

中国大豆雄性不育和杂种优势利用研究进展与问题分析

王曙明^{1,2}, 孙 寰², 赵丽梅², 王跃强², 彭 宝², 范旭红², 张宝石¹

(1. 沈阳农业大学 农学院, 辽宁 沈阳 110161; 2. 吉林省农业科学院 大豆研究中心, 吉林 长春 130033)

摘 要:杂种优势利用是大幅度提高大豆产量的有效措施之一,我国的大豆杂种优势利用研究开始于 20 世纪 80 年代中期,经过 20 多年的研究探索,我国在大豆杂种优势利用研究领域总体上处于国际前列。在世界上率先育成了大豆质核互作“三系”,开展了大规模杂种优势测定研究,育成了数个大豆杂交种,对大豆杂交制种技术进行了广泛研究,取得重要进展。然而,杂交大豆的产业化进程仍较缓慢,还存在一系列问题亟待解决。文章总结我国在大豆雄性不育和杂种优势利用研究方面所取得的重要进展,对存在的主要问题进行了分析,并对今后的研究策略提出了建议。

关键词:大豆;雄性不育;不育系;杂种优势;杂交种

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)06-1089-08

Progress and Problem Analysis on Soybean Male Sterility and Heterosis Exploitation in China

WANG Shu-ming^{1,2}, SUN Huan², ZHAO Li-mei², WANG Yue-qiang², PENG Bao², FAN Xu-hong², ZHANG Bao-shi¹

(1. Agronomy College of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning; 2. Soybean Center of Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, Jilin, China)

Abstract: Heterosis exploitation is one of efficient measures to increase soybean yield. In the period of the mid of 1980s, studies on soybean heterosis exploitation were conducted by several research institutions in China. Through exploring with more than 20 years, on the whole, China has been ranked the first position in the field of soybean heterosis exploitation. The “three lines” with cytoplasmic male sterility and several hybrid cultivars were first developed by Chinese scientists. The heterosis tests of soybean on a large scale and the seed reproduction techniques of hybrid soybean were also studied in China. However, the course of industrialization of hybrid soybean is still slow in China. There are a series of problems to be resolved in the production of hybrid soybean. The progress on studies of soybean male sterility and heterosis exploitation in China was summarized and some suggestions were put forward by the authors in this article.

Key words: Soybean; Male sterility; Sterile line; Heterosis; Hybrid

杂种优势利用是大幅度提高大豆产量的有效措施之一。我国的大豆杂种优势利用研究起步于 20 世纪 80 年代,主要的研究单位有吉林省农业科学院、南京农业大学、安徽省农业科学院、安徽省阜阳市农科所、山西省农业科学院等。在大豆杂种优势利用研究领域我国总体上处于国际前列。近 20 a 来,我国在大豆杂种优势利用研究与应用上取得了重大进展,但距离大规模产业化还有一段相当长的路程,还存在一些关键问题需要解决,但大豆杂种优

势利用为中国大豆产业的发展展示了光明的前景。

1 雄性不育

1.1 细胞核雄性不育

国内发现的大豆雄性不育类型主要有细胞核雄性不育、光温敏雄性不育、细胞质(质核互作)雄性不育。余建章等^[1]在地理远缘杂交后代中发现了国内首例细胞核雄性不育突变体 L-78-387,经等位性测验与 ms1 位点相同。李莹等^[2]报道了 3 个雄

收稿日期:2009-07-26
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助项目。
第一作者简介:王曙明(1963-),男,研究员,在读博士,研究方向为大豆遗传育种。E-mail:shumingw@263.net。
通讯作者:张宝石,教授,博士生导师。E-mail:baoshizhang@126.com。

性不育突变体。马国荣等^[3]从栽培大豆杂交组合中发现了雄性不育突变体 NJ89-1,杨守萍等^[4-6]对其进行了细胞学和遗传学鉴定,并通过与 ms1 ~ ms6 等位性测验和细胞形态学比较研究发现,NJ 89-1 与 ms1 ~ ms9 突变体存在明显差异,将其定名为 ms0,后来将 NJ 89-1 的不育基因定位于 C2 连锁群上。赵团结等^[7]从大豆品系南农 CT-2 迟播群体中发现了雌雄育性均表现部分不育的孢子体不育类型突变体 CT-2s,遗传分析表明,CT-2s 的不育性受 2 对隐性重叠基因控制。赵团结等^[8]从大豆地方品种阜阳四粒荚(N7241)群体中发现了单个显性基因控制的细胞核雄性不育突变体 N7241S。赵团结等^[9]从 8 327 份大豆资源和 414 个大豆杂种后代群体中筛选出 17 个不育新种质,经鉴定均为核不育材料,有 6 种不育类型:雄性完全不育-雌性可育(MS-FF)、雄性完全不育-雌性部分不育(MS-FPS)、雄性部分不育-雌性可育(MPS-FF)、雌雄完全不育(MS-FS)、雌雄部分不育(MPS-FPS)和雄性部分不育-雌性完全不育(MPS-FS),其中单显性基因遗传的 MS-FF、单隐性基因遗传的 MS-FPS、双隐性基因控制的 MPS-FF、双隐性基因控制的 MPS-FPS、花和叶形均异常的 MPS-FS 等不育类型为以往未曾报道的。张磊等^[10]在杂交后代中发现了细胞核雄性不育突变体 Wh921。卫保国^[11]发现了光(温)敏雄性不育系,其育性主要受日照长度控制,短日照下雄性不育,长日照下雄性可育。王芳等^[12]和李艳花等^[13]对光(温)敏雄性不育系 88-428BY-827 进行的细胞学观察表明,单核小孢子中期为花粉败育的关键期。彭玉华等^[14]发现了一个对播期反应敏感的大豆不育材料,在晚播短日下雄性不育,在早播长日下可育,他认为该不育特性的遗传是由细胞质和一显性基因控制。以上不育系由于大量可育株的存在或花器构造等方面的原因,很难应用于杂交种生产。

1.2 细胞质雄性不育

迄今为止,对大豆杂种优势利用具有实际应用价值的不育系是细胞质雄性不育系。孙寰等^[15-16]采用野生大豆与栽培大豆远缘杂交的方法,育成了国内首例质核互作雄性不育系 OA 及其同型保持系 OB,不育细胞质来源于栽培大豆 167,核不育基因来源于野生大豆 035。后来经过与栽培大豆测交,于 1995 年育成了栽培大豆不育系 YA 和保持系 YB,并找到了恢复系,实现了“三系”配套^[17]。孙寰等^[18-19]利用人工气候箱在严格控制温、光条件下对

野生型不育系 OA 和保持系 OB 的育性稳定性研究表明,不育系 OA 育性高度稳定。通过遗传分析,孙寰等^[17]认为来源于栽培大豆 167(汝南天鹅蛋)的不育细胞质(RN 细胞质)的不育系属配子体不育,恢复基因为显性单基因 RfRf,有可能存在非等位恢复基因和微效修饰基因。赵丽梅等^[20]采用 SSR 标记方法将该恢复基因定位于 J 连锁群上。赵丽梅等^[21]以 ZD8319(中豆 19)为母本,以保持系 YB 为父本,通过回交转育育成了细胞质雄性不育系 ZA 和保持系 ZB,并实现了“三系”配套,同时发现另一栽培大豆(XXT)亦携带不育细胞质。孙寰等^[22]通过对花粉育性观察,提出了大豆花粉育性分为可育、不育、半不育和典型半不育 4 类。吉林省农业科学院通过对 1 320 个测交组合的研究表明,保持类型占 31.97%,恢复类型占 33.33%,中间类型占 34.70%^[23]。截止 2007 年,吉林省农业科学院已育成稳定不育系和保持系近 200 对(其中高异交率不育系 10 多个),恢复系 100 多个^[24]。

彭玉华等^[25]发现中油 89B 携带不育细胞质,与显性核不育基因结合产生质核互作雄性不育,而中油 89B 的细胞质来源于 ZD8319。李磊等发现以中豆 19 为母本的杂交组合,F₁ 及后代出现不育现象,并认为中豆 19 可能携带不育基因。后来经过大量测交和回交转育,育成了阜 CMS1A ~ 阜 CMS10A 等 10 个细胞质雄性不育系和阜恢 1 ~ 阜恢 14 等 14 个恢复系,并发现 1 个新的不育细胞质来源^[26]。许占友等^[27-28]通过对 3 个组合的育性分析结果认为,核不育基因分别由 1 对完全显性、不完全显性和 6 对微效基因控制,并进行了恢复基因的初步定位研究。张磊等^[29-32]在杂交组合 W202(中油 89B) × W206 中发现多数 F₁ 植株不育,反交组合完全可育,推断可能是质核互作造成的,进而育成了不育系 W931A 和保持系 W931B,随后又育成了一系列不育系 W933A、W936A、W945A、W948A 等,并育成 45 个恢复系。汤复跃等^[33]将恢复系 WR016 的恢复基因初步定位于 A 连锁群上。

盖钧镒等^[34]报道了来自 2 个栽培大豆品种间杂交组合 N8855 × N2899 杂种及其后代的质核互作雄性不育,进而育成了不育系 NJCMS1A 和保持系 NJCMS1B,对不育系进行了细胞学观察^[35-36],并找到了恢复源和保持源^[37],随后又育成了不育系 NJCMS2A 和保持系 NJCMS2B^[38]。董建生等^[39]认为 NJCMS2A 的育性恢复性由 2 对显性重叠基因控

制,并将其定位于 D2 连锁群上。曾维英等^[40-42]通过蛋白质组学研究,认为不育系 NJCMS1A 和 NJCMS2A 雄性不育性可能与能量代谢紊乱、细胞程序化死亡(PCD)、乙烯过度合成、淀粉合成受抑制和花器官发育调节基因作用失控等有关,与育性有关的蛋白主要在花药中表达。赵团结等^[43]从大豆资源中发现 2 个新的不育细胞质 N23168 和 N21566,其中 N23168 为来源于山西的野生大豆;从不明细胞质来源的雄性不育材料中发掘出 3 个新的不育细胞质 N2877、N1642 和 WSms,其中 WSms 为可能来源于黄淮地区的野生大豆。同时,赵团结等^[43]发现不同来源的不育种质恢保关系不同,并认为大豆资源中不育细胞质并不少见。

2 杂种优势与杂交种培育

2.1 杂种优势

杂种优势的大小是关系到大豆杂种优势能否有效利用的关键之一。东北农学院大豆课题组对 49 个大豆杂交组合的 F_1 代杂种优势测定结果表明,平均中亲优势率 11.2%,高亲优势率在 -60.5% ~ 117.7% 之间。田佩占^[44]对 17 个组合的研究显示, F_1 单株粒重的平均中亲优势率为 48.26,且全部为正向优势。马育华等对 10 个组合的研究结果表明,高亲优势率在 -48.7% ~ 122.9% 之间,平均高亲优势率 17.2%。盖钧镒等^[45]对 8 个组合的研究显示,有 5 个组合表现正向超亲,平均中亲优势率 32.7%。黄承运等^[46]对 15 个组合的研究结果表明,单株粒重高亲优势率在 -15.4% ~ 60.2% 之间,平均高亲优势率 9.0%。田佩占等^[47]对 20 个组合的 F_1 研究显示,单株粒重平均中亲优势率 44.2%。李磊等对 8 个组合的 F_1 产量测定显示,高亲优势率在 -2.1% ~ 94.6% 之间,仅有 1 个组合为负向优势。梁江等对 12 个组合的 F_1 单株产量测定显示,高亲优势率在 -4.2% ~ 100.2% 之间,仅有 1 个组合为负向优势。王跃强等^[48]对 99 个组合的杂种优势测定表明,超高亲组合占 72.7%,高亲优势率在 -35.6% ~ 95.1% 之间。王志新等^[49]对 199 个组合的杂种优势测定结果显示,高亲与对照优势率均在 20% 以上的组合占 34%,经过 2 a 3 个点次测产,筛选出 4 个高亲与对照优势率均在 20% 以上的高优势组合 4 个。王曙明等^[50]对国内 1326 个组合杂种优势的测定结果表明,平均高亲优势率 6.8%,平均对照优势率 11.9%,高亲与对照优势率均在 20%

以上的组合占 18.3%,并且进一步筛选出 39 个高优势组合,高亲优势率在 20.0% ~ 101.6% 之间,对照优势率在 20.0% ~ 65.1% 之间,并提出地理远缘品种间杂交杂种优势相对较强,谢甫绶等^[51]的研究也得出类似的结果。张博等^[52]试图通过亲本遗传距离来预测杂种优势,但由于所用亲本较少,并未找到杂种优势与遗传距离之间的明显相关性。

2.2 杂交种培育

张磊^[53]、李杰坤等^[54]以不育系和恢复系配制一系列杂交组合,获得了一些强优势组合。李智等^[55]利用不育系和恢复系配制 20 个杂交组合测定 F_1 杂种优势,有 6 个组合对照优势率超过 20%。赵丽梅等^[56]报道了利用“三系”法育成世界上首例通过审定的大豆杂交种“杂交豆 1 号”,该品种增产效果明显,2 a 区域试验平均较对照品种吉林 30 增产 21.9%,1 a 生产试验较对照增产 20.8%。吉林省农业科学院于 2006 年又育成“杂交豆 2 号”,2 a 区域试验平均较对照品种吉林 30 增产 22.7%,1 a 生产试验较对照增产 14.3%^[57]。2009 年吉林省农业科学院培育的“杂交豆 3 号”通过吉林省审定,目前有 10 余个组合参加吉林省或国家区域试验,有些组合表现出明显的增产效果。张磊等^[58]育成了夏大豆杂交种“杂优豆 1 号(皖豆 25)”,2 a 区域试验平均较对照品种中豆 20 增产 15.37%,1 a 生产试验较对照增产 19.14%。

3 制种技术

3.1 制种途径

大豆杂交种制种技术是杂交大豆能否产业化的关键技术。余建章^[59]曾申请了一项“大豆雄性核不育系选育及杂交制种法”的发明专利,该方法根据收获时母本植株结荚情况区分 3 种类型并要求单独收获脱粒,可作杂交种子的植株仅占 1/4 左右。由于此方法很难操作且种子产量低,因而不可能在生产上大面积应用。吉林省农业科学院自育成细胞质不育系后,即开始了制种技术研究。赵丽梅等^[60]调查发现,可能与大豆传粉有关的昆虫有蜂类(9 科)、蝇类(11 科)和蓟马等,认为蜜蜂和苜蓿切叶蜂是大豆传粉的有效昆虫。丁德荣等^[61]认为南方地区大豆不育系的传粉媒介主要是花蓟马。卫保国等也认为花蓟马是大豆传粉的主要媒介,并获得了一项中国专利^[62],在大豆制种田中套种蚕豆可以引诱更多的花蓟马,从而可以提高杂交种制种产量。白羊年

等^[63]研究表明,异交率高的不育系其对应的保持系散粉性好,大豆资源中花瓣大小、龙骨瓣开张度、散粉性、单花花粉量、花萼马密度等性状存在很大变异,野生豆的散粉性比栽培豆好,认为应从野生大豆资源中筛选龙骨瓣张开且吸引传粉昆虫或花粉具有漂散性的材料,再将这些特性转移到“三系”中,以获得高异交率,利用风媒传粉的途径,或者以风媒为主,辅之以自然昆虫传粉是大豆杂交制种的有效途径。赵丽梅等^[64-65]观测结果显示,不同基因型恢复系单株花的数量存在明显差异,单株花的数量决定了花粉的数量,并通过自然条件下大豆花粉的田间漂移观察,认为风为大豆传粉的可能性很小。赵团结等^[66]从栽培大豆与野生大豆杂交后代中发现了一柱头外露突变体 PSA-1,该性状受 2 对独立遗传的隐性重叠基因控制。梁彗珍等^[67]发现一柱头外露突变体 HNL002,具有双柱头和部分不育等特性。张磊等^[68]研究表明柱头活力可以保持 2~2.5 d。有关柱头外露特性在大豆传粉中的应用效果还有待深入研究。

3.2 昆虫传粉

目前在大豆不育系扩繁和杂交种制种中应用最多的是蜜蜂和切叶蜂。薛运波等观察到吉林省部分大豆品种具有泌蜜现象,且品种间有差异。吉林省农业科学院的大量研究表明,利用蜜蜂为不育系传粉,在网室内不育系结实率达 55.9%~79.0%,在田间开放条件下,高异交率不育系结实率达 68%^[69]。于伟等^[70]在网室内利用蜜蜂为不育系传粉,不育系小区平均产量(2 行不育系:1 行保持系)达 488.4 kg·hm⁻²。吉林省农业科学院利用从加拿大引进的苜蓿切叶蜂为不育系传粉取得了显著效果,在网室内不育系结荚率达 70% 以上,部分高异交率不育系结荚率达 100%;在田间开放条件下,高异交率不育系结荚率达 75% 以上(1 不育系:1 保持系),不育系产量达 901.4 kg·hm⁻²。放蜂量以 3 万头·hm⁻²效果较好,父、母本比例 1:2 效果最好。张磊等研究表明苜蓿切叶蜂传粉效率较蜜蜂提高 1 倍。李建平等^[71]调查发现,在吉林省中部地区能为大豆传粉的野生蜂类有 24 种,其中切叶蜂属 6 个种,熊蜂属 3 个种,地蜂属 5 个种,蜜蜂属 3 个种,条蜂属 1 个种,隧蜂属 1 个种。为大豆传粉能力最强、种群密度最高的是北方切叶蜂。近年来,吉林省农业科学院利用高异交率不育系,在适宜地区采取不放蜂的自然条件,获得了 922 kg·hm⁻² 的制种产

量^[24]。采用高异交率不育系,利用野生昆虫群体传粉,是降低杂交大豆制种成本的一条有效途径之一。

4 问题分析和策略

尽管我国在大豆杂种优势利用领域取得了突破性进展,但若要使杂交大豆在生产上大面积推广应用,全面实现产业化,仍有许多理论问题和应用技术亟待解决。

4.1 大豆雄性不育的基础性研究有待深入

迄今为止各单位已发现的不育细胞质至少 10 个,育成了数百个不育系和恢复系,但这些不同细胞质来源不育系间的遗传模式与机制有何差异,不同恢复系与不育系间的恢复程度与遗传机制如何,不同细胞质来源不育系的育性稳定性有何差异等都需要进一步研究。育性稳定性是影响杂交大豆推广应用的重要因素之一。吉林省农业科学院的多年观测显示^[17],不同不育系间育性稳定性差异较大,有些高度稳定,有些在不同环境下育性发生转换。这是否与细胞质来源有关还需深入研究。不同组合 F₁ 的育性也有较大差异,有些组合育性稳定,而有些组合易受环境影响发生变化。由于配子体不育理论上 F₁ 的可育花粉为 50%,在一定条件下,若可育花粉大幅减少,会对 F₁ 结实造成较大影响。赵丽梅等^[72]观察发现,花粉败育率在 60% 以上时植株结荚显著减少。F₁ 育性稳定性与双亲均有关系,但恢复系的恢复能力起主导作用,因此,尽量选用恢复力强的恢复系作杂交种的父本。通过生物技术手段研究雄性不育的遗传机理,采用分子标记对恢复基因进行精细定位并克隆以及对细胞质不育基因进行克隆,将有助于提高大豆“三系”的选育效率,需进一步深入研究。

4.2 应加强杂种优势遗传规律与遗传机制研究,选育更加优良大豆杂种

国内大豆杂种优势遗传研究与玉米、水稻等作物相比有较大差距。虽然有些杂种优势的研究报道,但还很不深入、系统,对杂交种选育指导作用有限。应加强亲本选配规律、杂种优势模式、恢复系配合力、杂种优势预测、杂种优势的分子遗传基础等研究,为杂交种选育提供理论依据。注重选育适宜我国大豆主产区种植的大豆杂种。优良大豆杂种应为杂种优势突出、增产效果明显、育性稳定、母本(不育系)异交率高、制种产量高、品质优良、适应性广、抗逆性强。尽快制订大豆杂种品种审定标准,

杂交种产量指标应较常规对照品种增产 15% 为宜。

4.3 应全方位、深入研制种技术,尽快突破制种产量低、制种成本高的瓶颈

目前我国已有 4 个大豆杂交种通过审定,但并未在生产上大面积推广应用,其主要原因是制种产量低、制种成本高。虽然某些高异交率不育系在扩繁中获得了较好的产量,但还未有以高异交率不育系为母本育成新的杂交种。不育系的高异交率特性的机制还不清楚,需从遗传学、植物化学、传粉生物学等多学科角度进行深入研究,找出产生高异交率的原因,并将高异交率特性转移至其它不育系中。此外,制种产量的高低还与父本(恢复系)有关,应深入研究恢复系的授粉特性。田间制种技术如父母本比例、种植密度、生育调控等尚需详细研究。根据吉林省农业科学院的经验,种植密度过大、生长发育繁茂、植株郁闭等不利于昆虫传粉。对于父母本生育期差异较大的组合,制种时应采取适宜的错期播种方式。杂交种子的防杂报纯技术对于杂交种的有效应用至关重要。若不育系中混有保持系, F_1 杂种纯度很难保证,会出现不育植株,将严重影响 F_1 的增产效果。因此,必须采取有效措施保证繁育的不育系的纯度。有些低异交率不育系结荚较少,籽粒皱缩,种子活力明显下降,种子发芽势、发芽率和出苗率均较低。黄志平等^[73]采用将含成熟豆荚的青秆株适时刈倒,晾晒 1~2 d,进行后熟处理,可提高不育系种子出苗率 8.6%。为保证大豆杂交种在生产上有效推广应用,应尽快制订杂交种种子标准。大豆杂交制种涉及多种因素,吉林省农业科学院提出了“昆虫-环境-植物”三者综合调控的观点^[17]。苜蓿切叶蜂是大豆传粉效率较高的蜂类,我国目前所用切叶蜂是从加拿大引进,在国内进行大规模繁殖的技术还不成熟,有待深入研究。利用蜜蜂为大豆传粉取得一定效果,但对于蜜蜂品种的选用、引诱剂的使用、放蜂技术等还需进一步研究。采用野生昆虫群体为大豆自然传粉,可以大大降低制种成本、提高制种效率,是未来大豆杂交制种的重要发展方向。应对野生传粉昆虫的种类、分布、生活习性等进行详细调查研究。环境的选择是影响大豆制种的又一重要因素。多年实践表明,适宜的制种条件为大豆开花期降雨量少(100 mm 以下)、光照充足、有灌溉条件、附近有吸引野生昆虫群体的作物或野生植物。通过改变大豆花器官的构造来提高大豆异交率的尝试值得进一步探讨。

4.4 应强化大豆杂交种栽培技术与推广应用

杂交大豆生长发育不同于常规大豆,应对其需肥需水规律、种植方式、高产生理基础等栽培技术和生理特性进行系统研究,以指导杂交种在生产上的推广应用。戴瓯和等^[74]认为叶面积增长前期快、中期稳、后期回落慢及适时封行的动态是杂交大豆群体获得高产的主要生理指标。闫晓艳等^[75]研究显示,杂交豆 1 号在吉林省中部平原生态区适宜群体为 20~22.4 万株·hm⁻²,杂交豆 2 号在吉林省东部半山区生态区适宜群体结构为 10~15 万株·hm⁻²。胡晨等^[76]研究表明,适当增施氮肥对杂优豆 1 号有显著增产效果。杂交大豆一般生长繁茂,要对其生长发育进行适当调控。在杂交大豆的推广过程中,不宜过分夸大其增产效果,也不应因某些常规品种在特定条件下创造出高产记录而轻视杂交大豆的增产作用。随着新的大豆杂交种的育成、制种技术的完善以及栽培技术的不断改进与提高,杂交大豆在我国大豆生产中的作用会愈来愈明显。

参考文献

- [1] 余建章,荐立. 沈农雄性不育大豆 L-78-387 等位性测验研究[J]. 沈阳农学院学报,1985,16(4):19-24. (Yu J Z, Jian L. Allelism tests of Shennong male sterile soybean L-78-387[J]. Journal of Shenyang Agricultural College,1985,16(4):19-24.)
- [2] 李莹,卫保国,王志. 三个大豆雄性不育系的发现和研究初报[J]. 华北农学报,1988,3(1):35-38. (Li Y, Wei B G, Wang Z. A Preliminary report on the discovery and study of three soybean male-sterile lines[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 1988, 3(1):35-38.)
- [3] 马国荣,刘佑斌,盖钧镒. 大豆雄性不育突变体 NJ89-1 的发现与表现[J]. 大豆科学,1993,12(2):172-174. (Ma G R, Liu Y B, Gai J Y. NJ89-1, a new male sterile mutant of soybean[J]. Soybean Science,1993,12(2):172-174.)
- [4] 杨守萍,盖钧镒,徐汉卿. 大豆雄性不育突变体 NJ89-1 的遗传学和细胞学鉴定[J]. 大豆科学,1998,17(1):32-38. (Yang S P, Gai J Y, Xu H Q. A genetical and cytomorphological study on the male sterile mutant NJ89-1 in soybeans[J]. Soybean Science, 1998,17(1):32-38.)
- [5] 杨守萍,盖钧镒,邱家驹. 大豆雄性不育突变体 NJ89-1 核雄性不育基因的等位性测验[J]. 作物学报,2003,29(3):372-378. (Yang S P, Gai J Y, Qiu J X. Allelism tests of the male sterile gene of the mutant NJ89-1 in soybeans[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003,29(3):372-378.)
- [6] 杨守萍,曾维英,段美萍,等. 大豆雄性不育突变体 NJ89-1 核不育基因的 SSR 标记和定位[J]. 大豆科学,2006,25(4):344-347. (Yang S P, Zeng W Y, Duan M P, et al. SSR marker location of male sterile gene of nuclear male sterile mutant NJ89-1 in soy-

bean[J]. Soybean Science,2006,25(4):344-347.)

[7] 赵团结,杨守萍,盖钧镱. 大豆育性突变体 CT-2s 的发现与遗传分析[J]. 中国油料作物学报,2005,27(2):5-9. (Zhao T J, Yang S P, Gai J Y. Identification and inheritance of a spontaneous sterile mutant CT-2s in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2005,27(2):5-9.)

[8] 赵团结,杨守萍,盖钧镱. 大豆显性核雄性不育突变体 N7241S 的发现与遗传分析[J]. 中国农业科学,2005,38(1):22-26. (Zhao T J, Yang S P, Gai J Y. Discovery of a dominant nuclear male sterile mutant N7241S in soybean and analysis of its inheritance[J]. Scientia Agricultura Sinica,2005,38(1):22-26.)

[9] 赵团结,盖钧镱. 大豆不育性自然变异的发现与鉴定[J]. 中国农业科学,2006,39(9):1756-1764. (Zhao T J, Gai J Y. Detection and identification of soybean natural variation of sterility[J]. Scientia Agricultura Sinica,2006,39(9):1756-1764.)

[10] 张磊,黄志平,李杰坤,等. 大豆雄性不育突变体 Wh921 及其杂种优势初步研究[J]. 中国油料作物学报,1999,21(1):20-23. (Zhang L, Huang Z P, Li J K, et al. Preliminary study of male sterile mutant Wh921 and its heterosis in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,1999,21(1):20-23.)

[11] 卫保国. 大豆光温敏感型雄性不育系发现的初报[J]. 作物品种资源,1991,(3):12. (Wei B G. The discovery of a photo-thermo-sensitive genic male-sterile soybean[J]. Crop Genetic Resource,1991,(3):12.)

[12] 王芳,卫保国,李贵全,等. 大豆光敏雄性不育株 88-428BY-827 小孢子母细胞的细胞学观察[J]. 中国农业科学,2004,37(8):1110-1113. (Wang F, Wei B G, Li G Q, et al. A cytological observation of the pollen mother cells of the photoperiod-sensitive male sterile soybean plant of 88-428BY-827[J]. Scientia Agricultura Sinica,2004,37(8):1110-1113.)

[13] 李艳花,卫保国,李贵全,等. 大豆光敏不育系 88-428BY 花粉败育的细胞学观察[J]. 大豆科学,2004,23(1):6-9. (Li Y H, Wei B G, Li G Q, et al. A cytological observation of the photoperiod-sensitive male sterile 88-428BY-827 of the soybean [J]. Soybean Science,2004,23(1):6-9.)

[14] 彭玉华,杨国保,袁建中,等. 一个对播种期反应敏感的不育大豆特征分析[J]. 作物学报,1998,24(6):1010-1013. (Peng Y H, Yang G B, Yuan J Z, et al. Characteristic analysis of a planting timesensitive male sterile soybean[J]. Acta Agronomica Sinica,1998,24(6):1010-1013.)

[15] Sun H, Zhao L M, Huang M. Studies on cytoplasmic-nuclear male sterile soybean[J]. Chinese Science Bulletin,1994,39(2):175-176.

[16] Sun H, Zhao L M, Huang M. A cytoplasmic-nuclear male sterile soybean line from interspecific crosses between *G. max* and *G. soja* [C]. World Soybean Research Conference V Proceedings, Kasetsart University Press, Thailand, Bangkok, 1997:99-102.

[17] 孙寰,赵丽梅,王曙明,等. 大豆杂种优势利用研究进展[J]. 中国油料作物学报,2003,25(1):92-96. (Sun H, Zhao L M, Wang S M, et al. A review on research progress of soybean heterosis utilization[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2003,25(1):92-96.)

[18] 孙寰,赵丽梅,黄梅. 质核互作雄性不育大豆及生产大豆杂交种的方法[P]. 中国:971 12173.7,1998-02-18. (Sun H, Zhao L M, Huang M. Cytoplasmic-genetic male sterile soybean and method for producing hybrid soybean:China,971 12173.7[P]. 1998-02-18.)

[19] Sun H, Zhao L M, Huang M. Cytoplasmic-genetic male sterile soybean and method for producing hybrid soybean[P]. The United States:6,320,098B1,2001-11-20.

[20] 赵丽梅,王玉民,孙寰,等. 大豆细胞质雄性不育恢复基因的 SSR 标记[J]. 大豆科学,2007,26(6):835-839. (Zhao L M, Wang Y M, Sun H, et al. Identification of SSR markers linked to the fertility restorer gene for the CMS in soybean[J]. Soybean Science,2007,26(6):835-839.)

[21] 赵丽梅,孙寰,黄梅. 大豆细胞质雄性不育系 ZA 的选育和初步研究[J]. 大豆科学,1998,17(3):268-270. (Zhao L M, Sun H, Huang M. The development and preliminary studies on cytoplasmic male sterile soybean line ZA[J]. Soybean Science,1998,17(3):268-270.)

[22] 孙寰,赵丽梅,王曙明,等. 大豆花粉育性分类标准的研究[J]. 大豆科学,2006,25(4):339-343. (Sun H, Zhao L M, Wang S M, et al. Criterion on classification of pollen fertility in soybean [J]. Soybean Science,2006,25(4):339-343.)

[23] 赵丽梅,孙寰,王曙明,等. 大豆细胞质雄性不育遗传基础的拓宽[J]. 高技术通讯,2004,(增刊):253-257. (Zhao L M, Sun H, Wang S M, et al. Studies for broadening the genetic basis of cytoplasmic male sterile lines in soybean[J]. Chinese High Technology Letters,2004,(Supplement):253-257.)

[24] 赵丽梅,彭宝,程延喜,等. 杂交大豆研究进展[J]. 大豆通报,2008(1):1-3. (Zhao L M, Peng B, Cheng Y X, et al. Research progress of hybrid soybean[J]. Soybean Bulletin,2008(1):1-3.)

[25] Peng Y H, Yang G B, Yuan J Z. Genetic analysis of a new type of male sterile soybean[C]. World Soybean Research Conference V Abstracts. Bangkok: Funny Publishing Limited Partnership, 1994:90.

[26] 李智. 阜阳三系杂交大豆研究进展[J]. 作物杂志,2007(5):87-89. (Li Z. Research progress of hybrid soybean in Fuyang[J]. Crops,2007(5):87-89.)

[27] 许占友,李磊,常汝镇,等. 大豆质核互作雄性不育系核不育基因的遗传分析[J]. 中国农业科学,1999,32(增刊):1-8. (Xu Z Y, Li L, Chang R Z, et al. Genetic analysis of nuclear male sterile genes of soybean cytoplasmic male sterile lines[J]. Scientia Agricultura Sinica,1999,32(Supplement):1-8.)

[28] 许占友,李磊,邱丽娟,等. 大豆三系选育及恢复基因 SSR 初步定位研究[J]. 中国农业科学,1999,32(2):32-38. (Xu Z Y, Li L, Qiu L J, et al. Selection of three lines and localization of the restorer genes in soybean using SSR markers[J]. Scientia Agricultura Sinica,1999,32(2):32-38.)

[29] 张磊,戴瓯和. 大豆质核互作不育系 W931A 的选育研究[J]. 中国农业科学,1997,30(6):90-91. (Zhang L, Dai O H. Selection and breeding of nucleocytoplasmic male sterile line W931A in soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica,1997,30(6):90-91.)

[30] 张磊,戴瓯和,张亚丽. 大豆质核互作雄性不育系 W945A、

- W948A 的选育[J]. 大豆科学,1999,18(4):327-330. (Zhang L,Dai O H,Zhang Y L. Breeding of soybean male sterile line of nucleo- cytoplasmic interaction [J]. Soybean Science, 1999, 18 (4):327-330.)
- [31] 张磊,戴瓯和,黄志平,等. 大豆质核互作 M 型雄性不育系选育及其育性表现[J]. 中国农业科学,1999,32(4):34-38. (Zhang L,Dai O H,Huang Z P,et al. Selection of soybean male sterile line of nucleo cytoplasmic interaction and its fertility[J]. Scientia Agricultura Sinica,1999,32(4):34-38.)
- [32] 张磊,张亚丽,李杰坤,等. M 型杂交大豆育种研究进展[J]. 中国农业科技导报,2004,6(3):27-30. (Zhang L,Zhang Y L,Li J K,et al. Development of breeding of M type hybrid soybean[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2004, 6 (3):27-30.)
- [33] 汤飞跃,周立人,程潇,等. 大豆 M 型细胞质雄性不育恢复基因 SSR 标记初步定位[J]. 大豆科学,2008,27(3):383-386. (Tang F Y,Zhou L R,Cheng X,et al. SSR marker location for fertility restorer gene of M-cytoplasmic male sterility in soybean[J]. Soybean Science,2008,27(3):383-386.)
- [34] Gai J Y,Cui Z L, Ji D F. A report on the nuclear cytoplasmic male sterility from a cross between two soybean cultivars[J]. Soybean Genetics Newsletter,1995,22:55-58.
- [35] 盖钧镒,丁德荣,崔章林,等. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS1A 的选育及其特性[J]. 中国农业科学,1999,32(5):23-27. (Gai J Y,Ding D R,Cui Z L,et al. Development and performance of the cytoplasmic-nuclear male sterile line NJCMS1A of soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica,1999,32(5):23-27.)
- [36] 丁德荣,盖钧镒. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS1A 花粉败育细胞学研究[J]. 大豆科学,2001,20(3):167-171. (Ding D R,Gai J Y. Cytological studies on pollen abortion in cytoplasmic-nuclear male sterile soybean line NJCMS1A[J]. Soybean Science, 2001,20(3):167-171.)
- [37] 白羊年,盖钧镒. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS1A 恢复源与保持源的鉴定[J]. 大豆科学,2003,22(3):161-165. (Bai Y N,Gai J Y. Identification of restorers and maintainers of the cytoplasmic-nuclear- sterile line NJCMS1A of soybean [J]. Soybean Science,2003,22(3):161-165.)
- [38] 白羊年,盖钧镒. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS2A 的选育及其雄性育性恢复的研究[J]. 中国农业科学,2003,36(7):740-745. (Bai Y N,Gai J Y. Development of soybean cytoplasmic-nuclear male-sterile line NJCMS2A and restorability of its male fertility [J]. Scientia Agricultura Sinica,2003,36(7):740-745.)
- [39] 董建生,杨守萍,喻德跃,等. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS2A 的育性恢复性遗传和育性恢复基因的 SSR 标记[J]. 大豆科学,2008,27(2):181-185. (Dong J S,Yang S P,Yu D Y,et al. Inheritance and gene tagging of male fertility restoration of cytoplasmic-nuclear male sterile line NJCMS2A in soybean[J]. Soybean Science,2008,27(2):181-185.)
- [40] 曾维英,杨守萍,盖钧镒,等. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS1A 及其保持系的花药差异蛋白质组学研究[J]. 中国农业科学,2007,40(12):2679-2687. (Zeng W Y,Yang S P,Gai J Y,et al. Proteomic study of anther differentiation between cytoplasmic-nuclear male-sterile line NJCMS1A and its maintainer in soybean [Glycine max (L) Merr.] [J]. Scientia Agricultura Sinica,2007, 40(12):2679-2687.)
- [41] 曾维英,杨守萍,盖钧镒,等. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS1A 和其保持系的不同器官蛋白质组比较[J]. 大豆科学,2008,27(1):8-14. (Zeng W Y,Yang S P,Gai J Y,et al. Comparative proteome analysis of different organs between cytoplasmic-nuclear male-sterile line NJCMS1A and its maintainer in soybeans [J]. Soybean Science,2008,27(1):8-14.)
- [42] 曾维英,杨守萍,喻德跃,等. 大豆质核互作雄性不育系 NJCMS2A 及其保持系的花药蛋白质组比较研究[J]. 作物学报,2007,33(10):1637-1643. (Zeng W Y,Yang S P,Yu D Y,et al. A comparative study on anther proteomics between cytoplasmic-nuclear male-sterile line NJCMS2A and its maintainer of soybeans [J]. Acta Agronomica Sinica,2007,33(10):1637-1643.)
- [43] 赵团结,盖钧镒. 大豆不育细胞质资源的发掘与鉴定[J]. 作物学报,2006,32(11):1604-1610. (Zhao T J,Gai J Y. Identification and evaluation of new sources of male-sterile cytoplasm in soybean[J]. Acta Agronomica Sinica,2006,32(11):1604-1610.)
- [44] 田佩占. 大豆杂种一代优势及其与亲本关系的研究[J]. 作物学报,1981,7(4):225-232. (Tian P Z. Heterosis of F₁ hybrids in soybean and its relation to the performance of the corresponding parents[J]. Acta Agronomica Sinica,1981,7(4):225-232.)
- [45] 盖钧镒,胡蕴珠,马育华. 中美大豆品种间 F₁ 和 F₃ 杂种优势与配合力分析[J]. 大豆科学,1984,3(3):183-191. (Gai J Y,Hu Y Z,Ma Y H. Heterosis and combining ability in F₁ and F₃ hybrids between soybean cultivars from the PRC and the US[J]. Soybean Science,1984,3(3):183-191.)
- [46] 黄承运,满为群,陈怡,等. 品种间杂交 F₁ 代杂种优势与配合力分析[J]. 大豆科学,1993,12(3):190-196. (Huang C Y,Man W Q,Chen Y,et al. Heterosis and combining ability in F₁ among varietal crosses[J]. Soybean Science,1993,12(3):190-196.)
- [47] 田佩占,闫日红. 大豆杂种一代籽粒产量和营养体优势与组合选择效果的关系[J]. 大豆科学,1995,15(2):110-113. (Tian P Z,Yan R H. Relationship between heterosis of seed yield and vegetative growth of F₁ hybrids and selection effectiveness for promising progenies in soybean crosses[J]. Soybean Science,1995,15(2):110-113.)
- [48] 王跃强,王曙明,孙寰,等. 大豆杂种优势及高优组合的筛选[J]. 作物杂志,1999(1):10-11. (Wang Y Q,Wang S M,Sun H,et al. Heterosis and screening of highly heterotic combinations of soybean[J]. Crops,1999(1):10-11.)
- [49] 王志新,郭泰,齐宁,等. 大豆杂种优势组合筛选及稳定性分析[J]. 中国农学通报,2001,17(2):27-29. (Wang Z X,Guo T,Qi N,et al. Selection of high-superiority cross combination for soybean heterosis and its stability analysis[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2001,17(2):27-29.)
- [50] 王曙明,孙寰,王跃强,等. 大豆杂种优势及其高优势组合选配的研究[J]. 大豆科学,2002,21(3):161-167. (Wang S M,Sun H,Wang Y Q,et al. Studies on heterosis and screening of highly

heterotic combinations in soybean[J]. Soybean Science,2002,21(3):161-167.)

[51] 谢甫缙,丑晓奇,张惠军,等. 大豆品种远缘杂交 F₁ 代的杂种优势分析[J]. 大豆科学,2007,26(6):857-861. (Xie F T,Chou X Q,Zhang H Z,et al. F₁ heterosis of soybeans crossed from varieties released in different geographic places and decades[J]. Soybean Science,2007,26(6):857-861.)

[52] 张博,邱丽娟,常汝镇. 利用大豆育成品种的 SSR 标记遗传距离预测杂种优势的初步研究[J]. 大豆科学,2003,22(3):166-171. (Zhang B,Qiu L J,Chang R Z,et al. Primary study on predicting heterosis by SSR marker distance among soybean cultivars[J]. Soybean Science,2003,22(3):166-171.)

[53] 张磊,戴瓯和,黄志平,等. 大豆 M 型质核互作雄性不育系 W931A 三系配套及强优组合的研究[J]. 安徽农业科学,2001,29(1):16-17. (Zhang L,Dai O H,Huang Z P,et al. Study on high yielding combinations and three lines system of soybean M male sterile line W931A of nucleo- sytoplasmic interaction[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2001,29(1):16-17.)

[54] 李杰坤,张磊,黄志平,等. 利用 M 型质核互作不育系配制高产组合的研究[J]. 大豆科学,2002,21(4):241-244. (Li J K,Zhang L,Huang Z P,et al. Study on making soybean cross combination with M type male sterile lines heterosis of F₁ and F₂ generation yields of hybrid soybean and its utilization[J]. Soybean Science,2002,21(4):241-244.)

[55] 李智,李磊,于伟,等. 大豆三系杂交组合的优势研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(7):1279-1280. (Li Z,Li L,Yu W,et al. Study on heterosis of three-lines combinations in soybean[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2006,34(7):1279-1280.)

[56] 赵丽梅,孙寰,王曙明,等. 大豆杂交种杂交豆 1 号选育报告[J]. 中国油料作物学报,2004,26(3):15-17. (Zhao L M,Sun H,Wang S M,et al. Breeding of hybrid soybean HybSoy 1[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2004,26(3):15-17.)

[57] 彭宝,赵丽梅,王曙明,等. 杂交豆 2 号选育及高产制种技术研究[J]. 吉林农业科学,2008,33(2):3-4. (Peng B,Zhao L M,Wang S M,et al. Studies on breeding of HybSoy 2 soybean and high yield seed production technique[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences,2008,33(2):3-4.)

[58] 张磊,戴瓯和,黄志平,等. 杂交大豆杂优豆 1 号选育[J]. 大豆通报,2007,(2):14-16. (Zhang L,Dai O H,Huang Z P,et al. Breeding of hybrid soybean Zayoudou No. 1[J]. Soybean Bulletin,2007,(2):14-16.)

[59] 余建章. 大豆雄性核不育系选育及杂交制种法[P]. 中国:92106005. X. 1992-07-15. (Yu J Z. Development of genetic male sterile lines and method for producing hybrid soybean[P]. China:92106005. X. 1992-07-15.)

[60] 赵丽梅,孙寰,马春森,等. 大豆昆虫传粉研究初探[J]. 大豆科学,1999,18(1):73-76. (Zhao L M,Sun H,Ma C S,et al. Preliminary study of soybean pollination by bees[J]. Soybean Science,1999,18(1):73-76.)

[61] 丁德荣,盖钧镹. 南方地区大豆雄性不育材料的传粉昆虫媒介及其传粉异交结实程度[J]. 大豆科学,2000,19(1):74-79. (Ding D R,Gai J Y. Pollinating insects and natural outcrossing amount of soybean male [J]. Soybean Science,2000,19(1):74-79.)

[62] 卫卫国,畅建武,孙贵臣,等. 大豆杂交种制种方法[P]. 中国专利:ZL02135296,2004-09-15. (Wei B G,Chang J W,Sun G C,et al. Method for producing hybrid soybean[P]. China:ZL02135296 2004-09-15.)

[63] 白羊年,陈健,喻德跃,等. 大豆雄性不育系和大豆资源有关开花授粉性状的研究[J]. 大豆科学,2002,21(1):18-24. (Bai Y N,Chen J,Yu D Y,et al. A study on pollination- related traits in soybean male- sterile lines and soybean germplasm[J]. Soybean Science,2002,21(1):18-24.)

[64] 赵丽梅,彭宝,程延喜,等. 大豆骨干恢复系花和花粉数量的研究[J]. 大豆科学,2008,27(2):256-260. (Zhao L M,Peng B,Cheng Y X,et al. Pollination ability of main restorer lines of soybean(*Glycine max*) [J]. Soybean Science,2008,27(2):256-260.)

[65] 赵丽梅,孙寰,王曙明,等. 自然条件下大豆花粉的田间漂移[J]. 大豆科学,2006,25(1):84-86. (Zhao L M,Sun H,Wang S M,et al. The soybean pollen flow in nature[J]. Soybean Science,2006,25(1):84-86.)

[66] 赵团结,盖钧镹. 大豆柱头外露突变体 PSA-1 的发现与遗传分析[J]. 南京农业大学学报,2006,29(4):15-18. (Zhao T J,Gai J Y. Discovery and genetic analysis of a mutant with protruding stigma from anthers in soybean[J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2006,29(4):15-18.)

[67] 梁慧珍,李卫东. 大豆柱头外露突变体及其遗传规律[J]. 大豆科学,2005,24(4):256-260. (Liang H Z,Li W D. Exserted stigma of twin stylus and it's genetic basis of heterogeneity in soybean [J]. Soybean Science,2005,24(4):256-260.)

[68] 张磊,戴瓯和,李杰坤,等. 大豆雄性不育系柱头活力研究[J]. 中国农业科技导报,1999,1(2):63-65. (Zhang L,Dai O H,Li J K,et al. Study of stigma vitality of soybean male sterile line W931A [J]. Review of China Agricultural Science and Technology,1999,1(2):63-65.)

[69] 王跃强,王曙明,赵丽梅,等. 杂交大豆昆虫传粉及制种技术研究进展[J]. 吉林农业科学,2008,33(3):5-8. (Wang Y Q,Wang S M,Zhao L M,et al. Progress in studies of insect pollinators and seed producing techniques of soybean hybrids[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences,2008,33(3):5-8.)

[70] 于伟,李磊,李智,等. 大豆质核互作不育系杂交制种技术研究[J]. 中国油料作物学报,2001,23(2):11-13. (Yu W,Li L,Li Z,et al. Studies on hybrid seed production of cytoplasmic male sterile lines in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2001,23(2):11-13.)

[71] 李建平,李茂海,杨桂华,等. 大豆不育系传粉昆虫及传粉技术研究[J]. 吉林农业科学,2002,27(增刊):4-6. (Li J P,Li M H,Yang G H,et al. Study of pollinating insects and pollinating technique of soybean male sterile plants[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences,2002,27(Supplement):4-6.)

hanced UV-B radiation [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2004, 10(1): 122-127.)

[39] Brandle J R, Cappell W S, Sisson W B, et al. Net photosynthesis electron transports capacity and ultra-structure of *Pisum sativum* L. exposed to UV-B radiation [J]. Plant Physiology, 1977, 60: 165-169.

[40] Larkum A W D, Wood W F. The effect of UV-B radiation on photosynthesis and respiration of phytoplankton, benthic macroalgae and seagrasses [J]. Photosynthetic Research, 1993, 36(1): 17-23.

[41] 侯扶江, 贾桂英. 紫外线-B 辐射对 3 种植物幼苗光合作用和呼吸作用的影响研究初报 [J]. 草业学报, 1998, 7(3): 77-79. (Hou F J, Ben G Y. A elementary study on the effect of UV-B radiation on three plant seedlings photosynthesis and respiration [J]. Acta Prataculturae Sinica, 1998, 7(3): 77-79.)

[42] EL- Manssey H, Salisbury F B. Biochemical response of leaves to ultraviolet radiation [J]. Radiation Botany, 1971, 11: 326-335.

[43] Negash L, Bjorn L O. Stomatal closure by ultraviolet radiation [J]. Physiologia Plantarum, 1986, 66: 360-364.

[44] Strid A, Robert J. Alterations in pigment content in leaves of *Pisum sativum* after exposure to supplementary UV-B [J]. Plant and Cell Physiology, 1992, 33(7): 1015-1023.

[45] Teramura A H, Sullivan J H, Ziska L H. Interaction of elevated ultraviolet-B radiation and CO₂ on productivity and photosynthetic characteristics in wheat, rice and soybean [J]. Plant Physiology, 1990, 94: 470-475.

[46] Gabersöik A, Vončina M, Trošt T. Growth and production of buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) treated with reduced, ambient, and enhanced UV-B radiation [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology (B): Biology, 2002, 66: 30-36.

[47] 师生波, 贾桂英, 韩发. 不同海拔地区紫外线 B 辐射状况及植物叶片紫外线吸收物质含量的分析 [J]. 植物生态学报, 1999,

23(6): 529-535. (Shi S B, Ben G Y, Han F. UV-B radiation status in different altitude and UV-B absorb matter content analysis in plant leaf [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 1999, 23(6): 529-535.)

[48] Beggs C G, Wellmann E. Photocontrol of flavonoid biosynthesis [M] // Kendrick R E, G H Kronenberg. Photomorphogenesis in plants, Vol. 2. Dordrecht: Kluwer Academic, 1994: 733-750.

[49] Fiscus E L, Booker F L. Is increase UV-B a threat to crop photosynthesis and productivity [J]. Photosynthesis Research, 1995, 43(2): 81-92.

[50] Robberecht R, Caldwell M M. Leaf epidermal transmittance of ultraviolet radiation and its implications for plant sensitivity to ultraviolet-radiation induced injury [J]. Oecologia, 1987, 32: 277-287.

[51] 向丽, 周青, 叶亚新. La(Ⅲ) 对 UV-B 辐射胁迫下大豆幼苗类黄酮清除自由基影响 [J]. 稀土, 2009, 30(1): 86-90. (Xiang L, Zhou Q, Ye Y X. Effect of lanthanum on flavonoid restraining free radical in soybean seedling under ultraviolet-B stress [J]. Chinese Rare Earths, 2009, 30(1): 86-90.)

[52] Li J, Ou-Lee T M, Raba R. Arabidopsis flavonoid mutants are hypersensitive to UV-B irradiation [J]. Plant Cell, 1993, 5: 171-179.

[53] Murali N S, Teramura A H. Intraspecific difference in *Cucumis sativus* sensitivity to ultraviolet-B radiation [J]. Physiology Plant, 1986, 68: 673-677.

[54] 林植芳, 林桂珠, 彭长连. 亚热带植物叶片 UV-B 吸收化合物的积累 [J]. 生态学报, 1998, 18(1): 90-95. (Lin Z F, Lin G Z, Peng C L. The accumulation of UV-B absorbing compounds in leaves of subtropical plants [J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(1): 90-95.)

[55] Murali N S, Teramura A H. Effects of ultraviolet-B irradiance on soybean VI. Influence of phosphorus nutrition on growth and flavonoid content [J]. Physiology Plant, 1985, 63: 413-419.

(上接第 1096 页)

[72] 赵丽梅, 孙寰, 黄梅, 等. 大豆结实率与花粉败育率之间的关系 [J]. 大豆科学, 2004, 23(4): 249-252. (Zhao L M, Sun H, Huang M, et al. The relationship between seed setting rate and pollen sterility rate for soybean [J]. Soybean Science, 2004, 23(4): 249-252.)

[73] 黄志平, 张磊, 戴瓯和, 等. 大豆雄性不育系 W931A 种子活力及提高出苗率的研究 [J]. 大豆科学, 2001, 20(3): 238-240. (Huang Z P, Zhang L, Dai O H, et al. Study on seed vigor and emergence of soybean male sterile line W931A [J]. Soybean Science, 2001, 20(3): 238-240.)

[74] 戴瓯和, 张磊, 黄志平, 等. M 型杂交大豆新组合 HS9816 高产原因及栽培技术研究 [J]. 大豆科学, 2003, 22(3): 181-185. (Dai O H, Zhang L, Huang Z P, et al. Study on the reasons and

cultivation technology for high yield of M hybrid soybean HS9816 [J]. Soybean Science, 2003, 22(3): 181-185.)

[75] 闫晓艳, 邱强, 石一鸣, 等. 杂交大豆高产种植方式及合理群体结构的研究 [J]. 吉林农业科学, 2007, 32(5): 3-8. (Yan X Y, Qiu Q, Shi Y M, et al. Studies on planting patterns with high yielding and its rational population structure in hybrid soybean [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2007, 32(5): 3-8.)

[76] 胡晨, 黄志平, 张亚丽, 等. 氮肥施用对杂交大豆生育特性及产量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6745-6746. (Hu C, Huang Z P, Zhang Y L, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on the development characteristics and yield of hybrid soybean [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2007, 35(22): 6745-6746.)