归方法建立基于气象因子的赣南脐橙气候品质指标评价模型(表 2)。

可溶性固形物(TSS)主要由糖、酸、维生素和矿物质等组成。10 月是纽荷尔脐橙果实总糖的快速积累期(周亮等,2015),模型表明(表 2),气温日较差大,白天光合作用强,糖分积累多;夜间温度低,呼吸作用弱,糖分消耗少,因而,果实含糖量高,着色好;光照是决定果树生产力的重要因素,日照愈多,可溶性固形物形成愈多(陈尚谟等,1988);水分主要影响果实大小、汁液和风味,降水多可降低果实的糖、酸和 VC 含量,果实着色指数下降,风味变淡(关军锋,2001),表明模型所选因子具有较好的生物学意义。

总酸(TA)是衡量脐橙风味品质(口感)的主要指标之一。温度不仅影响果树的正常生长和产量,还影响果实品质和生长速度(陈尚谟等,1988),温度愈高,含酸量愈低;降水对总酸有稀释作用,降水

量愈多含酸量愈低(关军锋,2001)。说明模型构建因子具有生物学意义。

固酸比(RTT)是衡量脐橙风味的主要指标之一。脐橙从 7 月开始固酸比呈持续上升趋势,至 11 月底达到最高(周亮等,2015),由于日照、气温日较差和温度对可溶性固形物和总酸含量有直接影响,进而影响固酸比。

维生素 C(VC)是一种多羟基化合物,具有较好的抗氧化作用。10 月是 VC 缓慢积累期(周亮等,2015),光照是影响 VC 含量的重要因子,光照愈充足,VC 的含量愈高(关军锋,2001);温度增高,也有利于 VC 的合成。

8—10 月是脐橙果实快速增大和初熟的关键期,此期高温、强光照将导致果皮变厚、日灼果增多,造成可食率降低。

6—11 月是脐橙果实形成期,其中 6—9 月是脐橙快速增长期(周亮等,2015),此期的温度愈高,树体长势愈旺盛,愈有利于果皮和砂囊细胞的反复分裂和组织分化,单果愈重;而 10 月降水愈多,果实含水量愈多,单果愈重。

2.4.2 模型验证 分别利用 2017 年兴国、赣县、信丰县气象站气象资料,代入脐橙 6 个品质因子的气候评价模型,经计算得到可溶性固形、总酸、固酸比、VC 含量、可食率和单果重的模拟值,模拟值与实测数据见表 3。从表 3 可知,本研究建立的脐橙气候品质指标评价模型效果较理想,所有脐橙品质指标的模拟准确率均在 84%以上,相对误差最小为赣县固酸比、信丰单果重和兴国可溶性固形物,分别为 1.74%、2.13%和 2.29%;可溶性固形物和可食率的相对误差变化范围较小,分别为 2.29%~6.52%和

表 3 赣南脐橙气候品质指标评价模型模拟结果与实测数据对比
Table 3 Comparison of qualities between in-situ observation and simulation based on climate quality evaluation models in Ganzhou

地区	项目	可溶性固形物 (%)	总酸 (%)	固酸比	可食率 (%)	单果重 (g)	VC 含量 (mg · 100 mL ⁻¹)
兴国	实测品质	12.67	0.83	15.27	73.72	224.07	未测定
	模拟品质	12.38	0.72	17.19	71.44	259.81	50.1
	相对误差 (%)	2.29	13.25	12.57	3.09	15.95	-
赣县	实测品质	13.20	0.74	17.84	66.99	228.23	未测定
	模拟品质	12.34	0.68	18.15	70.94	264.67	50.08
	相对误差 (%)	6.52	8.11	1.74	5.90	15.97	-
信丰	实测品质	12.60	0.64	19.69	68.95	246.07	未测定
	模拟品质	12.16	0.73	16.66	71.46	251.31	49.38
	相对误差 (%)	3.49	14.06	15.39	3.64	2.13	-
平均相对误差 (%)		4.10	11.81	9.90	4.21	11.35	-

3.09%~5.90%。5个脐橙品质指标模拟的平均相对误差在4.10%~11.81%,总酸、固酸比和单果重模拟的平均相对误差略大,在9.9%~11.81%,可溶性固形物和可食率的平均相对误差均小于4.30%。

由于2017年末检测脐橙VC含量数据,根据模型模拟结果无法客观评价VC含量模型的可信度。但是从VC模拟结果可以看出,2017年各地VC含量均在 $50\text{ mg}\cdot 100\text{ mL}^{-1}$ 左右,一方面果实中的VC含量主要取决于品种特性和土壤肥力,另一方面,VC含量也受到不同地区的光照和温度条件的制约(鲍江峰等,2004b),使得相同的脐橙品种在不同地区的VC含量略有差异。

3 讨论

周亮等(2015)研究表明,7—10月是赣州纽荷尔脐橙果实营养品质和风味品质形成的重要时期。本文对赣南脐橙主产区连续4年的脐橙品质数据与气象因子进行相关分析,发现气象因子对不同脐橙品质指标影响的关键期不同:影响可溶性固形物和固酸比的关键期是9—11月,总酸是7—11月,可食率是7—10月,VC含量是9—10月,单果重是6—11月,研究结论与周亮等(2015)基本一致。

逐步回归分析表明,脐橙可溶性固形物与9—10月平均气温、10月气温日较差和日照呈极显著正相关,与10月降水量呈极显著负相关。彭良志等(2000)研究发现,可溶性固形物与9、10月降水量呈极显著负相关,与8—10月气温日较差呈极显著正相关,可见研究结论与彭良志等研究结果相近。周亮等(2015)研究发现,脐橙总酸含量随果实发育呈先上升后下降趋势,8—9月是可滴定酸的快速降解期。总酸与10—11月平均气温、10月最低气温、7—10月降水量呈显著负相关,研究结果与谢远玉等(2012)的前期研究结论一致。VC含量与10月最高气温、日照、气温日较差呈显著正相关,与鲍江峰等(2004b)研究结论相符。可食率与10月气温日较差、7—10月最高气温和8—10月日照呈显著负相关,高温易产生厚皮果,而强光照将导致日灼果增多(谢远玉等,2009),可食率减少。单果重与6—11月平均气温、6—7月最高气温和10月降水量呈显著正相关,果实开始膨大到成熟是脐橙果实养分积累时期,此期温度愈高果实愈大(鲍江峰等,2004b)。

本文所构建的脐橙气候品质指标评价模型是根

据脐橙品质检测数据与气象实况资料进行相关普查、逐步回归、主成分回归等数理统计分析而得,所选气象因子能够很好地解释脐橙各品质指标的生物学意义,提高了脐橙气候品质指标评价模型的科学性;在业务应用中只要根据当地气象资料便可定量评价某地的脐橙气候品质,既减轻了基层台站业务人员工作量,又提升了脐橙气候品质指标评价的业务服务水平,为中国开展脐橙气候品质指标评价工作提供科技支撑。然而,赣州属典型的丘陵山地,局地小气候类型多样,由于缺乏果园内的气象资料,在建模时采用样品所在县基本气象站资料代替,模拟结果可能存在一定误差,待果园气象监测数据完备后,还需对模型进行进一步修正。此外,农产品品质除受生态气候因素影响外,还受各地品种、土壤、地形、管理水平等因素制约(王涛等,1995;李金强,1999;彭良志等,2000;汪瑞清等,2009;卢晓鹏等,2014)。本文仅以赣南纽荷尔脐橙为例,构建基于气象因子的赣南脐橙气候品质指标评价模型,在实际应用时还应考虑不同地区的脐橙品种、土壤类型、地形条件、人工管理等因素加以修正,逐步提高模型的评价效果。最后,还应加强消费者对脐橙各品质特性关注程度的研究,构建脐橙气候品质综合评价模型,全面提升脐橙气候品质评价工作的精细化水平和服务效果。

参考文献

- 鲍江峰,夏仁学,邓秀新,等. 2004a. 用主成分分析法选择纽荷尔脐橙品质的评价因素. 华中农业大学学报, **23**(6): 663-666.
- 鲍江峰,夏仁学,彭抒昂. 2004b. 生态因子对柑桔果实品质的影响. 应用生态学报, **15**(8): 1477-1480.
- 车秀芬,张京红,黄海静,等. 2017. 海南芒果气象灾害监测及气候品质认证系统研发. 气象研究与应用, **38**(2): 45-48.
- 陈尚漠,黄寿波,温福光. 1988. 果树气象学. 北京:气象出版社.
- 淳长品,彭良志,曹立,等. 2008. 不同纸袋套袋对纽荷尔脐橙果实品质的效应研究. 西南大学学报:自然科学版, **30**(4): 106-110.
- 高素华,郭建平,王连敏,等. 2001. 气象条件对小麦中量元素和微量元素含量的可能影响. 应用气象学报, **12**(4): 507-512.
- 龚金龙,张洪程,胡雅杰,等. 2013. 灌浆结实期温度对水稻产量和品质形成的影响. 生态学杂志, **32**(2): 482-491.
- 关军锋. 2001. 果品品质研究. 石家庄:河北科学技术出版社.

- 郭建平, 王春乙, 白月明, 等. 2001. 大气中臭氧浓度变化对冬小麦生理过程和籽粒品质的影响. 应用气象学报, **12**(2): 255-256.
- 郭建平. 2015. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展. 应用气象学报, **26**(1): 1-11.
- 黄寿波. 1984. 试论生态环境与茶叶品质的关系. 生态学杂志, **3**(2): 13-16.
- 金志凤, 王治海, 姚益平, 等. 2015. 浙江省茶叶气候品质等级评价. 生态学杂志, **34**(5): 1456-1463.
- 赖九江, 马小焕, 钟莉华, 等. 2012. 赣南纽荷尔脐橙果实品质比较研究. 中国南方果树, **41**(5): 5-7, 12.
- 李金强. 1999. 环境条件对脐橙产量品质的影响. 浙江柑桔, **16**(3): 13-15.
- 李秀香, 冯馨. 2016. 加强气候品质认证, 提升农产品出口质量. 国际贸易, (7): 32-37.
- 刘璐, 屈振江, 张勇, 等. 2017. 陕西猕猴桃果品气候品质认证模型构建. 陕西气象, (4): 21-25.
- 娄伟平, 吴利红, 孙科, 等. 2014. 春季龙井茶叶气候品质认证. 气象科技, **42**(5): 945-950.
- 卢晓鹏, 李静, 熊江, 等. 2014. 湖南省不同纬度脐橙园的土壤养分及果实品质. 湖南农业大学学报: 自然科学版, **40**(6): 615-620.
- 卢占军, 钟八莲, 郭慧. 2015. 赣南脐橙产业可持续发展的探讨. 企业经济, (4): 149-152.
- 马小焕. 2015. 赣南脐橙产业发展现状分析及展望. 绿色科技, (11): 147-148.
- 聂继云, 李志霞, 李海飞, 等. 2012. 苹果理化品质评价指标研究. 中国农业科学, **45**(14): 2895-2903.
- 彭良志, 王成秋, 何绍兰, 等. 2000. 海拔高度和气象因子对脐橙果实品质的影响. 中国南方果树, **29**(4): 3-4.
- 孙系巍, 汤丹, 李峰, 等. 2015. 主要气象因子对冰糖橙果实品质的影响. 湖南农业科学, (5): 77-80.
- 唐启义, 冯明光. 2007. DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社.
- 汪春园, 荣光明. 1996. 茶叶品质与海拔高度及其生态因子的关系. 生态学杂志, **15**(1): 57-60.
- 汪瑞清, 刘仁根, 肖运萍, 等. 2009. 水肥耦合对赣南脐橙园脐橙品质的影响. 广东农业科学, (6): 86-88.
- 王华, 杜尧东, 杜晓阳, 等. 2017. 灌浆期不同时间喷水降温对超级稻“玉香油占”产量和品质的影响. 生态学杂志, **36**(2): 413-419.
- 王涛, 高阳华, 罗凤菊. 1995. 奉节脐橙品质与海拔高度及坡向关系的气候生态. 四川气象, **15**(2): 34-36.
- 王潇, 宋正国, 武慧斌, 等. 2014. CO₂浓度升高对铜镉污染土壤梗稻米安全品质的影响. 生态学杂志, **33**(5): 1319-1326.
- 解维域, 丁辰, 宋焯. 2011. GB/T 12947—2008, 鲜柑橘. 北京: 中国国家质量监督检验检疫总局.
- 谢远玉, 赖晓桦, 陈颖, 等. 2009. 柑橘果实生长与生态气象条件的关系. 华中农业大学学报, **28**(4): 222-225.
- 谢远玉, 朱凌金, 余嵩云, 等. 2012. 气象条件对赣南脐橙品质的影响. 气象与减灾研究, **35**(4): 54-58.
- 徐腊梅, 杨举芳. 2015. 葡萄气候品质认证指标体系探讨. 新疆农垦科技, (9): 14-15.
- 杨栋, 金志凤, 丁焯毅, 等. 2018. 水蜜桃气候品质评价方法与应用. 生态学杂志, **37**(8): 2532-2540.
- 张向荣, 何可杰, 雷雯, 等. 2015. 猕猴桃果品气候品质认证技术研究. 陕西农业科学, **61**(10): 65-68.
- 张晓煜, 亢艳莉, 袁海燕, 等. 2007. 酿酒葡萄品质评价及其对气象条件的响应. 生态学报, **27**(2): 740-745.
- 张智勇, 廖芳, 李秀山, 等. 2016. 赣南脐橙气候品质认证. 中国农学通报, **32**(34): 149-152.
- 钟八莲, 赖晓桦, 陶家瑞, 等. 2008. GB/T 21488—2008, 脐橙. 北京: 中国国家质量监督检验检疫总局.
- 周亮, 杨文侠, 曾芳, 等. 2015. 纽荷尔脐橙果实发育过程中糖、酸和维生素C含量的变化. 中国南方果树, **44**(2): 45-47, 51.

作者简介 谢远玉,女,1965年生,正研级高级工程师,主要从事应用气象研究。E-mail: xyy_1965@163.com

责任编辑 李凤芹
