

利用 InDel 分子标记鉴定华南型黄瓜 川绿青白早杂交种子纯度

李艺凡, 刘小俊, 梁根云, 李 春, 蔡 鹏, 龚方仪, 蓝艳红, 房 超

(四川省农业科学院园艺研究所·果蔬园艺作物种质创新与利用四川省重点实验室 成都 610011)

摘 要: 为了准确、快速和简便地鉴定华南型黄瓜川绿青白早杂交种子纯度, 根据川绿青白早的基因组信息, 筛选 InDel 位点, 并设计引物对川绿青白早及其亲本进行多态性筛选及纯度鉴定。从 16 对黄瓜 InDel 分子标记中筛选到 3 对 InDel 标记(QBZ-PI-1、QBZ-PI-8 和 QBZ-PI-9)符合父母本间呈互补带型的要求, 准确性验证与掺假测试结果表明, QBZ-PI-1、QBZ-PI-8 的分子标记鉴定结果与田间形态的鉴定结果一致, 并能将掺入的其他黄瓜品种区分开来。综上, 本研究构建了以黄瓜特异性 InDel 分子标记 QBZ-PI-1 和 QBZ-PI-8 为核心引物的川绿青白早杂交种子纯度鉴定的技术方法, 在 13 批不同制种农户的杂交种检测中表现优异, 可快速、简便和准确地鉴定该品种的种子纯度。本研究结果为该品种的制种和大规模推广提供了技术支持。

关键词: 黄瓜; InDel 标记; 川绿青白早; 纯度鉴定

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)09-115-06

Identification of hybrid seed purity in South China type cucumber Chuanlǚ Qingbaizao using InDel molecular marker

Li Yifan, Liu Xiaojun, Liang Genyun, Li Chun, Cai Peng, Gong Fangyi, Lan Yanhong, Fang Chao

(Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Horticultural Crops Germplasm Innovation and Utilization Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610011, Sichuan, China)

Abstract: To establish a rapid, simple, and accurate method for identifying hybrid seed purity of South China type cucumber Chuanlǚ Qingbaizao. Based on the genomic information of Chuanlǚ Qingbaizao, InDel loci were screened, and primers were designed to analyze polymorphisms and seed purity in Chuanlǚ Qingbaizao and its parental lines. Among 16 cucumber InDel markers, three markers (QBZ-PI-1, QBZ-PI-8, and QBZ-PI-9) exhibited complementary banding patterns between parental lines. Validation confirmed that QBZ-PI-1 and QBZ-PI-8 showed consistent results between molecular identification and field morphological evaluation. They could additionally distinguish seeds of other cucumber varieties mixed into the sample. This study developed a technical protocol using the cucumber-specific InDel marker QBZ-PI-1 and QBZ-PI-8 as core primers for hybrid seed purity identification in Chuanlǚ Qingbaizao, which performed well in hybrid detection in 13 batches of different seed farmers. This method enables rapid, simple, and accurate purity testing, providing technical support for seed production and large-scale promotion of this cultivar.

Key words: Cucumber; InDel marker; Chuanlǚ Qingbaizao; Purity identification

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)为葫芦科黄瓜属一年生攀缘性草本植物, 是世界上广泛种植的瓜类作物, 在国际上具有重要地位。黄瓜原产于喜马拉雅山南麓的印度北部和锡金邦、尼泊尔、缅甸及中国云南地区, 栽培黄瓜于汉武帝时代经丝绸之路传入中国^[1]。目前, 中国是全球黄瓜生产规模最大、产量最高的国家; 据 FAO 数据, 2021 年我国黄瓜播种面

积约 122.97 万 hm^2 、产量 6 623.08 万 t, 黄瓜在我国蔬菜生产中占有重要地位^[2]。黄瓜优良品种的选育, 对保障蔬菜市场供应、促进产业发展具有重要作用^[3-4]。种子质量直接影响果实品质、产量以及种植户与种子企业的经济效益^[5]。种子采后加工和处理的各个环节均需要质量检验, 种子纯度是质量检验的关键指标, 黄瓜 F_1 代杂交种的纯度鉴定则是衡

收稿日期: 2025-10-13; 修回日期: 2026-04-08

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川大宗蔬菜创新团队(SCCXTD-2024-5); “十四五”四川省蔬菜育种攻关(2021YFYZ0022)

作者简介: 李艺凡, 女, 助理研究员, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: 908092659@qq.com

通信作者: 刘小俊, 男, 研究员, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: lxjsaas@163.com

量种子质量的重要依据^[6]。传统的田间鉴定法,采用田间小区种植,以植株、果实、种子等农艺性状为依据开展纯度评价,该方法存在鉴定周期长、占地面积大等缺陷,且易受环境与人为因素的干扰,导致鉴定结果准确性和稳定性较差,难以满足现代种业的生产需求^[7-9]。因此,建立快速、精准的杂交种纯度检测方法,对保证种子质量、提高生产效益具有重要意义^[10]。DNA分子标记是能够反映生物个体或种群间基因组差异的特异性DNA片段;基于聚合酶链式反应(PCR)技术的分子标记因具有结果可靠、重复性好、成本较低等优势,在农作物及蔬菜育种中得到广泛应用^[11-13]。黄瓜中常用的DNA分子标记包括随机扩增多态性DNA标记(RAPD)^[14]、扩增片段长度多态性标记(AFLP)、插入或缺失DNA标记(InDel)、简单重复序列标记(SSR)、相关序列扩增多态性标记(SRAP)和基于单核苷酸多态性开发的酶切扩增多态性标记(CAPS)等。其中InDel标记因具有稳定性高、多态性好、分型简便等特点,已在小麦、玉米、油菜、白菜等作物的种子纯度鉴定中广泛应用^[15-19]。在黄瓜中,InDel标记多用于种质资源的多样性分析和遗传群体的分类及基因定位研究^[20-22],目前尚未见其应用于黄瓜杂交种纯度鉴定的相关报道。

川绿青白早是四川省农业科学院园艺研究所选育的华南型黄瓜F₁代杂交种,具有无苦味、早熟、强雌性等特点;单瓜质量200~260 g,瓜条顺直匀称,口感脆嫩汁多,风味浓郁,耐低温弱光能力强,对霜霉病、白粉病等黄瓜主要叶部病害抗性优异,每667 m²产量3000~4000 kg。该品种近两年在四川、重庆、湖南、湖北、江西等地推广表现出了较大的推广潜力。随着种子需求量的增加,杂交种纯度的鉴定工作愈发重要。鉴于此,笔者从16对黄瓜InDel引物中筛选出适用于川绿青白早及其亲本的特异性引物,构建基于InDel分子标记的种子纯度鉴定技术体系,以提高鉴定效率,降低检测成本,为该品种的开发利用与推广提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料川绿青白早F₁代杂交种及其母本H20-73和父本H21-87均由四川省农业科学院园艺研究所黄瓜课题组(以后简称本课题组)提供。用于筛选特异性引物及掺假法验证的黄瓜品种包括川绿15号、川绿2号、川翠3号、川翠13号、川绿

11号、川绿5号、川绿小玉,均由本课题组提供。2024年4月播种于四川省农业科学院郫都区试验基地,采用随机区组设计,3次重复,共300株,成熟后通过田间性状进行纯度鉴定。

1.2 方法

1.2.1 基因组DNA提取 使用CTAB法提取基因组DNA。步骤如下:(1)取幼嫩叶片约0.25 cm²(0.5 cm×0.5 cm)于2.0 mL离心管中,加入2粒钢珠,用组织磨样仪研磨;(2)加入500 μL CTAB提取液于离心管中,65℃水浴30 min,其间混匀2次;(3)加入等体积的抽提液(氯仿、异戊醇体积比24:1)于离心管中,摇床上充分混匀20 min后,12 000 r·min⁻¹离心7 min,将上清液转移至新的离心管中;(4)向装有上清液的离心管中加入上清液体积1.5倍的预冷无水乙醇后,-20℃静置20 min,然后12 000 r·min⁻¹离心10 min;(5)弃上清液,加入1 mL 75%乙醇漂洗沉淀;(6)去掉漂洗液,室温干燥后,加入200 μL灭菌水溶解;(7)使用NanoDrop one微量紫外可见分光光度计检测DNA浓度和质量,并将DNA质量浓度稀释为50~100 ng·μL⁻¹用作工作液。

1.2.2 PCR扩增及聚丙烯酰胺电泳 PCR反应体系(10 μL):1 μL DNA模板(50 ng·μL⁻¹),5 μL 2×PCR Mix,正反向引物(10 μmol·L⁻¹)各0.5 μL,加ddH₂O至10 μL。PCR扩增程序:95℃预变性5 min,95℃变性30 s,60℃退火30 s,72℃延伸30 s,循环32次,72℃延伸5 min。使用8%非变性聚丙烯酰胺凝胶进行电泳检测,点样孔加入1 μL混合产物,200 V电压下电泳2 h。电泳完成后将凝胶剥离,置于纯水中漂洗,然后将凝胶置于银染液(0.1% AgNO₃溶液)中8~10 min,银染完成后取出凝胶并用纯水清洗,放入显影液(30 g NaOH和0.6 g Na₂CO₃溶于1.5 L ddH₂O后,再加入6 mL甲醛)中显影,直到条带清晰可见,取出后用自来水漂洗。

1.2.3 InDel引物设计 基于重测序数据(川绿青白早、川绿小玉、川翠13号等),比较品种间的InDel信息,筛选川绿青白早差异大于25 bp的特异性InDel位点,根据InDel位点信息,使用TBtools-II导出其上下游300 bp的序列^[23]。利用Primer 6软件设计引物,确保引物长度为18~24 bp,GC含量控制在40%~60%,退火温度设定为(60±3)℃。设计完成后,通过BLAST比对验证引物特异性,排除扩增位置不单一的引物组合,最终筛选出16对InDel引物(表1)用于后续分析。引物由北京擎科生物科技

表 1 16 对引物序列
Table 1 Sequences of 16 pairs primer

引物名称	正向引物序列 Forward primer sequence	反向引物序列 Reverse primer sequence
QBZ-PI-1	GCCCAATTCTCCTCCTCCTCCT	TCTGATGCTGCCTTGTTGTTCC
QBZ_PI-2	CACACCCTCCCTATTCCCAGTCTT	ATAAGGATCGGCGACGGAAGAAGA
QBZ_PI-3	GCTGCAATCATGGTGGAGAGGTT	GACAGCACACCACATCACACACT
QBZ_PI-4	GTACGGCTGGCTTAGATGGAAGG	GTCCCTTGGGCTTGAGATGTGAG
QBZ_PI-5	AGTAATCGCCGCCTTAGGAATGGA	TGAGGATGACCGACGACAATTTGG
QBZ_PI-6	TTGCTGCTGGTTCGTTGTTGTTTC	GCCTCCTGCCGTGAAGACATTAC
QBZ_PI-7	GGACCATCGCAACCCATCAAATTC	GGAAGTGGAGGAGGCTATGGAAGT
QBZ-PI-8	ACTCGAAACGTGGAAGTGAGAA	TGCAAGAGAGGTAGCTGGACAGAA
QBZ-PI-9	TCAACATTAGAAGTTTGATTCTCA	TTGTCAACATGCTCACAGTTTCATC
QBZ-PI-10	GCATGGCTTGATAAAGAAGCAACA	AGGACTTTGTGCAGAGCAACTTTCT
QBZ-PI-11	AACCGAAACCGCTTGAACCG	AGTTGAAGACAGGCTGTAATTGGT
QBZ-PI-12	GCCAGATTCTGCCACTCAGGATC	AAGCAAGGAAGCAAGAAAGGTGTG
QBZ-PI-13	AGGTGTGCGTAAGCTGGTCTG	GCCTCCTAGCCCTCCATATACTGT
QBZ-PI-14	CCCATCACTCTCATTCTCTCCTTT	TGAATGATGCAAGAATGGTTGTCC
QBZ-PI-15	TCCACTCCTACGGTGTGAACGAA	CCACATTCACCACCATCCTGATCT
QBZ-PI-16	ACTGGATTGTATTGTCTTAAGGC	GGCGGTTGAGACATGAAGTAGG

有限公司合成。

1.2.4 特异性引物筛选 以川绿青白早及其亲本 DNA 混池为模板,筛选在川绿青白早父母本间呈现共显性的引物。共显性引物的条件为:(1)川绿青白早 2 个亲本池各扩增出一条大小不同的条带;(2)川绿青白早杂交种同时扩增出 2 个亲本池的条带。同时添加川绿 15 号、川绿 2 号、川翠 3 号、川翠 13 号、川绿 11 号、川绿 5 号、川绿小玉等品种的 DNA 样品,筛选用于鉴定川绿青白早杂交种纯度以及区分本课题组育成的其他品种的特异性 InDel 引物。

1.2.5 田间形态验证 在盛果期,通过黄瓜植株的农艺性状(包括株高、株型、叶型、果实形状、瓜长等)进行川绿青白早植株的田间鉴定,同时使用候

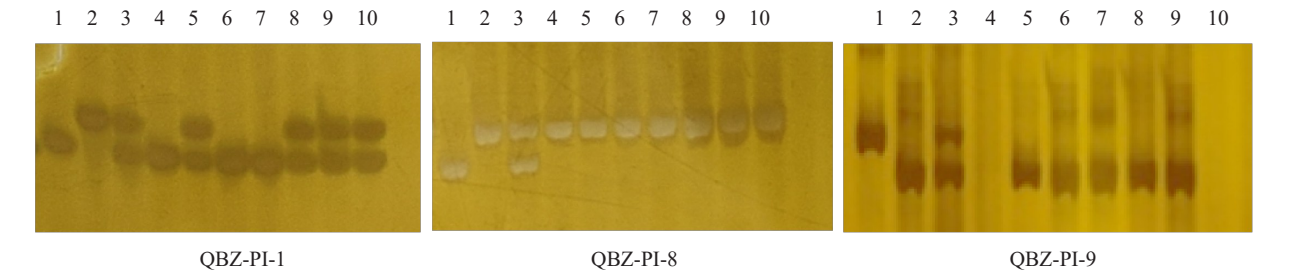
选分子标记进行纯度鉴定,对候选引物的有效性进行验证。

1.2.6 掺假法验证 选择本课题组选育的黄瓜品种川绿 15 号和川翠 3 号(与川绿青白早无共同亲本)作为假种子,利用候选分子标记进行扩增,并通过电泳检测扩增的条带,再次检验候选分子标记对川绿青白早种子纯度鉴定的特异性和有效性。

2 结果与分析

2.1 特异性 InDel 分子标记的筛选

使用 16 对均匀分布在黄瓜染色体上的 InDel 分子标记对川绿青白早及其亲本 DNA 的混池进行扩增,经过聚丙烯酰胺凝胶电泳后对照 1.2.4 中的筛选条件对引物进行筛选。如图 1 所示,符合在川



注:1. 川绿青白早母本 H20-73;2. 川绿青白早父本 H21-87;3. 川绿青白早;4~10. 川绿 15 号、川绿 2 号、川翠 3 号、川翠 13 号、川绿 11 号、川绿 5 号、川绿小玉。

Note: 1. Female parent of Chuanlü Qingbaizao, named H20-73; 2. Male parent of Chuanlü Qingbaizao, named H21-87; 3. Chuanlü Qingbaizao; 4-10. Chuanlü 15, Chuanlü 2, Chuancui 3, Chuancui 13, Chuanlü 11, Chuanlü 5, Chuanlü Xiaoyu.

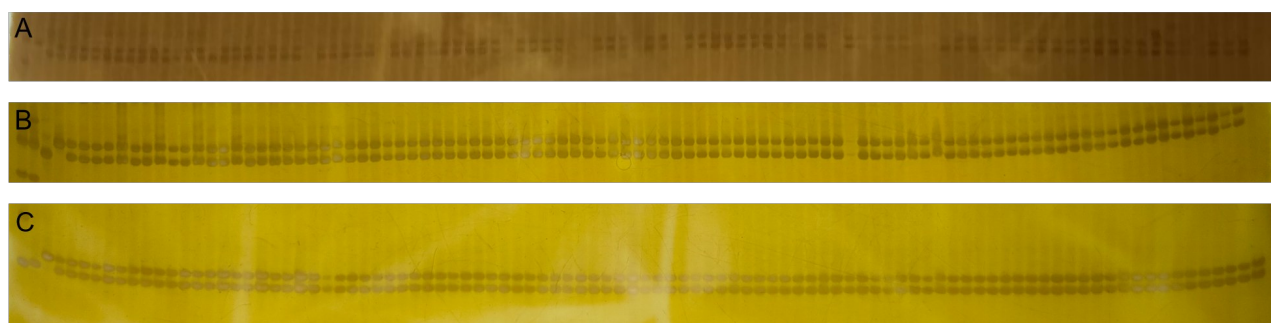
图 1 川绿青白早及其亲本间的引物筛选
Fig. 1 Screening of primer between Chuanlü Qingbaizao and its parents

绿青白早父母本间呈现共显性要求的引物有多对,均表现为川绿青白早亲本为大小不同的单一条带,而川绿青白早兼具父母本带型,其中符合共显性和特异性条件的引物共计3对,分别是QBZ-PI-1、QBZ-PI-8、QBZ-PI-9。

2.2 多态性引物的重复性检验

使用筛选出的3对多态性引物对川绿青白早亲本及 F_1 进行重复性检验。每对引物分别在3次独立试验中进行PCR扩增,聚丙烯酰胺凝胶电泳结

果表明,3对引物在3次独立事件中表现一致,是重复性较好的PCR引物。然后使用3对引物对94株川绿青白早植株进行分子标记验证,结果表明,所有植株的扩增条带均与预期相符,表现出杂合带型(除少量未扩增样品外),杂交种纯度均为100%,且在不同试验中的扩增结果高度一致,条带清晰且位置稳定,未出现非特异性扩增现象(图2)。进一步证明了这3对引物的可靠性。此外,在不同试验条件下,包括温度和试剂批号的变化,QBZ-PI-1和



注:模板顺序为川绿青白早母本、川绿青白早父本、川绿青白早杂交种;A. QBZ-PI-9 扩增结果;B. QBZ-PI-8 扩增结果;C. QBZ-PI-1 扩增结果。

Note: The sequence of the corridors is as follows: Female parent of Chuanlü Qingbaizao, male parent of Chuanlü Qingbaizao, and Chuanlü Qingbaizao hybrid; A. Amplification results of primer QBZ-PI-9; B. Amplification results of prime QBZ-PI-8; C. Amplification results of primer QBZ-PI-1.

图2 3对差异引物对川绿青白早的纯度鉴定

Fig. 2 Purity identification of Chuanlü Qingbaizao by three pairs of polymorphic primers

QBZ-PI-8 引物的表现依然稳定,显示出良好的试验适应性,进一步支持了这些引物在种子纯度鉴定中的应用价值。上述重复性检验表明,筛选出的多态性引物QBZ-PI-1和QBZ-PI-8具有良好的重复性和适用性,可作为后续种子纯度鉴定的核心工具。

2.3 田间表型鉴定

田间农艺性状(包括株高、株型、叶型、果实形状、瓜长等)鉴定结果显示,94株川绿青白早植株均为杂交种,纯度为100%;与QBZ-PI-1(93株)、QBZ-PI-8(94株)分子标记的鉴定结果一致。将QBZ-PI-1与QBZ-PI-8标记用于2年13批次不同农户的川绿青白早制种纯度鉴定,在300 kg种子中进行抽检,与田间形态验证相比较,结果一致。以上结果表明,QBZ-PI-1与QBZ-PI-8分子标记的鉴定结果与形态鉴定结果一致,2对候选引物可以有效和准确地鉴定川绿青白早的种子纯度。

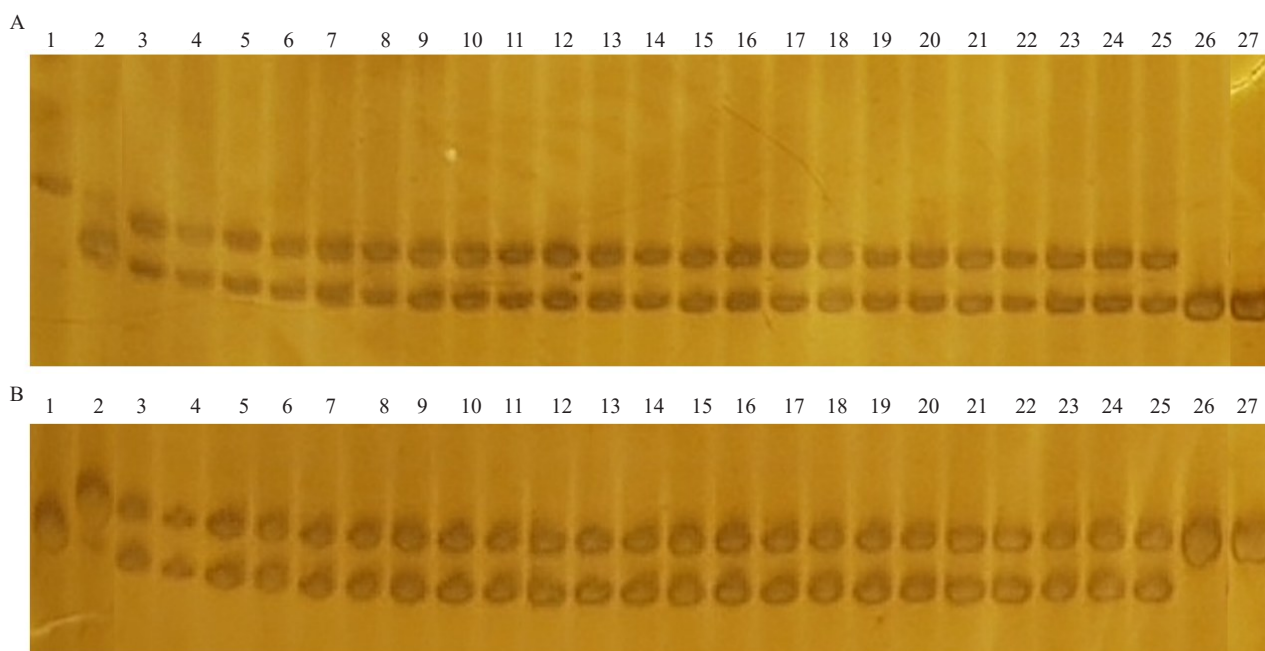
2.4 掺假法验证

在川绿青白早种子中随机增加本课题组选育的黄瓜品种川绿15号和川翠3号作为“假种子”,

并使用QBZ-PI-1(假种子共2份)和QBZ-PI-8(假种子共3份)分子标记对混合了假种子的川绿青白早进行鉴定。结果显示,QBZ-PI-1和QBZ-PI-8引物在川绿青白早中为杂合双条带型(图3),而在川绿15号和川翠3号中为单条带型,引物检测敏感性高,结果可靠,说明分子标记QBZ-PI-1和QBZ-PI-8可以将川绿青白早种子与本课题组选育的川绿15号和川翠3号种子进行有效区分。

3 讨论与结论

传统的田间形态学标记鉴定方法在测试植物的特异性、一致性、稳定性时,易受主观判断或环境条件的干扰,导致其在对育种材料或品种间的差异鉴别方面的能力已难以适应现代育种的实际需求^[24]。黄瓜作为非主要农作物,纯度鉴定是确保种子质量的核心环节。为加强对已登记品种的规范管理,落实中央种业振兴市场净化行动,自2021年起,农业农村部对向日葵、黄瓜、甜瓜等作物利用DNA指纹鉴定技术进行了问题品种的清理工作,并



注:1. 川绿青白早母本 H20-73;2. 川绿青白早父本 H21-87;3~25. 川绿青白早;26. 川绿 15 号;27. 川翠 3 号。

Note: 1. Female parent of Chuanlü Qingbaizao, named H20-73; 2. Male parent of Chuanlü Qingbaizao, named H21-87; 3-25. Chuanlü Qingbaizao; 26. Chuanlü 15; 27. Chuancui 3.

图 3 引物 QBZ-PI-1(A)与 QBZ-PI-8(B)对川绿青白早的掺假测试

Fig. 3 Adulteration test of Chuanlü Qingbaizao using primer pairs QBZ-PI-1(A) and QBZ-PI-8(B)

将持续推进该举措^[25]。

DNA 分子标记具有检验效率高、成本较低、标记分布均匀且准确性高等优势,已在种子纯度鉴定中发挥重要作用。而随着高通量测序技术的不断发展,基因组信息的获取变得更加快捷,便于更高效、精准地设计并筛选分子标记。在葫芦科作物中,SSR、InDel 等分子标记已广泛应用于甜瓜、西瓜、南瓜等作物的前景选择与种子纯度鉴定,有效解决了传统形态学鉴定的局限性^[26-28]。本研究表明,InDel 分子标记能够有效反映黄瓜基因组中的多态性位点,可作为黄瓜新品种纯度鉴定的有效方法,在黄瓜品种审定与登记等方面发挥重要作用。

SSR、InDel 等分子标记的检测需依赖琼脂糖或聚丙烯酰胺凝胶电泳,与之相比,KASP 标记因具备分型高效、无需电泳操作的优势,也已逐步应用于西瓜和番茄的种子纯度鉴定^[29-30],但由于费用较高,尚未进行大面积应用。

综上所述,笔者采用 InDel 分子标记技术,对黄瓜川绿青白早进行杂交种纯度鉴定,田间农艺性状鉴定结果与分子标记鉴定结果一致。进一步通过掺假法验证显示,QBZ-PI-1 和 QBZ-PI-8 这 2 对标记能够准确区分川绿青白早杂交种子与本课题组

选育的华南型黄瓜川绿 15 号和华北型黄瓜川翠 3 号,是多态性良好且对川绿青白早品种具有特异性的有效引物组合,可对川绿青白早种子纯度进行早期鉴定。

参考文献

- [1] 林德佩. 黄瓜植物的起源和分类研究进展[J]. 中国瓜菜, 2017, 30(7): 1-3.
- [2] 江彪, 闫晋强, 晏石娟, 等. 葫芦科作物基因组学研究进展[J]. 广东农业科学, 2023, 50(4): 1-13.
- [3] 张圣平, 苗晗, 薄凯亮, 等. “十三五”我国黄瓜遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2021(4): 16-26.
- [4] 吴雪霞, 查丁石, 杨少军. 我国黄瓜育种研究进展[J]. 江西农业学报, 2010, 22(9): 53-55.
- [5] 莫龙飞, 孙建磊, 高超, 等. SSR 标记对甜瓜杂交种‘玉贵人’纯度的鉴定[J]. 分子植物育种, 2024, 22(9): 2959-2964.
- [6] 陆英, 沈晓晓. 提高蔬菜种子质量关键措施[J]. 种子科技, 2010, 28(8): 21-22.
- [7] 孙海燕, 顾雯雯, 王淑园, 等. 利用 SSR 标记鉴定杂交粳稻常优 1 号种子纯度[J]. 分子植物育种, 2014, 12(6): 1128-1132.
- [8] 颜启传. 杂交水稻三系及其杂交种种子真实性鉴定和纯度检验[J]. 种子, 1984(3): 17-20.
- [9] 罗黎明, 刘丽, 于丽娟, 等. DNA 分子标记技术在玉米种子纯度鉴定中的应用[J]. 生物技术进展, 2011, 1(1): 7-13.
- [10] 吴明生, 贾希海, 田雷, 等. 利用 SSR 技术快速准确鉴定杂交玉米种子纯度(英文)[J]. 分子植物育种, 2006, 4(3): 381-384.

- [11] 赵光伟,欧点点,贺玉花,等. SSR 标记对甜瓜杂交种众天翠雪纯度的鉴定[J]. 中国农学通报, 2017, 33(9): 37-40.
- [12] 张玉铎,郭永杰,张东雷,等. 不同香菇品种拮抗反应- ISSR 标记与农艺性状分析[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(2): 40-44.
- [13] 杜朝金,张汉尧,罗心平,等. 分子标记在荔枝和龙眼应用中的研究进展[J]. 中国果树, 2024(1): 1-10.
- [14] Panyanitikoon H, Khanobdee C, Janttasuri Y C, et al. Genetic variation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) germplasm assessed using random amplified polymorphic DNA markers[J]. Agriculture and Natural Resources, 2018, 52(5): 497-502.
- [15] Jander G, Norris S R, Rounsley S D, et al. *Arabidopsis* map-based cloning in the post-genome era[J]. Plant Physiological, 2002, 129(2): 440-450.
- [16] 郭江涛,吕远大,赵妹楠,等. InDel 分子标记 WC656 的开发及其在鉴别小麦-簇毛麦 5VS 纯合易位中的应用[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(9): 1115-1124.
- [17] 丁戈,陈伦林,邹小云,等. 甘蓝型油菜橘黄花色基因的 QTL-seq 遗传分析及 InDel 分子标记开发[J]. 分子植物育种, 2019, 17(12): 3983-3992.
- [18] 杜雨晴,王歆,杨子腾,等. 玉米杂交种瑞华玉 288 指纹图谱构建及其纯度鉴定[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2025, 53(2): 34-42.
- [19] 徐世静,王晓玲,肖艳,等. 利用 InDel 分子标记鉴定新乡小包 23 大白菜种子纯度[J]. 中国瓜菜, 2025, 38(7): 49-53.
- [20] 李毅,宋晓飞,李晓丽,等. 黄瓜果顶形状遗传与 QTL 定位[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(7): 7-13.
- [21] 张红梅,翟文,金海军,等. 利用 InDel 标记分析 23 份黄瓜种质的遗传多样性及核心种质资源筛选[J]. 上海农业学报, 2019, 35(4): 28-33.
- [22] 卢霞,刘梦华,邓志军,等. 基于 InDel 标记的黄瓜种质资源遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(1): 49-54.
- [23] Chen C J, Wu Y, Li J W, et al. TBtools-II: A "one for all, all for one" bioinformatics platform for biological big-data mining[J]. Molecular Plant, 2023, 16(11): 1733-1742.
- [24] 李超,杨英,陈伟,等. 西州密系列甜瓜 SSR 指纹图谱构建及聚类分析[J]. 园艺学报, 2022, 49(3): 622-632.
- [25] 祖祎祎. 打击种业“李鬼”护航品种创新[N]. 农民日报, 2023-12-20(6).
- [26] 朱晨辉,黄雨青,李白,等. 利用数据库开发网纹甜瓜抗白粉病分子标记[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(5): 1206-1209.
- [27] 刘阳萍. 基于 InDel 标记西瓜遗传图谱构建及单果重 QTL 分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022.
- [28] Li C, He Z, Li Y, et al. Fine mapping of bush gene and development of molecular marker for bush type in pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) [J]. Agronomy, 2024, 14(12): 2967.
- [29] 王方方,刘宽,李杰,等. 西瓜品种 KASP 指纹图谱构建和种子纯度鉴定[J]. 种子, 2026, 45(2): 26-31.
- [30] 苏晓梅,杨宗辉,刘淑梅,等. 番茄品种 KASP 标记鉴定技术体系的构建与应用[J]. 中国农业科学, 2025, 58(22): 4746-4756.