



植物遗传资源学报
Journal of Plant Genetic Resources
ISSN 1672-1810, CN 11-4996/S

《植物遗传资源学报》网络首发论文

题目： 辽宁地区小豆野生种及其近缘种的调查收集与豆象抗性鉴定
作者： 胡亮亮，黄宇宁，薛仁风，陈天晓，曹榕，王素华，葛维德，王丽侠，程须珍，陈红霖
DOI： 10.13430/j.cnki.jpgr.20240615001
收稿日期： 2024-06-15
网络首发日期： 2024-08-12
引用格式： 胡亮亮，黄宇宁，薛仁风，陈天晓，曹榕，王素华，葛维德，王丽侠，程须珍，陈红霖. 辽宁地区小豆野生种及其近缘种的调查收集与豆象抗性鉴定 [J/OL]. 植物遗传资源学报. <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240615001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

辽宁地区小豆野生种及其近缘种的调查收集与豆象抗性鉴定

胡亮亮¹, 黄宇宁², 薛仁凤², 陈天晓¹, 曹榕¹, 王素华¹, 葛维德², 王丽侠¹, 程须珍¹, 陈红霖¹

(¹中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ²辽宁省农业科学院作物研究所, 沈阳 110161)

摘要: 小豆野生种及其近缘种作为关键的遗传资源, 具有极强的抗病虫能力和耐逆性, 在育种中具有重要的利用价值。然而, 伴随着城市化进程的加快以及人类活动的影响, 小豆野生资源面临严峻挑战, 濒临灭绝, 因此需强化对野生资源的系统考察、抢救性收集及鉴定工作。辽宁地区拥有丰富的小豆野生种及其近缘种, 但其种群数量、分布情况及资源特性等尚不明晰。本研究于辽宁省 14 个市的 36 个区(县)开展了小豆野生种及其近缘种的调查和收集工作, 总计收集到 262 份样本。调查结果表明, 小豆野生种主要分布于辽中和辽东地区, 尤其是在辽东沿海区域; 而野生近缘种则主要分布于辽西地区。此外, 我们还针对收集的小豆野生种进行了豆象抗性鉴定, 筛选出 2 份高抗豆象和 1 份抗豆象的小豆野生种。本研究结果为我国小豆野生种及其近缘种的珍稀濒危资源保护和利用提供了重要依据, 同时为小豆抗豆象育种提供了珍贵的种质资源。

关键词: 小豆; 野生种及其近缘种; 种质资源; 调查与收集; 豆象抗性鉴定

Investigation, Collection, and Bruchid Resistance Identification of Wild Adzuki Bean and Sibling Species in Liaoning Province

Hu Liang-Liang¹, Huang Yu-Ning², Xue Ren-Feng², Chen Tian-Xiao¹, Cao Rong¹, Wang Su-Hua¹, Ge Wei-De², WANG Li-Xia¹, CHENG Xu-Zhen¹, CHEN Hong-Lin¹

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

²Crop Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161)

Abstract: Wild Adzuki bean and sibling species serve as critical genetic resources, exhibiting strong resistance to diseases and pests, as well as high stress tolerance, making them valuable for breeding programs. However, due to the rapid urbanization and the impact of human activities, these resources are facing severe challenges and are on the brink of extinction. Therefore, there is an urgent need for systematic investigation rescue collection, and identification of these wild resources. The Liaoning region boasts a rich diversity of wild adzuki bean species and their relatives, but their population numbers, distribution patterns, and resource characteristics remain unclear. Therefore, systematic investigation and rescue collection of wild adzuki bean and sibling species are urgently needed in Liaoning province as a case study. This study conducted surveys and collections of wild adzuki bean and sibling species across 36 districts (counties) in 14 cities in Liaoning Province, resulting in a total of 262 accessions collected. The survey results indicate that wild adzuki bean are primarily distributed in central and eastern Liaoning, particularly in the coastal areas of eastern Liaoning, while adzuki bean sibling species are mainly found in western Liaoning. In addition, indoor artificial inoculation tests were conducted to evaluate the bruchid resistance of the collected wild adzuki bean and sibling species, identifying two highly resistant and one resistant wild adzuki bean accessions. The findings of this study provide important evidence for the conservation and utilization of rare and endangered resources of wild adzuki bean and sibling species in China, while also offering valuable germplasm resources for breeding adzuki bean resistant to bean weevils.

Key words: Adzuki bean (*Vigna angularis* L.); wild and sibling species; germplasm resources; investigation and collection; identification of bruchid resistance

收稿日期: 2024-06-15

第一作者研究方向为食用豆种质资源鉴定与评价, E-mail: hu15101081634@163.com

通信作者: 陈红霖, 研究方向为食用豆种质资源研究, E-mail: chen honglin@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1200100, 2021YFD1200105); 作物基因资源与育种全国重点实验室; 国家食用豆产业技术体系(CARS-08); 中国农业科学院创新工程

Foundation projects: National Key R&D Program of China (2021YFD1200100, 2021YFD1200105); State Key Laboratory of Crop Gene Resources and Breeding; China Agriculture Research System-Food Legumes (CARS-08); Science and Technology Innovation Project of CAAS

小豆 (*Vigna angularis*) 作为少数起源于亚洲的食用豆类之一, 是东亚栽培历史悠久的传统作物^[1, 2]。我国的小豆种质资源丰富^[3], 普遍认为小豆起源于我国^[1, 4]。辽宁独特的气候条件, 如沿海的湿润气候、大面积的湖泊和湿地以及温带季风气候, 为小豆野生种提供了得天独厚的生长环境。我们调查发现辽宁地区的小豆野生种分布广泛多且面积大, 具有重要的研究和保护价值。杨人俊等^[5]首次确认了辽宁境内存在小豆野生种, 并描述了小豆野生种与其近缘种 *Vigna minima* 在小叶、苞片和种脐的区别。张志肖等^[6]在辽宁大连庄河吴炉乡发现有小豆近缘种 *Vigna minima* 分布。小豆野生种及其近缘种因长期处于恶劣的生态环境, 具有较强的抗病虫和耐逆等性状^[7], 挖掘利用这些优异种质可显著提高小豆栽培品种的抗性和适应性。然而, 目前尚无针对小豆野生种进行深入的研究以发掘其优异种质的报道, 关于抗病虫和耐逆等优异小豆野生种质的研究也尚属空白。此外, 由于工业、交通和城镇的快速发展, 生态环境恶化及人为因素破坏, 小豆野生资源正在迅速减少或面临濒危和灭绝的风险。鉴于其重要的应用价值和潜在的遗传资源, 对小豆野生种进行深入的种质资源挖掘和利用研究显得尤为迫切和重要。

豆象是一种世界性仓储害虫, 主要分布于亚洲、非洲热带地区以及中美和南美等地^[8]。我国危害豇豆属的主要豆象是绿豆象 (*Callosobruchus chinensis*) 和四纹豆象 (*Callosobruchus maculatus*); 危害蚕豆、豌豆和菜豆的豆象分别是蚕豆象 (*Bruchus rufimanus*)、豌豆象 (*Bruchus pisorum*) 和菜豆象 (*Acanthoscelides obtectus*), 其中四纹豆象 (*Callosobruchus maculatus*) 和菜豆象 (*Acanthoscelides obtectus*) 为检疫性害虫^[9]。豆象严重影响食用豆的储藏和品质, 制约了我国食用豆产业的发展^[10, 11]。因此, 培育抗豆象品种已成为食用豆的主要育种目标。目前, 食用豆中仅绿豆育成了抗豆象品种, 如中绿 3 号^[12]、晋绿豆 7 号^[13]、冀绿 15 号^[14]、苏绿 5 号^[15]和吉绿 16^[16]等, 抗源均来自国外的 VC6089A、V2709 或 V1128 等材料, 从国内收集的食用豆资源中还没有发现抗豆象种质。小豆野生种及其近缘种作为重要的遗传资源, 具有较强的抗病虫和耐逆性, 在育种中具有重要的利用价值。但迄今为止, 在小豆种质资源中尚未发现抗豆象种质^[17]。发掘小豆抗豆象种质, 培育小豆抗豆象品种是解决豆象危害最经济、有效和环境友好的途径^[18, 19]。本研究旨在对辽宁地区小豆野生种及其近缘种进行系统性调查和抢救性收集, 并系统鉴定其豆象抗性, 筛选出高抗豆象种质, 为小豆抗豆象育种提供理论依据和材料基础。

1 材料与方法

1.1 调查区域概况及考察范围

辽宁省位于我国东北地区最南部, 地理坐标介于东经 118°53'至 125°46', 北纬 38°43'至 43°26'之间。该省的地势总体呈北高南低, 东部和西部以山地和丘陵为主, 中部为平原。辽东和辽西地区的平均海拔为 800 米和 500 米, 中部辽河平原的平均海拔约为 200 米。辽宁省属温带大陆性季风气候, 四季分明, 雨热同季, 光照充足。全年平均气温 8.8℃, 温度从沿海向内陆递减, 南北温差 5℃。年平均降水量 648 毫米, 降水量从西北向东南逐渐增加。本研究对辽宁省 14 个市 36 个区(县)进行了多次实地调研, 详细记录了小豆野生种及其近缘种在辽宁各地区的分布状况。

1.2 调查与收集

依据辽宁地区的植被和地形特征, 我们分别于 2021 年、2022 年和 2023 年的 8 至 10 月期间对辽宁省内 14 个市 36 个区(县)实施多系统的实地考察, 重点调研小豆野生种及其近缘种的地理分布范围、生境

特点、种群数量和形态特征，我们采集了每个调查点的环境数据，涵盖经纬度坐标、海拔高度和土壤类型等，并进行了照片记录予以留存。小豆野生种及其近缘种成熟种子于9月底至10月初采集，对采集的种子进行编号并记录其特征。

1.3 豆象抗性鉴定

本研究选取绿豆象 (*Callosobruchus chinensis*) 用以进行抗虫鉴定。通过人工室内接种方法鉴定种子的豆象抗性。从收集的小豆野生种及其近缘种中精心挑选出30粒健康、无虫眼的种子，分别放入直径6 cm、高1 cm的培养皿中，不加盖。将培养皿放入尺寸为66 cm×44 cm×18 cm的大塑料箱内，并在塑料箱上覆盖两层黑布，将塑料箱置于养虫架上，使养虫室温度维持在(27±2)℃，相对湿度控制在70%~80%，并保持黑暗环境。每个塑料箱内放置400~500对刚羽化1~3 d的绿豆象成虫，将每份待鉴定材料平均分配8对成虫，并随机放置供其产卵。40~45 d后，对每份材料的籽粒受害数量进行调查，并根据籽粒受害率评价其抗性等级(表1)。豆象抗性评价参考《小豆种质资源描述规范与数据标准》^[20]。

表1 小豆豆象抗性分级标准
Table 1 Bruchid resistance grading standards for adzuki bean

级别	种子被害率	抗性评价
Level	Percentage of seed damage	Assessment of resistance
1	0~10%	高抗 (HR)
3	10.1%~35%	抗 (R)
5	35.1%~65%	中抗 (MR)
7	65.1%~90%	感 (S)
9	>90%	高感 (HS)

2 结果与分析

2.1 辽宁地区小豆野生种及其近缘种实地调查与抢救性收集

辽宁地区小豆野生种及其近缘种调查涵盖了辽宁全省14个市36个区(县)，所涉及的包括丘陵、平原及山地等主要地形。通过对这些地区的深入调查，共收集到262份样本，其中小豆野生种86份(32.8%)，小豆半野生种122份(46.6%)，野生近缘种54份(20.6%) (表2)，经鉴定，野生近缘种为 *Vigna radiata* var. *sublobata* 和 *Vigna minima*。此次调查发现，除铁岭外，辽宁其他13个地级市皆有小豆野生种或野生近缘种分布。小豆野生种主要分布在辽中和辽东地区，如丹东市、本溪市、鞍山市和辽阳市等，尤其以辽宁东南沿海地区(如大鹿岛)的小豆野生资源最为丰富。小豆野生近缘种则主要分布于辽西的朝阳市、阜新市、葫芦岛市和庄河市等地区。

在辽宁境内，小豆野生种及其近缘种常生长在农田和溪流两侧的草甸土上，分布于透光性较强的稀疏乔木和灌木植物群落中，也常见于在马路两旁的杂草丛及山坡上，分布海拔从50米到500米不等。人迹罕至处的小豆野生种数量多于人类活动频繁区域，如灌木丛和山坡等的小豆野生种数量多于马路边，而马路边、农田等的小豆半野生种数量显著多于小豆野生种，这一现象为小豆半野生种是小豆野生种向小豆栽培种驯化的中间类型提供了佐证。小豆野生种、半野生种通常蔓生或半蔓生，匍匐于地面或缠绕于其他植物或树木的茎秆之上。这种生长方式有助于它们在复杂的自然环境中寻觅支撑点并获得充足的光照，从而更好地生长和繁殖。通过实地调查和抢救性收集，大致掌握了我国辽宁地区小豆野生种及其近缘种的分布情

况，为小豆的遗传多样性和起源进化研究提供了重要的样本，也为保护和利用辽宁地区的小豆资源提供了科学依据。

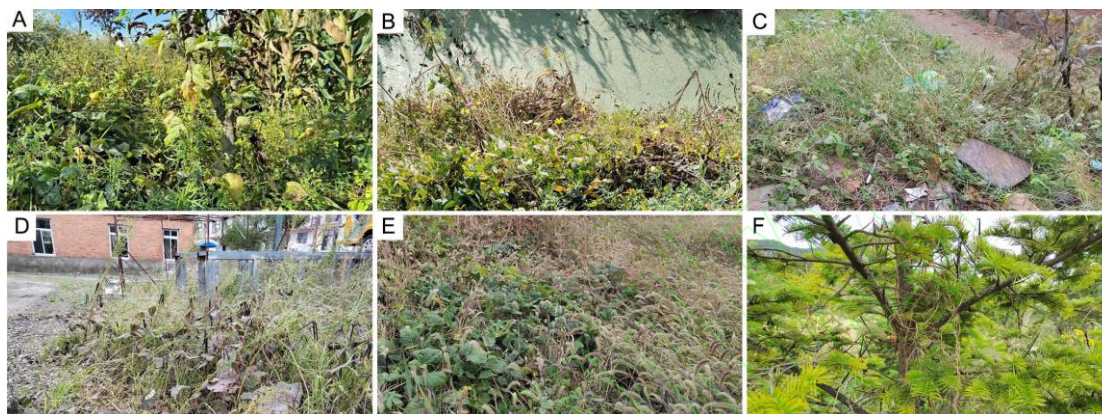
表 2 辽宁小豆野生种及其近缘种的分布情况
Table 2 The distribution of wild adzuki bean and sibling species in Liaoning

种质类型	采集地点	采集份数	生境地类型	平均海拔(m)
Type	Collection area	Number of samples	Habitat type	Average altitude
小豆野生种 Wild adzuki bean	鞍山市	6	灌木丛、农田	49
	本溪市	10	灌木丛、农田	100
	大连市	11	灌木丛、农田、山坡	29
	丹东市	23	道路边、灌木丛、山坡	5
	抚顺市	6	灌木丛、道路边	17
	锦州市	6	灌木丛	23
	辽阳市	5	灌木丛	146
	盘锦市	5	灌木丛	5
	沈阳市	8	灌木丛、农田	51
	营口市	6	灌木丛	5
小豆半野生种 Semi-wild adzuki bean	鞍山市	6	道路边	49
	本溪市	12	农田、道路边	100
	大连市	16	灌木丛、农田、山坡	29
	丹东市	27	道路边、灌木丛、山坡	5
	抚顺市	7	道路边、农田	17
	锦州市	6	农田、道路边	23
	辽阳市	18	农田、道路边	146
	盘锦市	8	农田、道路边	5
	沈阳市	15	道路边、灌木丛、农田	51
	营口市	7	农田、道路边	5
野生近缘种 Adzuki bean sibling species	朝阳市	12	灌木丛、农田、道路边	168
	大连市	10	灌木丛、农田、道路边	29
	阜新市	8	农田、道路边	146
	锦州市	6	农田、道路边	23
	葫芦岛市	10	灌木丛、农田、道路边	17
	营口市	8	农田、道路边	5

2.2 辽宁地区小豆野生种及其近缘种濒危情况调查

辽宁地区是我国小豆野生种分布最为丰富的区域，其自然条件和气候条件极其适宜小豆野生种及其近缘种的生长。小豆野生种及其近缘种的生态环境与小豆栽培品种类似，多分布于农田、沟渠及道路旁等地（图 1）。然而，随着城市化进程的加速发展、农业生产方式的转变以及基础设施建设的拓展，小豆野生种及其近缘种的生境正受到严重破坏和污染，生态环境不断恶化。一些小豆野生种及其近缘种的生境因其自然风景和独特地理位置被开发为旅游景点，如丹东市的大鹿岛和大孤山森林公园等，致使这些野生资源的栖息地持续减少。极端气候事件，如干旱、暴雨、冰雹等自然灾害的频繁发生，也给小豆野生种及其近缘种的生存带来了巨大的威胁。同时，水土流失和外来物种的入侵等因素进一步危及了小豆野生种及其近缘

种的生存，其种群数量急剧减少，致使众多分布点的小豆野生种及其近缘种灭绝或处于濒危状态。2014 年我们曾对辽宁大连地区的甘井子区、中山区、金州区、普兰店区，以及瓦房店、庄河 2 个县级市进行了考察，发现分布有大量小豆野生种。而近几年的调查显示，仅在普兰店和庄河部分地区有小豆野生种分布，其他 4 个区（县）的分布点的小豆野生种已消失，这些分布点的土地已用作耕地或建筑用地。2000 年至 2020 年间，大连地区的林地面积减少了 562.90 平方公里，而建设用地面积增加了 982.25 平方公里，导致大连地区的植被覆盖率大幅减低，野生植物种群数量显著减少^[21]。这种状况不仅削弱了生态系统的多样性和稳定性，也对未来野生种质资源的保护和利用带来了严峻挑战。



A: 庄稼地边（小豆半野生种 *Vigna angularis* var. *nipponensis*）； B: 沟渠旁（小豆野生种 *Vigna angularis* var. *nipponensis*）； C: 道路旁（小豆野生种 *Vigna angularis* var. *nipponensis*）； D: 厂房附近（小豆野生种 *Vigna angularis* var. *nipponensis*）； E: 荒地中（野生近缘种 *Vigna radiata* var. *sublobata*）； F: 树丛中（野生近缘种 *Vigna minina*）

A: Edge of the farmland (semi-wild adzuki bean, *Vigna angularis* var. *nipponensis*), B: Beside ditch (wild adzuki bean, *Vigna angularis* var. *nipponensis*), C: Along the roadsides (wild adzuki bean, *Vigna angularis* var. *nipponensis*), D: Near the factory building (wild adzuki bean, *Vigna angularis* var. *nipponensis*), E: In the wasteland (adzuki bean sibling species, *Vigna radiata* var. *sublobata*), F: Among the shrubs (adzuki bean sibling species, *Vigna minina*)

图1 小豆野生种及其近缘种生境

Fig.1 The habitats of wild adzuki bean and sibling species

2.3 辽宁地区小豆野生种及其近缘种资源形态特征

小豆野生种及其近缘种的叶形、花色、荚形以及粒型等性状与小豆栽培种较为相似，然而，在荚色与粒色方面却存在着显著的差异（图2）。

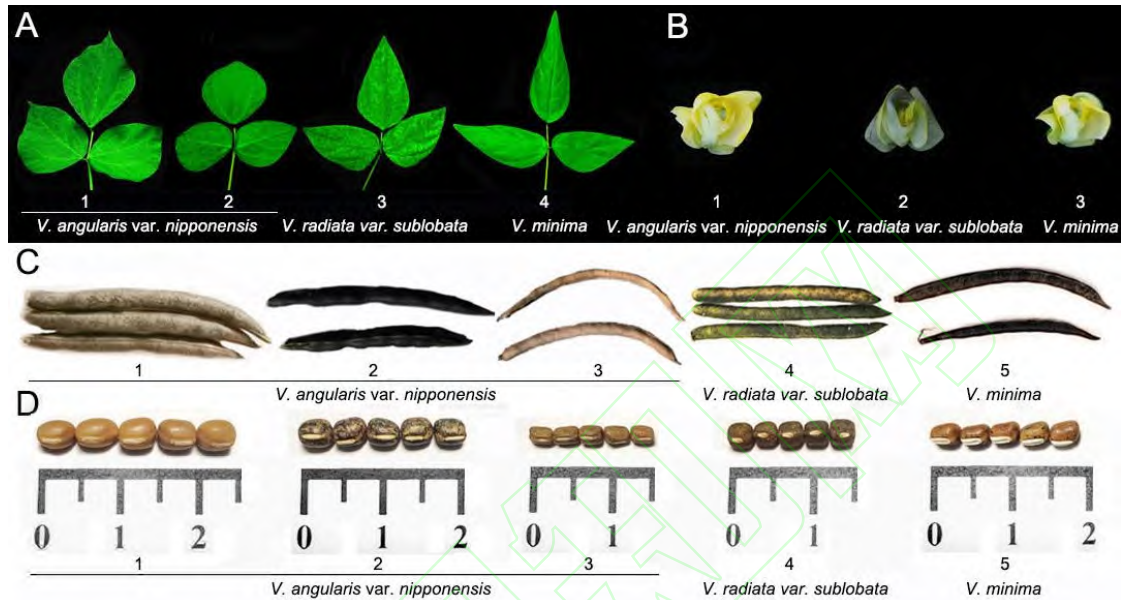
小豆野生种及其近缘种的茎较为纤细，呈紫色或浅紫色，茎上覆盖细密绒毛，呈蔓生或匍匐生长，株高 50-150 cm，主茎分枝较多。小豆半野生种的茎较野生种粗壮，呈绿色，通常为蔓生或半蔓生。

小豆野生种及其近缘种的叶互生，皆为三出复叶，通常呈卵圆形或披针形，因叶片在植株上的着生部位不同而有所差别，通常植株上部叶片多为披针形，下部叶片多为卵圆形（图 2A）。小豆野生种的叶柄、叶脉及小叶基部通常为紫色，而半野生种通常为绿色。小豆野生种及其近缘种的叶片通常比半野生种小，形状更为多样，显示出更强适应性。

小豆野生种及其近缘种的花通常着生于叶腋间，由苞叶、花萼、花冠、雄蕊和雌蕊五部分组成，呈蝶形花冠结构。小豆野生种及近缘种的花冠颜色呈黄色或黄带紫色，花萼多为绿紫色。小豆半野生种的花萼多为黄绿色（图 2B）。小豆野生种及其近缘种的花期通常为 8 月下旬至 9 月上旬，持续时间较长。

小豆野生种及其近缘种的成熟荚均为黑色，且易裂荚，呈圆筒形或镰刀形（图 2C）。野生种比半野生种的荚较细短。野生种及其近缘种的粒型有短圆柱形、长圆柱形及球形。

小豆野生种及其近缘种的籽粒一般为短圆柱形、长圆柱形或球形。籽粒较小，百粒重约 1.6 g，一般为灰狸色，表面有花纹（图 2D）；半野生种籽粒较大，百粒重约 4.8 g，一般为灰狸色或黄褐色，灰狸色籽粒表面有花纹，黄褐色籽粒表面无花纹。



A: 三出复叶; B: 花; C: 成熟荚; D: 种子

A: Trifoliate leaves, B: Flowers, C: Mature pods, D: Seeds

图 2 小豆野生种及其近缘种的叶、花、荚及籽粒形态特征

Fig.2 Morphological characteristics of leaves, flowers, pods, and seeds of wild adzuki bean and sibling species

2.4 辽宁地区小豆野生种及其近缘种的豆象抗性鉴定

对收集的小豆野生种进行豆象抗性鉴定，筛选出的抗性种质受害率显著低于对照组，其中表现高抗豆象种质的受害率在 10% 以内，而对照组受害率在 80% 以上（图 3）。86 份小豆野生种资源中，2 份在两次鉴定试验中均表现为高抗（HR）豆象（表 3，图 3C, D），分别来源于丹东市大鹿岛和大连庄河市；1 份资源在两次鉴定试验中表现为抗（R）豆象，来源于丹东市大鹿岛。第一次鉴定试验中有 8 份小豆野生种资源表现为中抗（MR）豆象，第二次鉴定试验中有 5 份表现为中抗（MR）豆象，其中 3 份资源在两次鉴定试验中均表现为中抗（MR）豆象。122 份小豆半野生种资源和 54 份野生近缘种在两次鉴定试验中均未发现抗性材料，表现为不同程度的感（S）豆象或高感（HS）豆象。通过系统的豆象抗性鉴定发现，小豆抗豆象野生种抗性种质极为稀少，仅占 1.1%。这一结果为小豆抗豆象品种改良提供了重要的种质资源。未来将进一步探讨这些豆象抗性资源的遗传机制，以期小豆抗豆象品种改良提供理论依据和实践指导。

表 3 小豆野生种及其近缘种的豆象抗性评价
Table 3 Evaluation of bruchid resistance of wild adzuki bean and sibling species

	种质类型 Type	材料份数 Number of samples				
		高抗 (HR)	抗 (R)	中抗 (MR)	感 (S)	高感 (HS)
第一次鉴定结果 Result of the first identification	小豆野生种 Wild adzuki bean	2	1	8	38	37
	小豆半野生种 Semi-wild adzuki bean	0	0	0	45	77
	野生近缘种 Sibling species	0	0	0	24	30
第二次鉴定结果 Result of the second identification	小豆野生种 Wild adzuki bean	2	1	5	34	44
	小豆半野生种 Semi-wild adzuki bean	0	0	0	39	83
	野生近缘种 Adzuki bean sibling species	0	0	0	22	32



A-B: 高感豆象; C-D: 高抗豆象

A, B: Highly susceptible to bruchid; C, D: Highly resistant to bruchid

图 3 小豆野生种豆象抗性鉴定

Fig.3 Identification of bruchid resistance in wild adzuki bean

3 讨论

3.1 小豆野生种及其近缘种研究现状

小豆种质资源在我国分布广泛且丰富多样。野生小豆(*Vigna angularis* var. *nipponensis*) 被认为是栽培小豆的祖先种^[22], 曾在喜马拉雅山脉、云南、山东和湖北等地均有发现^[1, 23, 24]。此外, 野生近缘种如 *Vigna minima* 在辽宁、天津、河北、山东和北京等地有分布^[6]。在从野生小豆到栽培小豆的演化过程中, 小豆经历了显著的形态和生理变化, 包括植株由匍匐变为直立, 株高降低, 生育期缩短, 豆荚和籽粒显著增大, 并由易裂荚变为不裂荚^[25, 26]。

关于小豆的起源地问题, 学界尚存在争议。多数研究支持小豆起源于我国^[1, 4], 最早的驯化证据可追溯到约 12000 年前^[27, 28]。考古发现表明, 小豆在新石器时代早期就已在我国作为植物性食品被广泛利用^[29, 30]。日本也有丰富的小豆种质资源, 其野生种被称为杂草小豆^[31]。考古证据显示其使用历史可追溯至 4000 年前^[32, 33]。然而, 也有研究提出小豆可能源于多个地理区域的四个祖先种群, 甚至可能起源于日本^[34, 35]。这些不同观点反映了小豆起源与驯化历史的复杂性, 需要更多研究来澄清。

利用 RAPD^[36]、AFLP^[37]和 SSR^[38]分子标记对中国、日本、韩国、尼泊尔、印度和不丹等地的野生小豆种质进行遗传多样性分析, 研究发现可将野生小豆种质划分为日本、中国、不丹和尼泊尔四个主要类群, 这种分类与种质的地理来源呈显著相关性^[36]。进一步研究表明, 栽培小豆至少有四个不同类型的野生祖先和三个不同的地理起源中心^[37]。中国、韩国和日本的栽培小豆遗传多样性最丰富, 且三国间的基因组成存在显著差异, 暗示了这些国家各自独立且悠久的小豆栽培历史^[38]。

3.2 小豆野生种及其近缘种收集与保护的重要性

野生种是作物遗传改良的宝贵资源库，蕴含着丰富的遗传变异，尤其在抗病、抗虫、环境胁迫耐受性等方面具有优良性状。然而，由于人工选择驯化过程中，许多有价值的抗性基因可能已经丢失^[39]。因此，野生种及其近缘种在作物抗性育种中扮演着不可或缺的角色，为种质创新提供了珍贵的基因资源。小豆野生种及其近缘种作为小豆栽培种的祖先，具有丰富的抗病虫和耐逆基因^[40]。

辽宁地区作为我国小豆野生种资源重要分布区域之一，近年来面临着严峻的生态威胁。近年来栖息地的破坏，导致许多分布点的小豆野生种及其近缘种濒危或灭绝。本研究发现，城市化扩张、基础设施建设、农田改造以及旅游开发等人为活动导致小豆野生种及其近缘种的栖息地遭到破坏程度远大于自然因素，导致许多野生种群濒临灭绝。这种情况凸显了开展全面调查和抢救性收集工作的紧迫性。为了有效保护这些珍贵的遗传资源，建议开展全面的野外调查，精确定位小豆野生种及其近缘种的分布区域。实施抢救性收集，优先保护濒危种群。建立完善的种质资源库，进行异地保存。加强对已收集资源的繁种和性状鉴定工作。对遗传多样性丰富且处于濒危状态的种群，实施就地保护策略，设立专门的保护区。深入研究这些野生资源的遗传多样性和适应性机制。这些措施的实施不仅有助于保护小豆的遗传多样性，也为未来的育种工作奠定坚实的基础。

3.3 发掘和利用抗豆象小豆野生种及其近缘种的必要性

豆象是危害小豆等食用豆作物的主要仓储害虫，严重制约了小豆产业的发展。传统的豆象防治方法，如温湿度调控^[41]、微波处理^[42]等物理方法，以及化学药剂防治^[43]，由于设备限制、环境污染和食品安全等问题难以在生产中广泛应用。因此，培育具有豆象抗性的小豆品种成为最经济、有效和环境友好的途径。筛选出抗豆象种质是小豆抗豆象育种的基础和关键。目前，国内外研究已从绿豆^[11, 44, 45]、饭豆^[46]、菜豆^[47]和豌豆^[48]等食用豆种质资源中筛选出抗豆象种质，其中绿豆已成功育成抗豆象品种并应用于生产^[49]。然而，在小豆中尚未发现抗豆象种质资源。本研究首次从我国小豆野生种中鉴定出抗豆象种质，为小豆抗豆象品种的培育提供了重要的遗传资源。

小豆野生种、地方品种和主栽品种的籽粒性状变异明显，在不同生态区种植农艺性状也存在显著差异^[26]。在小豆的驯化过程中，籽粒逐渐变大趋圆^[50]，但同时可能丢失了大量抗性基因。这可能解释了为什么在小豆地方种和现代育成品种中尚未发现豆象抗性性状。利用小豆野生种或近缘种与栽培种进行远缘杂交，通过多代回交导入抗性基因，成为小豆抗性种质创新和品种改良的重要途径^[51]。本研究筛选出的抗豆象种质为小豆抗豆象育种提供了宝贵的基因资源。我们已通过小豆抗豆象野生种与栽培种远缘杂交，初步创制出抗豆象新种质。此外，通过种间远缘杂交，如饭豆和小豆野生近缘种进行杂交，也可创制出新的抗豆象新种质^[52]，这些研究成果为小豆抗豆象育种开辟了新的思路和方法。

3.4 小豆野生种及其近缘种的研究展望及利用建议

当前，国内外对于小豆野生种及其近缘种的研究相对不足。为了更好地利用这些资源，建议加强野生小豆种质资源的系统收集、鉴定评价及保存工作，建立完善的种质资源库，确保遗传多样性的长期保护和可持续利用。深入评估小豆野生种及其近缘种抗病虫、耐逆性等农艺性状，全面挖掘优良基因资源。此外，应结合高通量测序、全基因组关联分析（GWAS）等技术深入研究小豆野生种质的遗传多样性和优良性状的分子机制，开发与抗性、产量和品质相关的分子标记，为分子标记辅助选择（MAS）育种提供工具。探索利用基因编辑技术快速将小豆野生种的优良基因导入栽培种。这些措施将有助于充分发挥小豆野生种及其近缘种的潜力，为农业生产和生态环境改善提供有力支持。通过这些措施，我们可以充分发挥小豆野生种及其近缘种的潜力，为小豆的遗传改良和可持续发展提供强有力的支持。

本研究对辽宁地区小豆野生种及其近缘种的抢救性收集和豆象抗性鉴定工作, 不仅揭示了这些资源丰富的遗传多样性和抗虫特性, 也为后续的抗性育种奠定了基础。然而, 小豆抗豆象育种仍面临诸多挑战, 包括抗性种质资源有限、抗性机制不明确等。因此, 未来需要进一步加强抗豆象种质的鉴定和抗性基因的挖掘工作。总之, 深入研究和合理利用小豆野生种及其近缘种的遗传多样性, 对推动小豆育种创新、提高产量和抗逆性、促进产业可持续发展具有重要意义。通过多学科交叉和新技术的应用, 我们有望为实现小豆高产、优质、抗病虫和广适性等育种目标提供更多的遗传资源和技术支撑。

参考文献

- [1] 郑卓杰, 王述民, 宗绪晓. 中国食用豆类学. 北京: 中国农业出版社, 1997
Zheng Z J, Wang S M, Zong X X. Food legumes in China. Beijing: China Agriculture Press, 1997
- [2] Tomooka N, Vaughan D A, Moss H, Maxted N. The Asian *Vigna*: genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis* genetic resources. Kluwa Academic Press, 2003
- [3] 王丽侠, 程须珍, 王素华. 小豆种质资源研究与利用概述. 植物遗传资源学报, 2013, 14(3): 440-447
Wang L X, Cheng X Z, Wang S H. Review on genetic study and application of adzuki bean (*Vigna angularis*) germplasm. Journal of Plant Genetic Resources, 2013, 14(3): 440-447
- [4] 瓦维洛夫. 1935. 主要栽培植物的世界起源中心. 董玉琛, 译. 北京: 农业出版社, 1982
Vavilov H H. 1935. The center of world origin of major cultivated plants. Dong Y C, translation. Beijing: China Agriculture Press, 1982
- [5] 杨人俊, 韩亚光. 野赤豆在辽宁省的地理分布及其与赤豆间的杂交试验. 作物学报, 1994, 20(5): 607-613
Yang R J, Han Y G. The geographical distribution of wild adzuki bean in Liaoning Province and their hybridization experiments with adzuki bean. Acta Agronomica Sinica, 1994, 20(5): 607-613
- [6] 张志肖, 王宝强, 范保杰, 刘长友, 曹志敏, 王彦, 苏秋竹, 田静. 豇豆属近缘野生种 *Vigna minima* 资源收集与表型性状初步研究. 植物遗传资源学报, 2016, 17(1): 13-19
Zhang Z X, Wang B Q, Fan B J, Liu C Y, Cao Z M, Wang Y, Su Q Z, Tian J. Collection and phenotypic traits analysis of *Vigna minima*. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(1): 13-19
- [7] Ogiiso-Tanaka E, Chankaw S, Isemura T, Marubodee R, Kongjaimun A, Baba-Kasai A, Okuno K, Ehara H, Tomooka N. Diversity of salt tolerance in *Vigna nakashimae*, wild related species of the azuki bean (*Vigna angularis*). Breeding Science, 74(2): 166-172
- [8] Mohan K M, Kodandaram M H. Diversity, Abundance and infestation of bruchids on stored pulses in Karnataka. Mysore Journal of Agricultural Sciences, 2022, 56(2): 295-307
- [9] 杨晓明, 程须珍, 朱振东, 刘昌燕, 陈新. 食用豆抗豆象种质创新与遗传改良研究进展. 作物学报, 2023, 49(5): 1153-1169
Yang X M, Cheng X Z, Zhu Z D, Liu C Y, Chen X Z. Advances in germplasm innovation and genetic improvement of food legumes resistant to bruchid. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(5): 1153-1169
- [10] 陈红霖, 田静, 朱振东, 张耀文, 陈巧敏, 周素梅, 王丽侠, 刘玉皎, 何玉华, 尹凤祥, 魏淑红, 程须珍. 中国食用豆产业和种业发展现状与未来展望. 中国农业科学, 2021, 54(3): 493-503
Chen H L, Tian J, Zhu Z D, Zhang Y W, Chen Q M, Zhou S M, Wang L X, Liu Y J, He Y H, Yin F X, Wei S H, Cheng X Z. Current status and future prospective of food legumes production and seed industry in China. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(3): 493-503
- [11] 陈红霖, 胡亮亮, 杨勇, 郝曦煜, 李姝彤, 王素华, 王丽侠, 程须珍. 481 份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2022, 23(4): 964-971
Chen H L, Hu L L, Yang Y, Hao X Y, Li S T, Wang S H, Wang L X, Cheng X Z. Evaluation and genetic diversity analysis of agronomic traits and bruchid resistance using 481 worldwide mungbean germplasms. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(4): 964-971
- [12] 程须珍, 王述民. 中国食用豆类品种志. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009: 23
Cheng X Z, Wang S M. Food legumes variety in China. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009: 23
- [13] 朱慧琨, 赵雪英, 阎虎斌, 高伟, 张耀文. 抗豆象绿豆新品种晋绿豆 7 号的选育. 山西农业科学, 2012, 40(6): 606-612
Zhu H J, Zhao X Y, Yan H B, Gao W, Zhang Y W. Breeding of bruchid resistant mung bean variety Jinlyudou 7. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2012, 40(6): 606-612
- [14] 范保杰, 刘长友, 曹志敏, 张志肖, 苏秋竹, 王彦, 田静. 抗豆象绿豆新品种冀绿 15 号的选育. 中国种业, 2018, (09): 76-78
Fan B J, Liu C Y, Cao Z M, Zhang Z X, Su Q Z, Wang Y, Tian J. Breeding of bruchid resistant mung bean variety Jilv 15. 2018, (9): 76-78
- [15] 陈华涛, 袁星星, 张红梅, 刘晓庆, 崔晓艳, 陈新, 顾和平. 抗豆象绿豆新品种苏绿 5 号选育及配套栽培技术. 作物研究, 2015, 29(4): 428-430

- Chen H T, Yuan X X, Zhang H M, Liu X Q, Cui X Y, Chen X, Gu H P. Breeding and cultivation techniques of the new mungbean variety Sulv No. 5 with bruchid resistance. *Crop Research*, 2015, 29(4): 428-430
- [16] 徐宁, 王明海, 包淑英, 王桂芳, 邓昆鹏, 窦金光, 檀辉, 谢利, 韩丹, 郭中校. 绿豆抗豆象新品种吉绿 16 的选育. *中国种业*, 2022, 6: 83-85
Xu N, Wang M H, Bao S Y, Wang G F, Deng K P, Dou J G, Tan H, Xie L, Han D, Guo Z X. Breeding of a new mung bean variety Jilv 16 resistant to bean weevil. *China Seed Industry*, 2022, 6: 83-85
- [17] 徐宁, 王明海, 包淑英, 王桂芳, 郭中校. 小豆种质资源、育种及遗传研究进展. *植物学报*, 2013, 48(6): 676-683
Xu N, Wang M H, Bao S Y, Wang G F, Guo Z X. Advances in research into genetic resources, breeding and genetics of adzuki bean (*Vigna angularis*). *Chinese Bulletin of Botany*, 2013, 48(6): 676-683
- [18] 袁星星, 陈新, 崔晓艳, 陈华涛, 顾和平, 张红梅. 抗绿豆象小豆筛选与应用研究. *江苏农业科学*, 2013, 41(6): 79-80
Yuan X X, Chen X, Cui X Y, Chen H T, Gu H P, Zhang H M. Screening and application on resistant to *Callosobruchus clanensis* L. of adzuki beans. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(6): 79-80
- [19] Kang J K, Pittendrigh B R, Onstad D W. Insect resistance management for stored product pests: a case study of cowpea weevil (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Economic Entomology*, 2013, 106(6): 2473-2490
- [20] 程须珍, 王素华, 王丽侠. 绿豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 74-75
Cheng X Z, Wang S H, Wang L X. Descriptions and data standard for adzuki bean (*Vigna angularis*). Beijing: China Agriculture Press, 2006: 74-75
- [21] 李源, 李发祥, 梁金水, 李田慧, 刘长发. 滨海城市土地利用变化对陆地生态系统服务价值与储碳的影响—以辽宁省大连市为例. *水土保持通报*, 2023, 43(5): 330-342
Li Y, Li F X, Liang J S, Li T H, Liu C F. Effects of land use change on terrestrial ecosystem service value and carbon storage—a case study in Dalian city, Liaoning province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(5): 330-342
- [22] Yamaguchi H. Wild and weed azuki beans in Japan. *Economic Botany*. 1992, 46:384-394
- [23] 杨人俊. 野赤豆在我国的地理分布. *作物学报*, 2001, 27(6): 905-907
Yang R J. The geographical distribution of *Vigna angularis* var. *nipponensis* in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 905-907
- [24] 宗绪晓, Vaughan D, Tomooka N, Kaga A, 王新望, 关建平, 王述民. AFLP 初析小豆栽培和野生变种(*Vigna angularis* var. *angularis* and var. *nipponensis*)间演化与地理分布关系. *中国农业科学*, 2003, 36(4): 367-374
Zong X X, Vaughan D, Tomooka N, Kaga A, Wang X W, Guan J P, Wang S M. Preliminary study on geographical distribution and evolutionary relationships between cultivated and wild adzuki bean (*Vigna angularis* var. *angularis* and var. *nipponensis*) by AFLP analysis. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(4): 367-374
- [25] 王明立, 赵波, 李媛, 董硕, 白佳妮, 玉米提 帕尔哈提, 杨凯, 李奕松, 万平. 野生小豆和栽培小豆农艺性状分析. *北京农学院学报*, 2017, 32(4): 14-20
Wang M L, Zhao B, Li Y, Dong S, Bai J N, Paerhati Y, Yang K, Li Y S, Wan P. Analysis on agronomic traits of wild adzuki bean and cultivated adzuki bean. *Journal of Beijing University of Agriculture*, 2017, 32(4): 14-20
- [26] Hu L L, Luo G L, Zhu X, Wang S H, Wang L X, Cheng X Z, Chen H L. Genetic diversity and environmental influence on yield and yield-related traits of adzuki bean (*Vigna angularis* L.). *Plants*, 2022, 11: 1132
- [27] Liu, L, Bestel S, Shi J, Song Y, Chen X. Paleolithic human exploitation of plant foods during the last glacial maximum in North China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110, 5380-5385
- [28] Chu L W, Yang K, Chen C H, Zhao B, Hou Y N, Wang W Q, Zhao P, Wang K L, Wang B H, Xiao Y, Li Y Q, Li Y S, Song Q J, Liu B, Fan R X, Bohra A, Yu J P, Sonnenschein E C, Varshney R K, Tian Z X, Jian J B, Wan P. Chromosome-level reference genome and resequencing of 322 accessions reveal evolution, genomic imprint and key agronomic traits in adzuki bean. *Plant Biotechnology Journal*, 2024, doi: 10.1111/pbi.14337
- [29] 陶大卫. 国内若干考古遗址出土小豆(*Vigna angularis*)遗存的初步考察. *西部考古*, 2017, (3): 274-281
Tao D W. The preliminary analysis of adzuki (*Vigna*) remains from archaeological sites in China. *Xi Bu Kao Gu*, 2017, (3): 274-281
- [30] Yang X, Jiang L. Starch grain analysis reveals ancient diet at Kuahuqiao site, Zhejiang Province. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55: 1150-1156
- [31] Kato S, Yamaguchi H, Shimamoto Y, Mikami T. The chloroplast genomes of azuki bean and its close relatives: a deletion mutation found in weed azuki bean. *Hereditas*, 2000, 132(1): 43-48
- [32] Maeda, K., Legumes and humans: A 10000 year history. Kokonshin, 1987, Tokyo (in Japanese)
- [33] Yano, A., K. Yasuda and H. Yamaguchi. A test for molecular identification of Japanese archaeological beans and phylogenetic relationship of wild and cultivated species of subgenus *Ceratotropis* (genus *Vigna*, Papilionaceae) using sequence variation in two non-coding regions of the *trnL* and *trnF* genes. *Economic Botany*, 2004, 58(Suppl): S135-S146
- [34] Lee G A. Archaeological perspectives on the origins of azuki (*Vigna angularis*). *The Holocene*, 2013, 23: 453-459
- [35] Tomooka N, Vaughan D A, Moss H, Maxted N. The Asian *Vigna*: genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis* genetic resources. London:

Kluwer Academic Publishers, 2003

- [36] 金文林, 郭蓓, 文自翔, 李园, 濮绍京, 赵波. 野生小豆种质资源遗传多样性的 RAPD 分析. 华北农学报, 2004, 2: 28-31
Jin W L, Guo P, Wen Z X, Li N, P S J, Zhao B. Study on germplasm resources of wild adzuki bean (*V. angularis* var. *nipponensis*) based on RAPD analysis. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2004, 2: 28-31
- [37] Zong X X, Kaga A, Tomooka N, Wang X W, Han O K, Vaughan D. The genetic diversity of the *Vigna angularis* complex in Asia. Genome, 2003, 46 (4): 647-658
- [38] Xu H X, Jing T, Tomooka N, Kaga A, Isemura T, Vaughan D A. Genetic diversity of the azuki bean (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi) gene pool as assessed by SSR markers. Genome, 2008, 51(9): 728-738
- [39] Zhou Z K, Jiang Y, Wang Z, Gou Z H, Lyu J, Li W Y, Yu Y J, Shu L P, Zhao Y J, Ma Y M, Fang C, Shen Y T, Liu T F, Li C C, Li Q, Wu M, Wang M, Wu Y S, Dong Y, Wan W T, Wang X, Ding Z L, Gao Y D, Xiang H, Zhu B G, Lee S H, Wang W, Tian Z X. Resequencing 302 wild and cultivated accessions identifies genes related to domestication and improvement in soybean. Nature Biotechnology, 2016, 34(4): 408-441
- [40] Kaga A, Isemura T, Tomooka N, Vaughan D A. The genetics of domestication of the azuki bean (*Vigna angularis*). Genetics, 2008, 178 (2): 1013-1036
- [41] Gbaye O A, Millard J C, Holloway G J. Legume type and temperature effects on the toxicity of insecticide to the genus *Callosobruchus* (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 2011, 47(1): 8-12
- [42] 张民照, 金文林, 王进忠, 孙淑玲, 覃晓春, 张志勇. 微波处理对绿豆象的杀虫效果及对红小豆发芽率的影响. 昆虫学报, 2007(9): 967-974
Zhang M Z, Jin W L, Wang J Z, Sun S L, Qin X C, Zhang Z Y. Insecticidal efficacy of microwave treatment against *Callosobruchus chinensis* (L.) (Coleoptera: Bruchidae) and its effects on the germination rate of adzuki beans. Acta Entomologica Sinica, 2007(9): 967-974
- [43] Yadav D, Bhattacharyya R, Banerjee D. Acute aluminum phosphide poisoning: The menace of phosphine exposure. Clinica Chimica Acta, 2021, 520: 34-42
- [44] Somta C, Somta P, Tomooka N, Ooi P A C, Vaughan D A, Srinives P. Characterization of new sources of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) resistance to bruchids, *Callosobruchus* spp. (Coleoptera: Bruchidae). Journal of Stored Products Research, 2008, 44(4): 316-321
- [45] Tomooka N, Kashiwaba K, Vaughan D A, Ishimoto M, Egawa Y. The effectiveness of evaluating wild species: searching for sources of resistance to bruchid beetles in the genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis*. Euphytica, 2000, 115(1): 27-41
- [46] Seram D, Senthil N, Pandiyan M, Kennedy J S. Resistance determination of a South Indian bruchid strain against rice bean landraces of Manipur (India). Journal of Stored Products Research, 2016, 69: 199-206
- [47] Zaugg I, Magni C, Panzeri D, Daminati M, Bollini R, Benrey B, Bacher S, Sparvoli F. QUES, a new *Pisum fulvum* *Phaseolus vulgaris* genotype resistant to common bean weevils, contains the Arcelin-8 allele coding for new lectin-related variants. Theoretical and Applied Genetics, 2013, 126(3): 647-661
- [48] Clement S L, Hardie D C, Elberson L R. Variation among accessions of *Pisum fulvum* for resistance to pea weevil. Crop Science, 2002, 42(6): 2167-2173
- [49] 田静, 程须珍, 范保杰, 王丽侠, 刘建军, 刘长友, 王素华, 曹志敏, 陈红霖, 王彦, 王坤. 我国绿豆品种现状及发展趋势. 作物杂志, 2021(6): 15-21
Tian J, Cheng X Z, Fan B J, Wang L X, Liu J J, Liu C Y, Wang S H, Cao Z M, Chen H L, Wang Y, Wang S. Current situation and development trend of mung bean varieties in China. Crops, 2021(6): 15-21
- [50] 李媛, 赵波, 王天奇, 李奕松, 王秀金, 扎西措姆, 杨凯, 万平. 野生小豆和栽培小豆种子表型性状分析. 北京农学院学报, 2017, 32(4): 8-13
Li Y, Zhao B, Wang T Q, Li Y S, Wang J X, Zha X C M, Yang K, Wan P. Analysis of phenotypic traits of wild adzuki bean and cultivated adzuki bean. Journal of Beijing University of Agriculture, 2017, 32(4): 8-13
- [51] 王丽侠, 陈新, 王素华, 袁星星, 陈红霖, 程须珍. 豇豆属野生近缘种资源研究进展. 植物遗传资源学报, 2020, 21(6): 1407-1414
Wang L X, Chen X, Wang S H, Yuan X X, Chen H L, Cheng X Z. Research progress on wild relatives in *Vigna*. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21(6): 1407-1414
- [52] Somta P, Kaga A, Tomooka N, Kashiwaba K, Isemura T, Chaitieng B, Srinives P, Vaughan D A. Development of an interspecific linkage map between *Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi and *V. nakashimae* (Ohwi) Ohwi & Ohashi and its use in analysis of bruchid resistance and comparative genomics. Plant Breeding, 2006, 125(1): 77-84