

桃低需冷量种质发掘、创新与利用

——中国农业科学院郑州果树研究所研究进展

王力荣,朱更瑞,方伟超,曹珂,陈昌文,王新卫,李勇,吴金龙

(中国农业科学院郑州果树研究所,郑州 450009)

摘要:综述了中国农业科学院郑州果树研究所40多年来在桃低需冷量种质发掘、创新与利用方面的工作。(1)确立了桃需冷量的适宜评价模式,明确了我国不同生态型、不同品种群的桃品种需冷量分布范围,阐明了低需冷量种质的遗传特点和主要生物学特点,提出了利用降低品种需冷量、缩短童期、提高早期丰产性的育种理论。(2)首次收集、引进、发掘低需冷量桃优异种质30份;开发了500 h为分界线的需冷量分子鉴定标记,准确率92.2%;创新低需冷量、早熟优异种质3份;利用优异种质培育低、低中需冷量品种34个,其中鲜食品种29个,平均需冷量598 h,与原有主要栽培品种800~900 h比较,平均降低29.6%;观赏桃品种5个,平均需冷量500 h,比原有主栽品种降低48.1%。育成的品种在产业中应用,扩展了我国桃栽培南限,成为我国设施桃主要栽培品种。(3)系统研究了打破自然休眠进程的生理机制以及需冷量对桃设施栽培扣棚升温、果实成熟期、产量、连续结果能力等方面的影响,成为我国落叶果树设施栽培的最重要理论基础之一,指导了设施促早栽培关键技术。

关键词:桃;低需冷量;种质资源;发掘;创新

中图分类号:S662.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2022)07-1295-13

Advance in research on exploration, improvement and utilization of low chilling requirement germplasm resources in peach and nectarine: Progress of Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences

WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CAO Ke, CHEN Changwen, WANG Xinwei, LI Yong, WU Jinlong

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China)

Abstracts: Chilling requirement is an important agronomic trait of peach, which significantly impacts cultivation and distribution of peach germplasm resources. In the present article, we review the research progresses in the development, innovation and application of low chilling requirement germplasm resources since 1980s in Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. (1) A total of four chilling requirement evaluation models have been established, including $<7.2^{\circ}\text{C}$ model, $0-7.2^{\circ}\text{C}$ model, Utah model and dynamic model. Through the comparison among different models, the $0-7.2^{\circ}\text{C}$ model is confirmed to be the optimal chilling requirement evaluation model for peach in Zhengzhou. Using $0-7.2^{\circ}\text{C}$ model, the characteristics and distributions of chilling requirement for different ecotypes and populations are identified. The genetic and biological characteristics of low chilling requirement germplasm are examined. Based on these outcomes, a new theory regarding shortening the juvenile phase and improving early yield through reducing the chilling requirement has been developed. (2) A total of 30 low chilling requirement accessions have been initially collected, imported and mined, like Nanshan Tian Tao and Early Red 2, some of which have been widely used in low chilling requirement breeding. Using genome-wide association study, the quantitative trait loci (QTL) for chilling re-

收稿日期:2021-12-29

接受日期:2022-04-14

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-30-1-04);中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-ZFRI-01)

作者简介:王力荣,女,研究员,博士,研究方向为桃种质资源与遗传育种。Tel:0371-55906989, E-mail:wanglirong@caas.cn

quirement are identified, including a major QTL on chromosome 1, which is co-located with *EVG* locus. However, the key gene conferring chilling requirement remains unclear. A PCR marker for low chilling requirement genotypes (< 500 hours) with an accuracy of 92.2% is developed, which has significantly improved the efficiency of low chilling requirement breeding. Three new germplasm resources with low chilling requirement and early ripening date have been bred. A total of 34 new cultivars with low chilling requirement are released, of which 29 are edible and 5 are ornamental. The average chilling requirement for the 29 edible cultivars is estimated to be 598 h, which has declined by 29.6% of chilling requirement compared with previous cultivars (800–900 h). The average chilling requirement for the 5 ornamental cultivars is 500 h, which has declined by 48.1% compared with previous cultivars and land-races. These low chilling requirement cultivars have significantly extended to the low-altitude south regions of China, some of which have been the main cultivars under protected cultivations. For instance, Zhong Nong Jin Hui, a yellow-fleshed nectarine with early ripening date, has become the largest cultivated cultivar under protected cultivation. (3) The physiologies for the breaking of natural dormancy are systematically investigated. To improve the theory in regard to protected cultivations, effects of chilling requirement on the temperature rise of greenhouse, fruit maturity, yield, and continuous fruit bearing capacity are revealed, which has become one of the most important theoretical foundations for protected cultivation of deciduous fruit crops in China, thus powerfully guiding the key technologies of promoting early cultivation under protected installation. Finally, the limitations of recent research are listed, including the poor cold hardness for low-chilling cultivars, lacking of excellent cultivars for low-altitude regions, the optimal chilling requirement model in tropic and sub-tropic regions, etc.

Key words: Peach; Low chilling requirement; Germplasm resources; Exploration; Improvement

需冷量是指打破落叶果树自然休眠所需的有效低温时数,是果树区划的要素之一。桃是对需冷量要求极为严格的果树种类,需冷量不足将引起枯花芽严重、花期延迟、开花不整齐、果实畸形、成熟期不一致等。美国20世纪30年代育成第一个低需冷量品种,之后培育出系列低需冷量品种^[1-2],将桃主产区扩展至加州南部、得克萨斯、佛罗里达等区域。巴西、墨西哥、西班牙、南非等国家也相继培育出一批低需冷量的桃品种。20世纪80年代,我国在果树需冷量研究方面还是空白。由于缺乏对落叶果树需冷量的认识,不能科学指导南方低纬度地区引种和北方设施促早栽培,基础研究严重落后于产业需要。生产中时常出现需冷量不足的现象,例如四川省潼南县种植的黄桃和北方设施桃促早栽培,由于需冷量不足而引起开花延迟和果实畸形等严重问题。鉴于此,中国农业科学院郑州果树研究所历时40 a(年),开展了较为系统的低需冷量种质发掘、创新与利用的研究。

1 研究历史

1.1 需冷量评价方法的确立(1990年以前)

20世纪80年代,中国农业科学院郑州果树研究

所和西北农业大学等相关单位相继开始了桃品种需冷量评价方法的研究,确立了剪取田间自然越冬枝条、水培插条、0~7.2℃模式为测定品种低温需求量的评价方法^[3-5]。1996年统一开始使用需冷量^[6]。支撑项目为国家“七五”重点科技(攻关)项目“农作物品种资源研究”(75-01)^[7]。

1.2 低需冷量种质发掘及在设施栽培中的利用(1990—2000年)

在国家“八五”“九五”重点科技(攻关)项目资助下^[8-9],重点开展了桃品种资源需冷量评价与优异种质发掘^[10];为设施栽培提供适宜需冷量品种(早红2号)和升温节点等关键技术^[11-12];在农业部948项目“优良短低温、中低温油桃品系的引入”(991047)资助下,美国得克萨斯农工大学David Byrne教授帮助引进20多个中、低需冷量桃品种,奠定了我国低需冷量育种的种质资源基础。

1.3 低需冷量早期丰产性研究及种质创新(2001—2010年)

在“十五”863课题“可控环境下园艺作物生长模拟及优质高效栽培技术”(2001AA247041、2001AA247040)、国家攻关计划项目子课题“低需冷量、早熟油桃种质资源的创新利用研究”以及国家科

技支撑“资源高效利用型设施果树安全生产关键技术研究示范”(2006BAD07B06)等项目支持下,发现了低需冷量种质具有童期短、早果性强等特点^[13-17];开展了低需冷量种质创新与新品种培育,创制了南方金蜜、南方早红等低需冷量新种质^[2],培育出曙光、中农金辉等适宜设施栽培的品种^[18-19],育成探春^[20]、元春^[21]、报春^[22]等低需冷量的观赏桃花品种。

1.4 优异基因发掘与低需冷量新品种培育(2011年至今)

在国家桃产业技术体系(CARS-30-1-04)、中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-ZFRI-01)等项目支持下,定位了低需冷量关键基因^[23-25],育成中农金硕(550 h)^[26]、中桃红玉(500 h)^[27]、迎春(450 h)^[28]等品种,创新的一批优良低需冷量品系正在区试之中。

2 研究进展

2.1 明确了我国桃品种需冷量分布范围

2.1.1 确定了桃品种需冷量评价的模式 针对不同气候条件,国外研究者提出了两种常见需冷量评价模式,即 Weinberge 模式^[29]和犹他模式^[30];为此,1986—2001年间,对450余份桃品种开展<7.2℃模式、0~7.2℃模式和犹他模式3种模式的需冷量比较分析,归纳总结在郑州气候条件下,桃品种需冷量的评价模式为:以秋季日平均温度稳定低于7.2℃的日期为需冷量测定的起点,以0~7.2℃(不包括0℃)累积低温值作为评价标准较适宜,犹他模式在中需冷量和高需冷量范围内能有效预测休眠的结束,而不适宜低需冷量品种的测定;<7.2℃模式不适宜作为需冷量的评价模式^[5]。

2.1.2 明确了我国桃品种需冷量分布范围 针对我国桃品种需冷量本底不清的问题,于1980—1994年对304份桃品种需冷量进行了评价,结果表明,我国桃品种需冷量值分布广,南山甜桃200 h、深州白蜜1200 h,需冷量值集中分布在750~950 h。发现野生种山桃、甘肃桃、陕甘山桃、光核桃的需冷量均较低,在250~550 h。2000年之前,我国桃主栽品种麦香、雨花露、砂子早生、仓方早生、白凤、大久保、京玉、燕红等需冷量均在800~900 h;地方名特优品种深州蜜桃、肥城桃等在1000~1200 h^[10];国家郑州桃种质资源圃598份种质平均需冷量为792.43 h^[2]。

按照生态型品种群划分^[10],桃地方品种的需冷量分布为:华北生态区1000~1200 h、长江流域区800~900 h、西北高旱区700~800 h、云贵高原区550~650 h、华南亚热带区400 h以下。据此研究结果优化了我国桃品种区域化栽培方案。

按照果实类型品种群划分^[10],蜜桃品种群需冷量最高,集中分布在950~1150 h;硬肉桃品种群中的北方系次之,集中分布在850~1000 h;而南方硬肉系较短,水蜜桃和油桃多数品种居中,主要在800~900 h;黄桃品种群需冷量较水蜜桃偏低,集中分布在750~850 h;蟠桃品种需冷量最低,集中分布在650~750 h。

我国重瓣观赏桃花品种的需冷量分布范围为400~1250 h,并以900 h以上的品种为主,其中名特优品种红垂枝950 h、红寿星950 h、鸳鸯垂枝1100 h、红叶桃1100 h、洒红桃1200 h和菊花桃1250 h,低需冷量的仅有白花山碧桃,需冷量为400 h,但花色为白色、高需冷量品种的开花期晚,缺乏低需冷量早花品种是2000年以前产业的主要问题^[31]。

2.1.3 提出了需冷量评价标准品种 需冷量为数量性状,测定数据受环境影响较大。为便于国内外品种比较,2003年提出需冷量评价标准的参照品种,即需冷量每间隔50~100 h确定一个公知公用标准品种,小于200 h为热带美、200~250 h为红日、300~350 h为佛罗里达晓、400~450 h为佛罗里达王、500~550 h为早红2号、600~650 h为离核蟠桃、650 h为曙光、800 h为雨花露、850 h为大久保、900 h为白凤、1000 h为六月白、1100 h为肥城白里、1200 h为深州白蜜^[5]。2005年,《桃种质资源描述规范和数据标准》定义300 h以下为极低需冷量品种,300~600 h为低需冷量品种,600~900 h为中需冷量品种,900~1200 h为高需冷量品种,1200 h以上为极高需冷量品种^[32]。2007年颁布的农业行业标准《农作物资源鉴定技术规程 桃》(NY/T 1317—2007)^[33],在需冷量性状上采纳了上述标准。2011年颁布的《农作物优异种质资源评价规范 桃》(NY/T 2026—2011),将早红2号(需冷量500 h)作为桃低需冷量优异种质标准品种^[34]。

2.2 探讨了低需冷量桃品种的遗传特性

2.2.1 明确了桃低需冷量优异种质遗传特性 为更好理解低需冷量桃品种的遗传特点,1991—1995年,通过对9个杂交组合463株杂种实生苗的需冷量评价,表明桃需冷量是由多基因控制的,F₁代需冷量

平均值较亲中值低,不同组合偏离程度不同,南山甜桃、红日、玛丽维拉等优异种质需冷量育种值分别为159、216、319 h,需冷量的遗传力为89.69%,即我国地方名特优南山甜桃需冷量的育种值最低^[6]。后来发现,实生苗需冷量略低于嫁接苗,幼树需冷量低于成龄树,随着树龄增大,需冷量会有所升高。

2.2.2 初步定位了需冷量的主效QTLs 2012年基于全基因组SSR的关联分析,定位了5个需冷量相关的QTLs,其中2个主效位点qCR1a和qCR7分别解释了40.5%~44.8%和17.8%~24.9%的表型变异,qCR1a与桃*evg*休眠突变位点*EVG*仅有2 cM^[23]。随后与西班牙IRTA合作,利用扁桃和桃的F₂代群体,在6号染色体上定位了1个需冷量QTL,解释了18.4%的表型变异^[24]。2019年利用全基因组SNP关联分析发现7个与需冷量相关的位点,其中1号染色体上的关联位点与*evg*休眠突变位点*EVG*位置重合,并开发了基于PCR的低需冷量品种(500 h为分界线)鉴定标记,准确率为92.2%^[25]。目前,低需冷量优异基因的发掘工作正在进行之中。

2.2.3 提出了低需冷量品种育种新价值 美国桃育种家在育种实践中发现低需冷量种质具有早实性现象^[1]。中国农业科学院郑州果树研究所结合育种实践,2001—2008年全面、系统地阐述了低需冷量品种童期短、早期丰产性强的育种新价值。

(1)低需冷量品种具有营养生长期长、生长量大的特性。

根据对250多个品种需冷量及物候期的调查分析,结果表明品种需冷量与叶芽萌动、叶芽开放、展叶、枝条生长开始、始花和盛花初期的相关系数均达到极显著正相关,即需冷量越低,春季物候期越早;落叶物候期则与之相反,需冷量越低,秋季落叶终止期越晚^[15]。

低需冷量桃品种南方早红新生长根和新吸收根的发生速度和数量比高需冷量品种高些^[14]。根据同一组合杂交实生苗根系分布状况的调查,低需冷量单株早春根系开始活动早、冬季植株根系分布深,高需冷量根系开始活动晚、冬季分布浅,说明低需冷量种质根系的营养生长量大于高需冷量种质。

对48个杂交组合653株杂种实生苗调查的结果表明,平均需冷量值低的组合实生苗的营养生长量比较大,平均需冷量值高的组合实生苗的营养生长量比较小,前者为低需冷量品种短童期奠定了营养

物质基础。

(2)低需冷量种质具有光合能力强、花芽分化早的特性。

随着品种和实生苗需冷量的增加,净光合速率(P_n)的日平均值增加, P_n 日变化波动明显,对光、温的敏感性增强。这些特性是不同需冷量桃品种对起源地生态环境所产生的适应性的结果。低需冷量4—8月高光合能力和9—10月落叶期晚对其旺盛的营养生长具有重要的贡献^[16-17]。

低需冷量桃品种花芽分化期叶片中可溶性蛋白质、游离氨基酸^[35]以及可溶性糖等代谢物质含量比高需冷量桃品种相对高,花芽分化的各个阶段时间较为充足,叶片对花芽的代谢物质的供应较为充足^[13]。在种质改良实践中发现,在郑州地区,低需冷量品种玛丽维拉、红日等开花期一般在3月中旬,花期早,但30年来未发现因倒春寒而受害、减产;相反,花期晚的深州蜜桃、肥城桃等遇到倒春寒,更容易受冻。因此,笔者认为在一定低温范围内,低需冷量种质可能由于具有更好的花芽质量和贮存营养,对花期低温有一定抗性。

桃及野生近缘种不仅需冷量差别显著,而且雌配子体发育也存在明显差异。甘肃桃形成胚珠原基后越冬,而普通桃则以子房阶段越冬,春季形成胚珠原基;红根甘肃桃1号在落叶前形成雄配子体,具有花粉的早熟性,且杂种群体花芽分化始期及花芽分化特性也趋向于母本红根甘肃桃1号^[36-37]。在栽培桃中,不同需冷量桃品种花芽分化的不同阶段的开始时期不同,迎春450 h、满天红850 h和菊花桃1200 h花芽分化开始期、子房形成期依次推迟10 d左右^[38],即低需冷量种质具有花芽分化早的特性。山桃、甘肃桃等野生近缘种不仅需冷量低,而且需热量也低。

(3)低需冷量种质对缩短童期、提高早期丰产性具有重要育种价值。

低需冷量桃实生苗组合中两年生开花的植株百分率为100%,而同样树龄,中需冷量和高需冷量桃实生苗组合中开花的植株数占总株数的百分率分别为57%和20%,表明低需冷量桃实生苗在定植两年后便结束童期进入生殖生长期,而中、高需冷量桃实生苗的童期将有不同程度的延长。同样低需冷量品种种植第一年的成花量分别为中、高需冷量品种的1.5~2.0倍和3倍^[14]。2003年,在国家郑州桃种质资

源圃更新时,对具有相同砧木、相同树龄的373份种质进行第2年和第3年的成花量调查,发现低需冷量种质第2年的成花量与高需冷量种质第3年的相当,即理论上早期丰产时间可提早1 a(年)。

以上研究结果表明,低需冷量桃年营养生长时间长,光合作用效率较高,根系和树冠形成的速度快,桃实生苗更早地达到生殖生长所需的最低营养生长量,从而缩短了其童期,具有早实性;低需冷量桃花芽分化开始较早,分化的各个阶段时间充分,代谢物质供应较为充足,从而花芽分化质量较高,具有较高的早期丰产性。由此提出低需冷量品种对缩短果树育种童期、提高早期丰产性等具有重要价值,即低需冷量短童期和早期丰产性理论。

(4)自然休眠过程中低温积累量对开花和果实形状的影响。

桃开花期是由需冷量和需热量共同决定的。桃冬季自然休眠过程中低温积累量与需热量对花期的影响呈显著负相关($r=-0.882^*$),增大低温积累量具有减小需热量的作用,即需冷量满足后的过量低温积累能够减少开花对热量的需求,中农金辉的临界需热量为5800 GDH $^{\circ}\text{C}$ 。同时,需冷量不足会导致果实形状变长,产生果尖,是桃设施促早栽培果实尖嘴的最重要原因^[39-40]。

2.3 收集、发掘了一批低需冷量桃种质

20世纪80年代以前,国内低需冷量品种资源并未受到重视,优异资源基本散落在民间,处于濒临灭绝的状态;很少引进国外低需冷量种质;继而开展了对国内外低需冷量品种资源广泛收集,共收集30余份。收集的地方品种包括广东的石马早红桃150 h、南山甜桃200 h和鹰嘴桃250 h,台湾的台农2号200 h和莺歌桃200 h,广西的仙桃450 h,云南的火炼金丹和二早桃450 h,以及野生近缘种白花山碧桃400 h、帚形山桃400 h和红根甘肃桃1号450 h等^[2,41]。

从国外首次引进的低需冷量品种包括阿克拉瓦(Okinawa)100 h、热带美(Tropicbeauty)150 h、红日(Sunred)200 h、玛丽维拉(Maravilha)250 h、五月阳光(Mayglo)250 h、日照(Sunblaze)250 h、光辉(Sun-yacer)275 h、佛罗里达晓(Flordadawn)300 h、伊娃荣耀(Eva'Pride)350 h、佛罗里达王(Flordaking)400 h、阳光(Sunsplash)400 h、桑多拉(Sundollar)400 h、佛罗里达冠(Flordacrest)450 h、Texroyal 450 h、Texstar 450 h、日金(Sungold)500、早红2号(Early Red 2)500 h、双佛(Sunfre)500 h、五月火(Mayfire)550 h、阿姆肯(Armking)600 h等^[2]。对收集的低、低中需冷量种质开展了系统的需冷量、植物学、生物学、果实经济性状评价,并在育种中进行了共享利用^[2,42-43]。中国农业科学院郑州果树研究所利用的桃低需冷量种质及培育的衍生新品种见表1。

表1 中国农业科学院郑州果树研究所利用的桃低需冷量种质及培育的衍生新品种
Table 1 Parentage of low chill germplasm and derivative cultivars at ZFRICAAS

亲本 Parent	培育出的品种 Bred cultivar
五月火 Mayfire	千年红 ^[2] 、玫瑰红 ^[44] 、中油桃4号 ^[45] 、中油桃5号 ^[46] 、中油桃11号 ^[47] 、中油桃14号 ^[48] 、中油15号 ^[49] 、中油20号 ^[50] 、春蜜 ^[51] 、春美 ^[52] 、中桃紫玉 ^[53] 、中桃绯玉 ^[54] 、黄金蜜1号 ^[55] 、中桃4号 ^[56] 、金凤 ^[2] Qianmianhong, Meiguihong, Zhongyoutao 4, Zhongyoutao 5, Zhongyoutao 11, Zhongyoutao 14, Zhongyou 15, Zhongyou 20, Chunmi, Chunmei, Zhongtaoziyu, Zhongtaofeiyu, Huangjinmi 1, Zhongtao 4, Jinfeng
阿姆肯 Armking	艳光 ^[12] 、华光 ^[12] 、中农金辉 ^[17] 、中油金铭、中油金冠、中油金帅 Yanguang, Huaguang, Zhongnongjinhui, Zhongyoujinming, Zhongyoujinguan, Zhongyoujinshuai
早红2号/双佛 Early Red 2/Sunfre	乐园 ^[2] 、矮丽红 ^[2] 、双喜红 ^[57] 、中农金硕 ^[21] 、中油金帅、中油金冠、中油金铭、中桃红玉 ^[27] 、春蜜 ^[51] 、春美 ^[52] 、中油13号 ^[58] 、中油15号 ^[49] 、蟠桃皇后 ^[2] 、蟠桃王 ^[2] 、南方金蜜 ^[2] 、中油蟠5号 ^[59] 、中油蟠7号 ^[60] 、中油蟠9号 ^[61] 、中蟠13号 ^[62] 、中蟠15号 ^[63] 、中蟠17号 ^[64] 、中蟠19号 ^[65] 、中桃5号 ^[66] 、中桃9号 ^[67] 、黄金蜜3号 ^[68] 、黄金蜜4号 ^[69] Leyuan, Ailihong, Shuangxihong, Zhongnongjinshuo, Zhongyoujinshuai, Zhongyoujinguan, Zhongyoujinming, Zhongtaohongyu, Chunmi, Chunmei, Zhongyou 13, Zhongyou 15, Pantaohuanghou, Pantaowang, Nanfangjinmi, Zhongyoupan 5, Zhongyoupan 7, Zhongyoupan 9, Zhongpan 13, Zhongpan 15, Zhongpan 17, Zhongpan 19, Zhongtao 5, Zhongtao 9, Huangjinmi 3, Huangjinmi 4
白花山碧桃 Baihuashanbitao	探春 ^[20] 、元春 ^[21] 、报春 ^[22] 、画春寿星 ^[2] 、银春 Tanchun, Yuanchun, Baochun, Huachunshouxing, Yinchun

2.4 创新了一批低需冷量新种质

2.4.1 低需冷量种质在中国农业科学院郑州果树研究所的育种利用 1991—1999年种质创新的主要亲本是南山甜桃、红日、玛丽维拉、早红2号、五月火

和阿姆肯等,其中南山甜桃的肉质较粗、成熟期晚,改良更为困难;2000—2009年的主要亲本是五月阳光、光辉、桑多拉、佛罗里达晓等,2010—2020年的主要亲本是春雪、Snowkist、Arcticstar。经过2~4代

杂交,创制出低中需冷量新种质南方早红400 h、中油金桂(01-3-70)400 h、南方金蜜550 h等优良品系;育成的低中需冷量品种中农金硕、中桃红玉500 h。目前这些品种(系)在云南西双版纳、广西百色、广东韶关等地均有生产利用。在创新利用中,国外低需冷量种质综合性状较好,重点改良其风味偏酸的问题;而我国低需冷量地方品种,其综合抗性较好,但果实经济性状,如外观、肉质等商品性较差,需要改良的代数更多。

以早红2号500 h、双佛(后来证明即为早红2号)500 h、五月火550 h、阿姆肯600 h等种质为亲本,直接培育或利用其衍生品种培育的中、低需冷量新品种48个,多数品种需冷量550~700 h,与传统主栽品种800~900 h比较,平均降低225 h,降低幅度12.5%~38.8%。以低需冷量、低需热量优异种质白花山碧桃等为亲本,培育出低需冷量观赏桃花新品种5个,使红色、粉色、重瓣观赏桃花主要品种需冷量由900~1200 h降低至400~550 h,降低27.78%~66.7%,平均48.1%;在郑州探春3月上旬开花,比传统碧桃提早花期15~20 d,在福州、广州可1月开花,且花期很长。

2.4.2 低需冷量品种在国内衍生的品种 北京市农林科学院利用五月火、双佛、早红2号、Sunraycer等为亲本,育成丹墨^[70]、丽春^[71]、春光^[72]、新春、秀春^[73]、望春^[74]、夏至早红^[75]、夏至红^[76]、瑞光51号^[77]、超红珠^[78]、忆春^[79]、京和油1号^[80];江苏省农业科学院利用早红2号育成紫金红1号^[81-82]和紫金红3号^[83],上海市农业科学院利用五月火育成沪油002^[84]、沪油003、沪油004和沪油018等^[85];西北农林科技大学利用阿姆肯及其衍生品种育成秦光3号、秦光4号、秦光6号等;安徽省农业科学院从中油4号芽变中选出满园红^[86]。从以上分析可见,低需冷量种质的应用,导致我国桃部分育成品种需冷量呈明显递减趋势。

2.4.3 早红2号的系谱关系 以早红2号为亲本衍生出已命名新品种40个,包括杂交F₁、F₂和F₃(图1)。

3 产业应用

在过去30 a,我国桃育成部分品种需冷量呈现明显下降趋势,对我国桃产业产生了明显的影响。

3.1 优化了我国桃区域化布局

根据我国7个生态型桃地方品种需冷量的分布范围,提出华南亚热带生态型品种需冷量宜在400 h

以下,云贵高原地区宜在650 h以下,从而量化了我国低纬度桃品种的需冷量。需冷量是品种固有的特性,主要受遗传因素的影响,此外树龄、砧木等也有一定的影响。幼龄树由于生长旺盛,激素的代谢水平高,相对于成龄树需冷量偏低,在栽培中也有一定意义。如云南某地区引种的燕红品种,第3年开始结果,第4年不结果,到第5年开花也不整齐,以后不再开花,这一现象反映了需冷量与树龄的关系。在需冷量处于临界值的地区,不要因为开始少量的结果而盲目大面积引种给生产造成损失^[87]。根据打破自然休眠、满足需冷量进程及品种需冷量与果实发育期,提出了我国桃设施栽培的生态区划方案,认为北方桃设施栽培比黄淮和南方更具优势,设施促早栽培的南限位于黄河中下游一线,优势在环渤海湾及西北地区^[11-12]。

3.2 推动了桃设施产业发展

根据品种需冷量、累积低温进程、果实发育期以及我国气候特征,提出桃设施栽培适宜品种需冷量上限为650 h,提出设施桃扣棚升温的适宜时间^[11-12]。根据低需冷量种质生长旺盛的特性,提出低需冷量品种采后重修剪加控制旺长更容易形成花芽^[88]。根据不同需冷量品种对破眠剂的反应,提出化学方法打破休眠需冷量所需满足50%方可有效^[89]。20世纪90年代初,向保护地栽培推荐从国外引进的品种早红2号,成为我国早期桃设施栽培的主栽品种^[90](早红2号及其衍生的品种见图1);1998年,育成的极早熟油桃曙光(600 h),成为我国第一个大面积推广的油桃品种,也是当时设施栽培的主要品种;育成优质、早熟中农金辉(650 h),成为近10多年来我国设施桃栽培第一大主栽品种,在主产区大连市占桃设施栽培的60%^[91]。

3.3 拓展了桃适宜栽培南限

20世纪90年代以前,我国桃栽培南限于温州、全州和昆明一线。在南限区域,需冷量不足问题严重。20世纪90年代末,云南石林、呈贡等县(市),逐步引进曙光、华光、艳光、中油桃4号、中油桃5号、中农金辉等油桃品种,在海拔1600 m及以上地区种植,表现开花较为一致、坐果率较高、产量较稳定,正常年份5月上旬果实上市。广西灵川、荔浦等地先后引进上述油桃品种和春蜜、春美等品种,曾发展到0.66万hm²。近年来,中桃红玉在云南石屏、广西桂林、福建福州,南方金蜜在西双版纳海拔1400 m山

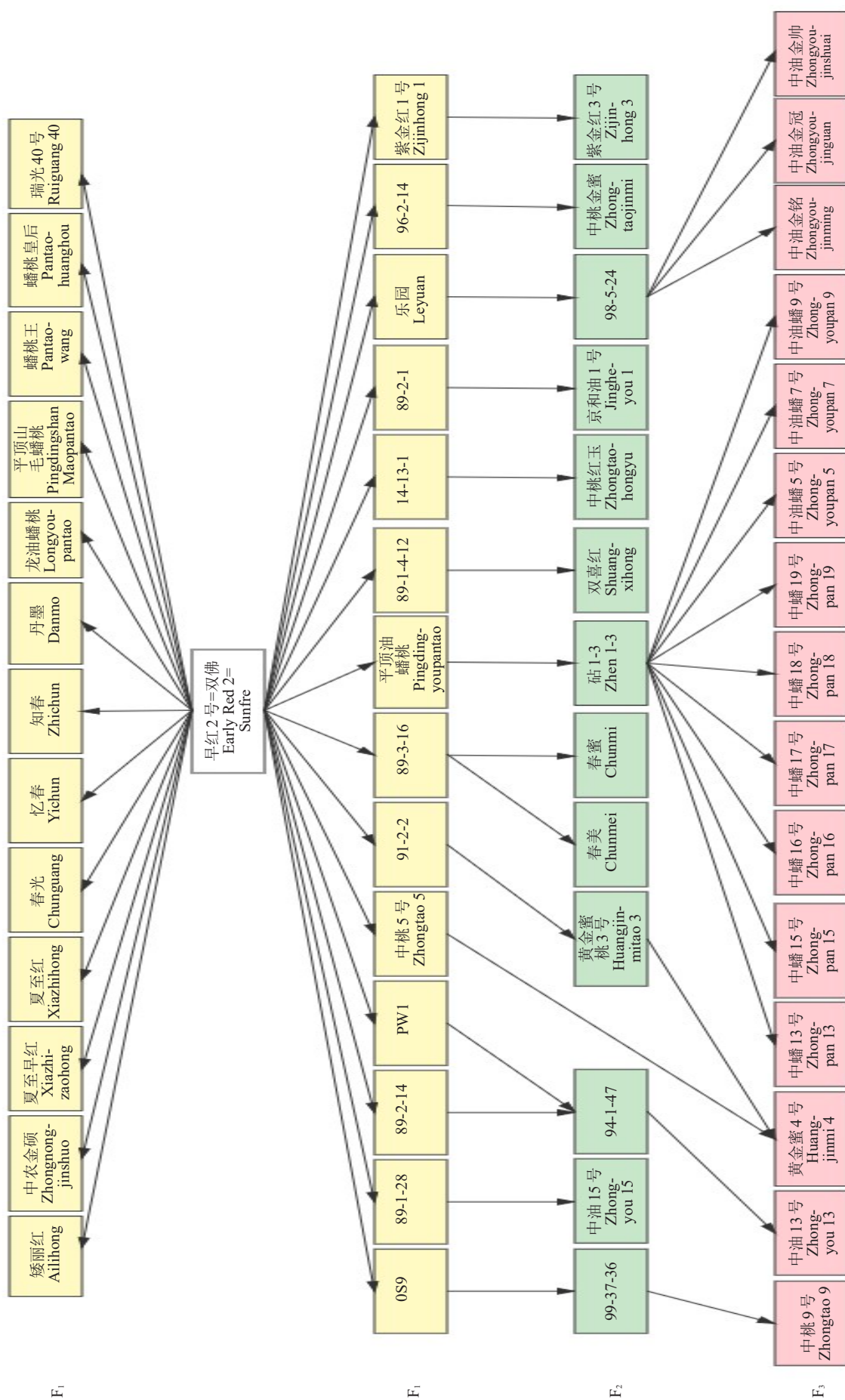


图1 早红2号及其衍生的品种

Fig. 1 Peach cultivars descended from Early Red 2

区,中油金桂在广西百色等地均基本能够满足需冷量要求,鲜食桃栽培纬度显著南移;低需冷量观赏桃花品种在广东广州、深圳等地种植,栽培南移超过500 km,丰富了珠三角春节桃花市场。由此可见,由于品种需冷量的降低,南限区域已成为重要产区。

3.4 提高了桃早期丰产性和提早了观赏桃花期

桃三、杏四、李五年,形象说明了这些树种的早期结果年限。我国传统的地方品种五月鲜、肥城桃等具有第3年才能开花结果的生长习性。低、低中需冷量品种在嫁接当年苗期可形成花芽,加上“前促后控”、长枝修剪等栽培措施,第2年具备一定产量成为常态(每666.7 m²产量250~500 kg),第3年可以丰产。究其原因是育成新品种需冷量比传统品种降低,成花更为容易,早期丰产性更强。育成的低需冷量观赏桃花品种在北京、郑州、西安、成都、上海、武汉、合肥、福州等地种植,开花期比传统碧桃品种显著提早20 d以上,促进了当地桃花节的繁荣发展。

3.5 增强了桃品种对暖冬的适应性

气候变暖对桃产业的影响越来越明显。1983—2012年,在郑州国家桃种质资源圃,同一品种花期平均提早11.1 d^[92];世界桃育成品种中,20世纪40年代需冷量在800 h以上的品种占90%,2006年仅占20%^[93]。以低需冷量种质为亲本育成的系列品种,需冷量显著降低,增强了桃品种对暖冬的适应性,在产业中也具有较强的适应性。

4 低需冷量品种的局限性及建议

4.1 抗冬季绝对低温能力不强

低需冷量品种,起源于冬季温暖的地区,其本身及后代的抗冬季低温能力受到限制,如五月火等不抗冬季低温,以其为亲本育成的品种在河西走廊、河北北部、辽宁、宁夏等栽培北线区域没有燕红、大久保、京玉等品种的抗寒性强。因此在北限区域引种时,要对亲本系谱中有低需冷量种质的品种格外注意。在北方抗寒育种亲本选配时避免使用此类亲本。同时,低需冷量品种落叶晚,如遇到秋季突然降温,也容易造成冻害。

4.2 低需冷量品种树势偏旺

低需冷量品种树体生长旺盛,对栽培来说不是一个好性状。在育种中发现,凡含有乔化-矮化杂合体的品种,即使需冷量偏低,其树势也健而不旺,矮

化隐性基因具有一因多效性,继而提出培育乔化-矮化杂合体的低需冷量品种的育种思路,在育种实践中配置了大量此类杂交组合,较好控制了树体的旺长。乔化-矮化杂合体品种有曙光、华光、中油4号、中农金辉、双喜红、中桃红玉等。

4.3 低需冷量品种仍然缺乏

云南桃栽培面积5.33万hm²,50%仍然存在需冷量不能完全满足的问题,尤其是海拔1600 m以下的低纬度地区和干热河谷地带,需冷量不足问题依然严重,尤其是随着气候变暖,需冷量400 h以下的品种严重匮乏。同时低纬度地区桃产业的最大优势是早熟,只有低需冷量且早熟的品种才能最大程度地发挥其早熟优势。以云南为例,文山及以南低海拔区域需求品种需冷量在400 h以下,才能保证连年正常结果、丰产、稳产;但如果果实发育期长,果实成熟期在5月下旬以后,早熟优势就不够明显。目前创新的低需冷量优系的主要问题是成熟不够早或早熟品种果实偏小。观赏桃花品种则需要需冷量300 h以下的优良品种。郑果所地处中原,低需冷量育种生态条件不足,限制了育种进程。国家桃产业技术体系已经组织相关育种单位与云南、广西、广东、福建等低纬度地区相关科研单位合作,立足主产区,培育出需冷量更低的品种,并取得初步成效。

4.4 低纬度地区桃产业不仅仅是需冷量问题

在低海拔区域,部分桃品种开花整齐、开花量大,但坐果率低,可能还与花期温度过高、空气干燥、授粉受精不良有关,因此在低需冷量育种中选择花期耐高温的品种同样重要。同时,热带、亚热带桃成熟季节往往是雨季,还要选择抗病性强的低需冷量品种。

4.5 关于低需冷量品种的评价标准的探讨

需冷量为数量性状,美国、国际植物遗传委员会(IBPGR)与我国的划分标准有所不同。基于美国佛罗里达的气候条件,美国的标准为3级,低于400 h的为低需冷量,400~650 h为中需冷量,650 h以上为高需冷量^[93]。IBPGR标准为9级,其中100 h以下为极低,100~200 h为很低,200~300 h为低,300~500 h为中低,500~700 h为中。由于我国桃主要品种需冷量的分布范围普遍偏高,2005年《桃种质资源描述规范与数据标准》将需冷量划分为5个等级,其中小于300 h极低,300~600 h低。今后,随着桃主要栽培品种需冷量的降低和低需冷量育种进展,建议我国

需冷量评价标准与IBPGR接轨,更有利于国内外育种家的交流。

参考文献 References:

- [1] 王力荣,朱更瑞,左覃元,方伟超.短低温桃和油桃育种进展[J].果树科学,2000,17(1):57-62.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qinyuan, FANG Weichao. Reviews of low chilling peach and nectarine breeding[J]. Journal of Fruit Science, 2000, 17(1): 57-62.
- [2] 王力荣,朱更瑞,方伟超.中国桃遗传资源[M].北京:中国农业出版社,2012.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao. Peach genetic resource in China[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2012.
- [3] 王力荣.桃品种需寒量的研究[D].杨凌:西北农业大学,1990.
WANG Lirong. Study on peach requirement[D]. Yangling: Northwest Agricultural University, 1990.
- [4] 王力荣,胡霓云.桃品种的低温需求量[J].果树科学,1992,9(1):39-42.
WANG Lirong, HU Niyun. The chilling requirement for peach cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 1992, 9(1): 39-42.
- [5] 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 Qinyuan. Estimating models of the chilling requirement for peach[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(4): 379-383.
- [6] 王力荣,朱更瑞,左覃元.桃需冷量遗传特性的研究[J].果树科学,1996,13(4):237-240.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qinyuan. Study on the genetic characteristics of peach chilling requirement[J]. Journal of Fruit Science, 1996, 13(4): 237-240.
- [7] 方嘉禾.作物品种资源研究进展[M].北京:中国农业科技出版社,1992:160-161.
FANG Jiahe. Advance of crop genetic resources[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1992: 160-161.
- [8] 方嘉禾.“八五”作物品种资源研究进展[M].北京:中国农业科技出版社,1998:193-194.
FANG Jiahe. Advance of crop genetic resources for the Eighth Plan[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998: 193-194.
- [9] 方嘉禾,刘旭.农作物和林木种质资源研究进展[M].北京:中国农业科技出版社,2001:88.
FANG Jiahe, LIU Xu. Advance of crop and forest genetic resources[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2001: 88.
- [10] 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 Qinyuan. Study on the chilling requirement of peach varieties in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1997, 24(2): 194-196.
- [11] 王力荣,朱更瑞,左覃元.桃树保护地栽培的品种选择[J].中国果树,1995(4):34-35.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qinyuan. Cultivation of peach in green house[J]. China Fruits, 1995(4): 34-35.
- [12] 王力荣,朱更瑞,左覃元.桃的低温需求量及其与保护地栽培的关系[J].北方果树,1996(3):10-11.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qinyuan. The relationship between peach chilling requirement and culture in green-house[J]. Northern Fruits, 1996(3): 10-11.
- [13] 孙旭武,李唯,王力荣,朱更瑞,方伟超.桃花芽分化期蛋白质、氨基酸和碳水化合物含量的变化[J].甘肃农业大学学报,2004,39(3):295-299.
SUN Xuwu, LI Wei, WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao. Changes of protein, amino acid and carbohydrate contents during the differentiation of peach flower bud[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2004, 39(2): 295-299.
- [14] 孙旭武.低需冷量桃童期及花芽分化期生理生化特性的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2004.
SUN Xuwu. Physiology and biochemistry characteristics during floral bud differentiation as well as juvenile phase in low chilling requirement peach[D]. Lanzhou: Gansu Agriculturae University, 2004.
- [15] 王力荣,方伟超,朱更瑞.桃(*Prunus persica*)种质资源物候期性状遗传多样性的评价指标探讨[J].植物遗传资源学报,2006,7(2):144-147.
WANG Lirong, FANG Weichao, ZHU Gengrui. The evaluating criteria of some fruit phenology character of peach (*Prunus persica*) genetic resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(2): 144-147.
- [16] 曹珂,王力荣,朱更瑞,方伟超.不同需冷量桃品种营养生长和光合特性研究[J].果树学报,2007,24(3):282-286.
CAO Ke, WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao. Study on vegetative growth and photosynthetic characteristics of different chill- requirement peach cultivars[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(3): 282-286.
- [17] 曹珂,王力荣,朱更瑞,方伟超,陈昌文.桃幼树光合年变化及落叶期早晚与营养生长的关系[J].果树学报,2008,25(2):231-235.
CAO Ke, WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CHEN Changwen. Study on the relationship among seasonal variation of photosynthetic characteristics, defoliation and vegetative growth of young peach trees[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(2): 231-235.
- [18] 宗学普,张贵荣,左覃元,王志强,朱更瑞,王力荣.早熟甜油桃新品种曙光、华光、艳光[J].中国果树,1999(1):10-12.
ZONG Xuepu, ZHANG Guirong, ZUO Qinyuan, WANG Zhiqiang, ZHU Gengrui, WANG Lirong. New early- ripening sweet nectarine cultivars ‘Shu Guang’, ‘Hua Guang’ and ‘Yan Guang’[J]. China Fruits, 1999(1): 10-12.
- [19] 朱更瑞,王力荣,方伟超,曹珂,陈昌文,冯义彬.油桃早熟新品种中农金辉的选育[J].中国果树,2010(6):1-3.
ZHU Gengrui, WANG Lirong, FANG Weichao, CAO Ke, CHEN Changwen, FENG Yibin. Breeding of ‘Zhong Nong Jin Hui’, a new early-maturing nectarine variety[J]. China Fruits, 2010(6): 1-3.
- [20] 方伟超,朱更瑞,王力荣.短低温早花观赏桃新品种探春的选育[J].果树学报,2008,25(6):957-958.

- FANG Weichao, ZHU Gengrui, WANG Lirong. Tanchun, a new early blossoming ornamental peach cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(6): 957-958.
- [21] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 曹珂, 李全红, 陈昌文, 刘端明, 侯凯, 冯义彬. 低需冷量早花观赏桃品种‘元春’[J]. 园艺学报, 2011, 38(11): 2239-2240.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CAO Ke, LI Quanhong, CHEN Changwen, LIU Duanming, HOU Kai, FENG Yibin. A low chilling and early blooming ornamental peach cultivar ‘Yuan Chun’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(11): 2239-2240.
- [22] 朱更瑞, 王力荣, 方伟超, 曹珂, 陈昌文, 李全红, 冯义彬, 凌国钧, 岳长平. 低需冷量早花观赏桃品种‘报春’[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 2035-2036.
- ZHU Gengrui, WANG Lirong, FANG Weichao, CAO Ke, CHEN Changwen, LI Quanhong, FENG Yibin, LING Guojun, YUE Changping. A low chilling and early blooming ornamental peach cultivar ‘Baochun’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(10): 2035-2036.
- [23] CAO K, WANG L R, ZHU G R, FANG W C, CHEN C W, LUO J. Genetic diversity, linkage disequilibrium, and association mapping analyses of peach (*Prunus persica*) landraces in China[J]. Tree Genetics & Genomes, 2012, 8: 975-990.
- [24] CANTIN C M, WANG X W, ALMIRA M, ARU’S P, EDUARDO I. Inheritance and QTL analysis of chilling and heat requirements for flowering in an interspecific almond $\times$ peach (Texas $\times$ Earlygold) F₂ population[J]. Euphytica, 2020, 216: 51.
- [25] LI Y, CAO K, ZHU G R, FANG W C, CHEN C W, WANG X W, ZHAO P, GUO J, DING T Y, GUAN L P, ZHANG Q, GUO W W, FEI Z J, WANG L R. Genomic analyses of an extensive collection of wild and cultivated accessions provide new insights into peach breeding history[J]. Genome Biology, 2019, 20: 36.
- [26] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 曹珂, 陈昌文. 低需冷量油桃中农金硕的选育[J]. 果树学报, 2011, 28(6): 1124-1125.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CAO Ke, CHEN Changwen. A low chilling nectarine ‘Zhong Nong Jin Shuo’[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(6): 1124-1125.
- [27] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 陈昌文, 曹珂, 王新卫. 低需冷量桃新品种‘中桃红玉’的选育[J]. 中国果树, 2021(3): 79-80.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CHEN Changwen, CAO Ke, WANG Xinwei. Breeding of a new low cold demand peach variety ‘Zhong Tao Hong Yu’[J]. China Fruits, 2021(3): 79-80.
- [28] 朱更瑞, 王力荣, 方伟超, 陈昌文, 曹珂, 王小丽, 王新卫. 低需冷量、早花观赏桃新品种‘迎春’的选育[J]. 果树学报, 2016, 33(6): 770-772.
- ZHU Gengrui, WANG Lirong, FANG Weichao, CHEN Changwen, CAO Ke, WANG Xiaoli, WANG Xinwei. A new low chilling requirement ornamental flower peach cultivar ‘Ying Chun’[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(6): 770-772.
- [29] WEINBERGER J H. Chilling requirement of peach varieties[J]. Process American Social Horticulture Science, 1950, 56: 122-128.
- [30] RICHARDSON E A, SEELEY S D, WALKER D P. A model for estimating the completion of rest for ‘Redhaven’ and ‘Elberta’ peach trees[J]. Hortsciences, 1974, 9(4): 331-332.
- [31] 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. Study on chilling requirement of ornamental peach[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(2): 176-178.
- [32] 王力荣, 朱更瑞. 桃种质资源描述规范与数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui. Descriptors and data standard for peach (*Prunus persica* L.)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [33] 中华人民共和国农业部. 农作物物质资源鉴定技术规程 桃: NY/T 1317—2007[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- The Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Technical code for evaluating germplasm resources peach [*Prunus* (L.) Batsch]: NY/T 1317—2007 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [34] 中华人民共和国农业部. 农作物优异种质资源评价规范 桃: NY/T 2026—2011[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- The Ministry of Agriculture of the People’s Republic of China. Evaluating standards for elite and rare germplasm resources Peach [*Prunus* (L.) Batsch]: NY/T 2026—2011 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [35] 王力荣, 胡霓云. 桃自然休眠过程中花芽游离氨基酸的变化[J]. 果树科学, 2000, 17(S): 5-7.
- WANG Lirong, HU Niyun. The Changes of the free amino acids in the peach flower bud during natural dormant period[J]. Journal of Fruit Science, 2000, 17(S): 5-7.
- [36] 王珂, 李靖, 王力荣, 黎明, 方庆. 桃及其近缘种花芽分化特性的比较[J]. 果树学报, 2006, 23(6): 809-813.
- WANG Ke, LI Jing, WANG Lirong, LI Ming, FANG Qing. Comparison of flower bud differentiation characteristics of peach and its relatives[J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(6): 809-813.
- [37] 王珂, 王力荣, 李靖, 朱更瑞, 方伟超. 甘肃桃(*Prunus kansuensis*)雌雄配子体发育规律及遗传特性的研究[J]. 果树学报, 2008, 25(6): 806-810.
- WANG Ke, WANG Lirong, LI Jing, ZHU Gengrui, FANG Weichao. Study on the characteristics of flower bud differentiation and inheritance character of *Prunus kansuensis*[J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(6): 806-810.
- [38] 江雪飞. 观赏桃花设施栽培的花期调控及花芽分化特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
- JIANG Xuefei. Study on blooming date regulation of ornamental peach under protected culture of the characteristics of flower bud differentiation[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2003.
- [39] LI Y, FANG W C, ZHU G R, CAO K, CHEN C W, WANG X W, WANG L R. Accumulated chilling hours during endodormancy impact blooming and fruit shape development in peach (*Prunus persica* L.)[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(6): 1267-1274.

- [40] 李勇. 桃自然休眠过程中低温积累量对开花和果实形状的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
LI Yong. The effect of accumulated chill times on the blooming and fruit shape of peach during endodormancy[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.
- [41] 王力荣,朱更瑞. 短低温种质南山甜桃[J]. 作物品种资源, 1996(3):14.
WANG Lirong, ZHU Gengrui. A low chilling peach cultivar 'Nan Shan Tian Tao'[J]. China Genetic Resources, 1996(3):14.
- [42] 左覃元,朱更瑞,宗学普,张贵荣. 油桃优良品种‘阿姆肯’与‘早红2号’[J]. 中国果树, 1990(4):22.
ZUO Qinyuan, ZHU Gengrui, ZONG Xuepu, ZHANG Guirong. Excellent nectarine varieties 'Armking' and 'Early Red 2'[J]. China Fruits, 1990(4):22.
- [43] 左覃元. 极早熟油桃新品种五月火[J]. 北京农业, 1996(2):30.
ZUO Qinyuan. 'Mayfire', a new very early ripening nectarine variety[J]. Beijing Agriculture, 1996(2):30.
- [44] 王力荣,朱更瑞,方伟超,左覃元,李素敏. 早熟油桃‘玫瑰红’选育[J]. 果树学报, 2004, 21(3):283-284.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, ZUO Qinyuan, LI Sumin. Breeding of early- ripening nectarine 'Mei Gui Hong'[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(3):283-284.
- [45] 王志强,刘淑娥,牛良,宗学普,宋银花. 油桃新品种‘中油桃4号’[J]. 园艺学报, 2003, 30(5):631.
WANG Zhiqiang, LIU Shue, NIU Liang, ZONG Xuepu, SONG Yinhua. New nectarine variety 'Zhong You Tao 4'[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(5):631.
- [46] 王志强,刘淑娥,牛良,宗学普,宋银花. 早熟油桃新品种‘中油桃5号’的选育[J]. 果树学报, 2005, 22(1):89-90.
WANG Zhiqiang, LIU Shue, NIU Liang, ZONG Xuepu, SONG Yinhua. Breeding of a new early- maturing nectarine variety 'Zhong You Tao 5'[J]. Journal of Fruit Science, 2005, 22(1):89-90.
- [47] 王志强,刘淑娥,牛良,宋银花,鲁振华,宗学普. 油桃新品种中油桃11号的选育[J]. 果树学报, 2010, 27(5):848-849.
WANG Zhiqiang, LIU Shue, NIU Liang, SONG Yinhua, LU Zhenhua, ZONG Xuepu. An extremely early maturing nectarine cultivar -Zhong You Tao 11[J]. Journal of Fruit Science, 2010, 27(5):848-849.
- [48] 牛良,王志强,鲁振华,崔国朝,刘淑娥,宋银花. 半矮生油桃新品种‘中油桃14号’的选育[J]. 果树学报, 2012, 29(6):176-177.
NIU Liang, WANG Zhiqiang, LU Zhenhua, CUI Guochao, LIU Shue, SONG Yinhua. A new semi- dwarf nectarine cultivar 'Zhong You Tao 14'[J]. Journal of Fruit Science, 2012, 29(6):176-177.
- [49] 潘磊,牛良,王志强,曾文芳,鲁振华,崔国朝. 早熟、耐贮桃新品种‘中油15号’的选育[J]. 果树学报, 2021, 38(1):142-145.
PAN Lei, NIU Liang, WANG Zhiqiang, ZENG Wenfang, LU Zhenhua, CUI Guochao. 'Zhong You 15', a new early ripening and storable peach cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(1):142-145.
- [50] 鲁振华,牛良,崔国朝,潘磊,曾文芳,王志强. 耐贮白肉油桃新品种‘中油20号’的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(11):1766-1768.
LU Zhenhua, NIU Liang, CUI Guochao, PAN Lei, ZENG Wenfang, WANG Zhiqiang. A new white flesh and stony-hard nectarine cultivar 'Zhong You 20'[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(11):1766-1768.
- [51] 牛良,王志强,刘淑娥,宋银花,鲁振华,宗学普. 早熟桃新品种‘春蜜’[J]. 园艺学报, 2010, 37(12):2029-2030.
NIU Liang, WANG Zhiqiang, LIU Shue, SONG Yinhua, LU Zhenhua, ZONG Xuepu. A new early maturing peach cultivar 'Chun Mi'[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(12):2029-2030.
- [52] 牛良,刘淑娥,鲁振华,宋银花,高昂,王志强. 早熟桃新品种春美的选育[J]. 果树学报, 2011, 28(3):540-541.
NIU Liang, LIU Shue, LU Zhenhua, SONG Yinhua, GAO Ang, WANG Zhiqiang. A new early maturing peach cultivar 'Chun Mei'[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(3):540-541.
- [53] 王力荣,朱更瑞,方伟超,陈昌文,曹珂,王新卫,赵佩. 桃新品种‘中桃紫玉’的选育[J]. 果树学报, 2016, 33(9):1177-1179.
WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CHEN Changwen, CAO Ke, WANG Xinwei, ZHAO Pei. A new peach cultivar 'Zhong Tao Zi Yu'[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(9):1177-1179.
- [54] 朱更瑞,王力荣,方伟超,陈昌文,曹珂,王新卫. 桃全红型早熟新品种‘中桃绯玉’的选育[J]. 中国果树, 2021(1):85-86.
ZHU Gengrui, WANG Lirong, FANG Weichao, CHEN Changwen, CAO Ke, WANG Xinwei. Breeding of a new early-maturing peach variety 'Zhong Tao Fei Yu'[J]. China Fruits, 2021(1):85-86.
- [55] 鲁振华,牛良,崔国朝,潘磊,曾文芳,王志强. 早熟黄肉桃新品种‘黄金蜜桃1号’的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(9):1434-1436.
LU Zhenhua, NIU Liang, CUI Guochao, PAN Lei, ZENG Wenfang, WANG Zhiqiang. An early ripening and yellow flesh peach variety 'Huang Jin Mi Tao 1'[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(9):1434-1436.
- [56] 牛良,鲁振华,崔国朝,曾文芳,潘磊,王志强. 离核桃新品种‘中桃4号’的选育[J]. 果树学报, 2016, 33(7):898-900.
NIU Liang, LU Zhenhua, CUI Guochao, ZENG Wenfang, PAN Lei, WANG Zhiqiang. Breeding report of a new peach cultivar 'Zhong Tao 4'[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(7):898-900.
- [57] 朱更瑞,王力荣,方伟超,左覃元,李素敏. 早熟油桃品种‘双喜红’[J]. 园艺学报, 2004, 31(2):275.
ZHU Gengrui, WANG Lirong, FANG Weichao, ZUO Qinyuan, LI Sumin. 'Shuang Xi Hong'-an early ripening nectarine variety[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2004, 31(2):275.
- [58] 牛良,鲁振华,崔国朝,曾文芳,潘磊,王志强. 早熟油桃新品种‘中油13号’的选育[J]. 果树学报, 2017, 34(4):519-521.
NIU Liang, LU Zhenhua, CUI Guochao, ZENG Wenfang, PAN Lei, WANG Zhiqiang. 'CN 13', an early ripening nectarine cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(4):519-521.
- [59] 朱更瑞,王力荣,陈昌文,方伟超,曹珂,王新卫,王玲玲. 早熟油蟠桃新品种‘中油蟠5号’的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(5):773-775.

- ZHU Gengrui, WANG Lirong, CHEN Changwen, FANG Weichao, CAO Ke, WANG Xinwei, WANG Lingling. Breeding of a new early-maturing oil flat peach variety 'Zhongyoupan 5' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(5): 773-775.
- [60] 王力荣, 陈昌文, 朱更瑞, 方伟超, 曹珂, 王新卫, 赵佩, 王小丽. 中熟油蟠桃新品种'中油蟠7号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(7): 1102-1105.
- WANG Lirong, CHEN Changwen, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CAO Ke, WANG Xinwei, ZHAO Pei, WANG Xiaoli. A new middle flat nectarine peach cultivar 'Zhong You Pan 7' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(7): 1102-1105.
- [61] 王力荣, 方伟超, 陈昌文, 朱更瑞, 曹珂, 王新卫, 张涛, 王玲玲. 早中熟油蟠桃新品种'中油蟠9号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(6): 942-944.
- WANG Lirong, FANG Weichao, CHEN Changwen, ZHU Gengrui, CAO Ke, WANG Xinwei, ZHANG Tao, WANG Lingling. A new early-middle flat nectarine peach cultivar 'Zhong You Pan 9' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(6): 942-944.
- [62] 王力荣, 陈昌文, 朱更瑞, 方伟超, 曹珂, 王新卫, 王小丽, 赵佩, 王玲玲. 蟠桃新品种'中蟠13号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(1): 144-147.
- WANG Lirong, CHEN Changwen, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CAO Ke, WANG Xinwei, WANG Xiaoli, ZHAO Pei, WANG Lingling. A new flat peach cultivar 'Zhongpan 13' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(1): 144-147.
- [63] 王力荣, 方伟超, 陈昌文, 朱更瑞, 曹珂, 王新卫, 李勇. 中熟蟠桃新品种'中蟠15号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(2): 286-288.
- WANG Lirong, FANG Weichao, CHEN Changwen, ZHU Gengrui, CAO Ke, WANG Xinwei, LI Yong. A new middle ripening flat peach cultivar 'Zhongpan 15' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(2): 286-288.
- [64] 朱更瑞, 王力荣, 陈昌文, 方伟超, 曹珂, 王新卫, 王蛟. 中晚熟蟠桃新品种'中蟠17号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(3): 445-448.
- ZHU Gengrui, WANG Lirong, CHEN Changwen, FANG Weichao, CAO Ke, WANG Xinwei, WANG Jiao. A new flat peach cultivar 'Zhong Pan 17' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(3): 445-448.
- [65] 陈昌文, 王力荣, 朱更瑞, 方伟超, 曹珂, 王新卫, 牛棚. 中熟蟠桃新品种'中蟠19号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(4): 610-612.
- CHEN Changwen, WANG Lirong, ZHU Gengrui, FANG Weichao, CAO Ke, WANG Xinwei, NIU Peng. A new middle ripening flat peach cultivar 'Zhongpan 19' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(4): 610-612.
- [66] 牛良, 孟君仁, 崔国朝, 潘磊, 曾文芳, 鲁振华, 王志强. 中熟白肉桃新品种'中桃5号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(10): 1593-1596.
- NIU Liang, MENG Junren, CUI Guochao, PAN Lei, ZENG Wenfang, LU Zhenhua, WANG Zhiqiang. Breeding of a middle ripening, white-fleshed peach cultivar 'Zhongtao 5' [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(10): 1593-1596.
- [67] 曾文芳, 牛良, 王志强, 潘磊, 鲁振华, 崔国朝. 早熟、耐贮藏新品种'中桃9号'的选育[J]. 果树学报, 2020, 37(7): 1098-1101.
- ZENG Wenfang, NIU Liang, WANG Zhiqiang, PAN Lei, LU Zhenhua, CUI Guochao. 'Zhong Tao 9', a new early ripening and storable peach cultivar [J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(7): 1098-1101.
- [68] 牛良, 鲁振华, 崔国朝, 曾文芳, 潘磊, 王志强. 黄肉鲜食桃品种'黄金蜜桃3号'的选育[J]. 果树学报, 2018, 35(10): 1297-1300.
- NIU Liang, LU Zhenhua, CUI Guochao, ZENG Wenfang, PAN Lei, WANG Zhiqiang. 'Golden Honey 3', a new yellow-fleshed fresh peach cultivar [J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(10): 1297-1300.
- [69] 潘磊, 牛良, 曾文芳, 鲁振华, 崔国朝, 闫乐乐, 王志强. 晚熟黄桃新品种'黄金蜜桃4号' [J]. 园艺学报, 2020, 47(S2): 2885-2886.
- PAN Lei, NIU Liang, ZENG Wenfang, LU Zhenhua, CUI Guochao, YAN Lele, WANG Zhiqiang. A late ripening yellow peach cultivar 'Huangjin Mitao 4' [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2020, 47(S2): 2885-2886.
- [70] 王虞英, 袁中衡, 冯德志, 孙百令. 极早熟甜油桃新品种早红珠、丹墨、早红霞[J]. 中国果树, 1995(3): 18-19.
- WANG Yuying, YUAN Zhongheng, FENG Dezhi, SUN Bailing. New lines of extremely early sweet nectarine: 'Zaohongzhu', 'Danmo', 'Zaohongxia' [J]. China Fruits, 1995(3): 18-19.
- [71] 刘佳琴, 王虞英, 宋婧祎. 甜油桃极早熟新品种丽春的选育[J]. 中国果树, 2006(2): 5-7.
- LIU Jiachen, WANG Yuying, SONG Jingyi. Breeding of a new sweet nectarine variety 'Lichun' with extremely early maturit [J]. China Fruits, 2006(2): 5-7.
- [72] 刘佳琴, 宋婧祎, 王虞英. 甜油桃黄肉极早熟新品种春光的选育[J]. 中国果树, 2006(6): 6-8.
- LIU Jiachen, SONG Jingyi, WANG Yuying. Breeding of 'Chun Guang', a new sweet nectarine variety with yellow flesh and extremely early ripening [J]. China Fruits, 2006(6): 6-8.
- [73] 王尚德, 周连第, 胡伟娟, 王虞英, 兰彦平. 2个甜油桃极早熟新品种新春和秀春的选育[J]. 中国果树, 2007(1): 3-5.
- WANG Shangde, ZHOU Liandi, HU Weijuan, WANG Yuying, LAN Yanping. Breeding of two very early sweet nectarine cultivars 'Xin Chun' and 'Xiu Chun' [J]. China Fruits, 2007(1): 3-5.
- [74] 王尚德, 兰彦平, 王虞英, 周连第, 周家华, 姚砚武. 油桃早熟大果型新品种望春的选育[J]. 中国果树, 2008(1): 4-6.
- WANG Shangde, LAN Yanping, WANG Yuying, ZHOU Liandi, ZHOU Jiahua, YAO Yanwu. Breeding of 'Wangchun', a new early-maturing and large-fruited nectarine variety [J]. China Fruits, 2008(1): 4-6.
- [75] 赵剑波, 任飞, 姜全, 郭继英, 王尚德, 张瑜, 王真, 李新越, 郑志琴, 郑书旗. 油桃早熟新品种'夏至红'的选育[J]. 中国果树, 2019(2): 76-77.
- ZHAO Jianbo, REN Fei, JIANG Quan, GUO Jiyong, WANG Shangde, ZHANG Yu, WANG Zhen, LI Xinyue, ZHENG Zhiqin, ZHENG Shuqi. Breeding of a new early-maturing nectarine variety 'Xia Zhi Hong' [J]. China Fruits, 2019(2): 76-77.
- [76] 张瑜, 赵剑波, 姜全, 郭继英, 任飞, 王尚德, 王真, 李新越, 郑志琴, 郑书旗. 早熟油桃新品种'夏至早红'. 园艺学报, 2018, 45

- (S2):2715-2716.
- ZHANG Yu, ZHAO Jianbo, JIANG Quan, GUO Jiying, REN Fei, WANG Shangde, WANG Zhen, LI Xinyue, ZHENG Zhiqin, ZHENG Shuqi. A new early-ripening nectarine variety 'Xia-zhizaohong' [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(S2): 2715-2716.
- [77] 郭继英,姜全,万保雄,赵剑波,任飞,张瑜,王尚德,王真,李新越.早熟油桃新品种'瑞光51号'[J].*园艺学报*,2019,46(S2): 2737-2738.
- GUO Jiying, JIANG Quan, WAN Baoxiong, ZHAO Jianbo, REN Fei, ZHANG Yu, WANG Shangde, WANG Zhen, LI Xinyue. A new early-ripening nectarine variety 'Rui Guang 51' [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(S2): 2737-2738.
- [78] 蒋海月,刘佳琴,王尚德,李志霞,王晓川,武文娟,王雁冰.油桃极早熟白肉新品种超红珠的选育[J].*中国果树*,2012(6):4-5.
- JIANG Haiyue, LIU Jiachen, WANG Shangde, LI Zhixia, WANG Xiaochuan, WU Wenjuan, WANG Yanbing. Breeding of a new nectarine variety 'Chaohongzhu' with extremely early maturity and white meat [J]. *China Fruits*, 2012(6): 4-5.
- [79] 刘佳琴,王尚德,蒋海月.桃观赏鲜食两用新品种忆春的选育[J].*中国果树*,2013(4):1-2.
- LIU Jiachen, WANG Shangde, JIANG Haiyue. Breeding of a new ornamental and table peach variety 'Yichun' [J]. *China Fruits*, 2013(4): 1-2.
- [80] 蒋海月,刘佳琴,王尚德,王晓川,武文娟.油桃早中熟白肉新品种京和油1号的选育[J].*中国果树*,2013(6):1-2.
- JIANG Haiyue, LIU Jiachen, WANG Shangde, WANG Xiaochuan, WU Wenjuan. Breeding of a new nectarine early-middle-maturing white meat variety 'Jing He You 1' [J]. *China Fruits*, 2013(6): 1-2.
- [81] 马瑞娟,俞明亮,杜平,宋宏峰,沈志军,许建兰,蔡志翔.油桃早熟新品种紫金红1号的选育[J].*中国果树*,2010(6):3-5.
- MA Ruijuan, YU Mingliang, DU Ping, SONG Hongfeng, SHEN Zhijun, XU Jianlan, CAI Zhixiang. Breeding of a new early-maturing nectarine cultivar 'Zi Jin Hong 1' [J]. *China Fruits*, 2010(6): 3-5.
- [82] 沈志军,马瑞娟,俞明亮,宋宏峰,蔡志翔.早熟油桃紫金红1号亲本的SSR鉴定[J].*华北农学报*,2009,24(6):205-209.
- SHEN Zhijun, MA Ruijuan, YU Mingliang, SONG Hongfeng, CAI Zhixiang. Parental analysis of new nectarine variety Zijinhong 1 by SSR [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24(6): 205-209.
- [83] 马瑞娟,俞明亮,许建兰,张斌斌,颜大华,张好艳.早熟油桃新品种'紫金红3号'的选育[J].*果树学报*,2017,34(11):1493-1495.
- MA Ruijuan, YU Mingliang, XU Jianlan, ZHANG Binbin, YAN Dahua, ZHANG Yuyan. Breeding of a new early-maturing nectarine variety 'Zi Jin Hong 3' [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(11): 1493-1495.
- [84] 叶正文,苏明申,张学英,高清华,骆军,吴钰良,庄恩及.早熟油桃新品种沪油002[J].*果树学报*,2007,24(4):561-262.
- YE Zhengwen, SU Mingshen, ZHANG Xueying, GAO Qinghua, LUO Jun, WU Yuliang, ZHUANG Enji. 'Hu You 002', a new early season nectarine cultivar [J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(4): 561-262.
- [85] 叶正文,苏明申,张学英,高清华,吴钰良,庄恩及.早熟油桃新品种沪油018的选育[J].*果树学报*,2005,22(5):291-292.
- YE Zhengwen, SU Mingshen, ZHANG Xueying, GAO Qinghua, WU Yuliang, ZHUANG Enji. 'Hu You 018', a new early season nectarine cultivar [J]. *Journal of Fruit Science*, 2005, 22(5): 291-292.
- [86] 高正辉,张金云,潘海发,伊兴凯,束冰,孙志想,徐义流.油桃新品种'满园红'[J].*园艺学报*,2012,39(11):2303-2304.
- GAO Zhenghui, ZHANG Jinyun, PAN Haifa, YI Xingkai, SHU Bing, SUN Zhixiang, XU Yiliu. A new nectarine cultivar 'Manyuan Hong' [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(11): 2303-2304.
- [87] 王力荣.桃新优品种与优质高效栽培技术[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2001:54-60.
- WANG Lirong. Peach new cultivar and high-efficiency cultivation technique [M]. Beijing: China Labor and Social Security Press, 2001: 54-60.
- [88] 陈昌文,朱更瑞,曹珂,方伟超,冯义彬,王力荣.设施栽培桃果实采后树体适宜修剪量的探讨[J].*果树学报*,2011,28(1):31-36.
- CHEN Changwen, ZHU Gengrui, CAO Ke, FANG Weichao, FENG Yibin, WANG Lirong. Study on the appropriate postharvest pruning amount of nectarine tree in greenhouse [J]. *Journal of Fruit Science*, 2011, 28(1): 31-36.
- [89] 江雪飞,乔飞,邹志荣,王力荣.疏脲、GA₃打破不同需冷量观赏桃花品种自然休眠的效果研究[J].*西北植物学报*,2005,25(5):1017-1021.
- JIANG Xuefei, QIAO Fei, ZOU Zhirong, WANG Lirong. Effect of Thiourea and GA₃ on endo-dormancy breaking of ornamental peach cultivars having different chill requirements [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(5): 1017-1021.
- [90] 王力荣,朱更瑞,左覃元,方伟超.油桃优异种质早红2号的评价与利用[J].*植物遗传资源学报*,2001,2(4):44-48.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qinyuan, FANG Weichao. Evaluation and utilization of excellent nectarine germplasm 'Early Red 2' [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2001, 2(4): 44-48.
- [91] 张政,董思佳,关海春.大连产区桃产业调研[J].*北方果树*,2017(2):51.
- ZHANG Zheng, DONG Sijia, GUAN Haichun. Investigation on the peach industry in Dalian producing area [J]. *Northern Fruits*, 2017(9): 51.
- [92] SANSVINI S, GAMBERINI A, BASSI D. Peach breeding, genetics and new cultivar trends [J]. *Acta Horticulturae*, 2006, 713: 23-48.
- [93] SHERMAN W B, RODRIGUEZ-ALAZAR J. Breeding of low chill peach and nectarine for mild winters [J]. *HortScience*, 1987, 7: 502-503.