DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0728

利用 InDel 标记鉴定开蔬七号大白菜种子纯度

冯健起[1],丁　聪[1],张文静[2],张　雪[2,3],王培云[1],生园园[1],
赵艳艳[2],魏小春[2],原玉香[2],张宝金[4],张晓伟[2]

(1.开封市农林科学研究院　河南开封　475004;　2.河南省农业科学院蔬菜研究所　郑州　450002;　3.中国农业科学院蔬菜花卉研究所　北京　100081;　4.河南豫艺种业科技发展有限公司　郑州　450002)

摘　要:大白菜杂交种纯度精准检测是良种产业化的关键,传统田间表型鉴定耗时久、易受环境干扰,而 InDel 分子标记具备快速、稳定、精准的检测优势。为分析大白菜杂交种开蔬七号的种子纯度,以其父母本为材料,从 12 对已开发的 InDel 标记中筛选出 3 对在亲本间具有清晰多态性差异的标记(BrID10433、BrID90430 和 BrID90147),并利用其对 F_1 代种子进行纯度鉴定。结果表明,上述标记所鉴定的种子纯度分别为 97.8%、98.3%和 98.3%,田间表型纯度鉴定结果为 98.9%。说明该 3 对 InDel 分子标记可用于快速、准确鉴定开蔬七号的种子纯度,为其推广应用提供了可靠的技术支持。为进一步分析这些标记是否能够区分开蔬七号的同类型品种开蔬五号,采用上述 3 对标记对开蔬五号的亲本进行鉴定。结果显示,标记 BrID90147 和 BrID90430 可特异性地用于开蔬七号杂交种的纯度鉴定,而标记 BrID10433 则同时适用于开蔬七号与开蔬五号 2 个杂交种的纯度鉴定。

关键词:大白菜;开蔬 7 号;InDel 标记;纯度鉴定

中图分类号:S634.1　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1673-2871(2026)10-042-07

Hybrid purity identification of Chinese cabbage Kaishu No. 7 using InDel marker

Feng Jianqi[1], Ding Cong[1], Zhang Wenjing[2], Zhang Xue[2,3], Wang Peiyun[1], Sheng Yuanyuan[1], Zhao Yanyan[2], Wei Xiaochun[2], Yuan Yuxiang[2], Zhang Baojin[4], Zhang Xiaowei[2]

(*1. Kaifeng Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Kaifeng 475004, Henan, China; 2. Vegetable Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China; 3. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Henan Yuyi Seed Technology Development Co., Ltd., Zhengzhou 450002, Henan, China*)

Abstract: Accurate detection of hybrid seed purity in Chinese cabbage is key to the industrialization of elite seed production. Traditional field phenotypic identification is time-consuming and susceptible to environmental interference, whereas InDel molecular markers offer the advantages of rapid, stable, and accurate detection. To identify the seed purity of the Chinese cabbage hybrid Kaishu No. 7, this study used its parental lines as materials, screened 3 pairs of markers with clear polymorphic differences between the parents from 12 previously developed InDel markers (BrID10433, BrID90430, and BrID90147), and used them to identify the purity of F_1 seeds. The results showed that the seed purities identified by the above markers were 97.8%, 98.3%, and 98.3%, respectively, while the field phenotypic purity was 98.9%. The molecular marker identification results were largely consistent with the field results. The applicability of these markers was further verified using the same type cultivar Kaishu No. 5. The results showed that BrID90147 and BrID90430 could be specifically used for purity identification of the Kaishu No. 7 hybrids, while BrID10433 was simultaneously applicable to purity identification of both Kaishu No. 7 and Kaishu No. 5 hybirds. In conclusion, these 3 pairs of InDel molecular markers can be used for rapid and accurate identification of the seed purity of Kaishu No. 7, providing reliable technical support for its promotion and application.

Key words: Chinese cabbage; Kaishu No. 7; InDel marker; Purity identification

收稿日期:2025-10-22;**修回日期:**2026-08-23

基金项目:河南省科技研发计划联合基金(242301420127);中原学者工作站(ZYGZZ2024124);中原学者工作站资助项目(254400510004);河南省自然科学基金(252300421666);河南省农业良种联合攻关项目(2026010901)

作者简介:冯健起,男,副研究员,主要从事大白菜遗传育种与栽培研究工作。E-mail:ks6918@163.com

共同第一作者:丁　聪,女,助理研究员,研究方向为大白菜遗传育种与栽培。E-mail:d_cong123@163.com

通信作者:张晓伟,男,研究员,主要从事蔬菜遗传育种研究工作。E-mail:xiaowei5737@163.com

大白菜（*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*）是原产于我国的十字花科蔬菜，具有种质资源丰富、类型多样、口感鲜美、食用方式广泛、价格低廉等特点，在我国蔬菜产业中占据重要地位[1]。杂种优势利用是大白菜育种中应用最早、最为广泛的育种途径，因此杂交种纯度的准确鉴定对品种选育与推广应用尤为关键[2]。目前，田间小区种植鉴定虽被认为是评价杂交种纯度最可靠的方法，但存在周期长、成本高、易受环境条件影响等不足[3]。因此，建立简便、快速的种子纯度鉴定技术，对育种实践具有重要指导意义。

近年来，伴随分子生物学的快速发展及多种作物全基因组测序的完成，利用分子标记进行大白菜纯度鉴定的技术日趋普及，相关方法包括SSR标记、InDel标记、RAPD标记、SRAP标记及AU-PAGE蛋白质电泳等。赵新等[4]基于NCBI数据库信息，利用复合EST-SSR标记对10份大白菜杂交种的纯度进行鉴定，成功筛选出适用于6份材料的SNP位点及适用于全部10份材料的SSR标记。薛银鸽等[5]开发出3对在豫新四号及其亲本间具有清晰多态性的InDel标记，鉴定纯度均达98%以上。宋顺华等[6]采用RAPD标记对北京57号和北京106号杂交大白菜种子进行检测，纯度分别为77%和70%。严慧玲等[7]筛选出可区分大白菜多抗3及其亲本的SRAP引物，对5份商品种子的纯度鉴定结果均在89%以上。张承毅等[8]则利用改进的AU-PAGE蛋白质电泳法对开鲁白1号和晋菜3号大白菜种子进行了纯度鉴定。冯健起等[9]、徐世静等[10]利用InDel标记分别对汴早九号、新乡小包23、农大Q210等大白菜杂交种进行了纯度鉴定；唐昊等[11]结合KASP与InDel标记对吉美8号大白菜种子纯度的鉴定结果为96.32%，两种方法所得结果完全一致；寇欣怡等[12]采用KASP标记、InDel标记及基于自交不亲和S单元型标记3种方法鉴定出豫白CR3的种子纯度为98.94%，且3种方法的鉴定结果表现出良好的一致性。上述研究表明，分子标记在大白菜杂交种纯度鉴定中的应用日趋广泛，且具有稳定、可靠的特点。除上述优势外，InDel标记兼具多态性高、检测成本低和试验重复性好等优势[13-14]，可填补传统标记体系在中等通量研究中的技术空白。

开蔬七号是由开封市农林科学研究院培育的大白菜品种，父本为XF05-4，母本为230-4-3，于2018年通过农业农村部非主要农作物品种登记[15]。该品种综合表现优良，株型呈矮桩叠抱，叶片罩顶能力强，软叶率高，炖煮后汤品风味佳，适播期长，对病毒病、黑腐病和霜霉病具有较强抗性，蛋白质、维生素C及可溶性糖含量均较高[16]，适宜在河南、山东等白菜主产区推广种植。为保障该品种的大规模推广与产业化应用，确保杂交种子纯度已成为关键环节。本研究利用已开发的12对InDel标记[17]，对开蔬七号双亲（P_1和P_2）进行多态性筛选，选取亲本间带型差异清晰、扩增稳定、重复性好的标记，用于该品种杂交种子纯度鉴定。通过聚丙烯酰胺凝胶电泳检测，统计具有双亲互补带型的单株比例，计算杂交种子纯度。同时，在相同生长周期内，于田间开展苗期植株形态等关键农艺性状调查，并与分子标记鉴定结果进行比对验证。综合分子标记与田间表型数据，可系统评价开蔬七号杂交种的纯度。

1　材料与方法

1.1　材料

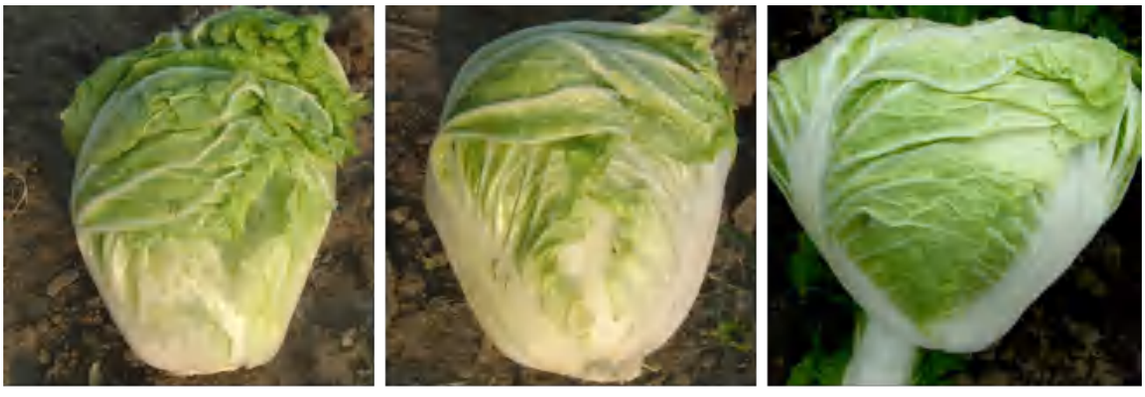
供试材料为开蔬七号亲本XF05-4、230-4-3及F_1种子（图1），均由开封市农林科学研究院提供；所用InDel标记由生工生物工程（上海）股份有限公司合成。田间表型及纯度鉴定于2024年8月在开封市农林科学研究院完成；InDel标记纯度鉴定于2024年8月在河南省农业科学院蔬菜研究所完成。

1.2　方法

1.2.1　基因组DNA提取　分子试验在河南省农业科学院蔬菜研究所分子生物学试验室进行，开蔬七号亲本及F_1种子直播至培养基质中，待幼苗长至3叶1心时取幼嫩叶片用于提取基因组DNA，幼苗定植于开封市农林科学研究院试验基地。采用CTAB法参照魏小春等[17]改良提取大白菜基因组DNA，−20 ℃储存以备后续使用。

1.2.2　PCR扩增反应体系及程序　本研究所用DNA聚合酶为2×Es *Taq* MasterMix（Dye），购自康为试剂公司。配制20 μL反应体系，包括10 μL 2×Es *Taq* MasterMix（Dye），InDel标记正向引物1 μL、InDel标记反向引物1 μL、基因组DNA模板2 μL、ddH_2O 6 μL。反应程序如下：95 ℃预变性5 min，95 ℃变性5 min，56 ℃退火30 s，72 ℃延伸30 s，循环数35，72 ℃终延伸10 min，4 ℃保存。

1.2.3　InDel标记来源及筛选　本研究所用的12对InDel标记由河南省农业科学院蔬菜研究所根据大白菜全基因组序列开发，具体信息如表1所示。



XF05-4　　230-4-3　　开蔬七号 Kaishu No. 7

图 1　开蔬七号及其亲本结球表型

Fig. 1　The heading phenotype of Kaishu No. 7 and the parents

以开蔬七号亲本 P_1（XF05-4）、P_2（230-4-3）为模板，分别对 12 对 InDel 标记进行扩增，并对扩增产物利用聚丙烯酰胺凝胶电泳进行分析，筛选出在两亲本间条带清晰且差异明显的 InDel 标记，用于后续杂交种纯度鉴定。再以开蔬五号亲本 P_3（98-郑安大）、P_4（98-230）为模板，对筛选出的 3 对 InDel 标记进行扩增，以推广至后续杂交种纯度鉴定。

1.2.4　开蔬七号 F_1 纯度鉴定　以开蔬七号杂交种 F_1 的基因组 DNA 为模板，用特异性 InDel 标记进行扩增，分析条带类型，种子纯度/%=（杂交株数量/总植株数量）×100。

1.2.5　开蔬七号 F_1 纯度田间鉴定　对定植于穴盘中的开蔬七号 F_1 进行表型鉴定，挑选出与单一亲本性状相似的亲本株，杂交种种子纯度/%=1−[（亲本株数量/总植株数量）×100]。

表 1　InDel 标记引物信息

Table 1　InDel marker primers information

引物名称 Primer name	染色体 Chromosome	正向引物（5′-3′） Forward primer（5′-3′）	反向引物（5′-3′） Reverse primer（5′-3′）
BrID10433	A01	CGTCACTTATACGGTTCACA	AACCCACTACTCGCTCTTCT
BrID10437	A01	CCCTCCTATGATTTGGAGTT	TTGGGTCAAGAAAGATATGG
BrID10415	A02	GACTGAACTCAGCCTATTGC	GGAACAAAATTGCAGAAGAC
BrID10447	A02	CACCTGCTCAGGAGTATTTT	ATTTGACTGCAGATGTCACC
BrID90029	A03	TGTTCATTGTTAGATAATGTTTTT	TGGTCAACATAGATTTGCACG
BrID90107	A03	TCCGTCGGTTTCTAGTTCAAA	TTGTTGTGGTCCATTATGCAG
BrID90430	A03	GCACAAGTATTTTTCCTGCATC	TAGCATTGCACGATGTCAAA
BrID10375	A06	TAGAACATGTTGTCCGTGAA	GGTAGATTTGGTTGATCCTG
BrID10941	A06	CAGAGTTTTGTTGGTTTTGG	TATCTTTTCGTTGTTCTCGC
BrID90005	A06	GCCATATGTCTGCAAAAGAAA	TCTAATCCATTGCCCACAAA
BrID90043	A07	TCGCACATCACATTTCTG	AAGGAAATGATTCACAACACT
BrID90147	A10	CGTCCCTCTTAAAGTTGCGT	AAGCCGACGTTTACAAGATAA

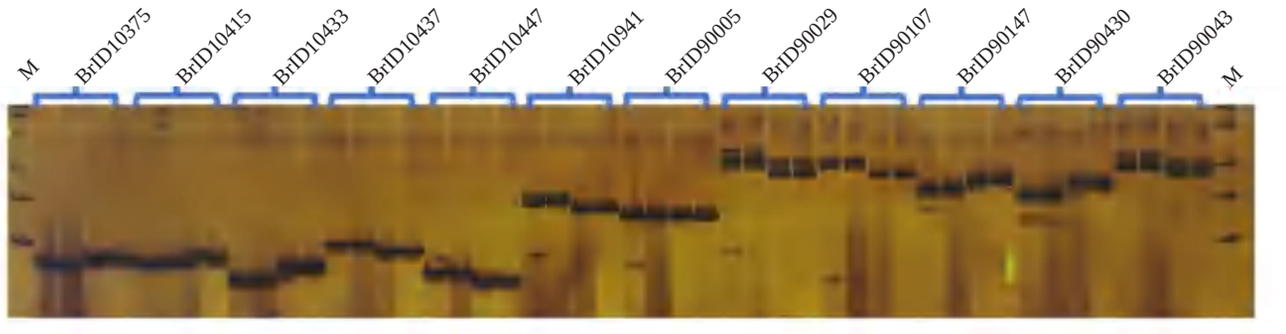
2　结果与分析

2.1　开蔬七号亲本多态性 InDel 标记筛选

选取 12 对基于已公布的大白菜全基因组测序开发的 InDel 标记，对开蔬七号的亲本 P_1 和 P_2 进行多态性筛选。分别提取 2 个亲本各 2 个单株的基因组 DNA，依次编号为 P_1-1、P_1-2、P_2-1、P_2-2。以该基因组 DNA 为模板，利用上述 12 对标记引物进行 PCR 扩增。扩增产物经 8%非变性聚丙烯酰胺凝胶电泳分离，银染显色后拍照记录。结果如图 2 所示，多对 InDel 标记在 2 个亲本间表现出明显的带型差异，其中部分标记在 P_1 中呈现单一特征条带，在 P_2 中呈现另一大小条带。

为进一步提高鉴定的可靠性与代表性，本研究选择带型清晰、差异明显且分布于不同染色体上的 3 对标记——BrID10433（位于 A01 染色体）、BrID90430（位于 A03 染色体）和 BrID90147（位于

A10 染色体）用于后续纯度鉴定试验。选用分布于不同染色体的标记可避免连锁遗传导致的偏差，同时多标记联合判定能有效排除因 DNA 提取质量、PCR 扩增效率或人为读带误差带来的假阳性或假阴性结果。后续试验将利用这 3 对标记分别检测杂交种子的单株基因型，以 3 个标记的鉴定结果综合得出杂交种纯度。



注：M. Marker；同一标记的 4 个点样孔，模板分别为 P_1-1、P_1-2、P_2-1、P_2-2。P_1-1、P_1-2 为母本 2 个生物学重复单株，P_2-1、P_2-2 为父本 2 个生物学重复单株。

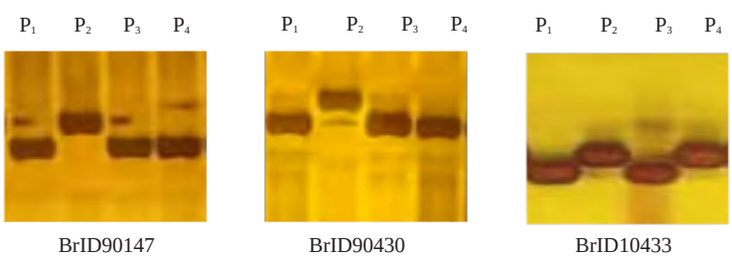
Note: M. Marker; The four samples with the same marker represent P_1-1, P_1-2, P_2-1, P_2-2, respectively. P_1-1 and P_1-2 are two biological replicates of female parent, P_2-1 and P_2-2 are two biological replicates of male parent.

图 2　开蔬七号亲本多态性 InDel 标记筛选结果

Fig. 2　Screening results of InDel markers for parental polymorphism of Kaishu No. 7

2.2　开蔬七号与同类型品种的鉴定

为评估上述筛选获得的 3 对 InDel 标记（BrID90147、BrID90430 和 BrID10433）在同类大白菜品种中的鉴定效果，以项目组自主选育的开蔬五号杂交种亲本为试材，分别命名为 P_3 和 P_4。电泳结果显示（图 3），标记 BrID90147 和 BrID90430 在开蔬七号亲本 P_1 和 P_2 中可扩增出大小不一致的差异条带，而在开蔬五号亲本 P_3 和 P_4 中则扩增出大小一致的条带；标记 BrID10433 在开蔬七号亲本 P_1 和 P_2 中同样扩增出差异条带，且在开蔬五号亲本 P_3 和 P_4 中也扩增出大小不一致的差异条带。上述结果表明，标记 BrID90147 和 BrID90430 无法区分开蔬五号亲本间的多态性，因此不适用于与开蔬七号同类型的开蔬五号杂交种纯度鉴定；而标记 BrID10433 在两类亲本中均能稳定检测出多态性，既可有效应用于开蔬七号杂交种的纯度鉴定，也可推广至同类型品种开蔬五号的杂交种纯度鉴定中，具有较好的通用性和较大的应用潜力。



注：同一标记的 4 个点样孔，模板分别为 P_1、P_2、P_3、P_4。P_1、P_2 为开蔬 7 号的亲本，P_3、P_4 为开蔬 5 号的亲本。

Note: The four samples with the same marker represent P_1, P_2, P_3, P_4, respectively. P_1 and P_2 are the parents of Kaishu No. 7, while P3 and P4 are the parents of Kaishu No. 5.

图 3　开蔬七号与开蔬五号的亲本鉴定

Fig. 3　Parental identification of Kaishu No. 7 and Kaishu No. 5

2.3　开蔬七号杂交种纯度的 InDel 标记鉴定

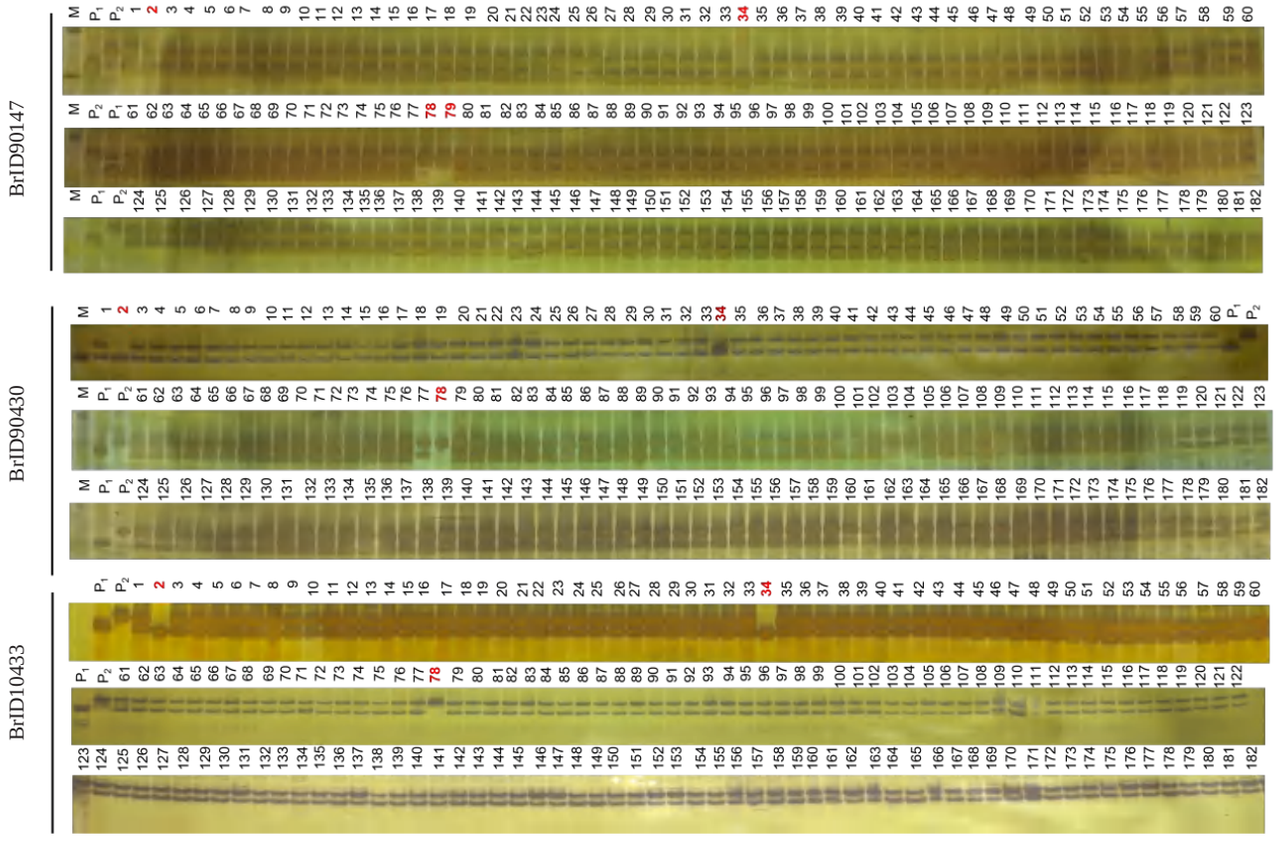
提取开蔬七号杂交种的基因组 DNA，利用筛选出的 3 对 InDel 标记（BrID90147、BrID90430 和 BrID10433）分别进行 PCR 扩增，扩增产物经聚丙烯酰胺凝胶电泳检测。依据杂交种应同时呈现双亲互补型条带，而纯合自交或混杂株仅显示单一亲本型条带的判别标准，统计各标记下仅出现单一亲本

条带的异常单株数量，并计算杂交种纯度。具体结果如图 4 所示。

标记 BrID90147 对 182 份供试单株的检测结果显示，共有 4 份材料（单株 2、34、78、79）表现出与单一亲本一致的条带，其余单株均为双亲互补型条带，经计算纯度为 97.8%，即（182-4）/182 × 100%。

标记 BrID90430 在 182 份材料中检出 3 份异常单株（单株 2、34、78），纯度为 98.3%。

标记 BrID10433 在 182 份材料中检出 3 份异常单株（单株 2、34、78），纯度同样为 98.3%。



注：P_1. 亲本 XF05-4；P_2. 亲本 230-4-3；红色数字显示亲本株编号。

Note: P_1. XF05-4; P_2. 亲本 230-4-3; Red number indicates that the band pattern is consistent with single parent.

图 4　开蔬七号杂交种 InDel 标记鉴定结果

Fig. 4　Identification results of InDel markers for the hybrid variety Kaishu No. 7

综合上述 3 个标记的鉴定结果，在 182 份开蔬七号杂交种群体中，不同标记所判定的纯度存在一定差异，整体纯度范围为 97.8%~98.3%，表明该批杂交种的整体纯度较高且结果稳定。值得注意的是，标记 BrID90147、BrID90430、BrID10433 检出的亲本单株高度重叠（单株 2、34、78 均同时被判定为亲本株），而标记 BrID90147 则额外识别出单株 79 为亲本株。这一结果提示，不同 InDel 标记在检测灵敏度或亲本多态性位点上可能存在细微差异，联合使用多个标记有助于更全面、准确地评估杂交种纯度。

2.4　开蔬七号杂交种田间纯度鉴定

为验证分子标记纯度鉴定结果的可靠性，对 180 株开蔬七号杂交种进行了苗期田间表型鉴定。试验全周期统一水肥与田间管理，分别在 3 叶 1 心、5 叶生长期 2 次定点调查，规避水肥胁迫、长势偏弱带来的误判风险。以双亲本植株作为对照，亲本整体表现为生长矮小、生长缓慢，而 F_1 杂交种苗势健壮、叶片宽大舒展、开张度大，二者苗期形态特征区别明显。在供试的 180 株群体中，共发现 2 株异型株（图 5），其表型特征与单一亲本高度相似，表现为植株生长迟缓、株型紧凑等典型亲本性状。本研究限于试验周期仅完成苗期鉴定，后续可在结球采收期通过结球形态、软叶率等商品性状进一步复核。依据田间纯度鉴定标准（异型株即表现为与杂交种典型性状不符、偏向任一亲本的植株），计算杂交种纯度：（180−2）/180×100%=98.9%。

该结果与分子标记（BrID90147、BrID90430、



注：红色圆圈显示表型与单一亲本一致的单株。

Note: The red circle indicates the plant that is consistent with single parent in trait.

图 5　开蔬七号杂交种苗期鉴定结果

Fig. 5　Identification results of the hybrid variety Kaishu No. 7 in the field

BrID10433）所检出的纯度范围（97.8%~98.3%）基本吻合，进一步验证了分子标记鉴定结果的准确性和开蔬七号杂交种群体的整体一致性。

3　讨论与结论

近年来，随着育种技术的快速发展以及大白菜新品种推出速度的不断加快，杂交种纯度鉴定已成为保障种子质量的关键环节。InDel 分子标记技术稳定性与通用性优异，已广泛应用于玉米[18]、辣椒[19]、白菜[20]、番茄[21]等多种作物的杂交种纯度检测及性状关联分析[22-23]，是当前种子检测的主流发展方向。

本研究基于大白菜全基因组数据，从 12 对候选 InDel 标记中筛选获得 3 对在开蔬七号亲本间具有稳定多态性的标记，3 对标记分属不同染色体，有效避免了连锁遗传带来的鉴定偏差。对 182 份开蔬七号杂交种单株进行纯度鉴定，结果显示，整体纯度稳定在 97.8%~98.3%，与冯健起等[9]、徐世静等[10]、寇欣怡等[12]、刘栓桃等[24]已报道的大白菜 InDel 标记鉴定结果相比，本研究检测结果处于同类研究中上水平，表明筛选的标记可靠性高、适用性良好。品种特异性分析结果显示，BrID90147、BrID90430 无法在开蔬五号亲本间扩增出差异条带，表明这 2 对标记仅可以特异性地用于开蔬七号的纯度鉴定。与徐世静等[10]、刘小愿等[25]结果相似，不同 InDel 标记在同一物种的不同种质的鉴别能力存在差异。因此，实际检测中需针对不同杂交种重新验证标记的适用性。

本研究结果表明，各标记检出的亲本单株不完全一致，仅 BrID90147 可额外识别出单株 79 为亲本株。唐昊等[11]、寇欣怡等[12]利用不同标记对同一群体筛选出的异常单株完全一致。推测异常的原因与染色体片段交换、模板质量差异及不同标记位点扩增特性不同有关。该现象表明，单一标记难以完整反映群体遗传组成，多标记联合判定是保证鉴定结果可靠的必要方式。田间苗期表型鉴定杂交种纯度为 98.9%，与分子鉴定结果高度吻合，证实本套标记体系准确稳定。

综上，本研究建立的开蔬七号多 InDel 标记鉴定体系操作简便、稳定性强，可直接应用于该品种商品种子的批量检测。本研究形成的多染色体标记筛选、多标记联合鉴定策略，可为大白菜及其他蔬菜杂交种纯度检测提供参考。后续结合高通量检测技术，可实现大批量样本快速自动化鉴定，助

力分子检测技术在蔬菜种子质量监管中规模化推广应用。

参考文献

[1] 徐家炳,张凤兰.国内外大白菜育种研究概况及展望[C]//中国园艺学会.全国蔬菜遗传育种学术讨论会论文集.2002:62-69.

[2] 朱明超,罗伯祥,赵苏海,等.大白菜育种中杂优利用的手段及现状[J].江苏农业科学,2004(2):56-57.

[3] 闫影鑫.大白菜种子纯度种植鉴定要点[J].种子世界,2018(2):15-16.

[4] 赵新,王永,兰青阔,等.基于复合 EST-SSR 标记的大白菜种子纯度鉴定及 SNP 位点获取[J].中国蔬菜,2013(14):31-38.

[5] 薛银鸽,原玉香,张晓伟,等.利用 InDel 标记鉴定大白菜杂交种豫新四号种子纯度[J].农业生物技术学报,2014,22(4):449-456.

[6] 宋顺华,郑晓鹰.利用 RAPD 标记鉴定大白菜杂交种纯度的研究[J].华北农学报,2000,15(4):35-39.

[7] 严慧玲,闫树成,杨慧民,等.利用 SRAP 分子标记技术鉴定大白菜种子纯度[J].热带农业科学,2011,31(6):50-52.

[8] 张承毅,吴承来,张春庆.蛋白质电泳法鉴定大白菜种子纯度[J].山东省农业管理干部学院学报,2007,23(1):166.

[9] 冯健起,王培云,蔡亚平,等.利用 InDel 标记鉴定汴早九号大白菜杂交种纯度[J].中国瓜菜,2023,36(12):33-38.

[10] 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.

[11] 唐昊,杨双娟,张晓伟,等.利用 KASP 标记鉴定‘吉美 8 号’大白菜种子纯度[J].分子植物育种,2024,22(14):4583-4589.

[12] 寇欣怡,魏小春,朱磊,等.大白菜新品种豫白 CR3 的纯度分子鉴定[J].中国瓜菜,2025,38(5):55-62.

[13] 余歆,郭意,刘小丰,等.利用 InDel 标记鉴定不同橘柚品种[J].果树学报,2024,41(8):1477-1489.

[14] 解为玮,徐丹彤,陈方策,等.蜂糖李种质鉴定中孢粉学与 InDel 标记的应用[J].果树学报,2024,41(7):1297-1309.

[15] 冯健起,丁聪,生园园,等.中熟大白菜新品种开蔬七号的选育[J].中国瓜菜,2023,36(6):128-131.

[16] 张文静,冯健起,苏贺楠,等.190 份大白菜自交系的遗传多样性分析及育种应用[J].中国瓜菜,2025,38(8):26-36.

[17] 魏小春,原玉香,赵艳艳,等.一种新的广适性大白菜杂交种纯度分子鉴定方法的研究[J].中国瓜菜,2023,36(2):19-28.

[18] 胡丽萍,彭飞飞,许理文,等.玉米纯度高通量 InDel 快速检测体系的建立[J].玉米科学,2025,33(4):42-48.

[19] 李辉玲,张建文,叶远荣,等.基于 InDel 标记的新疆色素辣椒杂交种纯度鉴定[J].现代园艺,2025,48(1):28-30.

[20] 王祥,罗双霞,宋利军,等.利用 InDel 标记鉴定大白菜‘农大 Q210’和‘农大 Q212’种子纯度[J].分子植物育种,1- 16[2023- 09- 27]. https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20230926.1626.006.

[21] 苏晓梅,李静,刘淑梅,等.樱桃番茄美小红杂交种子纯度的 InDel 标记鉴定[J].中国瓜菜,2023,36(6):28-31.

[22] 高颖,罗双霞,王彦华,等.大白菜抽薹开花时间与 SSR 和 InDel 标记的关联分析[J].园艺学报,2012,39(6):1081-1089.

[23] 赵玉靖,卢银,冯大领,等.大白菜自交系背景选择 InDel 标记与重要农艺性状的关联分析[J].园艺学报,2021,48(7):1282-1294.

[24] 刘栓桃,张志刚,王立华,等.牛牌 19 大白菜杂交种种子纯度快速鉴定方法研究[J].中国蔬菜,2020(3):28-32.

[25] 刘小愿,孟艳,张妮南,等.利用 SSR 分子标记鉴定陕秋白 2 号大白菜种子纯度[J].分子植物育种,2025,23(7):2262-2266.