

姜蒜种质资源研究现状及发展建议

王海平, 宋江萍, 张晓辉, 阳文龙, 贾会霞, 王洋

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所 / 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 北京 100081)

摘要: 姜蒜是重要的调味品蔬菜, 药食兼用, 在调解人们的膳食结构、营养平衡和保健中具有重要价值。姜蒜也是我国重要的出口创汇蔬菜。姜蒜种质资源是生姜和大蒜科技创新、育种和种业可持续发展的重要保障和物质基础。本文从姜蒜种质资源收集与保存、鉴定与评价、优异基因源挖掘、创新与利用等方面研究的现状进行论述和分析。可以看出, 世界各国非常重视姜蒜种质资源的收集, 并开展了安全保存技术研究。我国姜蒜种质资源遗传多样性丰富, 在资源鉴定评价、创新利用和优异基因源挖掘利用上取得了一定研究进展, 但相关的研究工作起步较晚, 与国际发达国家相比, 我国姜蒜种质资源研究的深度和广度均有待加强。同时, 通过分析我国姜蒜种质资源研究存在的主要问题, 提出了相应的发展建议。

关键词: 生姜; 大蒜; 种质资源

Research Status and Development Suggestions for Ginger and Garlic Germplasm Resources

WANG Hai-ping, SONG Jiang-ping, ZHANG Xiao-hui, YANG Wen-long, JIA Hui-xia, WANG Yang

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Horticultural Crop Biology and Germplasm Creation in the Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

Abstract: Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) and garlic (*Allium sativum* L.) are important condiments and vegetables, and both can be used as medicine and food. They are of great value in mediating people's dietary structure, nutritional balance and health care. Ginger and garlic in China are also important vegetables for export. Ginger and garlic germplasm resources are important for the scientific studies and technological innovations that substantially support these breeding and sustainable development of industries. This article reviews the research status of ginger and garlic germplasm resources from the aspects of collection and preservation, identification and evaluation, excellent genes mining, innovation and utilization. Many countries in the world, especially for the developed countries, were found to pay great attention to the collection, preservation and evaluation of ginger and garlic resources. Although China is rich in ginger and garlic germplasm resources, the academic research starts late and remains preliminary if compared to that of developed countries. In addition, this review analyzes the problems in the research of ginger and garlic germplasm resources and provides the corresponding strategies and suggestions addressing to these problems.

Key words: ginger; garlic; germplasm resources

收稿日期: 2022-06-05 修回日期: 2022-07-06 网络出版日期: 2022-07-12

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220605001>

第一作者研究方向为蔬菜种质资源保存, E-mail: wanghaiping@caas.cn

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系 (CARS-24-A-01); 国家自然科学基金项目 (31872946); 中国农业科学院创新工程项目 (CAAS-ASTIP-2017-IVFCAAS, CAAS-XTCX2018021); 农业农村部作物种质资源安全保存项目 (2022NWB037); 国家园艺种质北京蔬菜分库运行服务项目 (NHGRC2022-NH01)

Foundation projects: China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-24-A-01); National Natural Science Foundation of China (31872946); Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-2017-IVFCAAS, CAAS-XTCX2018021); Safe Preservation Project of Crop Germplasm Resources of MARA (2022NWB037); Service Project of Beijing Sub Genebank for Vegetable Germplasm of National Horticultural Germplasm Centre (NHGRC2022-NH01)

生姜和大蒜作为重要的特色经济作物,是重要的调味品蔬菜,药食兼用,在调节人们的膳食结构、营养平衡和保健中具有重要价值^[1-9]。生姜是多年生宿根草本,原产东南亚的热带地区,栽培历史悠久,至今已有2500多年,在世界范围内均有种植,其种植区域跨度极大,纵跨热带、亚热带、暖温带3个温度带,除寒冷的高原地区外均有栽培^[1,3]。中国、印度、印度尼西亚等为生姜主产国,栽培面积及总产量占全世界的90%以上。大蒜原产于欧洲南部和中亚,最早在古埃及、古罗马、古希腊等地中海沿岸国家栽培,汉代由张骞从西域引入中国陕西关中地区,之后遍及全国^[1,4,6]。中国是世界上大蒜栽培面积和产量最多的国家之一。虽然栽培种姜蒜是典型的无性繁殖作物,但经过人们长期的选择、驯化和培育而形成了众多具有较强适应性和品质优良的品种资源。这些资源直接应用于生产,发挥了极其重要的作用。世界各国非常重视生姜和大蒜资源的收集、保存、评价和优异基因源的挖掘利用。姜蒜种质资源是科技创新、种业可持续发展的重要保障和物质基础。姜蒜已成为我国重要的出口创汇蔬菜。虽然近年来已经开始了生姜新品种的选育工作,但至今生姜的优良地方品种,仍然是目前生产中的主要栽培品种。我国姜蒜种质资源十分丰富,但相关的工作起步较晚,研究的深度和广度均有待加强。本文从姜蒜种质资源收集与保存、鉴定与评价、优异基因源挖掘、创新与利用等方面研究的现状进行论述和分析,并提出姜蒜种质资源研究中存在的问题及建议。

1 姜蒜种质资源收集与保存现状

1.1 姜蒜种质资源分布与保存现状

姜蒜虽然是典型的无性繁殖作物,但在长期的栽培过程中积累了大量的自然变异^[10],形成了遗传背景丰富的品种资源。世界各国非常重视姜蒜资源的收集与保存。

生姜属于姜科植物,姜科(Zingiberaceae)植物约有52属1500种以上,主要分布于热带、亚热带地区,印度和马来西亚较丰富^[11]。姜科植物80%的种类可供药用,60%的种类可供观赏和食用,或作香料和染料等^[8]。世界上栽培的生姜品种240多个,其中东南亚国家种质资源最为丰富,仅印度就有50多个品种。我国约230种,主要分布于西南和华南地区,其中姜属(*Zingiber*)植物有50余种,中国普遍栽培的是姜属姜种,地方品种颇多。南方以

广东、浙江栽培较多,北方则以山东为主要产区^[12]。从生姜种质资源主要保存单位网站可查阅,在姜种质资源收集保存方面,印度保存有120多份生姜资源,我国华南植物园的姜园保存姜科植物150多种,中国科学院西双版纳热带植物园野生姜园保存野生姜科植物16属170余种,莱芜雪野农博园姜园保存近70种食用种,国家无性繁殖及多年生蔬菜资源圃收集保存100份栽培种生姜资源^[13]。

大蒜属于百合科(Liliaceae)植物,是重要的葱蒜类蔬菜。国际上大蒜种植面积较大的国家主要有中国、阿根廷、韩国、印度、美国、法国和西班牙等几个国家。从国际上主要农作物种质资源保存单位相关网站查询,据不完全统计,世界各国及国际组织收集保存葱蒜类种质资源25288份。德国的IPK-Taxo保存有4123份葱蒜类资源,其中大蒜资源509份。印度国家植物遗传资源局(National Bureau of Plant Genetic Resources)保存葱蒜类资源2067份,离体保存大蒜资源85份。英国国际园艺作物研究院遗传资源所(Warwick Genetic Horticulture Research international Resources Unit)对整个欧洲国家的葱蒜类资源进行了整合,全欧洲国家级保存中心共保存有14194份葱蒜类资源,数据库中显示捷克保存大蒜资源631份,波兰保存大蒜资源536份。俄罗斯的全俄瓦维洛夫作物科学研究所(Federal Research Center N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources)保存1303份葱蒜类种质资源,其中大蒜资源439份。美国保存有2244份葱蒜类资源,其中大蒜资源528份^[14]。我国是世界上最大的大蒜种植和出口国。大蒜种植区广泛分布在山东省金乡县、兰陵县和广饶县、河北省永年县、河南省杞县、苏北大丰区、四川省彭州市、云南省大理白族自治州和新疆等地,形成了类型丰富的地方品种资源,据不完全记载,我国有地方大蒜品种资源400多个。我国也非常重视大蒜种质资源的收集与保存,国家无性繁殖及多年生蔬菜资源圃中目前保存大蒜资源600多份,其中60%以上是来自全国各地的地方品种资源^[13]。

1.2 姜蒜种质资源安全保存技术研究进展

姜蒜均属于典型的无性繁殖作物,对其资源的保存目前仍然以资源圃的田间保存为主。然而,田间种植、收获、贮藏过程中,不仅需要投入大量的人力和物力,同时易受自然环境骤变的影响和病虫害的危害,使种质资源安全保存面临着严峻的技术挑战^[15]。世界各国非常重视无性繁殖蔬菜种质资源

的收集和保存技术研究,如印度、德国等国家都保存有相当数目的无性繁殖蔬菜种质资源,并开展了以超低温保存为主的相关的离体保存技术研究^[16]。印度自 20 世纪 90 年代已经开展姜种质资源的离体保存技术的研究工作,通过离体保存技术保存生姜种质 160 多份。超低温保存作为非常有效的离体保存技术,引导一些国家在这一新兴领域进行探索和实践^[17-19]。如德国植物遗传学会(IPK, The Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research)联合欧洲多个国家如法国、意大利等进行一项欧洲植物遗传资源合作计划(ECPGR, European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources),即欧洲基因库一体化系统(AEGIS, A European Genebank Integration System)中采用超低温技术成功保存 202 份欧洲核心大蒜种质资源^[17]。美国农业部国家植物种质系统(NPGS, National Plant Germplasm System)利用超低温保存了来自 12 个不同基因型的 200 多份大蒜种质^[18]。韩国农村振兴厅(RDA, Research and Development Association)超低温冻存了近 170 份大蒜种质。我国也有学者开展了 10 个中国大蒜不同基因型品种的保存效果的研究,获得平均存活率和再生率分别为 56.1% 和 48.3% 的结果。从总体上讲国内外研究水平虽有差异,但我国也在这一领域积极探索^[16],如国家无性繁殖及多年生蔬菜资源圃研究建立了大蒜和姜种质资源的组织快繁和低温(超低温)离体保存技术体系;通过技术集成,建立了我国第一个蔬菜低温离体保存种质库和超低温种质保存装置,并成功地应用于种质保存实践,复份保存了部分重要种质,开辟了蔬菜种质的低成本安全保存和有效利用的可靠途径。其中,微型姜蒜组织快繁关键技术大大提高了生姜和大蒜快繁效率,降低了生产成本,可在工厂化种苗生产和姜种质资源离体保存和分发中应用^[13, 16]。

2 姜蒜种质资源鉴定与评价研究进展

鉴定与评价是资源高效利用的前提,为了更好地了解保存的姜蒜资源的遗传背景和亲缘关系。国内外学者从表型和分子水平对保存的姜蒜资源进行了一定研究,取得了一定研究进展^[17-33]。

2.1 生姜种质资源鉴定评价研究进展

Dattatreya 等^[20]通过同工酶标记对保存在巴西的生姜种质资源进行多样性研究,并筛选获得优良的生姜种质。李秀等^[21-22]利用 SRAP 标记分析了 51 个国内外生姜品种资源,不同种质间表现出丰

富的遗传多样性,且亲缘关系明显受地理来源的影响,中国国内群体遗传多样性高于国外群体,华北群体与其他遗传距离较远,认为中国华北地区是生姜的次生起源地,非洲可能是除东南亚之外的另一生姜起源地。李晋华等^[23]通过对来源不同的 96 份生姜种质资源进行遗传多样性分析,利用筛选出的 13 对差异 SRAP 引物从生姜资源中扩增出多态性条带 96 条,多态性比率为 88.89%,表明生姜种质资源的遗传变异较为广泛。可以看出,生姜虽然是典型的无性繁殖作物,但其在长期的栽培过程中,受环境和地域的影响,形成了较为丰富的遗传背景。

2.2 大蒜种质资源鉴定评价研究进展

在表型性状鉴定的基础上,国家无性繁殖及多年生蔬菜种质资源圃利用大蒜辣素的超高效液相色谱(UPLC)检测技术,结合分子标记技术对收集保存的 212 份大蒜资源进行了全面鉴定评价,大蒜辣素含量分布在 0.82%~3.01% 之间,呈近正态分布,种质间含量差异显著,最高含量与最低含量之间相差近 4 倍,筛选出 18 份优异大蒜种质^[24]。为重要品质性状的优异基因资源的挖掘提供了理论基础和技术支持^[22-24]。建立了从样品前处理、提取到检测的大蒜辣素超高效液相色谱检测技术体系。

基于表型性状或分子标记分析表明我国大蒜种质资源不仅表型变异丰富^[28-33],在产量相关性状上变异亦较明显,为高产育种提供了丰富的遗传材料。王海平等^[30]通过主成分分析将 21 个性状归并为反映植株生长发育、产品特征和产量构成的 8 个主成分,进一步的聚类分析将 212 份资源分为特点明显的 2 类 5 亚类。为了避免质量性状在种质评价中的主导作用,与产量相关的鳞茎数量性状的主成分分析显示,前 3 个主成分累积贡献率达 74.83%,第一主成分中鳞茎重、鳞茎直径、鳞茎高和鳞芽数是影响产量的主要因子^[30]。主坐标排序将所有资源分为 6 类。通过综合评价,将大蒜鳞茎产量分为 6 个级别,筛选出单产大于 15 t/hm² 的资源 3 份^[30]。随着资源保存数量的不断增加,技术手段的日新月异,基于现代生物学技术对大蒜资源进行规模化的鉴定评价非常必要。赵青等^[31]利用 24 对 SSR 引物对库圃中的来自世界各地的 676 份大蒜进行遗传多样性研究,结果表明 676 份资源的 Nei's 多样性指数平均为 1.77,被划分为 4 类。冷家归等^[32]对 184 份大蒜资源农艺性状进行综合评价,表明这些资源的遗传差异较大,其中贵州资源是筛选优良大蒜种质资源的良好材料。都真真等^[33]对从 34 个国家引进的

228份大蒜资源进行了表型性状评价,结果表明,13个数量性状的变异系数分布在18.94%~56.36%之间,25个性状的多样性指数分布在0~2.03之间,遗传多样性指数高,类型丰富。以上基于表型和分子水平的遗传多样分析,均从不程度上反映出我国保存的大蒜种质资源遗传多样性较为丰富。

大蒜种质资源的抗性鉴定也取得一定进展。通过对大蒜资源的胁迫耐受性、抗病性研究获得一批优良材料。如: Ahmad^[34]通过对354份大蒜种质幼苗期的耐盐性评估,筛选出2份高耐盐材料和24份耐盐材料。王海平等^[35]通过田间213份大蒜资源对蒜蛆的鉴定筛选获得高抗材料9份;通过对30份材料的耐贮藏性鉴定评价,获得了2份耐贮藏较强的大蒜资源。

在重要性状的优异基因源挖掘方面也取得一定进展^[36-38]。王海平等^[36]基于不同种质蒜氨酸酶基因内含子2序列,首次开发了InDel标记,并对212份大蒜种质进行了检测,在所有资源中共检测到10个基因位点,多态性为100%。基于InDel标记将212份大蒜划分为5类,说明开发的蒜氨酸酶基因InDel标记对资源遗传多样性及分类具有研究价值^[36-37]。管梦娇等^[38]利用233份大蒜自然群体资源,使用简化基因组测序(GBS)技术,获得高质量的SNPs位点,较均匀地分布在8条染色体上,基于获得的SNP标记进行主成分分析(PCA)与系统进化树分析,PCA将大蒜群体划分为4大类,系统进化树将大蒜群体划分为8个亚群,为进一步从全基因组水平挖掘重要基因奠定了基础。

3 姜蒜种质资源创新研究进展

由于生姜和大蒜均为典型的无性繁殖作物,辐射诱变和化学诱变、倍性改变仍然是种质创新行之有效的办法^[39-45]。

3.1 姜蒜诱变育种

刘振伟等^[39]对通过辐射诱变获得的5个突变进行了田间对比试验和田间应用试验,获得鲁中大姜和鲁中小姜两个较当前主栽品种产量高(增产15%以上)和抗病能力强的品系,显示出了较高的推广应用价值。史秀娟等^[40]通过诱变剂DES和NaN₃处理莱芜大姜和金昌大姜的幼芽根茎,发现诱变剂对诱变第一代植物的生长具有显著的抑制,说明可进一步研究化学诱变对生姜育种和种质创新的可行性。

Hassan等^[41]通过r射线处理中牟大蒜和永年

大蒜愈伤,发现处理后的大蒜愈伤组织较未处理的生长缓慢。用SSR引物检测永年大蒜和中牟大蒜物理诱变材料,获得3个变异株,表现出不同基因型品种对物理诱变的敏感性不同。Singh等^[42]探讨了化学诱变对大蒜等无性繁殖的葱属植物进行创新种质的可能性。

足够广泛的遗传变异是育种家选择最佳基因型的动力,对于典型的无性繁殖作物生姜和大蒜,突变体的开发可以作为一种备选育种策略,因为突变会引起遗传性的变异,从而为新品种、形态或物种的进化提供最终的基础^[42]。

3.2 姜蒜倍性育种

倍性育种作为大蒜种质创新及新品种选育的有效手段日益受到人们的重视^[43-46]。王志敏等^[43]以丛生芽为材料,在离体培养条件下比较了秋水仙素不同浓度、不同处理时间诱导姜体细胞染色体加倍的效果。结果表明,以0.20%秋水仙素液体培养基处理8d的诱导效果最好。国内外学者通过氨磺乐灵、二甲戊乐灵和秋水仙素作为诱变剂进行了大蒜四倍体诱导研究^[44]。其中秋水仙素诱变研究成功报道较多^[44-46]。这些研究均为姜蒜种质资源的倍性改变、种质创新奠定了前期工作基础。

4 我国姜蒜种质资源研究中存在的问题与建议

4.1 加强姜蒜种质资源收集、丰富遗传多样性

姜蒜种质资源收集和保存量较多,但由于地域限制,遗传背景相对狭窄,远远不能满足育种需要。我国国家无性繁殖及多年生蔬菜资源圃保存有100多份生姜种质资源,均为我国地方品种。保存的600多份大蒜种质资源,60%以上是我国地方品种,野生的和国外的资源占比较少,近缘野生资源缺乏,创新利用研究非常落后,品种选育缺乏多样性丰富的优良材料。急需加大国外资源和野生近缘种的引进和收集力度,丰富我国大蒜种质资源的遗传基础,为品种改良储备亲本材料。

因此,建议统筹布局姜蒜种质资源库、圃管理。可根据生态区域和气候特点,在重点省份建立蔬菜种质资源分库(圃),作为国家种质资源库补充,妥善复份保存。加强姜种质资源离体保存和超低温保存技术的研究,以实现姜蒜种质资源的长久安全保存。

4.2 加强姜蒜种质资源的鉴定评价,提高利用效率

我国在种质资源收集、鉴定评价方面起步较晚,

相应的储备和鉴定工作相对滞后。目前,蔬菜种质资源 85% 左右来自国内,开展基因型和表型精准鉴定的数量不到 8%;而姜蒜种质资源的精准鉴定评价尚未开展,目前仅开展了基于单环境条件的基本农艺性状的鉴定和重要育种性状的鉴定。尽管我国主导开展了姜蒜的基因组测序工作,但重要农艺性状基因如抗病、雄性不育等基因的挖掘、功能机制研究方面还较为滞后。姜蒜种质资源开发利用处于初级阶段,缺乏深度鉴定评价,特别是一些重要功能成分挖掘,如大蒜素和姜酚等,未得到深入的研究,阻碍了资源优势转化为技术优势和产业优势的效率。

因此,建议加强姜蒜种质资源的精准鉴定评价,提高资源的利用效率。通过表型和基因型鉴定相结合,在多环境条件下,多维度的进行重要性状的精准鉴定,深入挖掘控制重要性状的优异基因。构建基于表型和基因型的姜蒜分子身份证,高效准确地为育种和种业的发展提供信息,提高姜蒜种质资源的利用效率。

4.3 加强姜蒜种质资源的创新,支撑种业可持续发展

生姜和大蒜属于典型的无性繁殖作物,由于很难人工杂交进行有性育种和有目的性的构建研究所需的各种作图群体,严重阻碍了重要农艺性状相关基因的评价和挖掘。目前的种质创新还主要是通过自然变异的选择,传统的化学诱变和物理诱变。我国虽已开展了单倍体育种、自交不亲和、雄性不育、雌性系等相关研究与应用,但是与国外普遍存在差距,形成了一定的技术瓶颈。基因编辑是农业领域的“5G 技术”,已经较广泛应用于大田作物种质创新和育种中,但在蔬菜上,只在少数作物中开展研究,姜蒜作物还尚无开展相关研究。如何结合现代生物技术手段创新种质,拓宽姜蒜种质资源的遗传背景,是育种和种业可持续发展中亟需解决的问题。

因此,建议加强利用生物技术手段对现有的和引进的资源进行深入评价和创新利用,尤其应加强分子标记辅助选择和远缘杂交导入优异基因的相关研究。加强姜蒜基础理论的研究,特别是有关姜蒜有性机理的研究,为破解姜蒜不育之迷和重新开启有性育种提供理论指导^[47-49]。加强基因编辑技术的研究和利用,构建姜蒜高效的遗传体系,为快速创新种质、加快育种进程提供技术储备,支撑种业的可持续发展。

4.4 加强姜蒜种质资源长期性数据监测,完善共享体系

在生姜和大蒜实际生产中,我国各地有交换种源的习惯,以提高种源的适应性,增加产量。但缺乏对这些品种的监测数据,造成品种种植面积和产量统计上的困难,影响数据统计的准确性。同时,对地方特异和地理标志品种产生了很大冲击。生姜、大蒜价格受多方因素影响,起伏较大,市场购销特别是出口环节缺乏行业性指导,生产经营主体多而分散,产业化程度不高,销售市场波动很大。市场信息受控于少数生姜和大蒜经销企业,与实际市场动态不完全相符,农户由于缺乏权威有效的供求信息,难以预测大蒜产销趋势,导致盲目扩大生产规模。

因此,建议以国家无性繁殖及多年生蔬菜资源圃为平台,整合地方科研院所保存的资源,建立姜蒜种质资源数据管理和共享系统,与蔬菜种质资源共享平台对接,促进种质资源信息交流与共享。建立完整的档案资料,图文并茂便于查找,让资源利用者了解姜蒜种质资源现状、保护情况,对感兴趣的种质资源进行查阅。建立蔬菜种质资源 DNA 指纹图谱库,借助种质资源 DNA 指纹图谱对蔬菜新品种权授予工作进行事先筛查,支撑蔬菜新品种权授予工作的科学性和准确性。

4.5 加强科研投入、支撑种业可持续发展

蔬菜作物的种类多,国家在经费和技术投入上不均衡。现有的姜蒜科研队伍相对薄弱,基础研究和投入严重不足。尽管在国家特色蔬菜产业体系、行业项目葱姜蒜产业发展关键技术研究与开发、国家自然科学基金和地方科技项目的支持下,我国姜蒜种业相关领域和科研单位人才队伍得到了加强和扩大,在全国范围内进行了技术交流和合作,种业发展取得了一定进展,但在新一轮国家重点研发和产业技术体系中尚无启动姜蒜种业相关技术领域的投入与研究。

鉴于生姜和大蒜是重要的出口创汇蔬菜,但科研的经费和人力投入相对不足,建议加强蔬菜种业发展顶层设计,加强和培育科研创新团队建设,在国家重点研发项目、产业体系和相关体系中逐渐加强对姜蒜种业相关研究的科研投入,提高我国自主知识产权品种的选育能力,丰富生产中姜蒜品种的多样化。改进种植技术,加强机械栽培技术的研究,降低劳力成本。加强深加工产品的研发、复试、推广及标准化生产,开展区域集约化栽培,继续开拓国内外市场,支撑我国姜蒜种业的可持续性发展。

参考文献

- [1] Chukwu O, Odu C E, Chukwu I D, Chidozie V N, Onyimba I A. Carrot (*Daucus carota*), garlic (*Allium sativum*) and ginger (*Zingiber officinale*) extracts as bacteria selective agents in culture media. African Journal of Microbiology Research, 2011, 5 (31): 5548-5553
- [2] Gupta S, Ravishankar S. A comparison of the antimicrobial activity of garlic, ginger, carrot, and turmeric pastes against *Escherichia coli* O157: H7 in laboratory buffer and ground beef. Foodborne Pathogens & Disease, 2005, 2 (4): 330-340
- [3] Choi M S I H. Comparative effects of dietary ginger (*Zingiber officinale*) and garlic (*Allium sativum*) investigated in a type 2 diabetes model of rats. Journal of Medicinal Food, 2008, 11 (1): 152-159
- [4] Kim E C, Min J K, Kim T Y, Lee S J, Yang H O, Han S, Kim Y M, Kwon Y G. [6]-Gingerol, a pungent ingredient of ginger, inhibits angiogenesis *in vitro* and *in vivo*. Biochemical & Biophysical Research Communications, 2005, 335 (2): 300-308
- [5] Sengupta A, Ghosh S, Bhattacharjee S, Das S. Indian food ingredients and cancer prevention - an experimental evaluation of anticarcinogenic effects of garlic in rat colon. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2004, 5 (2): 126-132
- [6] Yakoob J, Abbas Z, Beg M A, Naz S, Awan S, Hamid S, Jafri W. In vitro sensitivity of *Blastocystis hominis* to garlic, ginger, white cumin, and black pepper used in diet. Parasitology Research, 2011, 109 (2): 379-388
- [7] Farid A, Yousry M, Safwat G. Garlic (*Allium sativum* Linnaeus) improved inflammation and reduced cryptosporidiosis burden in immunocompromised mice. Journal of Ethnopharmacol, 2022, 292: 115174
- [8] Liu J, Zhang Q, Tao T, Wang L Y, Sun J Y, Wu C J, Zou W J. Health benefits of spices in individuals with chemotherapeutic drug-induced cardiotoxicity. Current Opinion in Pharmacology, 2022, 63: 102187
- [9] Zhu L, Myhill L J, Andersen-Civil A, Thamsborg S M, Blanchard A, Williams A R. Garlic-derived organosulfur compounds regulate metabolic and immune pathways in macrophages and attenuate intestinal inflammation in mice. Molecular Nutrition & Food Research, 2022, 66 (7): e2101004
- [10] 张恩让. 大蒜 (*Allium sativum* L.) 体细胞无性系变异规律和筛选利用研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003
Zhang E R. Study on the law of somaclonal variation and its screen and application in garlic (*Allium Sativum* L.). Yangling: Northwest A&F University, 2003
- [11] 刘瑜. 生姜资源样本收集、成分提取及活性研究. 南京: 南京师范大学, 2008
Liu Y. Specimen collection of *Zingiber officinale* Rosc. and extraction of chemical compounds as well as biological activities study. Nanjing: Nanjing Normal University, 2008
- [12] 高园园, 张龙平, 刘国伟, 高发瑞, 刘艳芝, 徐祥文, 马井玉. 不同大蒜种质资源在山东济宁地区的适应性. 农业工程, 2014, 4 (5): 104-105
Gao Y Y, Zhang L P, Liu G W, Gao F R, Liu Y Z, Xu X W, Ma J Y. Adaptability of several garlic germplasm resources in Jining area of Shandong province. Agricultural Engineering, 2014, 4 (5): 104-105
- [13] 阳文龙, 李锡香. 我国蔬菜种质资源工作 70 年回顾与展望. 蔬菜, 2019 (12): 1-9
Yang W L, Li X X. Review and prospect of vegetable germplasm resources in China in the past 70 years. Vegetables, 2019 (12): 1-9
- [14] Hong C J, Etoh T. Fertile clones of garlic (*Allium sativum* L.) abundant around the tian shan mountains. Breeding Science, 1996, 46 (4): 349-353
- [15] 王艳军. 大蒜离体保存技术初步研究. 武汉: 华中农业大学, 2003
Wang Y J. A preliminary study on conservation technology of garlic *in vitro*. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003
- [16] 徐培文, 曲士松, 刘恒英, 张杰, 孙晋斌. 中国大蒜种质资源离体保存初步研究. 中国农业科学, 2002, 35 (3): 314-319
Xu P W, Qu S S, Liu H Y, Zhang J, Sun J B. A preliminary study on *in vitro* conservation of the garlic germplasm resources in China. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35 (3): 314-319
- [17] Keller E R J, Zanke C D, Blattner F R, Kik C, Stavelikova H, Zamecnik J, Esnault F, Kotlinska T, Solberg S, Miccolis V. EURALLIVEG: Establishment of a european core collection by cryopreservation and virus elimination in garlic. Acta Horticulturae, 2012, 969 (969): 319-327
- [18] Baek H J, Kim H H, Cho E G, Chae Y A, Engelmann F. Importance of explant size and origin and of preconditioning treatments for cryopreservation of garlic shoot apices by vitrification. Cryo Letters, 2003, 24 (6): 381-388
- [19] 黄菊辉. 生姜种质资源的离体繁殖和保存. 中国农业科学, 1995, 28 (2): 24-30
Huang J H. *In vitro* propagation and preservation of ginger germplasm resources. Scientia Agricultura Sinica, 1995, 28 (2): 24-30
- [20] Dattatreya K, Pratap K P, Kamalakanta S. Assessment of genetic diversity among some elite cultivars of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) using isozyme and protein markers. Brazilian Journal of Botany, 2014, 37 (4): 469-479
- [21] 李秀, 徐坤, 巩彪. 生姜种质遗传多样性和亲缘关系的 SRAP 分析. 中国农业科学, 2014, 47 (4): 718-726
Li X, Xu K, Gong B. Genetic diversity and phylogenetic relationship of ginger germplasm resources revealed by SRAPs. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47 (4): 718-726
- [22] 李秀. 生姜种质资源评价及其对温度胁迫的生理响应机制. 泰安: 山东农业大学, 2014
Li X. Evaluation and physiological response mechanism to temperature stress of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) germplasm resource. Taian: Shandong Agricultural University, 2014
- [23] 李晋华, 王少铭, 罗莉斯, 冷家归, 侯颖辉, 李德文. 基于 SRAP 标记的生姜种质资源遗传多样性分析. 分子植物育种, 2021, URL: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211203.0004.002.html>
Li J H, Wang S M, Luo L S, Leng J G, Hou Y H, Li D W. Genetic diversity of ginger germplasm resources based on SRAP markers. Molecular Plant Breeding, 2021, URL: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211203.0004.002.html>
- [24] 王海平, 李锡香, 刘新艳, 沈镛, 邱杨, 宋江萍, 张晓辉. 大蒜辣素 UPLC 检测体系优化及其在大蒜资源评价中的应用. 植物

- 遗传资源学报, 2012, 13(6): 936-945
- Wang H P, Li X X, Liu X Y, Shen D, Qiu Y, Song J P, Zhang X H. Allicin UPLC detection technology and its utilization in garlic (*Allium sativum* L.) genetic resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(6): 936-945
- [25] Jo M H, Ham I K, Moe K T, Kwon S W, Lu F H, Park Y J, Kim W S, Won M K, Kim T I, Lee E M. Classification of genetic variation in garlic (*Allium sativum* L.) using SSR markers. *Australian Journal of Crop Science*, 2012, 6(4): 625-631
- [26] Liu Y, Jiang S, Xu Y, Zhao Y, Zhou J. Simultaneous determination of 120 pesticide residues in green onion, ginger and garlic by gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Chemistry*, 2012, 75(12): 1132-1139
- [27] Wang H, Li X, Di S, Yang O, Song J. Diversity evaluation of morphological traits and allicin content in garlic (*Allium sativum* L.) from China. *Euphytica*, 2014, 198(2): 243-254
- [28] 孙敬强, 孔素萍, 徐坤. 大蒜种质资源聚类分析与评价. *山东农业科学*, 2013, 45(6): 26-29
- Sun J Q, Kong S P, Xu K. Cluster analysis and evaluation of garlic germplasm resources. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(6): 26-29
- [29] 王海平, 李锡香, 沈镛, 宋江萍, 邱杨, Philipp W S. 大蒜资源鳞茎产量构成性状评价与种质分类研究. *华北农学报*, 2011, 26(S1): 153-162
- Wang H P, Li X X, Shen D, Song J P, Qiu Y, Philipp W S. Evaluation and cluster analysis of garlic (*Allium sativum* L.) germplasm from China based on bulb yield quantitative traits. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S1): 153-162
- [30] 王海平, 李锡香, 沈镛, 邱杨, 宋江萍, 张晓辉, Philipp W S. 基于表型性状的中国大蒜资源遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 24-31
- Wang H P, Li X X, Shen D, Qiu Y, Song J P, Zhang X H, Philipp W S. Evaluation on genetic diversity of garlic (*Allium sativum* L.) clones in China based on morphological characters. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(1): 24-31
- [31] 赵青, 都真真, 李锡香, 宋江萍, 张晓辉, 阳文龙, 贾会霞, 王海平. 利用 SSRseq 分子标记的大蒜种质资源遗传多样性研究. *园艺学报*, 2021, 48(7): 1397-1408
- Zhao Q, Du Z Z, Li X X, Song J P, Zhang X H, Yang W L, Jia H X, Wang H P. Genetic diversity of garlic germplasm resources based on SSRseq molecular markers. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021, 48(7): 1397-1408
- [32] 冷家归, 李德文, 周亚丽, 姚正治, 王少铭, 侯颖辉, 李晋华, 罗莉斯. 大蒜种质资源农艺性状分析及综合评价. *南方农业学报*, 2021, 52(11): 2952-2961
- Leng J G, Li D W, Zhou Y L, Yao Z Z, Wang S M, Hou Y H, Li J H, Luo L S. Analysis and evaluation of agronomic traits in *Allium sativum* L. germplasm resources. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(11): 2952-2961
- [33] 都真真, 李锡香, 宋江萍, 武亚红, 赵青, 徐婷, 张晓辉, Hellier B, Hu J G, 王海平. 228 份引进大蒜资源的表型多样性分析及适应性初步评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(5): 1186-1196
- Du Z Z, Li X X, Song J P, Wu Y H, Zhao Q, Xu T, Zhang X H, Hellier B, Hu J G, Wang H P. Phenotypic diversity and adaptability analysis of 228 accessions of introduced garlic genetic resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(5): 1186-1196
- [34] Ahmad J. 大蒜种质资源对盐和低温胁迫耐受性的鉴定评价及关联分析. 北京: 中国农业科学院, 2021
- Ahmad J. Identification and evaluation on the tolerance of an extensive-source garlic (*Allium sativum* L.) collection to abiotic stresses and association study of tolerance-allelic variation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021
- [35] 王海平, 李锡香, 沈镛, 邱杨, 宋江萍. 大蒜种质资源对蒜蛆的抗性评价. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(5): 578-582
- Wang H P, Li X X, Shen D, Qiu Y, Song J P. Identification of resistance of *Allium sativum* L. germplasm resources to *Delia antiqua* M. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2010, 11(5): 578-582
- [36] 王海平, Philipp W S, 李锡香, 程嘉琪, 沈镛, 宋江萍, 邱杨, 张晓辉. 中国大蒜种质资源遗传多样性和群体遗传结构分析. *中国农业科学*, 2012, 45(16): 3318-3329
- Wang H P, Philipp W S, Li X X, Cheng J Q, Shen D, Song J P, Qiu Y, Zhang X H. Diversity and genetic structure of garlic (*Allium sativum* L.) germplasm resource in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(16): 3318-3329
- [37] Endo A, Imai Y, Nakamura M, Yanagisawa E, Taguchi T, Torii K, Okumura H, Ichinose K. Distinct intraspecific variations of garlic (*Allium sativum* L.) revealed by the exon-intron sequences of the alliinase gene. *Journal of Natural Medicines*, 2014, 68(2): 442-447
- [38] 管梦娇, 谢亚楠, 顾启玉, 孙秀东, 高荣广. 基于 GBS 技术的 233 份大蒜种质资源群体进化分析. *山东农业科学*, 2021, 53(4): 12-18
- Guan M J, Xie Y N, Gu Q Y, Sun X D, Gao R G. Population evolution analysis of 233 garlic germplasm resources based on GBS technology. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021, 53(4): 12-18
- [39] 刘振伟, 史秀娟, 任清盛, 李立国, 李庆芝, 赵济红. 生姜 $^{60}\text{Co}\gamma$ 辐射诱变育种研究. *核农学报*, 2010, 24(1): 36-40
- Liu Z W, Shi X J, Ren Q S, Li L G, Li Q Z, Zhao J H. $^{60}\text{Co}\gamma$ -irradiation induced mutation breeding of ginger. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(1): 36-40
- [40] 史秀娟, 刘振伟, 李庆芝, 李立国, 赵济红. 两种诱变剂对不同生姜品种当代生长的影响. *北方园艺*, 2010(3): 12-14
- Shi X J, Liu Z W, Li Q Z, Li L G, Zhao J H. Biological effects of DES and NaN_3 on different ginger VM1 growth. *Northern Horticulture*, 2010(3): 12-14
- [41] Hassan H A M. 大蒜种质资源评价与愈伤组织的物理化学诱变技术研究. 北京: 中国农业科学院, 2014
- Hassan H A M. Garlic germplasm resources evaluation and somaclonal mutagenesis technology study based on gamma radiation and EMS treatment on callus. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014
- [42] Singh H, Khar A, Verma P. Induced mutagenesis for genetic improvement of *Allium* genetic resources: A comprehensive review. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2021, 68(7): 2669-2690
- [43] 王志敏, 牛义, 宋明, 汤青林. 姜四倍体离体诱导及其形态学分析. *中国蔬菜*, 2010(4): 41-46
- Wang Z M, Niu Y, Song M, Tang Q L. Tetraploid of *Zingiber*

- officinale* Roscoe. in vitro inducement and its morphology analysis. *China Vegetables*, 2010 (4): 41-46
- [44] 于文艳,刘世琦,梁庆玲,郝树芹. 大蒜二倍体与四倍体生长和生理指标的比较研究. *山东农业科学*, 2008 (2): 42-44
Yu W Y, Liu S Q, Liang Q L, Hao S Q. Comparison of growth and physiological indices between diploid and tetraploid garlic plants. *Shandong Agricultural Sciences*, 2008 (2): 42-44
- [45] 薛小艳. 利用大蒜离体鳞芽和活体花苞诱导四倍体的研究. 泰安: 山东农业大学, 2014
Xue X Y. Studies on induction of tetraploid using garlic bulbil in vitro and bud in vivo. Taian: Shandong Agricultural University, 2014
- [46] 孔素萍,曹齐卫,孙敬强,刘波,徐坤. 秋水仙素对大蒜茎尖试管苗四倍体的诱导. *中国农业科学*, 2014, 47 (15): 3025-3033
Kong S P, Cao Q W, Sun J Q, Liu B, Xu K. The tetraploid induction of shoot-tip plantlets with colchicine in garlic. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47 (15): 3025-3033
- [47] Shemesh-Mayer E, Ben-Michael T, Rotem N, Rabinowitch H D, Doron-Faigenboim A, Kosmala A, Perlikowski D, Sherman A, Kamenetsky R. Garlic (*Allium sativum* L.) fertility: Transcriptome and proteome analyses provide insight into flower and pollen development. *Front Plant Science*, 2015, 6: 1-17
- [48] Mayer E S, Winiarczyk K B, Aszczyk L, Kosmala A, Rabinowitch H D, Kamenetsky R. Male gametogenesis and sterility in garlic (*Allium sativum* L.): Barriers on the way to fertilization and seed production. *Planta*, 2013, 237 (1): 103-120
- [49] Kamenetsky R, Shafir I L, Baizerman M, Khassanov F, Kik C, Rabinowitch H D. Garlic (*Allium sativum* L.) and its wild relatives from central Asia: Evaluation for fertility potential. *Acta Horticulturae*, 2004, 637 (2004): 83-91