广东农业科学 2021，48（9）：62–71
Guangdong Agricultural Sciences DOI:10.16768/j.issn.1004–874X.2021.09.007

陈汉才，吴增祥，林悦欣，沈卓，黎庭耀，杨易，周轩，张艳 . 广东菜心、芥蓝研究现状与展望［J］. 广东农业科学，2021，48（9）：62–71.

广东菜心、芥蓝研究现状与展望

陈汉才[1]，吴增祥[1]，林悦欣[2]，沈　卓[1]，黎庭耀[1]，杨　易[1]，周　轩[1]，张　艳[1]
（1. 广东省农业科学院蔬菜研究所 / 广东省蔬菜新技术研究重点实验室，广东 广州 510640；
2. 广东省农业科学院，广东 广州 510640）

摘　要：菜心和芥蓝是广东省重要的叶菜类蔬菜，具有种植面积大、复种指数高和市场需求量大的特点，其营养价值高，风味独特，已经成为人们日常饮食中必不可少的蔬菜种类。广东省是菜心和芥蓝秋冬季节的主产区。随着我国北方夏季种植区域的扩大，消费者对叶菜类蔬菜商品性和品质的需求提高，对现有品种的产量、适应性、抗性和风味物质含量等提出了新的要求。通过对种质资源的收集、保存和挖掘，广东省内各科研单位对菜心和芥蓝进行了大量的育种和分子生物学研究工作，促进了品种从常规种到杂交种的更替，也为未来分子育种打下了基础。而广东省菜心和芥蓝在实际生产中依然面临一些问题，需要从品种本身特性和挖掘优异种质资源上进行突破，利用现代生物技术与常规杂交育种技术相结合，提升品种在抗性、品质和适应性等方面的不足。综述了广东省菜心和芥蓝的研究历史、种质资源收集情况、分子生物学研究和产业发展现状，以期为广东省叶菜类蔬菜产业发展提供参考。

关键词：菜心；芥蓝；种质资源；生物技术；产业发展
中图分类号：S634.3　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1004–874X（2021）09–0062–10

Research Status and Prospect of Flowering Chinese Cabbage and Chinese Kale in Guangdong

CHEN Hancai[1], WU Zengxiang[1], LIN Yuexin[2], SHEN Zhuo[1],
LI Tingyao[1], YANG Yi[1], ZHOU Xuan[1], ZHANG Yan[1]
（1. *Vegetable Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Guangdong Key Laboratory for New Technology Research of Vegetables, Guangzhou* 510640, *China;*
2. *Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou* 510640, *China*）

Abstract: Flowering Chinese cabbage and Chinese kale are important leafy vegetables in Guangdong Province. They have the characteristics of large planting area, high multiple cropping index and large market demand. With high nutritional value and unique flavor, they have been indispensable vegetables in people’s daily diet. Guangdong Province is the main production area of flowering Chinese cabbage and Chinese kale in autumn and winter. With the expansion of planting areas in northern China in summer and consumers’ demand for the commodity and quality of leafy vegetables, new requirements have been put forward in the yield, adaptability, resistance and flavor content of existing varieties. Through the collection, preservation and excavation of germplasm resources, various scientific

收稿日期：2021–07–26
基金项目：广东省重点领域研发计划项目（2018B020202010）；广东省科技计划项目（2018A050506051）；广东省青梗菜良种科研联合攻关项目；广东省乡村振兴战略专项资金（农业科技能力提升）专项叶菜类产业子项目（TS–1–6–6）；佛山市财政专项资金— 2019 年度共建广东农业科技示范市项目
作者简介：陈汉才（1962—），男，研究员，研究方向为叶菜豆类育种，E–mail：13825086380@163.com
通信作者：张艳（1981—），女，博士，副研究员，研究方向为叶菜豆类育种，E–mail：893251473@qq.com

research units in Guangdong Province have carried out a large amount of breeding and molecular biology research work on flowering Chinese cabbage and Chinese kale, which has promoted the replacement of varieties from conventional species to hybrids, and also laid a foundation for molecular breeding in the future. However, there are still some problems in actual production of flowering Chinese cabbage and Chinese kale in Guangdong Province. It is necessary to make breakthroughs in the characteristics of the varieties themselves and the excavation of excellent germplasm resources, and use modern biotechnology to combine with conventional hybrid breeding techniques to improve the resistance, quality and adaptability of varieties. Therefore, this article reviews the research history, germplasm resource collection, molecular biology research and industrial development status of flowering Chinese cabbage and Chinese kale in Guangdong Province in order to provide references for the development of leafy vegetables in Guangdong Province.

Key words: flowering Chinese cabbage; Chinese kale; germplasm resources; biotechnology; industrial development

菜心（*Brassica rapa* var. parachinensis）和芥蓝（*Brassica oleracea* var. alboglabra）是广东省特色叶菜类蔬菜，产品不但内销深受广大市民欢迎，还大量出口到香港、澳门地区以及东南亚、欧美国家。

菜心属十字花科芸薹属一年生或二年生草本植物，是白菜中易抽薹类型的一个变种，起源于我国南部，主要分布在广东、广西和福建等地。菜心主要食用器官为花茎或薹叶，薹质柔嫩多汁，风味独特。据2020年统计，广州市菜心年播种面积达1.68万hm^2，占叶菜类面积的24%，占蔬菜总播种面积的12%[1]。菜心复种指数高，平均每年种植可达7~10茬。近年来菜心在种植区域和种植品种方面发生了较大变化，促进了菜心品种改良和产业发展。

芥蓝又名芥兰、格蓝、盖蓝等，起源于我国华南地区，以菜薹或叶片为食用器官，其中大多数品种以食用菜薹为主。根据张平真考证，散叶可供蔬食的甘蓝早在公元5、6世纪的南北朝时期就从其原产地经中亚传入中国[2]。在亚热带气候条件下的广东地区，因气温较高或在相对贫瘠的环境条件下，只有少数能够抽薹开花并产生种子的植株才被保留下来，通过长期的人工选择，如同菜心的演化一样，逐渐形成了以嫩叶和花薹供食的芥蓝[3]。从苏轼《雨后行菜圃》中的诗句“芥蓝如菌蕈，脆美牙颊响”推论，芥蓝在我国华南地区至少有900余年的栽培历史，在广东、广西、福建和台湾等地均有种植，其营养丰富，质地脆嫩，可炒食和凉拌，受到中外消费者的喜爱和欢迎。芥蓝在我国北方地区已作为特菜成为引种和扩大种植的蔬菜种类之一，很多省市已有栽培。目前，宁夏，河南，甘肃和云南等地，已先后对芥蓝品种及引种栽培的情况进行了报道。在国外东南亚各国以及欧、美、大洋洲等地也有引进栽培。

广东省菜心和芥蓝生产上使用的品种逐渐向杂交种过渡，也有一些品质和适应性较好的常规种仍在大面积种植，如广州市农业科学院选育的常规品种四九菜心。60多年来，广东省内各科研单位对菜心和芥蓝进行了大量的育种研究和种质资源收集、保存和挖掘工作。随着菜心和芥蓝作为特色蔬菜在我国北方和西南地区种植面积不断扩大，现有品种需要不断改良在品种适应性、抗性、产量和品质等方面的不足。同时菜心和芥蓝在产业发展中依然面临着一些问题，需要从品种本身特性和挖掘优异种质资源上进行突破，将常规杂交育种技术与现代生物技术相结合。因此，本文通过综述广东省菜心和芥蓝的研究历史、种质资源收集情况、分子生物学研究和产业发展现状，对广东省菜心和芥蓝的产业发展进行展望。

1 广东菜心、芥蓝育种研究历史

1.1 菜心育种

20世纪60年代以前，广东地区生产上使用的菜心品种都是农民自选、自留的地方品种。60年代以后，育种工作者对菜心遗传育种进行了广泛深入的研究，在常规品种选育、抗性育种、杂种优势利用等方面取得了较大进展，先后选育出一批在生产上广泛推广应用的新品种[4]。系统选育和杂交选育是菜心育种的主要手段，20世纪60年代开始，广州市农业科学研究院最早以广州市冼村菜农选育的四九菜心为原始材料，于1978年育成四九菜心-19，目前仍是早熟菜心中栽培面

积最大的常规品种之一。

甘蓝型油菜 Polima 胞质不育系最早被转育到菜心中进行利用，并选育出多个菜心杂交种。例如，1996 年，广州市农业科学研究院利用甘蓝型油菜湘油 A 不育源，选育出早优 1 号、早优 2 号和中花杂交菜心[5]；2001 年，柳州市农业科学研究所利用陕西省蔬菜花卉研究所提供的菜心 Polima 胞质不育系培育出柳杂 1 号和柳杂 2 号菜心[6]。Polima 胞质不育系的稳定性受细胞核基因型影响较大，易受温度影响而出现可育花粉，影响最终杂交种的纯度[7]。由于制种成本较高，上述品种当时未得到大面积推广。

来源于日本野生萝卜的 Ogura 胞质不育系具有败育稳定、彻底的优点，在芸薹属蔬菜中利用较为广泛[8]。虽然早期不同来源的 Ogura 胞质不育系转至芸薹属蔬菜背景中会伴有叶片黄化、蜜腺不发达的问题[9]，但通过胞质融合和叶绿体替换等细胞学手段，上述问题已得到克服，使得 Ogura 胞质不育系成为芸薹属杂种优势利用中最理想的材料。近年来，广东省农业科学院蔬菜研究所和广州市农业科学研究院利用改良的 Ogura 胞质不育相继育成粤翠 1 号、粤翠 2 号、玉田 3 号和玉田 4 号等杂交菜心，并在生产上大面积推广应用。

1.2 芥蓝育种

芥蓝早期生产上主要以农家种、地方品种为主，包括早熟芥蓝、中花芥蓝、荷塘芥蓝、红脚芥蓝、香菇芥蓝、四季粗条芥蓝、迟花芥蓝等常规种。2007 年，广东省良种引进服务公司最早从日本引进芥蓝杂交种绿宝芥蓝和顺宝芥蓝。广东省农业科学院蔬菜研究所于 1997 年开展芥蓝杂种优势利用的工作，并于 2010 年利用芥蓝自交不亲和系育成国内首个芥蓝杂交种夏翠芥蓝和秋盛芥蓝，打破了国外对芥蓝杂交种的垄断控制，随后相继育成秋绿芥蓝、冬绿芥蓝、秋宝芥蓝和冬强芥蓝等多个芥蓝杂交品种[10-11]。2014 年和 2020 年，广州市农业科学研究院利用细胞质雄性不育系育成金绿芥蓝、金盛芥蓝和金笋芥蓝[12-13]。2015 年，华南农业大学育成抗癌硫苷含量高的华芥一号新品种。随着芥蓝作为特色蔬菜在北方地区种植面积的扩大，其他地区的科研院所也开始进行芥蓝的品种选育工作，如上海市农业科学院选育的沪芥 1 号[14]。

2 广东菜心、芥蓝种质资源收集、保存与利用

菜心和芥蓝均起源于华南地区，相关科研院所和高校均收集了部分种质资源。截至 2021 年，国家种质资源中期库中保存有菜薹类种质资源 62 份，广东省农业科学院蔬菜研究所保存有菜心种质资源 1 000 余份，广州市农业科学研究院保存有菜心种质资源 2 000 余份。史卫东等[15]利用 SCoT 标记对 33 份菜心种质资源进行遗传多样性分析，聚类分析结果表明，在 Nei's 遗传距离 0.24 处可将 33 份菜心资源分成两大类，第 1 类包括 14 个早熟品种、2 个中熟品种和 1 个晚熟品种，第 2 类包括 10 个中晚熟品种和 6 个早熟品种，基本与熟期分类结果一致。李桂花等[16]利用 SRAP 标记分析了 44 份菜心种质资源的遗传多样性，结果表明在相似系数为 0.638 的水平上，可将 44 份菜心资源分为两大类，一类包括来自湖南的紫红菜薹，另一类包括其他所有绿叶菜薹品种。钟玉娟等[17]分析了绿菜薹、白菜薹和红菜薹不同品种间硝酸盐含量的差异，将 44 个菜薹品种划分为硝酸盐含量高和硝酸盐含量低的 2 个类群，并证实硝酸盐含量与营养品质指标存在显著相关关系。原远等[18]利用顶空固相微萃取 – 气相色谱 – 质谱（HS–SPME–GC–MS）技术分析 5 份菜心材料主薹挥发性风味物质组分，初步确定菜心酯类和醇类的相对含量之和最高，为主要挥发性风味类别，尤其以（Z）–3– 己烯 –1– 醇乙酸酯、（Z）–3– 己烯 –1– 醇的相对含量最高。

20 世纪 80 年代，广东省农业科学院蔬菜研究所和广州市农业科学研究院开始收集保存芥蓝种质资源。截至 2009 年，全国入库保存的芥蓝种质资源有 90 份，其中 72 份来自于广东、占入库总数的 80%[19]。这些芥蓝资源大部分是农家品种，收集的地区包括广东本地以及泰国等，其中以广东潮汕地区的芥蓝种质资源为多。李桂花等[20]利用 SRAP 标记对 56 份芥蓝种质资源的遗传多样性进行分析，发现材料间遗传相似系数变化范围为 0.524~0.884，在相似系数为 0.66 的水平上，可将 56 份芥蓝资源分为六大类，相对于其他作物，芥蓝材料间的遗传基础比较狭窄。宋世威等[21]对水培条件下 27 个芥蓝品种的生物量及硝酸盐含量进行研究，发现芥蓝不同品种间硝酸盐含量差

异显著，薹茎和叶片都易积累硝酸盐，总体上薹茎硝酸盐含量高于叶片，且聚类分析将 27 个芥蓝品种划分为硝酸盐含量低、中、高 3 个类群，为低硝酸盐品种选育及分子机理研究奠定了基础。司雨等[22]对 43 个芥蓝基因型硫代葡萄糖苷组分与含量进行了分析，共检测出 5 种脂肪族硫苷和 4 种吲哚族硫苷，其中 3– 丁烯基硫苷为主要硫苷。

耐热性是一个复杂的生物学现象，植株耐热表现受逆境发生的时期、持续时间、逆境强度等多种因素的影响。李光光等[23]以热害指数为性状筛选标准，于苗期和采收期对 6 个不同熟性的菜心品种在高温塑料棚中农艺性状、生理生化指标进行考察，发现 4 个指标（高温塑料棚采收期的菜心株高、薹叶数、采收期的单株生物总重和播种成活率）与热害指数呈显著负相关，可用于鉴定菜心的耐热性。霜霉病、炭疽病和软腐病是菜心和芥蓝生产中的毁灭性病害，开展抗病育种是解决生产上病害发生和流行的重要途径。张华等[24–25]采用人工喷雾接种方法，摸索出一套适合于菜心炭疽病苗期抗病性鉴定的方法并用于室内人工接种，结果表明尚未发现有对菜心炭疽病免疫和高抗的品种，但不同品种间的抗病性存在较大差异，一般早熟菜心品种的抗病性较强、中熟品种次之、迟熟品种较弱，与田间自然发病观察结果相一致。通过抗病鉴定筛选抗原材料，筛选出菜心和芥蓝的抗霜霉病、炭疽病、黑腐病材料，或从其他近缘种寻找抗性材料，是将来进行抗病育种的必然之路。

3　广东菜心、芥蓝分子生物学研究

测序技术和转基因技术的飞速发展，为研究基因表达、调控和遗传进化提供了一个理想的实验体系。单倍体育种技术已经广泛应用于作物和蔬菜育种中，用于快速获得纯系和构建遗传群体。目前在菜心和芥蓝中利用小孢子培养创建 DH 系的方法已经基本成熟。通过调节不同蔗糖浓度和激素（6–BA、NAA）浓度的组合，杨易等[26]分析了 10 份不同基因型菜心材料，筛选出出胚率最高的培养基配方（NLN–10 培养基 + 6–BA 0.10 mg/L+NAA 0.10 mg/L，100 g/L 蔗糖），并指出基因型是影响小孢子形成的主要因素。罗文龙等[27]优化了芥蓝单倍体育种技术流程，利用机械破碎提取芥蓝小孢子结合秋水仙素处理的方式获得了较高的 DH 成系率。

利用植物细胞全能性，以组织培养方式进行遗传转化在菜心中的效率仍较低，且转化效率受基因型、外植体、苗龄和激素等因素的影响，因此限制了菜心的基础研究工作。Li 等[28]通过优化各种组培体系和筛选易分化基因型材料，在大白菜中最高可以实现 10.83% 的转化效率。Jeong 等[29]利用农杆菌侵染大白菜幼苗下胚轴，对大白菜 *BraFLC* 基因进行编辑，得到的阳性编辑体比例最高为 1.07%。由于控制愈伤分化成株的基因位于 C 基因组上，芥蓝的遗传转化效率则比较高，如郑爱红等对芥蓝进行基因编辑的突变效率为 68.42%[30]。

以 CRISPR 为代表的基因编辑系统为作物和蔬菜的遗传改良提供了新的途径[31]，虽然菜心的遗传转化较为困难，但研究者们也进行了一些尝试。吴栋雄等[32]通过生物信息学分析鉴定了白菜中的 TCP 转录因子基因家族，并进行白菜愈伤组织再生体系的优化和菜心 CRISPR–Cas9 遗传转化体系的初步探索，以菜心带子叶柄 – 子叶为外植体，确定菜心最佳不定芽诱导培养基为 MS+6–BA 2 mg/L + NAA 0.45 mg/L + $AgNO_3$ 4 mg/L +20 g/L 蔗糖 +3 g/L Gelzan（pH 5.8）。虽然试验成功获得了愈伤组织，未能获得抗性再生芽，但为白菜类蔬菜进行 CRISPR–Cas9 基因编辑系统的建立奠定了基础。郑爱红等[30]以芥蓝为材料，以 ζ– 胡萝卜素脱氢酶（ζ–Carotene desaturase，ZDS）基因为目标基因，建立 CRISPR/Cas9 基因组编辑体系，实现靶向编辑芥蓝 *BoaZDS*。CRISPR 系统不断发展，不仅可以实现基因敲除[33]，还可以进行碱基转换、碱基替换和序列插入等[34]，这些编辑体系将为菜心和芥蓝在抽薹、开花、抗病、抗逆、品质和株型等方面的遗传改良提供基础。

由于十字花科植物与模式植物拟南芥的基因同源性比较高，对菜心和芥蓝的研究常基于同源克隆的方法对基因功能进行探究，利用正向遗传学手段的研究多集中在花色和薹色等性状上。王浩伟等[35]通过测定 10 份芥蓝材料在不同高温胁迫下的生长指标和生理生化指标，发现高温能诱导 *MBF1c* 转录因子的表达，使其表达量升高，且耐热性强的材料相对表达量较高，该转录因子的表达可能对芥蓝耐热性起到一个正调控作

用。苏蔚等[36]于15 ℃低温下分别处理菜心幼苗24、48 h，探究低温条件下WRKY转录因子参与菜心提前抽薹开花的分子机制，结果表明菜心*BcWRKY22*基因受低温上调表达，并可以结合*BcSOC1*基因的启动子，促进菜心叶片和茎尖中*BcSOC1*基因的表达量升高，使菜心提前抽薹开花。菜心中最早报道了一个白色花突变体，受单一隐性基因控制，白花菜心与不育系配组F_1比黄花菜心与不育系配组F_1增产10.23%，存在较强的杂种优势，且采收期集中，抽薹性比较理想，育性恢复率为100%[37]。Xu等[38]利用回交群体单株混池测序结合图位克隆的方法，将控制芥蓝黄花的基因*ckpc*定位于C03染色体69 kb的区间内，并推测编码类胡萝卜素双加氧酶4（CCD4）的基因*Bo3g158650*是其候选基因。张艳等[39]对芥蓝紫薹性状进行遗传分析发现，其由一对不完全显性基因控制，利用BSA法结合基于双亲全基因组重测序开发的InDel标记将紫薹基因定位于C06染色体67.4 kb的区间内，而该区域只有6个预测基因。上述在菜心和芥蓝上开展的功能基因鉴定，对开发基因连锁标记、分子辅助选择导入目标形状具有重要作用。此外，以SNP位点开发的KASP标记具有覆盖度高、通量大和方便使用的特点，已经在菜心和芥蓝的基因克隆中得到广泛应用。

4 广东菜心、芥蓝产业发展现状与存在问题

4.1 发展现状

进入21世纪以来，随着经济、冷链保鲜技术和交通运输业的发展，由于菜心和芥蓝消费量的大幅增长，广东本地生产量难以满足市场需求，再加上华南地区夏季气候炎热、雨水多、病虫害发生严重，菜心种植产量不稳、质量不高、种植难度较大等原因，广东很多专业化经营的规模菜场尝试利用全国范围内不同区域的气候条件进行生产布局，供应广东、港澳地区和海外市场。先是利用广东周边省份和云贵地区就近生产供应；20世纪90年代开始，利用北方地区（如北京郊区）4—10月相对凉爽、雨水较少、昼夜温差大的气候条件进行菜心生产供应；2006年以来，北方地区（如宁夏、河南等地）4—9月菜心栽培面积发展迅速，仅宁夏地区菜心和芥蓝常年栽培面积就达1.3万hm^2以上、河南3 000多hm^2、甘肃2 000多hm^2，云南冬春季节生产面积也达3 000多hm^2，其中以宁夏菜心最出名并在2018年获得农产品地理标志登记保护。由于宁夏菜心薹粗壮、味甜、口感好和卖相好，深受人们喜爱，在广州市场具有很高的知名度，古有“天下黄河富宁夏”，今有“宁夏菜心誉粤海”[40]。

广州地区是菜心和芥蓝等华南特色叶菜销售最大的市场，而目前广州地区特色叶菜生产量远不能满足市场需求，尤其在夏季高温多雨季节。据2012年7—9月广州市各区批发市场统计，本地菜心供应量仅占批发市场的21.1%，2018年7—9月本地菜心供应量不足批发市场的3%。秋冬季节是菜心和芥蓝的主要种植季节，其中一些具有地方特色的叶菜品种逐渐打造成品牌，形成较大产业，如连州菜心、增城迟菜心、红脚芥蓝、香菇芥蓝等。

4.2 存在问题

4.2.1 *人工劳动力成本较高* 随着城镇化进程的加快和农村富余劳动力向非农产业的转移，农村劳动力短缺和老龄化日趋严重，劳动力的工资成本越来越高，严重制约了叶菜产业的健康发展。以菜心为例，劳动力的工资成本占总成本（包括生产和物流）的1/4~1/3，是总成本开支中比例最大的一块。同时，劳动力很不稳定，在产品采收高峰期常因劳动力缺乏不能及时采收而造成大量损失。

4.2.2 *生产机械化水平有待提高* 在叶菜类蔬菜生产中，传统的人力型农耕方式逐渐向为机械化种植生产转变。近年来，叶菜生产基地已逐渐开始使用旋耕机、起垄机、播种机、育苗机、移栽机和自动化灌溉设施等进行机械化生产及管理。但机械化和自动化水平仍处于初级阶段，在精细化整地、精量化播种和自动化管理等方面有巨大的提升空间。同时，收割环节机械化水平严重不足，实现全程机械化生产尚存在较大难度。叶菜生产过程中，机械化专用品种缺乏、相应农艺措施与现代农机的高效率不相匹配，限制了机械化的功能发挥和生产的规模化发展。

4.2.3 *品种不能满足生产和市场需求* 生产上使用的一些具有地方特色的菜心和芥蓝品种，由于长期种植，导致出现品种退化、品质下降和生育期较长等问题，需要进行提纯复壮、品质改良和

种质创新。此外，广东地区多家单位和公司进行叶菜类蔬菜育种，虽然取得一些进展，但育种水平、深度以及广度仍存在许多不足：所推广品种在抗逆性和品质方面仍不能满足生产和市场的需求，杂种一代在生产上应用较少；遗传资源不够丰富，特别是抗病、抗逆、优质优异资源缺乏；生物技术仍未能与育种很好地结合[41]。

4.2.4 大量使用丙环唑 丙环唑是一种广谱内吸三唑类杀菌剂，具有很好的抗病防腐功效，广泛用于由多种真菌引起的作物、蔬菜和果树等多种植物病害的防治。目前大部分菜场通常使用丙环唑来塑造株型，促进茎叶粗壮和叶色深绿，并在特殊天气情况下延缓植株生长[42]。叶倩等[43]通过分析广州地区芥蓝、菜心和小白菜中丙环唑和矮壮素的残留水平，发现芥蓝中丙环唑的残留量最高，而菜心中矮壮素残留量最高。由于丙环唑大量施于菜地，其副作用也日渐显现：首先，丙环唑对哺乳动物有潜在威胁，研究表明丙环唑能对大鼠产生肝损，美国环境保护署将其归为“潜在的人类致癌物”[44-45]，许多国家将其列入环境内分泌干扰物重点监测名单[46]；其次，丙环唑降解缓慢，据 2007 年联合国粮农组织 / 卫生组织 JMPR 评估报告，丙环唑在水稻 / 底泥体系中的半衰期达 561 d，极难降解，使人类健康和生态安全受到威胁。由于目前相关管理部门尚未对丙环唑在芸苔类和叶类蔬菜种的残留限量及使用规程做出规定，大部分菜场仍存在超量使用问题。随着人们对食品安全关注的提高，有必要从品种选育方面改变目前对丙环唑的依赖。

5 展望

综上所述，在菜心、芥蓝的基础研究和品种选育中，在株型改良、抗病性和抗逆性、适应性、品质性状等方面仍存在诸多不足。在现有育种手段的基础上，通过常规育种和杂交育种较难满足品种在多个性状上的同时改良，而利用基础研究尤其是生物技术方法来指导育种、设计育种具有广阔的应用前景。为促进广东省菜心和芥蓝产业可持续发展，我们对未来菜心、芥蓝的育种方向展望如下：

5.1 育种由丰产型逐步向优质、丰产、多抗、广适应性等综合发展

蔬菜生产者注重产量，而蔬菜消费者更关心品质。这就要求育种工作者在保证产量的前提下，更需兼顾蔬菜品质性状和营养性状，同时有针对性地培育株型良好和适宜发展机械化的新品种。品质性状需要从外观形态、挥发性风味物质、菜薹纤维含量以及硫苷类物质比例和含量等要素进行研究，而营养性状则包括蛋白质、维生素 C、可溶性固形物、可溶性糖含量和重金属累积量等方面考虑。在抗性改良方面，需培育耐热性新品种，并平衡品种的耐热性和抗病性及品质之间的关系。急待加强研究，深入开展菜心抗霜霉病和炭疽病、芥蓝抗霜霉病和软腐病的研究工作，有必要对现有品种和将来选育的品种进行抗根肿病的抗性储备。同时要从品种本身生长特性的遗传改良上突破，才有可能减少丙环唑类农药的使用。

随着北方菜心种植区域和栽培面积的扩大，在宁夏、河南、贵州、甘肃和云南等地种植的菜心和芥蓝大部分从华南地区引种，种子用量逐年上升，但不同熟性的品种对地域气候的适应性不同，不同地方对品种的适应性有不同的要求。因此，需要深入研究菜心和芥蓝在营养生长、抽薹和开花途径的调控机理，以培育广适应性新品种。

5.2 适合机械化采收的品种和可操作的机械是产业发展的迫切需要

菜心和芥蓝在广东多是起垄栽培，一方面方便田间管理和收割，另一方面防止由田间过湿引起的病害传播，也提高了机械操作空间。为适宜机械化采收，要求品种在商品期整齐度较好，薹与叶间株型紧凑、叶柄短，且薹下部叶间距较大。然而，目前菜心和芥蓝尚未有精细化的专业采收机械，机械化采收的整齐度和商品性仍不及人工采收，因此，需要蔬菜育种单位和机械研发单位加强合作，共同推动薹类蔬菜采收机械化，促进产业发展。

5.3 加强蔬菜育种科研单位合作攻关，走“产学研”“育繁推”一体化的现代种业发展道路

作为华南地方特色的蔬菜，菜心和芥蓝被越来越多消费者所接受，种植规模也在不断扩大。而菜心和芥蓝都属于芸薹属蔬菜中进化较晚的分化亚型，其遗传基础比较狭窄，品种同质化现象严重，因此有必要利用白菜和甘蓝等其他蔬菜种质的遗传信息扩大和丰富菜心、芥蓝的遗传变异范围，创制出新的种质类型。这就要求蔬菜育种单位间要密切合作，在扩大遗传变异类型的基础

上筛选地方适应性品种，综合产量、品质和抗性进行选育。

5.4 现代生物技术与常规杂交育种技术相结合是必然趋势

现代生物技术的快速发展对蔬菜性状的改良发挥了巨大的推动作用。要解决菜心生物技术利用上的难题，首先要克服其遗传转化困难的问题。Juan 等[47]研究表明，在转化载体中融合植物发育调控基因 *GRF4-GIF1*，可以大幅提高小麦可转化的基因型和转化效率。通过共转化分生组织调控基因 WUS 可实现烟草诱导产生分生组织[48]，还可以实现大麻的基因编辑[49]。因此，在菜心中进行遗传转化时也可借鉴类似策略。以控制光照时长和温度来实现作物快速加代的方法[50]，结合分子育种手段对菜心和芥蓝进行目标性状的快速改良和优质基因的聚合育种，能够极大地缩短育种时间，定向培育和改良目的品种。而芸薹属作物和拟南芥中已经克隆的重要农艺性状基因，包括开花途径调控基因、抽薹和株型相关基因、抗病基因和花发育通路基因等，大多能在菜心和芥蓝中找到对应的同源基因，利用 CRISPR 编辑技术可以直接对目标性状进行改造，创建理想种质。

参考文献

[1] 许东林, 周贤玉, 肖婉钰, 杨振, 张晶, 任海龙 . 19 个中熟菜心品种农艺性状的相关及聚类分析[J]. 长江蔬菜, 2021(16):42-44.
XU D L, ZHOU X Y, XIAO W Y, YANG Z, ZHANG J, REN H L. Correlation and cluster analysis of agronomic characters of 19 middle-mature flowering Chinese cabbage varieties[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2021(16):42-44.

[2] 张平真 . 中国蔬菜名称考释[M]. 北京 : 燕山出版社, 2011.
ZHANG P Z. An explanation of the names of Chinese vegetables[M]. Beijing: Yanshan Publishing House, 2011.

[3] 曹家树, 曾广文, 缪颖. 生物适应进化及其分子机制[J]. 大自然探索, 1997,16(4):51-54.
CAO J S, ZENG G W, MIAO Y. The evolution of biological adaptation and its molecular mechanism[J]. *Nature Exploration*, 1997,16(4):51-54.

[4] 方智远 . 中国蔬菜育种学[M]. 北京 : 中国农业出版社, 2017.
FANG Z Y. Chinese vegetable breeding[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2017.

[5] 刘自珠, 张华, 刘艳辉, 孙怀志, 彭谦 . 菜心胞质雄性不育系的选育及利用[J]. 广东农业科学, 1996(5):14-16.
LIU Z Z, ZHANG H, LIU Y H, SUN H Z, PENG Q. Breeding and utilization of cytoplasmic male sterile lines in flowering Chinese cabbage[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 1996(5):14-16.

[6] 农映高 . 菜心品比试验简报[J]. 长江蔬菜, 2001(7):37. DOI: 10.3865/j.issn.1001-3547.2001.07.027.
NONG Y G. Brief report on choy sum product comparison test[J]. *Journal of Changjiang Vengetables*, 2001(7):37. DOI: 10.3865/j.issn.1001-3547.2001.07.027.

[7] 杨宗辉 . 甘蓝型油菜波里马细胞质雄性不育恢复基因的图位克隆和功能研究[D]. 武汉 : 华中农业大学, 2016.
YANG Z H. Map-based cloning and functional study of a restorer gene for cytoplasmic male sterility in *Brassica napus* Polima[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.

[8] 于海龙,任文静,方智远,杨丽梅,庄木,吕红豪,王勇,季佳磊,张扬勇 . 蔬菜细胞质雄性不育的育性恢复研究进展[J]. 园艺学报, 2021,48(5):1031-1046. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0795.
YU H L, REN W J, FANG Z Y, YANG L M, ZHUANG M, LYU H H, WANG Y, JI J L, ZHANG Y Y. Research progress on fertility restoration of cytoplasmic male sterility in vegetables[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021,48(5):1031-1046. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0795.

[9] 许明,魏毓棠 . 萝卜胞质白菜雄性不育系向菜心品种转育的研究[C]. 中国园艺学会第六届青年学术讨论会, 2004.
XU M, WEI Y T. Study on the transfer of male sterile line of radish cytoplasmic cabbage to cabbage variety[C]. The 6th Youth Academic Symposium of the Chinese Horticultural Society, 2004.

[10] 李桂花, 陈汉才, 宋钊, 张艳, 曹健, 陈琼贤 . 芥蓝新品种‘夏翠芥蓝’[J]. 园艺学报, 2011,38(1):195-196. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2011.01.031.
LI G H, CHEN H C, SONG Z, ZHANG Y, CAO J, CHEN Q X. New kale variety ' Xia Cui Kale'[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011,38(1):195-196. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2011.01.031.

[11] 李桂花,陈汉才,张艳,宋钊 . 芥蓝新品种‘秋盛芥蓝 '[J]. 园艺学报, 2011,38(8):1617-1618. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2011.08.028.
LI G H, CHEN H C, ZHANG Y, SONG Z. A new kale variety ' Qiusheng Kale'[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011,38(8):1617-1618, DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2011.08.028.

[12] 江定, 李向阳, 刘振翔, 郑岩松, 张华, 李光光. 芥蓝新品种‘金盛芥蓝’[J]. 园艺学报, 2020,47(S2):2966-2967. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2019-0810.
JIANG D, LI X Y, LIU Z X, ZHENG Y S, ZHANG H, LI G G. New kale variety 'Jinsheng Kale'[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020,47(S2):2966-2967. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2019-0810.

[13] 李向阳, 刘振翔, 刘自珠, 郑岩松, 张华, 邹集文, 李光光, 黄红弟 . 芥蓝新品种金绿的选育[J]. 中国蔬菜, 2014(12):56-58.
LI X Y, LIU Z X, LIU Z S, ZHENG Y S, ZHANG H, ZOU J W, LI G G, HUANG H D. Breeding of new Chinese kale variety Jinlu[J]. *China Vegetables*, 2014(12):56-58.

[14] 陈锦秀, 薄天岳, 邰翔, 缪体云, 朱晓炜 . 早熟、抗病芥蓝新组合

'沪芥1号'的选育[J]. 上海农业学报, 2017,33(5):88–92. DOI: 10.15955/j.issn1000–3924.2017.05.17.
CHEN J X, BO T X, YI X, LIAO T Y, ZHU X W. Breeding of a new early–maturing and disease–resistant Chinese kale combination 'Huju 1'[J]. *Acta Agriculture Shanghai*, 2017,33(5):88–92. DOI: 10.15955/j.issn1000–3924.2017.05.17.

[15] 史卫东, 琚茜茜, 张力, 罗海玲, 熊发前, 康红卫. 菜心种质资源遗传多样性的SCoT分析[J]. 南方农业学报, 2015,46(8):1350–1355. DOI: 10.3969/j:issn.2095–1191.2015.08.1350.
SHI W D, JU X X, ZHANG L, LUO H L, XIONG F Q, KANG H W. SCoT analysis of genetic diversity of flowering Chinese cabbage germplasm resources[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2015,46(8):1350–1355. DOI: 10.3969/j:issn.2095–1191.2015.08.1350.

[16] 李桂花, 陈汉才, 张艳, 温艺敏, 陈琼贤, 张桂权. 菜心种质资源遗传多样性的SRAP分析[J]. 中国农学通报, 2012,28(4):110–114. DOI: 10.3969/j.issn.1000–6850.2012.04.020.
LI G H, CHEN H C, ZHANG Y, WEN Y M, CHEN Q X, ZHANG G Q. SRAP Analysis of the genetic diversity of Chinese cabbage germplasm resources[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012,28(4):110–114. DOI: 10.3969/j.issn.1000–6850.2012.04.020.

[17] 钟玉娟, 张白鸽, 罗少波, 陈汉才, 李桂花, 曹健. 菜薹硝酸盐积累与品种、营养品质之间的关系[J]. 中国农学通报,2017,33(18):49–55.
ZHONG Y J, ZHANG B G, LUO S B, CHEN H C, LI G H, CAO J. Relationship between nitrate accumulation of cabbage stalk and variety and nutritional quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017,33(18):49–55.

[18] 原远, 王春政, 周贤玉, 戴修纯, 李光光, 郑岩松, 江定, 任海龙, 雷建军, 张华. 菜心挥发性风味物质组分分析及风味品质评价[J]. 南方农业学报, 2019,50(7):1587–1595.
YUAN Y, WANG C Z, ZHOU X Y, DAI X C, LI G G, ZHENG Y S, JIANG D, REN H L, LEI J J, ZHANG H. Analysis of volatile flavor components in Chinese cabbage and evaluation of flavor quality[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019,50(7):1587–1595.

[19] 秦耀国, 杨翠芹, 曹必好, 陈国菊, 雷建军. 芥蓝遗传育种与生物技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2009,25(18):296–299.
QIN Y G, YANG C Q, CAO B H, CHEN G J, LEI J J. Research progress of Chinese kale genetic breeding and biotechnology[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009,25(18):296–299.

[20] 李桂花, 陈汉才, 张艳, 郭凤仪, 李向阳, 刘振翔, 张桂权. 芥蓝种质资源遗传多样性的SRAP分析[J]. 热带作物学报, 2011,32(12):2214–2220. DOI: 10.3969/j.issn.1000–2561.2011.12.003.
LI G H, CHEN H C, ZHANG Y, GUO F Y, LI X Y, LIU Z X, ZHANG G Q. SRAP Analysis of the genetic diversity of Flowering Chinese Kale germplasm resources[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011,32(12):2214–2220. DOI: 10.3969/j.issn.1000–2561.2011.12.003.

[21] 宋世威, 廖国秀, 刘厚诚, 孙光闻, 陈日远. 不同芥蓝品种产量及品质性状聚类分析[J]. 中国农学通报, 2011,27(19):161–165. DOI: 10.3969/j.issn.1004–874X.2011.11.021.
SONG S W, LIAO G X, LIU H C, SUN G W, CHEN R Y. Cluster Analysis of yield and quality characters of different Chinese kale varieties[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011,27(19):161–165. DOI: 10.3969/j.issn.1004–874X.2011.11.021.

[22] 司雨, 陈国菊, 雷建军, 曹必好, 冯恩友. 不同基因型芥蓝硫代葡萄糖苷组分与含量分析[J]. 中国蔬菜, 2009(6):7–13.
SI Y, CHEN G J, LEI J J, CAO B H, FENG E Y. Analysis of components and contents of glucosinolates in different genotypes of Chinese kale[J]. *China Vegetables*, 2009(6):7–13.

[23] 李光光, 张财顺, 郑岩松. 不同菜心品种耐热性鉴定指标的筛选[J]. 北方园艺, 2012(18):1–5.
LI G G, ZHANG C S, ZHENG Y S. Selection of identification indexes for heat tolerance of different cabbage varieties[J]. *Northern Horticulture*, 2012(18):1–5.

[24] 张华, 周而勋, 刘自珠, 杨媚, 沈应杆. 菜心炭疽病苗期抗病性鉴定技术[J]. 华南农业大学学报, 1998(3):50–53.
ZHANG H, ZHOU E X, LIU Z Z, YANG M, SHEN Y G. Identification technology of seedling resistance of flowering Chinese cabbage anthracnose[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 1998(3):50–53.

[25] 张华, 刘自珠, 郑岩松, 黄红弟, 周而勋, 杨媚. 菜心品种资源炭疽病抗性鉴定[J]. 广东农业科学, 2000(3):47–49. DOI: 10.16768/j.issn.1004–874X.2000.03.021.
ZHANG H, LIU Z Z, ZHENG Y S, HUANG H D, ZHOU E X, YANG M. Identification of anthracnose resistance of flowering Chinese cabbage varieties[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2000(3):47–49. DOI: 10.16768/j.issn.1004–874X.2000.03.021.

[26] 杨易, 陈汉才, 沈卓, 周轩, 黎庭耀, 杜志炜, 杨丽璇, 张艳. 菜心游离小孢子培养高频胚诱导培养基优化[J]. 广东农业科学, 2020,47(5):37–43. DOI: 10.16768/j.issn.1004–874X.2020.05.005.
YANG Y, CHEN H C, SHEN Z, ZHOU X, LI T Y, DU Z W, YANG L X, ZHANG Y. Optimization of high frequency embryo induction medium for culturing Chinese cabbage free microspores[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(5):37–43. DOI: 10.16768/j.issn.1004–874X.2020.05.005.

[27] 罗文龙, 郭巨先, 符梅, 李桂花, 徐小万, 刘洪标, 田永红. 基于小孢子培养的芥蓝单倍体育种技术研究[J]. 广东农业科学, 2020,47(3):36–43. DOI: 10.16768/j.issn.1004–874X.2020.03.005.
LUO W L, GUO J X, FU M, LI G H, XU X W, LIU H B, TIAN Y H. Study on the technology of haploid Chinese kale based on microspore culture[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2020,47(3):36–43. DOI: 10.16768/j.issn.1004–874X.2020.03.005.

[28] LI X, LI H, ZHAO Y, ZONG P, ZHAN Z, PIAO Z. Establishment of a simple and efficient agrobacterium–mediated genetic transformation system to Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. pekinensis)[J]. *Horticultural Plant Journal*, 2021,7(2):117–128. DOI: 10.1016/j.hpj.2021.01.006.

[29] JEONG S Y, AHN H, RYU J, OH Y, SIVANANDHAN G, WON K,

PARK Y D, KIM J, KIM H, LIM Y P, KIM S. Generation of early-flowering Chinese cabbage (*Brassica rapa* spp. pekinensis) through CRISPR/Cas9-mediated genome editing[J]. *Plant Biotechnology Reports*, 2019,13(5):491-499. DOI: 10.1007/s11816-019-00566-9.

[30] 郑爱红, 张芬, 江敏, 袁巧, 江雷雨, 陈清, 汤浩茹, 孙勃. 利用CRISPR/Ca9技术靶向编辑芥蓝BoaZDS[J]. 园艺学报, 2019,46(1):57-64. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2018-0426.
ZHENG A H, ZHANG F, JIANG M, YUAN Q, JIANG L Y, CHEN Q, TANG H R, SUN B. Targeted editing of Chinese kale BoaZDS using CRISPR/Ca9 technology[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019,46(1):57-64. DOI: 10.16420/j.issn.0513-353x.2018-0426.

[31] HUANG Y, DONG H, SHANG M, WANG K. CRISPR/Cas systems: The link between functional genes and genetic improvement[J]. *The Crop Journal*, 2021,9(3):678-687. DOI: 10.1016/j.cj.2021.03.004.

[32] 吴栋雄. 白菜*TCP*基因家族的鉴定及利用CRISPR-Cas9系统进行编辑的初步探索[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
WU D X. Identification of Chinese cabbage *TCP* gene family and preliminary exploration of editing with CRISPR-Cas9 System[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017.

[33] LI J, LI H, CHEN J, YAN L, XIA L. Toward precision genome editing in crop plants[J]. *Molecular Plant*, 2020,13(6):811-813. DOI: 10.1016/j.molp.2020.04.008.

[34] MARZEC M, HENSEL G. Prime editing: Game changer for modifying plant genomes[J]. *Trends in Plant Science*, 2020,25(8):722-724. DOI: 10.1016/j.tplants.2020.05.008.

[35] 王浩伟, 陈国菊, 陈长明, 曹必好, 邹丽芳, 雷建军. 芥蓝耐热性鉴定及耐热转录因子MBF1c表达分析[J]. 中国蔬菜, 2017(2):30-37. DOI: 10.ssss/j.issn.1000-6346.2017.2.006.
WANG H W, CHEN G J, CHEN C M, CAO B H, ZOU L F, LEI J J. Identification of heat tolerance of Chinese kale and expression analysis of heat-resistant transcription factor MBF1c[J]. *China Vegetables*, 2017(2):30-37. DOI: 10.ssss/j.issn.1000-6346.2017.2.006.

[36] 苏蔚, 肖柳英, 孙光闻, 刘厚诚, 宋世威, 陈日远. 转录因子BcWRKY22在低温促进菜心抽薹开花中的功能分析[J]. 分子植物育种, 2020,18(12):3862-3870. DOI: 10.13271/j.mpb.018.003862.
SU W, XIAO L Y, SUN G W, LIU H C, SONG S W, CHEN R Y. Function analysis of transcription factor BcWRKY22 in low temperature promoting bolting and flowering of Chinese cabbage[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020,18(12):3862-3870. DOI: 10.13271/j.mpb.018.003862.

[37] 张华, 刘自珠. 菜心白花花色遗传及其在育种上的应用初探[J]. 广东农业科学, 1999(6):16. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874X.1999.06.007.
ZHANG H , LIU Z Z. Inheritance of white flower color of flowering Chinese cabbage and its application in breeding[J]. *Guangdong Agricultural Science*, 1999(6):16. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874X.1999.06.007.

[38] XU X, LUO W, GUO J, CHEN H, AKRAM W, XIE D, LI G. Fine mapping and candidate gene analysis of the yellow petal gene ckpc in Chinese kale (*Brassica oleracea* L. var. *alboglabra* Bailey) by whole-genome resequencing[J]. *Molecular Breeding*, 2019,39(7):1-11. DOI: 10.1007/s11032-019-1011-6.

[39] 张艳, 洪晓如, 黎庭耀, 李桂花, 陈汉才. 芥蓝紫薹性状的遗传分析与基因定位[J]. 分子植物育种, 2018,16(5):1545-1550. DOI: 10.13271/j.mpb.016.001545.
ZHANG Y, HONG X R, LI T Y, LI G H, CHEN H C. Genetic analysis and gene mapping of the traits of kale purple stalk[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2018,16(5): 1545-1550. DOI: 10.13271/j.mpb.016.001545.

[40] 张华, 郑岩松, 李光光, 黄红弟, 乔燕春, 刘自珠. 菜心产业发展与其种业需求[C]. 沈阳: 中国园艺学会十字花科蔬菜分会第十二届学术研讨会, 2014.
ZHANG H, ZHENG Y S, LI G G, HUANG H D, QIAO Y C, LIU Z Z. Industry development and seed-industry demand in flowering Chinese cabbage[C]. Shenyang: The 12th Academic Symposium of Cruciferous Vegetable Branch of Chinese Horticultural Society, 2014.

[41] 张华, 刘自珠. 菜薹(菜心)的市场需求与育种现状[J]. 中国蔬菜, 2010(3):10-12.
ZHANG H, LIU Z Z. The market demand and breeding status of Caitai (flowering Chinese cabbage)[J]. *China Vegetables*, 2010(3):10-12.

[42] 叶倩, 黄健祥, 朱富伟, 王富华, 万凯. 丙环唑对芥蓝株高、产量和营养品质的影响及其安全性评价[J]. 农产品质量与安全, 2019(6):62-67.
YE Q, HUANG J X, ZHU F W, WANG F H, WAN K. The effect of propiconazole on the plant height, yield and nutritional quality of Chinese kale and its safety evaluation[J]. *Quality and Safety of Apro-Product*, 2019(6):62-67.

[43] 叶倩, 黄健祥, 邓义才, 高毓文, 梁应坤, 孙玲. 广州地区芥蓝、菜心和普通白菜中丙环唑和矮壮素残留及膳食暴露风险[J]. 热带作物学报, 2017,38(4):752-757.
YE Q, HUANG J X, DENG Y C, GAO Y W, LIANG Y K, SUN L. Propiconazole and chlormequat residues and dietary exposure risks in Chinese kale, Chinese cabbage and common cabbage in Guangzhou[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017,38(4): 752-757.

[44] WOLF D C, ALLEN J W, GEORGE M H, HESTER S D, SUN G, MOORE T, THAI S, DELKER D, WINKFIELD E, LEAVITT S, NELSON G, ROOP B C, JONES C, THIBODEAUX J, NESNOW S. Toxicity profiles in rats treated with Tumorigenic and Nontumorigenic Triazole Conazole Fungicides: Propiconazole, Triadimefon, and Myclobutanil[J]. *Toxicologic Pathology*, 2006,34(7):895-902. DOI: 10.1080/01926230601047808.

[45] GOETZ A K, ROCKETT J C, REN H, THILLAINADARAJAH I, DIX D J. Inhibition of rat and human steroidogenesis by triazole antifungals[J]. *Systems Biology in Reproductive Medicine*, 2009,55(5-6):214-26. DOI: 10.3109/19396360903234045.

[46] KAHLE M, BUERGE I J, HAUSER A, MÜLLER M D, POIGER T.

Azole fungicides: Occurrence and fate in wastewater and surface waters [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008,42(19):7193-7200. DOI: 10.1021/es8009309.

[47] DEBERNARDI J M, TRICOLI D M, ERCOLI M F, HAYTA S, RONALD P, PALATNIK J F, DUBCOVSKY J. A GRF-GIF chimeric protein improves the regeneration efficiency of transgenic plants [J]. *Nature Biotechnology*, 2020,38(11):1274-1279. DOI: 10.1038/s41587-020-0703-0.

[48] MAHER M F, NASTI R A, VOLLBRECHT M, STARKER C G, CLARK M D, VOYTAS D F. Plant gene editing through de novo induction of meristems[J]. *Nature Biotechnology*, 2020,38(1):84-89. DOI: 10.1038/s41587-019-0337-2.

[49] XIAOYU Z, GENCHENG X, CHAOHUA C, LEI L, JIAN S, YING X, CANHUI D, ZHIGANG D, ZEMAO Y, XIAOJUN C, CHAN L, QING T, JIANGUANG S. Establishment of an Agrobacterium-mediated genetic transformation and CRISPR/Cas9-mediated targeted mutagenesis in Hemp (*Cannabis sativa* L.) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2021:1-9. DOI: 10.1111/pbi.13611.

[50] WATSON A, GHOSH S, WILLIAMS M J, CUDDY W S, SIMMONDS J, REY M, ASYRAF MD HATTA M, HINCHLIFFE A, STEED A, REYNOLDS D, ADAMSKI N M, BREAKSPEAR A, KOROLEV A, RAYNER T, DIXON L E, RIAZ A, MARTIN W, RYAN M, EDWARDS D, BATLEY J, RAMAN H, CARTER J, ROGERS C, DOMONEY C, MOORE G, HARWOOD W, NICHOLSON P, DIETERS M J, DELACY I H, ZHOU J, UAUY C, BODEN S A, PARK R F, WULFF B B H, HICKEY L T. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding [J]. *Nature Plants*, 2018,4(1):23-29. DOI: 10.1038/s41477-017-0083-8.

（责任编辑　张辉玲）



陈汉才，研究员。一直从事叶菜豆类蔬菜种质资源收集、新品种选育以及新品种、新技术推广工作。先后承担国家、农业农村部、省科技厅等重点科研攻关项目20多项。主持育成油绿粗薹菜心、碧清甜菜心、夏盛小白菜、秋冠小白菜、秋绿芥蓝、冬强芥蓝、丰产2号豇豆、宝佳豆角等蔬菜新品种15个并通过广东省农作物品种审定，选育高产、优质品系10多个。最早利用芥蓝自交不亲和系开展芥蓝杂交种选育工作，育成国内首个芥蓝杂交种夏翠芥蓝和秋盛芥蓝，打破了国外对芥蓝杂交种的垄断。获得广东省科学技术二等奖1项、广州市科学技术二等奖1项、广东省农业技术推广奖一等奖1项；发表科技论文30余篇，参与编著《中国蔬菜品种志》《中国蔬菜育种学》《中国蔬菜品种资源目录》《珠江三角洲农田典型循环农业模式与技术》《珠江三角洲循环农业的理论与实践》等多部著作。2008年被评为“广东省农业科学院减灾复产先进个人”；2009年荣获科技部“全国优秀科技特派员”称号。