

芥菜类蔬菜杂种优势利用的研究进展与展望

万正杰¹ 李海渤² 姚培杰¹ 刘旭佳¹
徐玉颖¹ 傅廷栋³ 邹瑞昌⁴ 徐跃进¹

1. 华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070;
2. 韶关学院英东农业科学与工程学院, 韶关 512005;
3. 华中农业大学植物科学技术学院/作物遗传改良国家重点实验室, 武汉 430070;
4. 重庆市万州区多种经营推广站, 重庆 404002

摘要 芥菜起源于中国,属于十字花科芸薹属作物,现已成为我国南方重要特色蔬菜,主要包括叶用芥菜、茎用芥菜、根用芥菜以及薹用芥菜等,在全国各地均有栽培。由于芥菜是常自花授粉作物,花器官小,细胞质雄性不育(cytoplasmic male sterility, CMS)是芥菜杂种优势利用的重要途径。目前研究得比较多的芥菜细胞质雄性不育系有 *hau* CMS、*ogu* CMS 和 *oxa* CMS 等。本文主要综述了国内外学者对芥菜雄性不育与杂种优势利用的研究进展,并展望了芥菜杂种优势利用的方向和目标,为芥菜类蔬菜杂种优势利用提供理论基础和材料来源。

关键词 芥菜; 杂种优势; 细胞质雄性不育

中图分类号 S 637.03 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2018)01-0115-06

芥菜(*Brassica juncea* L.)是十字花科芸薹属一种重要蔬菜。研究表明,我国是芥菜原生起源中心之一,其中西北地区是芥菜起源地,而四川盆地是芥菜的次生起源中心^[1]。我国的栽培类芥菜由野生芥菜进化而来,已经成为我国一种重要的蔬菜资源,在我国蔬菜产业中占据重要地位。研究人员根据比较形态学、同工酶分析及染色体核型分析等将我国芥菜分为根、茎、叶、薹等四大类 16 个变种^[2]。目前,我国的芥菜类蔬菜种植面积达 100 万 hm^2 左右,全国各地均有栽培,其中,西南、华南、华中、华东等 15 个省份是主产区,不仅种植种类多、面积大,而且具有规模化的生产基地^[3]。

我国自 20 世纪 30 年代以来对芥菜进行了系统研究,集中体现在芥菜的起源与分类研究、芥菜种质资源的收集与保存、芥菜遗传多样性研究、芥菜特异性状的基因定位与功能分析、芥菜新品种的选育等多个方面。目前,我国生产上所使用的芥菜品种大部分是地方品种或者提纯复壮的常规品种,芥菜类蔬菜的杂种优势利用研究仍然处于发展阶段。本文在前人研究基础上,对我国芥菜杂种优势利用研究

进展进行了总结并对未来研究方向提出了展望,旨在为今后我国芥菜类蔬菜杂种优势利用及新品种选育提供参考和理论基础。

1 芥菜育种现状

1.1 芥菜地方品种的选育

目前,我国芥菜品种的选育主要集中在大叶芥、分蘖芥、茎瘤芥、根芥、包心芥、宽柄芥、小叶芥、抱子芥、笋子芥等 9 个变种类型,其中,芥菜地方品种和提纯复壮的常规品种居多,杂交种甚少。另外,由于我国不同生态环境、饮食文化的多样性特点,芥菜类蔬菜品种或加工产品具有鲜明的地方特色,比如:重庆、浙江以茎瘤芥为主,其加工产品“涪陵榨菜”闻名世界;广东芥菜以茂名的“水东芥菜”和“包心芥菜”享誉全国,梅州、惠州一带的“梅菜”是广东加工芥菜的代表;四川、贵州种植的小叶芥、宽柄芥和大叶芥居多,特色加工产品为“宜宾芽菜”、“独山盐酸菜”、“四川泡菜”等;湖北和湖南习惯种植雪里蕻、大叶芥菜以及大头菜等,其中“华容芥菜”和“襄阳大头菜”最为有名。由于种植历史悠久、消费者喜爱,在全国

各地形成了芥菜“名特优产品”或者“地理标志产品”，如“涪陵榨菜”、“水东芥菜”、“惠州梅菜”、“宜宾芽菜”、“华容芥菜”、“襄阳孔明菜”等^[3]。多年以来，芥菜育种工作者根据地方品种的特点和消费者的需求，通过系统育种和提纯复壮手段，选育了一批芥菜类蔬菜常规品种，如重庆榨菜常规品种“永安少叶”（茎瘤芥）、浙江宁波“细叶雪里蕻”（分蘖芥）、武汉雪里蕻“小狮子头”（分蘖芥）、湖南的“华容芥菜”、湖北“襄阳大头菜”（根用芥菜）等。

1.2 芥菜品质育种亟待改进

芥菜类蔬菜不仅可作为鲜食蔬菜食用，也是一种重要的腌制加工蔬菜。近几年，腌制蔬菜加工产业发展非常迅速，对芥菜育种提出了加工品质需求。适宜腌制加工型的芥菜品种要求高干物质含量、高蛋白、低粗纤维含量、低水分含量。目前选育的芥菜品种以腌制加工为主，鲜食芥菜品种为数很少。未来，加工专用型品种和鲜食专用型品种的选育，是芥菜类蔬菜新品种选育的主要育种目标。另外，芥菜富含维生素、矿物质等营养物质，并含有丰富的次生代谢产物芥子油苷，还需进一步挖掘芥菜的功能性成分和营养品质，不断满足广大消费者的需求。

1.3 缺少适合轻简化栽培的芥菜品种

随着我国城镇化建设的加快，农民入城就业成为一种增加收入的主要途径，劳动力人口减少和人工成本增加制约了芥菜类蔬菜产业化发展。目前，选育适宜芥菜轻简化栽培技术的新品种，成为芥菜育种工作者急需解决的前瞻性问题。其他作物如油菜、马铃薯等研究领域已经建立了完善的轻简化栽培技术，选育了适宜轻简化栽培的品种。芥菜类蔬菜相关研究相对滞后。芥菜的栽培技术仍然普遍采用传统种植模式，已经不能满足当前芥菜产业发展的要求。因此，选育适合于轻简化栽培的芥菜品种已迫在眉睫。

1.4 抗病、抗逆芥菜新品种的选育势在必行

由于气候因素以及流行性病害的出现，芥菜类蔬菜的品种改良必须以产业中出现的极端高温、低温以及病虫害问题为导向，开展抗病、抗逆育种。由于我国西北是芥菜起源中心，尽管芥菜具有较强的抗旱性和对土壤的适应性，仍然存在以下具体问题：(1)芥菜受温度和光周期影响，容易出现先期抽薹，影响芥菜的商品性；(2)高山栽培、越冬栽培的榨菜和叶用芥菜容易出现冻害。因此，开展芥菜耐抽薹性、耐寒性育种势在必行。(3)芥菜主产区根肿病、

病毒病和霜霉病日趋严重，生产上急需抗流行性病害的芥菜品种。

1.5 芥菜常规品种与杂种一代并存

目前，我国芥菜品种的分布以常规品种为主，杂交品种为辅。全国教学科研单位共收集芥菜种质资源约 2 300 份^[3]，其中，通过资源创新和发掘，我国芥菜育种单位先后选育了优良常规品种 12 个，主要有慈溪大头菜（根芥类）、涪丰 14（茎瘤芥）、永安小叶（茎瘤芥）、甬榨 1 号（茎瘤芥）、甬榨 2 号（茎瘤芥）、正早一号儿菜（抱子芥）、民哈哈特早儿菜（抱子芥）、渝芥 1 号（宽柄芥）、黔青 1 号（宽柄芥）、黔青 2 号（宽柄芥）、武汉小狮子头（分蘖芥）、宁波细叶雪里蕻（分蘖芥）等。

我国芥菜类蔬菜杂种优势利用较晚，重庆渝东南农科院利用云南农科院报道的芥菜细胞质雄性不育系（欧新 A）选育了茎用芥菜（茎瘤芥）杂交新品种“涪杂 1 号”，于 2000 年通过重庆市农作物品种审定委员会审定，该品种在连续 2 年 5 点的区域试验中产量位居第一位，平均增产 27.4%^[4]。华中农业大学利用自主发现并选育的芥菜细胞质雄性不育 *hau* CMS，选育了叶用芥菜（分蘖芥）杂交种“华芥 1 号”和“华芥 2 号”，2012 年通过湖北省农作物品种委员会审定，平均增产幅度为 49% 左右，并且研究了叶用芥菜杂交种的安全加工模式^[5-7]。目前，已经有 4 个叶用芥菜杂交种通过审（认）定，有 10 个茎用芥菜杂交种通过审（认）定。芥菜育种工作者将根据我国芥菜分布的主要类型和栽培面积，针对大叶芥菜、雪里蕻、榨菜、结球芥菜、大头菜等类型开展杂种优势利用工作。目前我国选育的芥菜杂交种中，代表性品种有涪杂系列（茎瘤芥）、华芥系列（分蘖芥）、甬榨系列（茎瘤芥）。

2 芥菜细胞质雄性不育与杂种优势利用研究进展

芥菜为常自花授粉作物，花器官小，不存在自交不亲和现象，与白菜类和甘蓝类蔬菜广泛利用自交不亲和育种方法不同，因此，芥菜细胞质雄性不育系的选育是芥菜杂种优势利用的重要途径。目前，国内外报道的芥菜细胞质雄性不育类型主要有芥菜 *hau* CMS^[8-10]、*Moricandia arvensis* CMS^[11]、芥菜 *oxa* CMS^[12] 和榨菜 CMS^[13]。

2.1 芥菜细胞质雄性不育 *hau* CMS 的研究利用

芥菜细胞质雄性不育 *hau* CMS 是华中农业大

学于 1999 年发现的一种新的芥菜细胞质雄性不育类型^[8,14]。经过多年多点研究证实,芥菜 *hau* CMS 的不育株率和不育度均为 100%,华中农业大学自发现芥菜雄性不育 *hau* CMS 以来,持续开展了芥菜 *hau* CMS 的不育性评价、线粒体不育基因的分子鉴定、不育基因克隆、转基因功能验证、线粒体基因组测序以及转录组测序分析,明确了芥菜 *hau* CMS 是一种十字花科作物胞质不育新类型,克隆并验证了芥菜 *hau* CMS 的不育相关基因 *orf288*,揭示了芥菜 *hau* CMS 不育基因产生的作用机制^[9,15]。

华中农业大学也开展了芥菜 *hau* CMS 的杂种优势利用工作,该 *hau* 不育胞质通过回交途径转育到多个芥菜类蔬菜变种中,选育出了雪里蕻、包心芥菜、榨菜、大叶芥菜、大头菜等不同变种的芥菜细胞质雄性不育系^[16-18]。邹瑞昌^[19]、万正杰等^[20]对分蘖芥菜细胞质雄性不育系 0912A 进行了杂种优势的测定,发现该不育系的叶用芥菜农艺性状杂种优势明显,丰产性显著,超标优势达到 49%,目前,通过芥菜 *hau* CMS 选育的叶用芥菜“华芥 1 号”、“华芥 2 号”等杂交种已经在芥菜产区示范推广利用。

2.2 芥菜细胞质雄性不育 *oxa* CMS 的利用

芥菜 *oxa* CMS(欧新 A)是云南省农业科学院于 1973 年发现的芥菜型油菜细胞质雄性不育系^[12],由于该不育系有明显花粉,在芥菜型油菜中没有得到有效利用。曾志红等^[21]利用欧新 A 不育胞质选育出了大头芥、笋子芥、茎瘤芥等不育系。重庆涪陵农科所通过回交及杂交的方法,将欧新 A 不育胞质转育到 22 个茎瘤芥父本材料中,选育出了 22 个不育性稳定、经济性状良好的茎瘤芥不育系^[22],并在此基础上以该不育系为母本,选育出了“涪杂”系列杂交新品种。研究发现,茎用芥菜(榨菜)欧新 A 细胞质雄性不育系蜜腺发育好、雌蕊育性正常、花粉败育率为 100%、不育性较为彻底,目前已经在榨菜育种中得到有效利用^[23]。但是在叶用芥菜核背景材料中,叶用芥菜欧新 A 不育系的不育度和不育株率很难达到育种要求,影响了它的应用前景(尚未报道)。

另外,陈竹君等^[13]以 1983 年从中国农科院蔬菜所引进的(芥菜×结球白菜)种间杂种不育源,回交转育获得榨菜细胞质雄性不育系。在此基础上,利用同源序列法获得该不育系的不育基因 *orf220*^[24-25]。陈竹君等^[13]通过将芥菜不育胞质与结球白菜种间杂交,以得到的 F₁ 为不育胞质供体,

以榨菜为父本,通过连续回交选育出了榨菜胞质雄性不育系,该不育系基本克服了不育胞质供体存在的黄化株、败蕾、蜜腺缺失和雌性功能障碍等现象。杨景华等^[26]利用榨菜细胞质雄性不育系为母本,以叶用芥菜为父本,通过杂交及回交的方法成功转育了叶用芥菜细胞质雄性不育系。

2.3 芥菜“细胞质雄性不育”*ogu* CMS 的利用

萝卜细胞质雄性不育(*ogu* CMS)是 Ogura 在日本鹿儿岛的一个日本萝卜 *Raphanus sativus* L. 群体中发现的天然雄性不育类型^[27]。金海霞等^[28]通过种间杂交、多代回交的方式将该不育胞质转移到了叶用芥菜中,育成了 5 个芥菜雄性不育系,但该不育胞质的配合力及表型较差,在生产上未能大量应用。章时蕃等^[29]以改良型萝卜胞质大白菜雄性不育系为不育源,以结球芥菜及长柄芥菜为父本,通过杂交、回交方法,成功转育了结球芥及长柄芥不育系,该不育系的特点为植株及花器生长正常,不育度达到 100%,且不育性不受环境影响,同时杂交组合表现出了优良的杂种优势,杂交制种产量正常,该不育系已经在育种工作中得到应用。

3 芥菜杂种优势利用的展望

与其他芸薹属作物相比,我国芥菜杂种优势利用的研究及新品种选育起步较晚、研究相对滞后,但是展望未来,芥菜杂种优势利用的研究还有很大的发展潜力,具体措施如下。

3.1 芥菜细胞质雄性不育材料的创制和利用

我国芥菜优势育种中使用的不育胞质类型主要包括芥菜 *hau* CMS、*oug* CMS、*oxa* CMS 等,但是,在十字花科蔬菜 CMS 的研究和利用中仍存在一些尚未解决的重要问题。首先,育种实践中缺少真正实用有效的细胞质雄性不育源;其次,长期使用一种不育胞质开展杂种优势育种,胞质单一、负效应增加,使得十字花科蔬菜(包括芥菜)杂种生产面临巨大风险^[10]。如何创制新的不育源,除了通过自然变异发现不育资源,研究者也通过人工诱变、远缘杂交、细胞融合、基因工程等手段创制了部分雄性不育材料。人工诱变的雄性不育系选育中,通常采用物理辐射或者化学诱变剂,而航天育种选育新型雄性不育材料也被广泛使用。汤泽生等^[30]通过卫星搭载番茄种子,从 SP1 代中发现雄性不育突变株“南航 1 号 A”,不育株枝繁叶茂,经正反交实验证明雌配子可育,仅花粉不育。远缘杂交是雄性不育系转

育的一种有效途径,通过杂交及连续回交完成不育胞质的转移,创建新的不育系。在原生质体融合技术创制雄性不育系方面,胡琼^[31]利用原生质体融合技术获得了甘蓝型油菜常规品种“中双 4 号”与新疆野生油菜“野油 18”的对称性体细胞杂种,其中有 2 株表现雄性不育,进而通过连续回交,创建了新型的甘蓝型油菜不育系。

韩凤英^[32]将解淀粉芽孢杆菌的 RNA 酶基因 *Barnase* 的基因序列拆解成 36 个氨基酸的 N 端和 75 个氨基酸的 C 端,再分别与 *Ssp* DnaE 内含肽 N 端和 C 端融合,共转化可育芥菜植株后,获得了稳定的芥菜雄性不育系。张艳等^[33]在对油菜雄性不育胞质的研究中发现,通过种间杂交或细胞融合等技术将油菜不育胞质转育到多种十字花科蔬菜后,育种工作者在引种、利用的过程中,有时不了解不育胞质类型,从而造成细胞质研究的重复性和单一性。因而,在不育胞质的研究及创建过程中要注意加强不育胞质类型的分类和鉴定工作,准确和合理利用不同类型的不育材料。

3.2 扩大芥菜种质资源遗传多样性

我国虽然是芥菜的起源中心,芥菜变种丰富,但现有的研究显示不同芥菜变种间遗传背景差异较大,而同一变种内部遗传差异较小^[34]。在对芥菜种质资源抗病性筛选中发现,在芥菜的 16 个变种中缺乏抗病、抗虫、抗逆性良好的抗原材料^[3]。扩大芥菜种质资源的遗传多样性,丰富芥菜优良抗原,对芥菜品种选育具有重要意义。鉴于芥菜属于芸薹属植物,便于与其他芸薹属植物进行种间杂交,因而,通过种间杂交的方法转育来源于其他作物的优良抗性基因,成为丰富芥菜种质资源的一种有利途径。

3.3 通过远缘杂交创制芥菜新种质

芸薹属作物主要有白菜(*B. rapa*; AA, 2n = 20)、甘蓝(*B. oleracea*; CC, 2n = 18)和黑芥(*B. nigra*; BB, 2n = 16)等 3 个二倍体基本种以及芥菜(*B. juncea*; AABB, 2n = 36)、甘蓝型油菜(*B. napus*; AACC, 2n = 38)和埃塞俄比亚芥(*B. carinata*; BBCC, 2n = 34)等 3 个四倍体复合种,芸薹属作物在育种上最大的优势在于通过种间杂交创制新的特色性状。张小康等^[35]将萝卜与多个芥菜材料进行远缘杂交,选育出一个叶片为芥菜性状、根部为萝卜性状的“萝芥”品系,再将该品系与萝卜不育系进行杂交,选育出了一个具有优良加工特性的根叶两用型新品种,该品种以采收地上芥菜的叶片为主,同时

可以采收地下的肉质根。因而,芥菜新品种的选育可以通过远缘杂交(种间杂交)的方式,充分利用芸薹属或其他作物的优良性状选育优良特色新品种。

3.4 芥菜类蔬菜的品种改良

我国芥菜产业正处于转型升级的关键时期,而优良特色品种是支撑芥菜产业转型升级的核心要素。目前我国特色芥菜分布的生态类型复杂,尽管在各地已经形成了许多芥菜类蔬菜的名特优产品,促进了各地经济的发展。但是各地芥菜的产业发展水平不平衡、整体科技投入不足,特色蔬菜产业链并不完善,芥菜产业的发展面临新的挑战。

首先,目前芥菜类蔬菜生产中出现新的流行病害,如芥菜病毒病、根肿病等,其中,生产上抗根肿病的芥菜品种尚未出现,主要是由于根肿病抗原材料不多,病原菌属于活体专性寄生菌,病菌生理小种繁多,遗传多样性丰富,不同地区病菌小种组成差异大,且难于进行单孢分离而获得纯化的单孢菌系。因而,筛选芥菜抗病材料非常困难,形成成熟的广谱抗性品种需要很长时间。其次,极端天气(低温、高温)等不利条件频繁出现,芥菜生产上需要抗逆性强的芥菜新品种,特别是越冬栽培和高山栽培的芥菜需要较强的耐寒性;另外由于我国农村劳动力人口逐年减少,芥菜品种转型升级的目标主要是降低劳动力成本,提高单位面积产量和土地利用效率。因此,在综合性状优良的地方品种资源中,选育适合密植、适宜机械化播种和采收的品种已是迫在眉睫。由于芥菜起源于中国,栽培历史悠久,芥菜变种十分丰富,其特有的营养品质、功能性成分以及重要变态器官的形成机理,都有待挖掘和解析,进一步促进芥菜品种改良。此外,目前特色蔬菜(芥菜)品种中,地方品种和常规品种居多,杂种一代新品种类型少,芥菜品种的遗传改良显得尤为必要。因此,在芥菜种质资源的创新和挖掘的基础上,开展芥菜育种技术的创新研究。借助芥菜全基因组辅助选择育种技术服务平台的作用,开展分子标记辅助育种、利用 GWAS 关联分析技术、分离群体分析技术等,开展芥菜耐抽薹、根茎膨大、柄肋增宽增厚、分蘖多且大等重要性状的分子标记开发;克隆定位关键基因或 QTL、开发功能标记,并将全基因组辅助育种技术充分应用于育种材料创制、优势预测、定向改良等工作,全面建立和完善芥菜分子和基因组辅助育种技术体系。因此,通过雄性不育技术与分子标记技术相结合,提升特色蔬菜的育种技术水平,选育新一代

优质多抗的杂交芥菜品种,不断满足特色蔬菜产业发展的需求,是我国芥菜类蔬菜杂种优势利用的主要任务。

目前,我国为加快芥菜类蔬菜的发展,已经将芥菜列为国家特色蔬菜产业技术体系中一部分,主要目的是为了解决制约芥菜类蔬菜产业发展的系列技术问题和未来可能发生的前瞻性问题,包括芥菜品种改良、芥菜育种技术、芥菜类蔬菜的种子生产、芥菜主要病虫害防控以及轻简化栽培等。该项目的实施将促进国内科研院所联合攻关、协同创新开展芥菜的基础研究和应用研究,势必会加快我国芥菜产业的发展,促进农业增产、农民增收。

参 考 文 献

- [1] 陈材林,周源,周光凡,等.中国的芥菜起源探讨[J].西南农业学报,1992,5(3):6-11.
- [2] 刘佩瑛.中国芥菜[M].北京:中国农业出版社,1996:24-56.
- [3] 范永红,沈进娟,董代文.芥菜类蔬菜产业发展现状及研究前景思考[J].农学学报,2016,6(2):65-71.
- [4] 陈材林,周光凡,范永红,等.茎瘤芥新品种涪杂1号的选育[J].中国蔬菜,2003(1):23-24.
- [5] 邹瑞昌,万正杰,徐跃进,等.叶用芥菜细胞质雄性不育系0912A的细胞质效应与杂种优势分析[J].植物科学学报,2012,30(3):261-268.
- [6] 邹瑞昌,万正杰.叶用芥菜新品种华芥1号[J].中国蔬菜,2015(6):88-89.
- [7] 王灿洁,李德超,袁贞贞,等.新型叶用芥菜 *hau* 细胞质雄性不育杂种组合的加工模式[J].华中农业大学学报,2016,35(3):17-23.
- [8] 万正杰,王显军,傅廷栋,等.芥菜型油菜细胞质雄性不育系6-102A的细胞学观察[J].中国油料作物学报,2006,28(3):268-271.
- [9] WAN Z J, JING B, FU T D, et al. Genetic characterization of a new cytoplasmic male sterility system (*hau*) in *Brassica juncea* and its transfer to *Brassica napus* [J]. Theoretical and applied genetics, 2008, 116: 355-362.
- [10] WAN Z J, SHI D Y, ZOU R C, et al. Development and utilization of one new cytoplasmic male sterile line of Chinese leaf mustard (*Brassica juncea* var. *rugosa* Bailey) [J]. Sci Horticulture Amsterdam, 2014, 165: 211-217.
- [11] PRAKASH S, KIRTI P B, BHAT S R, et al. A *Moricandia arvensis* - based cytoplasmic male sterility and fertility restoration system in *Brassica juncea* [J]. Theoretical and applied genetics, 1998, 97(3): 488-492.
- [12] 史华清,袁瑞芳,庄丽莲,等.芥菜型油菜 (*Brassica juncea*) 杂种优势利用的研究[J].作物学报,1991,17(1):32-41.
- [13] 陈竹君,高其康,吴根良,等.榨菜胞质雄性不育系花器形态结构及遗传变异[J].浙江农业学报,1993,5(3):172-176.
- [14] 万正杰.芥菜型油菜细胞质雄性不育的研究[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [15] JING B, HENG S P, TONG D, et al. A male sterility-associated cytotoxic protein ORF288 in *Brassica juncea* causes aborted pollen development [J]. J Exp Bot, 2012, 63: 1285-1295.
- [16] 傅廷栋,万正杰,涂金星,等.一种雪里蕻细胞质雄性不育系的选育方法:200610012104.X[P].2009-03-18.
- [17] 傅廷栋,万正杰,马朝芝,等.一种包心芥菜细胞质雄性不育系的选育方法:200610012106.9 [P].2009-07-29.
- [18] 傅廷栋,万正杰,涂金星,等.一种榨菜细胞质雄性不育系的选育方法:200610012103.5[P].2009-02-11.
- [19] 邹瑞昌.叶用芥菜细胞质雄性不育系0912A的评价及杂种优势利用[D].武汉:华中农业大学,2012.
- [20] 万正杰,邹瑞昌,张心华.叶用芥菜“华芥2号”高产栽培技术[J].长江蔬菜,2015(2):28.
- [21] 曾志红,王永清.芥菜胞质雄性不育系花器形态结构与育性表现[J].西南农业学报,1998,11(2):40-44.
- [22] 范永红,周光凡,陈材林.茎瘤芥胞质雄性不育系的选育及其主要性状调查[J].中国蔬菜,2001(5):4-7.
- [23] 夏春秀.茎用芥菜 *oxa* CMS 的研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [24] YANG J, LIU X, YANG X, et al. Mitochondrially-targeted expression of a cytoplasmic male sterility-associated *orf220* gene causes male sterility in *Brassica juncea* [J]. BMC plant biology, 2010, 10(1): 231.
- [25] ZHAO N, XU X, WAMBOLDT Y, et al. MutS HOMOLOG1 silencing mediates *orf220* substoichiometric shifting and causes male sterility in *Brassica juncea* [J]. Journal of experimental botany, 2015, 67(1): 435-444.
- [26] 杨景华,张明方,喻景权,等.叶用芥菜细胞质雄性不育相关基因 *orf220* 的分子特性[J].遗传学报,2005,32(6):594-599.
- [27] OGURA H. Studies on the new male-sterility in Japanese radish, with special reference to the utilization of this sterility towards the practical raising of hybrid seeds [J]. Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1968, 6(2): 39-78.
- [28] 金海霞,冯辉,徐书法.通过大白菜胞质不育系与芥菜远缘杂交选育新的芥菜胞质不育系[J].园艺学报,2006,33(4):737-740.
- [29] 章时蕃,张淑江,李菲,等.萝卜胞质结球芥和长柄芥雄性不育系的选育[J].中国蔬菜,2014(2):20-23.
- [30] 汤泽生,杨军,赵燕,等.航天诱导番茄雄性不育株性状及减数分裂的研究[J].西华师范大学学报(自然科学版),2004,25(1):16-20.
- [31] 胡琼.属间体细胞杂交创建甘蓝型油菜细胞质雄性不育系及其鉴定[J].中国农业科学,2004,37(3):333-338.
- [32] 韩凤英.一种新型芥菜基因工程雄性不育系的创建[D].重庆:西南大学,2012.
- [33] 张艳,王小佳,李成琼,等.甘蓝细胞质雄性不育材料分子鉴定及花器官形态对核背景响应的响应[J].园艺学报,2010(6):915-922.

[34] 孟秋峰,王毓洪,皇甫伟国,等.芥菜类蔬菜植物学性状鉴定及聚类分析[J].浙江农业科学,2006(3):254-257.

[35] 张小康,熊秋芳,李世升,等.萝卜与芥菜远缘杂交新品种的选育研究[J].江西农业学报,2012,24(11):1-4.

Progress and prospect of heterosis utilization in mustard (*Brassica juncea* L.) vegetables

WAN Zhengjie¹ LI Haibo² YAO Peijie¹ LIU Xujia¹
XU Yuying¹ FU Tingdong³ ZOU Ruichang⁴ XU Yuejin¹

1.College of Horticulture and Forestry/ Key Laboratory of Horticultural Plant Biology,
Ministry of Education, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China;

2. College of Yingdong Agricultural Science and Engineering, Shaoguan University,
Shaoguan 512005, China;

3.College of Plant Science and Technology/National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement,
Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China;

4.The Technology Transfer Station of Diversified Economy in Wanzhou, Chongqing 404002, China

Abstract *Brassica juncea* originated in China is the main characteristic vegetable in southern China and cultivated throughout the country. *Brassica juncea* mainly including leaf mustard, stem mustard, root mustard and moss mustard belongs to the large *Brassicaceae brassica* crop. Because the mustard with a small flower organ is mainly self-pollinated under natural conditions, cytoplasmic male sterile (CMS) is an effective mean to utilize the heterosis of mustard hybrids. Now, CMS systems were widely studied in *Brassica juncea*, including *hau* CMS, *oxa* CMS and so on. The progress of the CMS and heterosis utilization in *Brassica juncea* were reviewed. The directions and goals of heterosis utilization were put forward. It will provide the theoretical foundation and material origin for utilizing heterosis of mustard vegetables.

Keywords *Brassica juncea*; heterosis; cytoplasmic male sterility

(责任编辑:张志钰)