

103份桃种质在南京地区的需冷量和需热量研究

张明昊^{1a}, 严娟^{2a}, 蔡志翔², 沈志军², 马瑞娟², 张春华², 徐子媛², 俞明亮^{2*}

(¹南京农业大学园艺学院, 南京 210095; ²江苏省农业科学院果树研究所·江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014)

摘要:【目的】用不同模型估算南京资源圃103份桃种质花芽和叶芽的需冷量和需热量,筛选花芽和叶芽需冷量和需热量的最佳估算模型,探讨需冷量、需热量与开花展叶的关系。【方法】连续2 a(年)(2018年11月—2019年4月和2019年11月—2020年4月),采用3种需冷量估算模型和2种需热量估算模型对103份桃种质(南京地区)的花芽和叶芽需冷量和需热量进行估算,并对不同年际间、不同模型间、不同种质间、花芽与叶芽间、需冷量与需热量间,以及需冷量和需热量与开花期和展叶期之间的关系进行了分析。【结果】0~7.2 °C模型和有效积温模型为南京气候区域桃需冷量和需热量估算的最优模型。绝大部分桃种质的花芽和叶芽需冷量基本一致,仅‘帚形山桃’和‘红花山桃’2份种质的叶芽需冷量约为花芽的5倍。桃花芽需热量基本低于叶芽需热量;桃芽需冷量与需热量之间无显著相关关系。需冷量和需热量与盛花期和展叶期均存在相关关系,需冷量和需热量低的种质开花展叶早;需冷量和需热量高的种质开花展叶晚。【结论】适宜南京气候区域桃需冷量和需热量估算的模型分别是0~7.2 °C模型和有效积温模型;103份桃种质花芽和叶芽的需冷量和需热量值范围广,分别为151~1 264 h和187~1 108 h,256~391 D·°C和267~498 D·°C;花芽需冷量与叶芽较一致,需热量则基本低于叶芽;需冷量与需热量无相关关系,二者对开花、展叶均起重要作用。

关键词:桃;需冷量;需热量;花芽;叶芽;盛花期;展叶期

中图分类号:S662.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2021)01-0029-11

Chilling and heat requirements of 103 germplasms of peach in Nanjing

ZHANG Minghao^{1a}, YAN Juan^{2a}, CAI Zhixiang², SHEN Zhijun², MA Ruijuan², ZHANG Chunhua², XU Ziyuan², YU Mingliang^{2*}

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; ²Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract:【Objective】Chilling requirement (CR) and Heat requirement (HR) are important phenological traits of temperate deciduous fruit trees, and the amount of them varies with different species, and also varies with different varieties within the same species. For peach (*Prunus persica* L.), the CR of 660 germplasm resources have been evaluated, while only 70 resources' HR have been evaluated so far. Meanwhile, systematic comparison and correlation analysis of the CR and HR of floral buds and leaf buds using large peach samples have not been reported. In this research, different estimation models were used to calculate the CR and HR of 103 peach germplasm resources in Nanjing, to compare the CR and HR in floral and leaf buds and to explore the correlation between the CR and HR with fluorescence and leaf expanding.【Methods】Nov. 2018 to Apr. 2019-04 (average temperature was 8.79 °C) and Nov. 2019 to Apr. 2020 (average temperature was 12.06 °C), the CR for initial blooming and leaf bud breaking of 103 peach germplasm resources in Nanjing (southeast China, 31°14' N 118°22' E) were studied by 2 estimation models, including growing degree hours model and effective temperature mod-

收稿日期:2020-06-29 接受日期:2020-09-30

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-30);桃、草莓种质资源的收集、鉴定、编目、繁种与入库(圃)保存(19190156);国家园艺种质南京桃、草莓分库(NHGRC2020-NH16)

作者简介:张明昊,男,在读硕士研究生,研究方向为桃种质资源。Tel:18751953322,E-mail:540028407@qq.com。a为共同第一作者。严娟,女,副研究员,研究方向为桃种质资源。Tel:17301586424,E-mail:yanjuanjaas@aliyun.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13601588855,E-mail:mly1008@aliyun.com

el. Analysis of the CR and HR of floral and leaf buds, and the correlation between the requirements and blooming and leaf expanding dates were conducted. 【Results】 The ranges of terminal stage of natural dormancy, blooming stage and leaf expansion stage among the 103 varieties were wide. The terminal stage of natural dormancy were between 1st Dec. And 15th Mar., and blooming stage and leaf expansion stage were between 24th Feb. and 3rd Apr., and between 3rd Mar. and 7th Apr., respectively. The CRs of floral and leaf buds calculated by 0-7.2 °C model (RSD were 6.74% and 7.93% for floral and leaf buds, respectively) were consistent in two years, while there were great difference in the results of different years calculated by 7.2 °C model, its RSD were 9.88% and 9.57% for floral and leaf buds respectively, and the RSD of floral buds' CR was significantly higher than those obtained by 0-7.2 °C model ($p < 0.01$). Utah model couldn't be used for low chilling requirement varieties or determining the starting date of low temperature accumulation. The HRs of floral and leaf buds calculated by effective temperature model (RSD were 9.05% and 5.68% for floral and leaf buds, respectively) were consistent in two years, there were also great difference in the results of different years obtained by growing degree hours model, its RSD were 10.55% and 14.61% for floral and leaf buds, respectively, and the RSD of leaf buds' HR was significantly higher than those calculated by effective temperature model ($p < 0.01$). Therefore, 0-7.2 °C model and effective temperature model were more suitable for assessing the CR and the HR respectively in Nanjing area. The ranges of the CR and HR among the 103 varieties were wide, in which CRs of floral buds were between 151 and 1 264 h, and of leaf buds were between 187 and 1 108 h according to 0-7.2 °C model. The HRs of floral buds were between 256 and 391 D · °C and of leaf buds were between 267 and 498 D · °C according to effective temperature model. We obtained some peach materials with low CR, including 'Yingchun' and 'Xialingbei 1', as well as some peach materials with high CR, including 'Feicheng 51-28', 'Xiangtao' and 'Juhuatao'. and also we obtained some materials with low HR, including 'Xinjianghuangrou', 'Yingqing' and 'Honghuashantao', as well as some peach materials with high HR, including 'Xinjiangdatianren', 'Qingyedongtao' and 'Huayu'. The floral buds had almost the same CR with the leaf buds, with some exceptions, the leaf buds of 'Zhouxingshantao' and 'Honghuashantao' had CR about 5 times higher than that of the floral buds. The HR of the leaf buds was generally higher than what of the floral buds, for example, the HRs in leaf buds of 'Juhuatao' and 'Kashiliguang' were 1.5 times as high as those of their floral buds. There was no significant correlation between the CR and the HR in peach buds. Both the CR and the HR were related to the blooming date and leaf expansion date, the lower the CR and the HR, the earlier the dates of blooming and leaf expanding, While the higher the requirement, the later the dates of blooming and leaf expanding. 【Conclusion】 0-7.2 °C model and effective temperature model were more suitable for assessing the CR and the HR of peach in Nanjing area; The 103 peach varieties had wide ranges of the CR and the HR; The floral buds had almost the same CR with leaf buds, but had lower HR than the that of leaf buds'; There was no significant correlation between the CR and the HR, and both the CR and the HR played important roles in blooming and leaf expanding.

Key words: Peach; Chilling requirement (CR); Heat requirement (HR); Floral bud; Leaf bud; Blooming date; Leaf expansion date

桃解除自然休眠所需的有效低温时数或单位数为桃的需冷量,桃的叶芽和花芽均需要满足需冷量才能解除自然休眠、获得理想的营养生长和最佳的果实承载能力,否则即使条件适宜,桃也不能适时萌

发,或萌发不整齐,影响生长开花和授粉坐果,最终影响树体健康和果实的产量及品质^[1]。目前桃树需冷量的常用估算模型有0~7.2 °C模型^[2]、7.2 °C模型^[3]和犹它模型^[4],在不同地区适宜采用的需冷量模型

有所不同^[1,5-11]。

桃自然休眠解除后花芽需要一定有效热量的积累才能萌芽开花,即桃的需热量。与需冷量一样,桃的需热量也具有遗传性,不同品种间存在差异^[6-8,10-14]。桃需热量的常用估算模型有生长度时数模型^[15]和有效积温模型^[16]。有研究表明,桃需热量比需冷量对开花期的调控更为重要^[7,17]。

截止到目前,对桃需冷量的累计评价资源份数已有660余份^[1,6-7,14,18-20],而需热量累计评价仅70余份^[7,10-12,21],同时对较大样本桃花芽和叶芽的需冷量和需热量进行系统比较和相关性分析还未见报道。

笔者采用3种不同需冷量模型和2种不同需热量模型,连续2 a(年)对103份桃种质花芽和叶芽的需冷量和需热量进行估算;对不同年际间、不同模型间、不同种质间、花芽与叶芽间、需冷量与需热量间,以及需冷量和需热量与盛花期和展叶期之间的关系

进行了全面系统的分析,以期了解103份桃种质在南京地区生态条件下花芽和叶芽的需冷量和需热量要求,筛选出相对准确、稳定和实用的评价模型,并对桃需冷量和需热量的关系及其影响开花展叶的作用规律进行探究,以便为品种选育和栽培推广实践工作提供一定的参考。

1 材料和方法

1.1 试验时间、地点

田间试验于2018—2020年在江苏省农业科学院国家果树种质南京桃资源圃进行,室内实验在江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室进行。

1.2 试验材料

供试的103份桃种质取自江苏省农业科学院国家果树种质南京桃资源圃(北纬31°14',东经118°22'),种质具体情况见表1。土壤表层肥沃,排灌通畅,树龄为3~4 a生,统一管理,生长正常。

表1 103份桃种质具体情况

Table 1 Specific situation of 103 peach germplasm

种质名称 Germplasm	来源地 Place of origin	类型 Type	种质名称 Germplasm	来源地 Place of origin	类型 Type
Crimsonbaby	美国,加利福尼亚 California, USA	油桃 Nectarine	金霞早油蟠 Jinxiazaoyoupan	中国,江苏 Jiangsu, China	油蟠桃 Flat peach
Flordacrest	美国,佛罗里达 Florida, USA	普通桃 Peach	锦香 Jinxiang	中国,上海 Shanghai, China	普通桃 Peach
Flordaglo	美国,佛罗里达 Florida, USA	普通桃 Peach	菊花桃 Juhuatao	中国 China	普通桃 Peach
Flordaking	美国,佛罗里达 Florida, USA	普通桃 Peach	喀什李光 Kashiliguang	中国,新疆 Xinjiang, China	油桃 Nectarine
Sunraycer	美国,佛罗里达 Florida, USA	油桃 Nectarine	拉维尔双 Lov-5-dhaploid	美国,加利福尼亚 California, USA	普通桃 Peach
Sunblaze	美国,佛罗里达 Florida, USA	油桃 Nectarine	柳叶佛桃 Liuyefotao	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach
Sunsplash	美国,佛罗里达 Florida, USA	油桃 Nectarine	满城雪城 Manchengxuecheng	中国,河北 Hebei, China	普通桃 Peach
Tropic Prince	美国,得克萨斯 Texas, USA	普通桃 Peach	南山甜桃 Nanshantiantao	中国,深圳 Shenzhen, China	普通桃 Peach
TX2B7N	美国,得克萨斯 Texas, USA	油桃 Nectarine	南山甜桃1号 Nanshantiantao1	中国,深圳 Shenzhen, China	普通桃 Peach
TX2C104N	美国,得克萨斯 Texas, USA	油桃 Nectarine	南山甜桃2号 Nanshantiantao2	中国,深圳 Shenzhen, China	普通桃 Peach
TX4C188LWN	美国,得克萨斯 Texas, USA	油桃 Nectarine	南山甜桃3号 Nanshantiantao3	中国,深圳 Shenzhen, China	普通桃 Peach
TX4C189LN	美国,得克萨斯 Texas, USA	油桃 Nectarine	青叶冬桃 Qingyedongtao	中国,河南 Henan, China	普通桃 Peach
TX4D170	美国,得克萨斯 Texas, USA	普通桃 Peach	洒红桃 Sahongtao	中国 China	普通桃 Peach
TX4E169	美国,得克萨斯 Texas, USA	普通桃 Peach	撒花红蟠桃 Sahuahongpantao	中国,上海 Shanghai, China	蟠桃 Flat peach
TX4F244C	美国,得克萨斯 Texas, USA	普通桃 Peach	陕甘山桃 Shaanganhantao	中国,陕西 Shaanxi, China	山桃 Mountain peach
阿里山毛桃 Alishanmaotao	中国 China	普通桃 Peach	陕西桃巴旦 Shaanxitaoabandan	中国,陕西 Shaanxi, China	扁桃 Almond
安农水蜜 Annongshuimi	中国,安徽 Anhui, China	普通桃 Peach	上海水蜜早 Shanghaihuimizao	中国,上海 Shanghai, China	普通桃 Peach
巴6 Ba 6	巴西 Brazil	普通桃 Peach	深州白蜜 Shenzhoubaimai	中国,河北 Hebei, China	普通桃 Peach

表1(续) Table 1(continued)

种质名称 Germplasm	来源地 Place of origin	类型 Type	种质名称 Germplasm	来源地 Place of origin	类型 Type
白花碧桃 Baihuabitao	中国 China	普通桃 Peach	深州红蜜 Shenzhouhongmi	中国,河北 Hebei, China	普通桃 Peach
白花山碧桃 Baihuashanbitao	中国 China	普通桃 Peach	双白 Shuangbai	中国,河北 Hebei, China	普通桃 Peach
白花山桃 Baihuashantao	中国 China	山桃 Mountain peach	霜红蜜 Shuanghongmi	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach
白花水蜜 Baihuashuimi	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	泰国花桃 Thailand flower peach	泰国 Thailand	普通桃 Peach
白芒蟠桃 Baimangpantao	中国,上海 Shanghai, China	蟠桃 Flat Peach	泰国毛桃 Thai peach	泰国 Thailand	普通桃 Peach
半斤桃 Banjintao	中国,广西 Guangxi, China	普通桃 Peach	探春 Tanchun	中国,河南 Henan, China	普通桃 Peach
仓方早生 Kurakatowase	日本,东京 Tokyo, Japan	普通桃 Peach	汤山桃 Tangshantao	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
超五月火 Chaowuyuehuo	中国,山东 Shandong, China	油桃 Nectarine	桃巴旦 Taobadan	不详 Unknown	扁桃 Almond
朝霞 Zhaoxia	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	晚硕蜜 Wanshuomi	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
迟园蜜 Chiyuanmi	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	五宝桃 Wubaotao	中国 China	普通桃 Peach
春蜜 Chunmi	中国,台湾 Taiwan, China	普通桃 Peach	五月鲜扁干 Wuyuexianbiangan	中国,北京 Beijing China	蟠桃 Flat peach
肥城17号 Feicheng17	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach	霞晖6号 Xiahui6	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
肥城39号 Feicheng39	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach	下岭背毛桃1号 Xialingbeimaotao1	中国,福建 Fujian, China	普通桃 Peach
肥城51-28 Feicheng51-28	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach	香桃 Xiangtao	中国,辽宁 Liaoning, China	普通桃 Peach
肥城5311 Feicheng5311	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach	新疆大甜仁 Xinjiangdatianren	中国,新疆 Xinjiang, China	普通桃 Peach
奉化蟠桃 Fenghuapantao	中国,浙江 Zhejiang, China	蟠桃 Flat peach	新疆黄肉 Xinjianghuangrou	中国,新疆 Xinjiang, China	普通桃 Peach
福建毛桃 Fujianmaotao	中国,福建 Fujian, China	普通桃 Peach	新疆蟠桃 Xinjiangpantao	中国,新疆 Xinjiang, China	蟠桃 Flat peach
甘肃桃 Gansutao	中国,甘肃 Gansu, China	普通桃 Peach	雪白桃 Xuebaitao	中国,河北 Hebei, China	普通桃 Peach
甘肃桃2号 Gansutao2	中国,甘肃 Gansu, China	普通桃 Peach	银河 Galaxy	美国,加利福尼亚 California, USA	蟠桃 Flat Peach
寒露蜜 Hanlumi	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach	银花露 Yinhualu	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
黑油桃 Heiyoutao	不详 Unknown	油桃 Nectarine	迎春 Yingchun	中国,河南 Henan, China	普通桃 Peach
红粉佳人 Hongfenjiaren	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	迎庆 Yingqing	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
红花山桃 Honghuashantao	中国 China	山桃 Mountain peach	雨花露 Yuhualu	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
红叶冬桃 Hongyedongtao	中国,河南 Henan, China	普通桃 Peach	玉露蟠桃 Yulupantao	中国,浙江 Zhejiang, China	蟠桃 Flat peach
湖景蜜露 Hujingmilu	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	玉霞蟠桃 Yuxiapantao	中国,江苏 Jiangsu, China	蟠桃 Flat peach
花玉露 Huayulu	中国,浙江 Zhejiang, China	普通桃 Peach	云台山山桃 Yuntaishanshantao	中国,河南 Henan, China	山桃 Mountain peach
华玉 Huayu	中国,北京 Beijing, China	普通桃 Peach	早花露 Zaohualu	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach
黄金美丽 Goldenbeauty	美国 USA	普通桃 Peach	早黄蟠桃 Zaohuangpantao	中国,河南 Henan, China	蟠桃 Flat peach
珲春桃3 Huichuntao3	中国,吉林 Jilin, China	普通桃 Peach	早魁蜜 Zaokuiji	中国,江苏 Jiangsu, China	蟠桃 Flat peach
嘉兴柱形桃 Jiaxingzhuxingtao	中国,浙江 Zhejiang, China	普通桃 Peach	中华寿桃 Zhonghuashoutao	中国,山东 Shandong, China	普通桃 Peach
金陵黄露 Jinlinghuanglu	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	帚形山桃 Zhouxingshantao	中国 China	山桃 Mountain peach
金山早红 Jinshanzaohong	中国,江苏 Jiangsu, China	油桃 Nectarine	筑波5号 Tsukuba5	日本,筑波 Tsukuba, Japan	普通桃 Peach
金霞蟠桃 Jinxiapantao	中国,江苏 Jiangsu, China	普通桃 Peach	筑波6号 Tsukuba6	日本,筑波 Tsukuba, Japan	普通桃 Peach
金霞油蟠 Jinxiaoyupan	中国,江苏 Jiangsu, China	油蟠桃 Flat peach			

1.3 试验方法

1.3.1 温度数据记录 从每年11月1日到翌年4月16日,由自计温度仪记录每小时的温度,该时间段

内,2019—2020年平均温度(12.06 °C)比2018—2019年(8.79 °C)偏高,平均高3.27 °C(图1)。

1.3.2 桃枝条培养 参照王力荣等^[5,22]的方法并稍

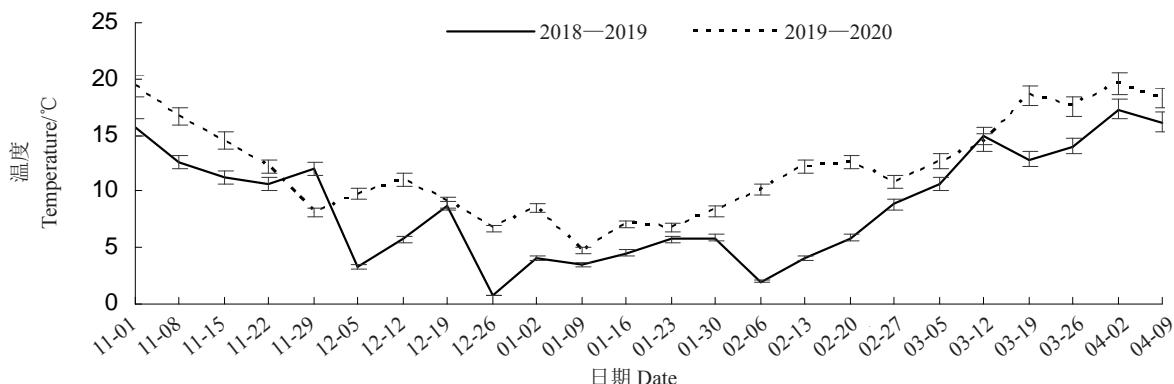
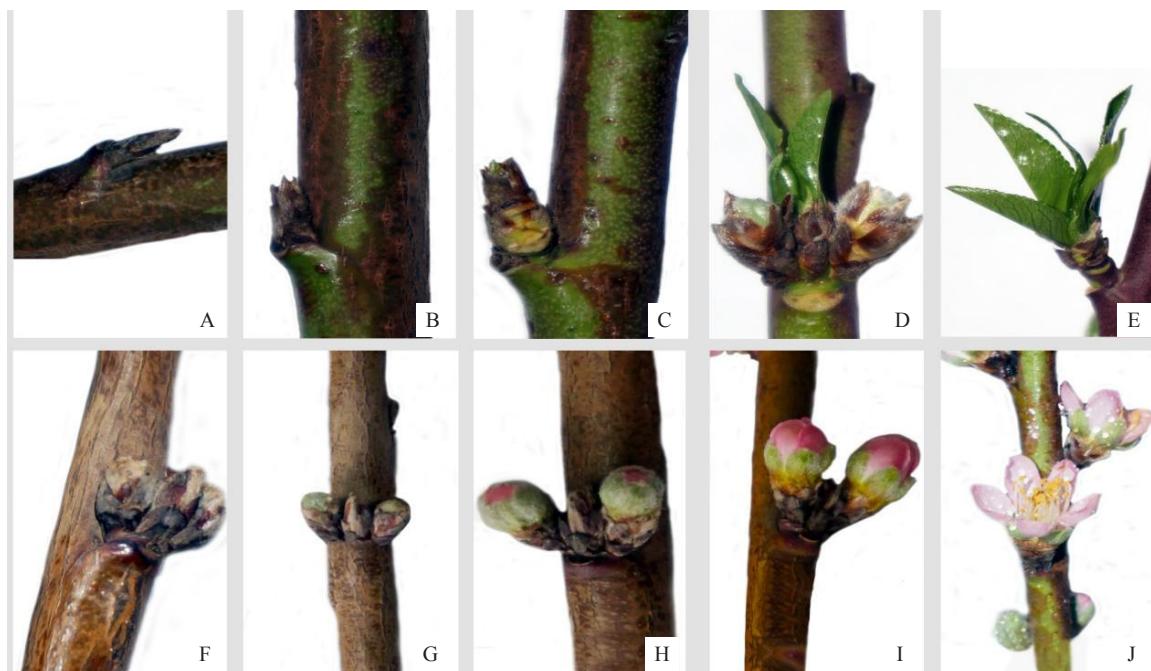


图1 桃种质圃气温对比

Fig. 1 Temperature comparison of peach germplasm nursery

加修改。从落叶期开始,每隔5 d或冷量积累大于50 h,从田间生长健壮的树体上随机选取1 a生枝条5枝,长度30~40 cm,枝条基部留5 cm左右无芽部分。枝条采回后,剪平枝条基部,插入约3 cm深的5%(ρ)蔗糖溶液中,立即移入到玻璃加温温室。温室控制培养条件:温度(昼/夜)25 °C/25 °C,光/暗时数12 h/12 h,光照强度2 000 lx,空气相对湿度为60%~70%。每隔3 d换1次蔗糖溶液,并将枝条基部

剪去2~3 mm,露出新茬。培养12 d后进行分级统计和计算。叶芽分级标准(图2-A~E):1级,未萌动;2级,萌动;3级,顶尖露绿;4级,叶伸出;5级,叶开放。花芽分级标准(图2-F~J):1级,未萌动;2级,顶端露绿;3级,顶端露红;4级,花蕾期;5级,花朵开放。当各级的芽数加权平均值等于或大于2.5时,则采样日为休眠结束日期。计算公式: $GR = \sum_{i=1}^5 iX_i / \sum_{i=1}^5 i$



A~E. 叶芽分级图,品种为南山甜桃;F~J, 花芽分级图,品种为 Sunsblaze。

A-E. Reference variety for leaf buds is Nanshantiaotao; F-J, Reference variety for floral buds is Sunsblaze.

图2 桃叶芽和花芽分级示意图

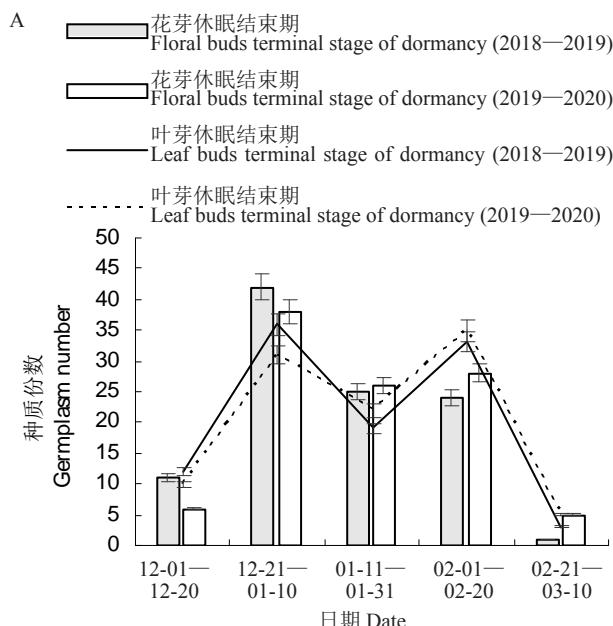
Fig. 2 Grade of leaf and floral buds

$\sum_i^5 X_i$ 。式中: GR 为萌发率,%; i 为叶芽或花芽萌发级别; X_i 为萌芽数。

连续 2 a 对 103 份桃种质的盛花期和展叶期进行田间调查。方法参见《桃种质资源描述规范和数据标准》^[22], 桃植株全树 25% 花完全开放的时间为盛花期; 桃植株 5% 叶芽的第 1 枚叶片铺平展开的时间为展叶期。

1.3.3 需冷量和需热量的计算方法 试验采用 0~7.2 °C 模型^[2]、7.2 °C 模型^[3]和犹它模型^[4]对桃需冷量进行估算。0~7.2 °C 模型和 7.2 °C 模型确定的低温累积起点, 2018—2019 年为 12 月 6 日, 2019—2020 年为 11 月 27 日。2018—2019 年(11 月 1 日—4 月 16 日平均气温 8.79 °C)根据犹它模型确定的低温累积起点为 12 月 29 日, 2019—2020 年(11 月 1 日—4 月 16 日平均气温 12.06 °C)气温偏高, 犹它模型不能确定低温累积起点。

采用生长度时数模型^[15]和有效积温模型^[16]对桃开花展叶所需要的热量进行估算。生长度时数模型: 单位为 GDH·°C, 当温度≤4.5 °C 时, 累积 1 h 需热量为 0 GDH·°C; 当温度为 4.5~25.0 °C 时, 累积 1 h 需热量为 $GDH \cdot °C = t - 4.5$; 当温度≥25 °C 时, 累积 1 h 需热量为 20.5 GDH·°C。有效积温模型: 需热量(有效积温)= Σ (日平均气温-生物学零度), 单位为



A. 桃芽自然休眠结束期统计;

A. Terminal stage of natural dormancy of peach buds; B. Blooming date and leaf expansion date of peach buds.

图 3 桃芽自然休眠结束期、盛花期和展叶期统计

Fig. 3 Terminal stage of natural dormancy, blooming date and leaf expansion date of peach buds

D·°C, 桃的生物学零度为 4 °C^[23], 计算简单方便。

1.3.4 数据统计 试验数据采用 SPSS 22.0 软件进行 *t* 检验和相关性分析, 采用 Excel(Office 2003)软件进行数据分析和作图。

2 结果与分析

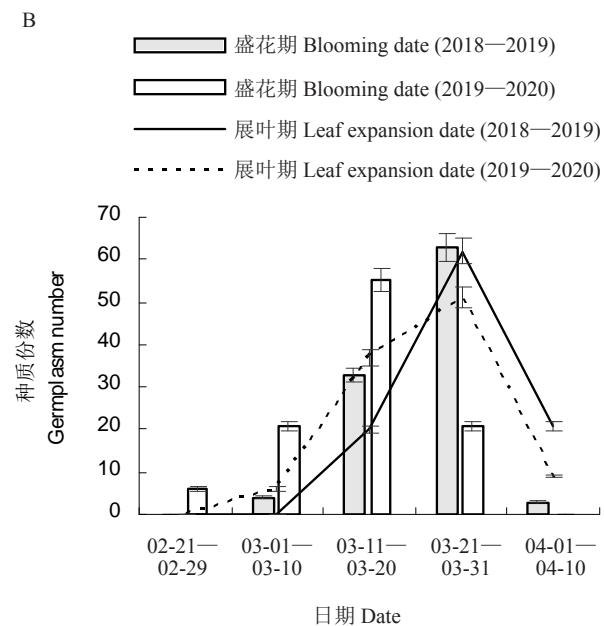
2.1 103 份桃花芽和叶芽的自然休眠结束期、盛花期和展叶期

103 份桃种质花芽和叶芽的自然休眠结束期在各时段的种质份数分布图见图 3-A, 可一定程度上说明 2 a 的自然休眠期差异不明显; 但是, 对于盛花期和展叶期, 绝大多数种质 2019—2020 年比 2018—2019 年提前 1~2 周(图 3-B), 这可能与 2019—2020 年气温偏高、热量积累迅速有关。

2.2 103 份桃种质不同模型下的需冷量

根据 103 份桃自然休眠结束期和田间实际测得的气温值, 采用 3 种需冷量模型对 2018—2019 年和 2019—2020 年两年花芽、叶芽需冷量进行估算统计。

犹它模型不适宜该地区桃需冷量的估算, 2018—2019 年计算的花芽需冷量为 140~644 C·U, 叶芽需冷量为 211~675 C·U, 对低需冷量资源无法进行估算; 2019—2020 年由于气温过高, 不能达到估算的低温累积起点。0~7.2 °C 模型连续 2 a 估算 103 份种质花芽和叶芽需冷量的相对标准偏差



A. 桃芽自然休眠结束期统计;

A. Terminal stage of natural dormancy of peach buds; B. Blooming date and leaf expansion date of peach buds.

图 3 桃芽自然休眠结束期、盛花期和展叶期统计

Fig. 3 Terminal stage of natural dormancy, blooming date and leaf expansion date of peach buds

(RSD)平均值分别为6.74%和7.93%,而7.2 °C模型的相对标准偏差(RSD)平均值均较大,为9.88%和9.57%。通过t检验,0~7.2 °C模型估算的叶芽需冷量RSD与7.2 °C模型估算结果差异不显著,但是0~7.2 °C模型估算的花芽需冷量RSD极显著小于7.2 °C模型的估算结果($p < 0.01$)。综合而言,0~7.2 °C模型计算的花芽和叶芽需冷量年份间差异更小,稳定性好,初定为南京地区桃需冷量评价的最优模型。

利用0~7.2 °C模型估算的花芽和叶芽2 a的需冷量平均值(花芽为151~1 264 h、叶芽为187~1 108 h),筛选到花芽和叶芽需冷量均低(150 h左右)的有‘迎春’和‘下岭背毛桃1号’等;花芽和叶芽需冷量均高(1 200 h左右)的有‘肥城51-28’‘香桃’和‘菊花桃’等。以花芽需冷量为横坐标,叶芽需冷量为纵坐标,作散点图(图4),拟合出线性方程,以比较桃种质花芽和叶芽需冷量的关系,花芽和叶芽散点趋势线方程为 $y=0.96x+31.59$,斜率为0.96,表明大部分桃花芽和叶芽的需冷量基本一致。但‘帚形山桃’和‘红花山桃’表现特异,其叶芽需冷量约为花芽需冷量的5倍。

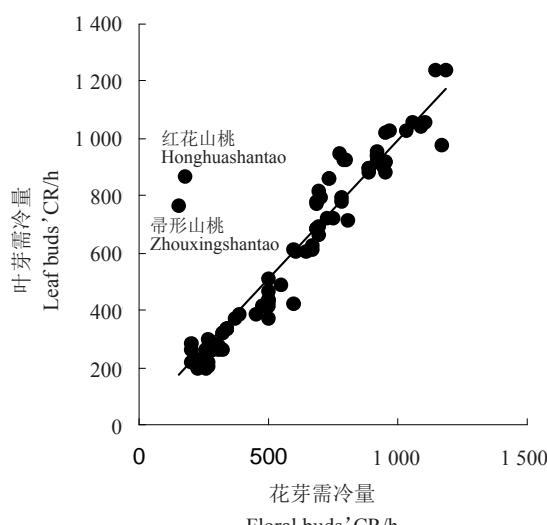


图4 0~7.2 °C模型估算的桃芽需冷量比较

Fig. 4 Comparison of CR in peach buds by 0~7.2 °C model

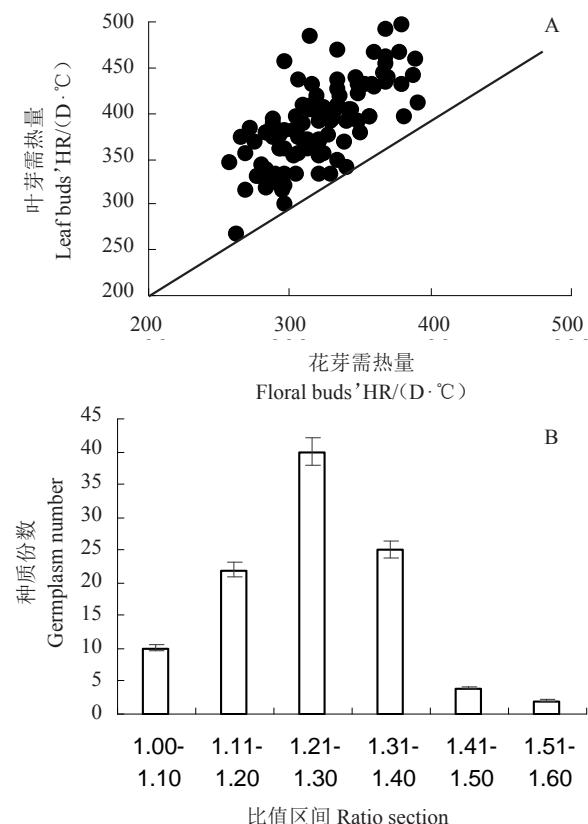
2.3 103份桃种质不同模型下的需热量

根据103份桃自然休眠结束期和田间实际测得的气温,采用2种需热量模型进行估算统计2018—2019年和2019—2020年2 a花芽、叶芽需热量。

应用有效积温模型连续2 a估算的103份桃种质花芽和叶芽需热量的RSD平均值分别为9.05%和

5.68%,相比之下,生长度时数模型的RSD平均值均较大,为10.55%和14.61%;通过t检验,有效积温模型估算的花芽需热量RSD与生长度时数模型估算结果差异不显著,但是有效积温模型估算的叶芽需热量RSD极显著小于生长度时数模型估算结果($p < 0.01$)。综合而言,有效积温模型计算的花芽和叶芽需热量年份间差异更小,稳定性好,初定为南京地区桃种质需热量评价的最优模型。

利用有效积温模型估算的花芽和叶芽2 a的需热量平均值(花芽为256~391 D·°C、叶芽为267~498 D·°C),筛选到花芽和叶芽需热量均低的桃种质有‘新疆黄肉’‘迎庆’和‘红花山桃’等;花芽和叶芽需热量均高的桃种质有‘新疆大甜仁’‘青叶冬桃’‘华玉’等。图5-A是以花芽需热量为横坐标,叶芽需热量为纵坐标的散点图,可见散点集中分布在直线(斜率为1)上方,表明桃叶芽需热量均较明显高于花芽;图5-B为叶芽与花芽需热量比值频次图,两者间比值范围为1.0~1.6,大部分桃种质叶芽需热量



A. 有效积温模型估算的桃芽需热量比较;B. 叶芽与花芽需热量比值频次图。

A. Comparison of HR in peach buds by effective temperature model;
B. Frequency distribution for ratio of leaf buds' HR to floral buds' HR.

图5 花芽与叶芽需热量的关系比较

Fig. 5 Comparison of HR in floral buds and leaf buds

是花芽的1.2~1.4倍,其中‘菊花桃’和‘喀什李光’叶芽需热量是花芽的1.5倍以上。

2.4 桃需冷量与需热量的关系

表2 花芽和叶芽需冷量与需热量之间的关系

Table 2 Correlation of CR and HR in floral and leaf buds

	花芽 Floral buds	叶芽 Leaf buds
0~7.2 °C模型	0~7.2 °C model	0~7.2 °C model
有效积温模型	Effective temperature model	Effective temperature model
0.054	1	0.175
1		1

型估算的花芽和叶芽需冷量与有效积温模型估算的花芽和叶芽需热量无显著相关关系。

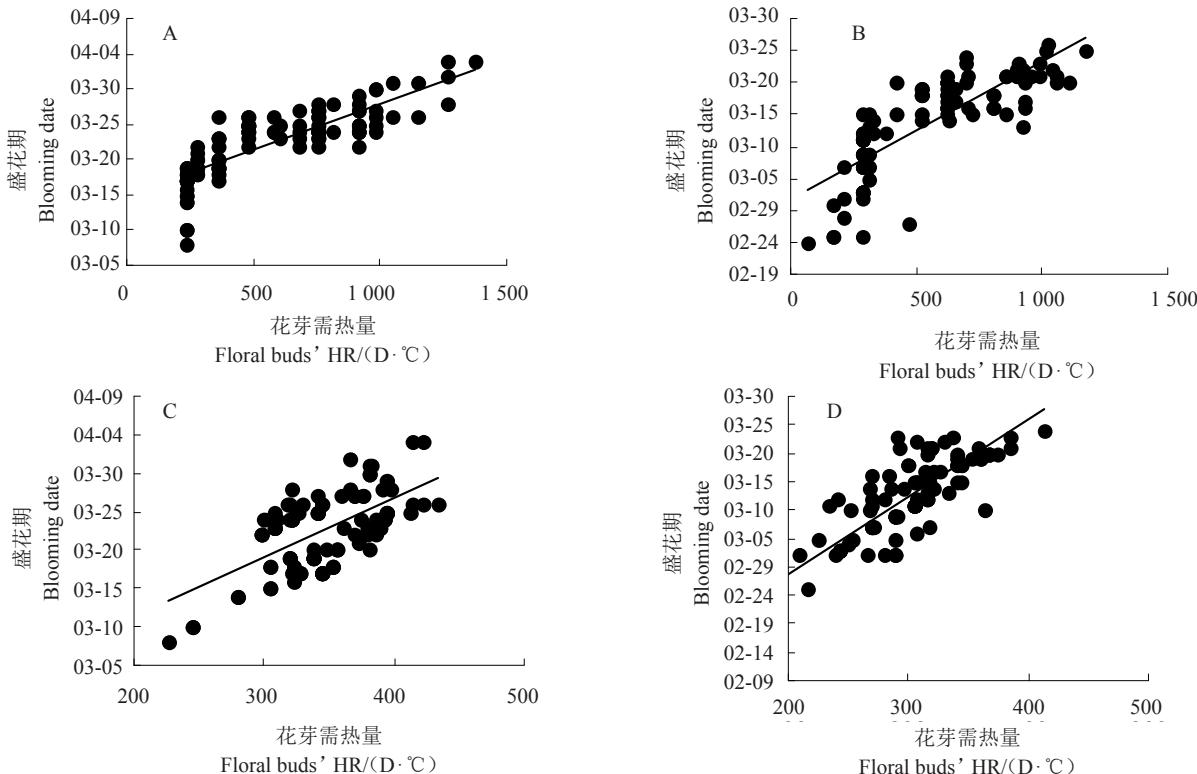
2.5 桃需冷量和需热量与开花展叶的关系

采用0~7.2 °C需冷量估算模型,连续2 a需冷量与盛花期均呈现出明显的规律,即需冷量低的种质,开花较早;需冷量高的种质,开花较晚(图6-A~B);连续2 a有效积温模型估算的花芽需热量与开花早晚表现出明显的规律,即需热量低的种质,开花较

利用0~7.2 °C模型和有效积温模型估算了花芽和叶芽2 a的需冷量和需热量平均值,比较了103份桃种质需冷量与需热量的关系(表2)。0~7.2 °C模

早;需热量高的种质,开花较晚(图6-C~D)。

103份桃种质的需冷量和需热量与展叶期的关系比较结果见图7。采用0~7.2 °C需冷量估算模型,连续2 a需冷量与展叶期均有一定关系,即需冷量低的种质,展叶较早;需冷量高的种质,展叶较晚(图7-A~B);对有效积温模型估算的叶芽需热量而言,连续2 a需热量低、高与展叶早、晚有较明显的关系,即需热量低的种质,展叶较早;需热量高的种质,展叶

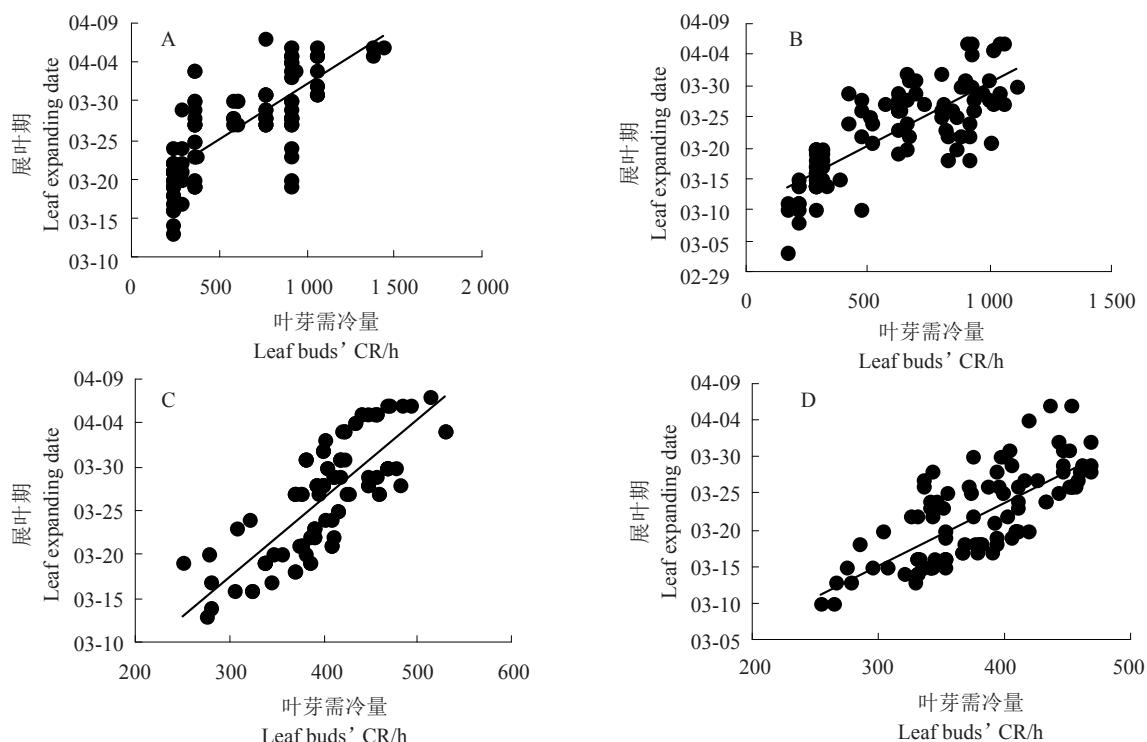


A,B. 0~7.2 °C模型估算的花芽需冷量与盛花期关系(2018—2019; 2019—2020); C,D. 有效积温模型估算的花芽需热量与盛花期关系(2018—2019; 2019—2020)。

A,B. Correlation of CR of floral buds with blooming date by 0~7.2 °C model (2018-2019; 2019-2020); C,D. Correlation of HR of floral buds with blooming date by effective temperature model (2018-2019; 2019-2020).

图6 花芽需冷量和需热量与盛花期的关系

Fig. 6 Correlation of chilling and heat requirements in floral buds with blooming date



A, B. 0~7.2 °C 模型估算的叶芽需冷量与展叶期关系(2018—2019; 2019—2020); C, D. 有效积温模型估算的叶芽需热量与展叶期关系(2018—2019; 2019—2020)。

A, B. Correlation of CR in leaf buds with blooming date by 0~7.2 °C model (2018—2019; 2019—2020); C, D. Correlation of HR in leaf buds with blooming date by effective temperature model (2018—2019; 2019—2020).

图7 叶芽需冷量和需热量与展叶期的关系

Fig. 7 Correlation of chilling and heat requirements of leaf buds with blooming date

较晚(图7-C~D)。

3 讨 论

3.1 南京地区桃最佳需冷量和需热量模型

通过连续2 a的评估,初步得到0~7.2 °C模型为该地区(南京)最佳需冷量估算模型。犹它模型应用表现很差,2018—2019年犹它模型对低需冷量种质无法评价,2019—2020年冬季气温偏高,犹它模型完全不可用,这与前人报道^[5,24]的犹它模型在低纬度地区寒冬季节只能有效预测高和中需冷量品种休眠的结束,不能有效预测低需冷量品种休眠的结束,在低纬度地区暖冬季节无法适用的结论一致。但是,该结果与姜卫兵等^[1]的研究结果不同,其利用镇江南山农业科技示范园(与本试验地相距80 km)的桃材料试验,指出苏南地区落叶果树需冷量的评价建议采用犹它模型,可能是2018—2020年气温(10.43 °C,温度资料来自于国家果树种质南京桃资源圃气象站)较2001—2003年(8.83 °C,温度资料来自于江苏省气象局)明显升高所导致。

在桃需热量的研究中,对评价模型优劣没有进行过明确的讨论比较。本文结果显示采用生长度时数模型测定的花芽和叶芽需热量年际间差异较大,可能是由于该模型的计算原理决定了计算结果极易受高温影响,温度越高,值会越大。因此,推论该模型在年际间气候差异较大、气温较高的情况下不适用。而采用有效积温模型测定的花芽和叶芽需热量时,年际间差异并不大,但是相较2018—2019年,2019—2020年估算结果偏小,结合2019—2020年自然休眠结束期偏晚,同时开花和展叶提前1~2周,证实了前人研究结论,即过量低温可减少开花展叶所需的热量积累^[25]。从年际间估算稳定性和简便快捷的角度考虑,有效积温模型更适合该气候区域桃品种资源需热量的估算。

由于目前需冷量和需热量的估算都是基于物候学模型进行的,其结果较易受品种、地域、环境和气候条件等因素的影响,不同研究得到的结论会有一定的差异,未来研究应注重利用控制休眠的生物化学和生理机制信息进行方法创新,开发评价需冷量和

需热量的生态生理学模型。

3.2 桃花芽、叶芽的需冷量和需热量的比较

国内外对桃花芽与叶芽的需冷量比较研究较多^[12,19,21,26-27],评价的品种、样本量、地域和年度气候等因素差异都可能影响研究结果。沈元月等^[12]和高志红等^[19]分别对27份和11份桃进行研究发现,叶芽需冷量一般等于或高于花芽;而高东升等^[26]和马融等^[27]分别对18份和92份桃进行研究,结果表明花芽需冷量一般等于或高于叶芽。本文同时对103份种质的比较结果显示花芽和叶芽的需冷量基本一致,筛选到2份表现特异的种质,包括‘帚形山桃’和‘红花山桃’(叶芽需冷量约为花芽的5倍),导致该性状关系特异的机制还有待进一步研究。

对桃花芽与叶芽需热量的比较研究仅见张晓云等^[10]的报道。笔者发现桃花芽需热量基本低于叶芽需热量,这与张晓云等^[10]的研究结果(所试材料仅7份)相反,这可能与所试品种和样本量不同有关。

包括桃在内的很多植物均具有先花后叶的生长繁殖策略,以减少叶片覆盖,从而提高传粉效率^[28]。花芽与叶芽冷、热需求量的差异具有重要的生物学意义,是桃先花后叶的影响因素之一。郭梁等^[17]研究发现杏和山桃叶芽和花芽需冷量几乎相同,而叶芽需热量却是花芽的两倍之多,即叶芽需热量高于花芽是所试材料先花后叶的主要原因。本研究得到类似的结果,103份桃中有101份种质花芽和叶芽的需冷量基本一致,花芽需热量均较明显低于叶芽。同时,笔者还发现‘帚形山桃’和‘红花山桃’表现特异,该两份种质的叶芽需冷量约是花芽的5倍(‘帚形山桃’叶芽和花芽需冷量分别为764 h和151 h;‘红花山桃’叶芽和花芽需冷量分别为869 h和180 h),但需热量差异并不明显(‘帚形山桃’叶芽和花芽需热量分别为315 D·℃和295 D·℃;‘红花山桃’叶芽和花芽需热量分别为267 D·℃和262 D·℃),表明该两份山桃种质先花后叶主要是花芽需冷量明显低于叶芽所决定的,这与郭梁等^[17]所试山桃的结果有异。山桃类型种质间表现出的差异,其机制还有待进一步研究。

3.3 桃芽冷、热需求量之间及与开花展叶的关系

针对桃芽冷热需求量之间的关系,研究结果有异。沈元月等^[12]研究发现27份桃花芽需冷量与需热量之间无内在的直接关系;胡瑞兰等^[13]研究结果表明16份桃花芽需冷量和需热量之间呈极显著正

相关,张晓云等^[10]也发现(所试材料仅7份)花芽需冷量与需热量之间均呈显著正相关,另外该研究还发现叶芽需冷量与需热量之间也呈显著正相关。陈茂铨等^[8]研究结果正好相反,发现12份桃花芽需冷量和需热量之间呈显著负相关。本文研究结果与沈元月等^[12]的结果一致,桃芽需冷量与需热量之间无显著相关关系。在上述研究人员的研究中,所试样本量偏少,结论代表性不强。本文采用103份种质对桃芽冷热需求量之间的关系进行研究,结果相对而言更为准确,但是今后仍需增加样本量进行佐证。

大多数研究结果都认为,需冷量与开花时期呈正相关,需冷量越低,开花越早,需冷量越高,开花越晚,需热量则对开花没有明显的影响^[29-30]。但是近年的研究发现需热量对开花的影响也不容忽视,如Alonso等^[31]认为杏品种的需热量比需冷量对开花期的调控更为重要。Razavi等^[7]在桃上得出类似结论,并提出对于需热量的准确评价,有利于筛选出晚开花的品种。笔者研究发现,连续2 a花芽需冷量和需热量与开花早晚、叶芽需冷量和需热量与展叶早晚,均或强或弱地呈现出一定的正相关,即需冷量和需热量低的种质,开花展叶早,需冷量和需热量高的种质,开花展叶晚。

4 结 论

适宜南京气候区域桃需冷量和需热量估算的模型分别是0~7.2 ℃模型和有效积温模型;103份桃种质花芽和叶芽的需冷量和需热量值范围广,分别为151~1 264 h和187~1 108 h,256~391 D·℃和267~498 D·℃;花芽需冷量与叶芽基本一致,需热量则基本低于叶芽;需冷量与需热量无相关关系,二者对开花展叶均起重要作用。

参考文献 References:

- [1] 姜卫兵,韩浩章,戴美松,汪良驹,马凯.苏南地区主要落叶果树的需冷量[J].果树学报,2005,22(1):75-77.
JIANG Weibing , HAN Haozhang , DAI Meisong , WANG Liangju, MA Kai. Study on the chilling requirement of leading deciduous fruit cultivars in southern part of Jiangsu province[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(1): 75-77.
- [2] EGGERT F P. A study of rest varieties of apple and in other fruit species grown in New York State[J]. Proceeding Journal of the American Society for Horticultural Science, 1951, 51: 169-178.
- [3] WEIBERGER J H. Chilling requirements of peach varieties[J]. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 1950, 56: 122-128.
- [4] RICHARDSON E A, SEELEY S D, WALKER D R. A model for estimating the completion of rest for ‘Redhaven’ and ‘El-

- [5] berta' peach trees[J]. Horticultural Science, 1974, 9(4): 331-332.
王力荣,朱更瑞,方伟超,左覃元.桃品种需冷量评价模式的探讨[J].园艺学报,2003,30(4):379-383.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, ZUO Qingyuan. Estimating models of the chilling requirement for peach[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(4): 379-383.
- [6] PAWASUT A, FUJISHIGE N, YAMANE K, YAMAKI Y, HONJO H. Relationships between chilling and heat requirement for flowering in ornamental peaches[J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2004, 73(6): 519-523.
- [7] RAZAVI F, HAJILOU J, TABATABAEI S J, DADPOUR M R. Comparison of chilling and heat requirement in some peach and apricot cultivars[J]. Research in Plant Biology, 2011, 1(2): 40-47.
- [8] 陈茂铨,叶伟其,刘卓香,钟汉春,柳旭波,潘芝梅.12个桃品种的花芽休眠需冷量和开花需热量[J].林业科学,2012,48(1):6-90.
CHEN Maoquan, YE Weiqi, LIU Zhuoxiang, ZHONG Han-chun, LIU Xubo, PAN Zhimei. The requirements of chilling for bud dormancy and caloric for blooming for 12 peach varieties [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(1): 86-90.
- [9] LEIDA C, JOSE F, ROMEU, JESUS G B, RIOS G, BADENES M L. Gene expression analysis of chilling requirements for flower bud break in peach[J]. Plant Breeding, 2012, 131(2): 329-334.
- [10] 张晓云,杨伟伟,费青青,王生海,容新民.北疆地区设施主栽桃品种需冷量和需热量研究[J].黑龙江农业科学,2019(7): 24-29.
ZHANG Xiaoyun, YANG Weiwei, FEI Qingqing, WANG Shenghai, RONG Xinmin. Study on the chilling and heat requirement for peach cultivars used in protected facility in Northern Xinjiang Area[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019(7): 24-29.
- [11] KWON J H ,NAM E Y ,YUN S K ,KIM S J,SONG S Y,LEE J H,HWANG K D. Chilling and heat requirement of peach cultivars and changes in chilling accumulation spectrums based on 100-year records in Republic of Korea[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2020, 108(9): 288-289.
- [12] 沈元月,郭家选,祝军,贾克功.早熟桃品种需冷量和需热量的研究初报[J].中国果树,1999(2):21-22.
SHEN Yuanyue, GUO Jiaxuan, ZHU Jun, JIA Kegong. Preliminary report on chilling and heat requirements of early peach varieties[J]. China Fruits, 1999(2): 21-22.
- [13] 胡瑞兰,贾永祥.影响温室桃成熟期的因子研究[J].山西果树,2002(3):4-5.
HU Ruilan, JIA Yongxiang. Study on the causes of ripening stage of peach in shadow and temperature[J]. Shanxi Fruits, 2002(3): 4-5.
- [14] MAULION E, VALENTINI G H, KOVALEVSKI L, PRUNELLO M, MONTI L L, DAORDEN M E, CERVIGNI G D L. Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering[J]. Scientia Horticulturae, 2014, 177(2): 112-117.
- [15] SPARKS D. Chilling and heating model for pecan bud break[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1993, 118(1): 29-35.
- [16] ANDERSON J L, RICHARDSON E A, KESNER. Validation of chill unit and flower bud phenology models for "Montmorency" sour cherry[J]. Agricultural Horticulturae, 1986, 184(7): 71 - 78.
- [17] 郭梁,LUEDELING E,戴君虎,许建初.叶芽花芽需热量差异导致植物先花后叶[J].植物分类与资源学报,2014,36(2): 245-253.
GUO Liang, LUEDELING E, DAI Junhu, XU Jianchu. Differences in heat requirement of flower and leaf buds make hysteranthous trees bloom before leaf unfolding[J]. Plant Diversity and Resources, 2014, 36(2): 245-253.
- [18] 王力荣,朱更瑞,左覃元.中国桃品种需冷量的研究[J].园艺学报,1997,24(2):194-196.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qingyuan. Studies on the chilling requirement of peach varieties[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1997, 24(2): 194-196.
- [19] 高志红,张君毅,乔玉山,常有宏,蔺经,章镇.桃和李品种需冷量研究[J].中国果树,2004(3):20-23.
GAO Zhihong, ZHANG Junyi, QIAO Yushan, CHANG Youhong, LIN Jing, ZHANG Zhen. Study on the chilling requirement of peach and plum varieties[J]. China Fruits, 2004(3): 20-23.
- [20] 朱更瑞,方伟超,王力荣.观赏桃品种需冷量的研究[J].植物遗传资源学报,2004,,5(2):176-178.
ZHU Gengrui, FANG Weichao, WANG Lirong. Chilling requirement of ornamental peach[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(2): 176-178.
- [21] CITADIN I, RASEIRA M C B, HERTER F G, SILVA J B. Heat requirement for blooming and leafing in peach[J]. Hortscience, 2001, 36(2): 305-307.
- [22] 王力荣,朱更瑞.桃种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2005.
WANG Lirong, ZHU Gengrui. Description specification and data standard of peach germplasm resources[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [23] DAVIDSON A, SILVA D D, DEJONG T M. The phyllochron of well-watered and water deficit mature peach trees varies with shoot type and vigour[J]. Annals of Botany Plants, 2017, 9(5): 1-9.
- [24] ALLAN P. Measuring winter chilling in areas with mild winters [J]. Deciduous Fruit Grower, 1999, 49(10): 1-10.
- [25] OKIE W R, BLACKBURN B. Increasing chilling reduces heat requirement for floral bud break in peach[J]. American Society for Horticultural Science, 2011, 46(2): 245-252.
- [26] 高东升,束怀瑞,李宪利.几种适宜设施栽培果树需冷量的研究[J].园艺学报,2001,28(4):283-289.
GAO Dongsheng, SHU Huairui, LI Xianli. A study on bud chilling requirements of fruit trees in greenhouse[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(4): 283-289.
- [27] 马融,李道高.川南地区引种桃品种的需冷量研究[J].中国农学通报,2005,21(10):248-250.
MA Rong, LI Daogao. A study on chilling requirement of peach varieties in South of Sichuan Basin[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(10): 248-250.
- [28] DAFNI A, NOY M C I. Lifecycle variation in geophytes[J]. Annals of the Missouri Botanical Garden, 1981, 68(4): 652-660.
- [29] JOSE E, ENCARNACION O, PEDRO M G. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 50(1): 79-85.
- [30] RUIZ D, JOSE A C, JOSE E. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61(3): 254-263.
- [31] ALONSO J M, ANSON J M, ESPIAU M T. Determination of endo-dormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2005, 130(3): 308-318.