

河南省油菜遗传育种研究进展与主要成效

张书芬<sup>1</sup>,朱家成<sup>1</sup>,王建平<sup>1</sup>,文雁成<sup>1</sup>,张书法<sup>2</sup>,何俊平<sup>1</sup>,曹金华<sup>1</sup>,  
蔡东芳<sup>1</sup>,赵磊<sup>1</sup>,隋天显<sup>2</sup>

(1. 河南省农业科学院 经济作物研究所/农业部黄淮海油料作物重点实验室/河南省油料作物遗传改良重点实验室,河南 郑州 450002; 2. 河南省唐河县种子技术服务站,河南 唐河 473400)

**摘要:** 河南省是全国油菜主产省之一,油菜遗传育种成效显著,全省平均产量居全国先进水平。综述了河南省油菜遗传育种、杂种优势利用等的研究进展及其主要成效,以期为今后的油菜遗传育种工作提供参考。针对近年来油菜产业发展中存在的生产成本偏高、专用型品种缺乏、保健型油脂需求旺盛等问题,及时调整了育种目标,在高产、优质、抗病的基础上,又开辟了高油、高油酸、适应机械化、耐迟播等新的研究方向;在育种技术上加强了游离小孢子培养技术、分子标记辅助选择技术的研究,并建立了相应的高效技术体系;加强了优异种质资源创新研究,创制和建立了稳定的高油、高油酸、低亚麻酸、抗寒、抗旱、抗裂荚、花色变异等各具特色的育种群体和新的种质资源;育成了一批强优势双低(即低芥酸、低硫苷)油菜杂交种和高油双低新品种,其在产量、品质和抗逆性等方面均有显著提高,为油菜新品种的更新换代和增产增收提供了强有力的技术支撑;2003—2014年,河南省油菜平均产量高于全国平均水平21.84%。最后提出了今后河南省油菜育种的目标,即选育在品质、产量、抗逆性、生产效率(肥料利用率高、适合机械化)和生态安全(少用农药)等方面都得到改善和提高了的油菜品种。

**关键词:** 油菜; 遗传; 育种; 杂种优势; 双低; 种质创新

**中图分类号:** S565.4      **文献标志码:** B      **文章编号:** 1004-3268(2016)06-0034-06

Progress and Major Achievements of Rapeseed  
Genetic Breeding in Henan Province

ZHANG Shufen<sup>1</sup>, ZHU Jiacheng<sup>1</sup>, WANG Jianping<sup>1</sup>, WEN Yancheng<sup>1</sup>, ZHANG Shufa<sup>2</sup>,  
HE Junping<sup>1</sup>, CAO Jinhua<sup>1</sup>, CAI Dongfang<sup>1</sup>, ZHAO Lei<sup>1</sup>, SUI Tianxian<sup>2</sup>

(1. Industrial Crops Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Oil Crops in Huanghuaihai Plains, Ministry of Agriculture/Henan Provincial Key Laboratory for Oil Crops Improvement, Zhengzhou 450002, China; 2. Tanghe Seed Technical Service Station of Henan Province, Tanghe 473400, China)

**Abstract:** Henan is one of the major production provinces of rapeseed in China. Rapeseed genetic breeding in Henan gains significant achievements, and the average yield of rapeseed reaches the advanced level in China. This paper summarizes the scientific research progress and the major achievements on genetic breeding, heterosis utilization of rapeseed in Henan province, to provide technical guidance for rapeseed genetic breeding in the future work. Facing to the problems of lack of special varieties, high demand for health-type oil, and high production cost in rapeseed production in recent years, the breeding goals have been adjusted to high oil, high oleic acid, adaption to mechanization and late planting etc. ,

收稿日期:2015-11-24  
基金项目:河南省重大科技专项(151100111200);国家自然科学基金面上项目(31271763);国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-13);河南省科技创新人才计划项目(134200510027)  
作者简介:张书芬(1965-),女,河南唐河人,研究员,博士,主要从事油菜遗传育种和栽培技术研究。  
E-mail:shufenzhang2010@163.com

based on high yield, high quality, and disease resistance. The breeding technology research mainly focuses on the isolated microspore culture technology and molecular marker assisted selection technology, and the high efficiency technical systems have been constructed. The innovative research on excellent germplasm resources is strengthened, and breeding populations with diverse specialties such as high oil content, high oleic acid content, low linolenic acid content, cold resistance, drought resistance, pod shatter resistance and flower color variations are created as well as distinctive germplasm resources. A series of rapeseed hybrids with strong heterosis and double low characters (low erucic acid, low glucosinolate), and new varieties with high oil and double low characters are released, and these hybrids significantly improve seed yield, quality and resistance. The average yield of Henan province was 21.84% higher than the national average yield in 2003—2014. All of the achievements provide strong technical support for upgrading of rapeseed varieties and increasing both production and income. The future research interests and prospects are also put forward in this paper. The breeding goal of rapeseed in Henan province is to breed rape varieties of which quality, yield, resistance, production efficiency (high utilization rate of fertilizer, suitable for mechanization) and ecological safety (less use of pesticides) etc. are all improved and enhanced.

**Key words:** rapeseed; genetics; breeding; heterosis; double low; germplasm innovation

油菜是河南省的主要油料作物之一,常年种植面积 33 万 ~ 40 万  $\text{hm}^2$ 。河南省油菜面积和总产在黄淮流域、华北地区油菜区中均居第一位。南部的信阳、驻马店、南阳三市为油菜适宜生态区,北部地区有零星种植。河南省处于冬油菜和春油菜区的过渡地带,北部油菜越冬时气候寒冷,对品种的抗寒性要求高;南部的信阳市是农业部发布的《优势农产品区域布局规划》中油菜种植优势区域之一;中部和北部地区属于黄淮流域冬油菜产区。20 世纪 70 年代,我国油菜单产为  $800 \text{ kg}/\text{hm}^2$  左右,河南省则仅为  $600 \text{ kg}/\text{hm}^2$  左右,而目前我国油菜单产已超过  $1\,800 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,河南省油菜单产达  $2\,100 \text{ kg}/\text{hm}^2$  左右,在这一过程中,品种改良起了决定性作用。河南省油菜科研力量较强,形成了以河南省农业科学院、信阳市农业科学院、河南大学、遂平县农业科学试验站等单位为核心的研究群体,育成了一批双低优质油菜品种,而且在生产上发挥了较大作用,促进了河南省油菜品种由双高非优质品种更新换代为双低优质品种,油菜单产也跨进了全国的先进行列。但随着经济和社会的发展,农村劳动力向城市转移,造成农业劳动力缺乏;极端天气日益频繁,迫切需提高油菜品种的抗倒、抗病、抗旱和抗寒能力。生产上急需选育优质、高产、适合机械化生产、抗倒伏、抗裂荚、低耗(省水、肥、工、药)、高效的油菜新品种,以达到轻简高效、农民增收、农业增效、提高我国油菜国际竞争力的目的。为此,综述了河南省油菜遗传育种研究进展和主要成效,旨在为今后油菜品种选育和遗传研究提供参考。

## 1 油菜新品种选育研究

针对近年来油菜产业发展中存在的生产成本偏高、专用型品种缺乏、保健型油脂需求旺盛等问题,在充分调研的基础上,河南省油菜科研工作者从油菜生产实际需求出发,及时调整了育种目标,在高产、优质、抗病的基础上,又提出了高含油量、高油酸、适应机械化、耐迟播等新的研究方向。

油菜新品种选育主要包括常规品种选育和杂交种的选育。常规品种选育也是杂交种选育的基础,目前主要是通过杂交和系谱法选育,育种目标是选育高产、抗病的双低(低芥酸、低硫苷)常规油菜品种。油菜杂交种的选育是品种选育的重点工作。油菜杂种优势显著,杂种优势利用是提高油菜产量的最有效途径<sup>[1]</sup>。油菜杂种优势利用研究成效显著,利用途径包括细胞质雄性不育三系、细胞核不育、自交不亲和、萝卜质雄性不育、细胞质雄性不育 + 细胞核雄性不育、化学杀雄等。

近年来,河南省育成并通过国家农作物新品种审定的油菜品种 9 个(次),通过河南省农作物品种审定的油菜品种 31 个。利用我国居世界领先水平的细胞质雄性不育技术育成了丰油 9 号、丰油 10 号、双油 195、双油杂 1 号、豫油 5 号、杂双 2 号等 9 个(次)杂交种,并通过了国家农作物品种审定委员会的审定,其中丰油 9 号、丰油 10 号不仅通过了国家黄淮区域审定,还通过了长江流域审定,表现出广泛的适应性。杂双 2 号、杂双 4 号、杂双 5 号、杂双 6 号、杂双 7 号、双油 195、信油 1405、信优 2508、穗源 988、群英 801、博油 6 号、双油 092、双优 123 等双低

优质油菜杂交种通过了河南省农作物品种审定委员会审定。

1.1 油菜品质育种

河南省油菜品质育种研究工作始于 20 世纪 80 年代初,参加国家和河南省油菜育种攻关、国家“863”项目等,积累了丰富的种质资源材料和育种技术,并育成了我国第一个通过审定的双低油菜品种豫油一号。

油菜品质育种的主要目标是双低油菜品种选育。双低油菜品种有两大突出优点:一方面,菜油中对人体不利的脂肪酸芥酸含量大大降低,低于 3%,对人体有益的不饱和脂肪酸油酸、亚油酸含量显著提高;另一方面,菜籽饼粕中硫苷含量很低,低于 30 μmol/g,使菜饼成为无毒高蛋白饼粕,可用于畜禽的配合饲料。

近年来,高含油量油菜品种选育成为油菜品质育种的另一重要内容,提高油菜单位面积的产油量也提高了油菜的产量水平,因此高含油量是油菜育

种的另一个主要目标。河南省农业科学院通过杂交、回交、轮回选择、游离小孢子培养、穿梭育种等育种技术聚合优良基因,创制了大量的新材料和具有各种优良性状基因的高含油量品系,其中高油 T238、T251、T668 含油量达到 56% 以上。采用聚合杂交、穿梭育种和小孢子培养技术相结合的方法选育出了高油双低新品种,如杂双 5 号、双油 8 号、双油 092 等高油双低油菜品种通过了审定,其含油量均高于 45% 的国家高油标准。

随着人们生活水平的提高,高油酸油菜品种选育亦成为当前油菜品质育种的重要方向之一。河南省农业科学院通过种质收集和鉴定,利用 EMS 诱变和小孢子培养技术,筛选和创造了一批高油酸种质资源材料,其中油酸含量高于 75% 的材料 7 份,2 份材料的油酸含量超过了 80%。通过杂交选育,现已筛选出 3 个油酸含量高于 75% 的双低油菜品系,且农艺性状优良,2013 年参加产量比较试验,其产量及品质结果见表 1。

表 1 高油酸双低油菜品种(系)的产量和品质

品种	产量/ (kg/hm <sup>2</sup> )	比 CK ± %	位次	芥酸含量/%	硫苷含量/ (μmol/g)	含油量/%	油酸含量/%
H1	2 824.33	11.48a	1	0.5	21.8	45.0	78.99
H2	2 441.67	-3.61b	4	0.9	29.8	43.4	75.18
H3	2 754.67	8.75a	2	0.6	26.8	42.1	75.24
CK(豫油 2 号)	2 533.67	0.00b	3	0.1	27.8	42.6	66.23

1.2 油菜杂种优势利用

1.2.1 双低油菜胞质雄性不育“三系”杂交种的选育 油菜细胞质细胞核互作雄性不育是公认的最有效的杂种优势利用途径。目前推广的油菜杂交种大多数是利用细胞质雄性不育系统育成的,该系统的最突出优点是不育系、保持性、恢复系三系配套,制种程序省工、简便<sup>[1-2]</sup>,其最关键环节是选育不育性彻底,而且在温度变化时不育性稳定、抗逆性强、配合力高的不育系。

通过杂交、测交、回交等方法打破基因连锁,聚合优良基因,利用分子标记辅助选择和游离小孢子培养技术,加快育种进程。近年来,通过远缘杂交、回交、测交选择,育成了不育性彻底、稳定的细胞质不育系 88A、96A、HO77A、G077A、172、628A 等。此外,加强了恢复材料的选育工作,经过大量杂交转育、测交、轮回选择、小孢子培养等工作,现已成功选育一批新的双低、高配合力恢复系。

近年来成功选育出丰油 9 号、丰油 10 号、杂双 4 号、杂双 5 号、杂双 6 号、杂双 7 号、双油 195 等双低优质细胞质雄性不育杂交种。丰油 9 号、丰油 10

号、双油 195 通过国家品种审定,其中丰油 9 号、丰油 10 号不仅通过国家黄淮区域审定,还跨区域通过了长江流域审定,表现出广泛的适应性;双低高产油菜杂交种丰油 10 号、杂双 7 号、双油 195、杂 97060 等还获得国家农业成果转化资金项目的资助,综合技术水平达到国内先进水平。

1.2.2 双低优质细胞核雄性不育杂交种的选育 油菜细胞核雄性不育 (genic male sterile, GMS) 是油菜杂种优势利用的另一条重要途径。油菜细胞核雄性不育的突出优点是不育性彻底、恢复源广泛、大多数材料对 GMS 不育系都表现为育性恢复;该系统的缺点是 GMS 不育系缺乏全保持系,不育系中存在约 50% 的可育株,对制种产量和质量具有潜在影响,而且制种时需要把约 50% 的可育株拔掉,致使制种成本较高,从而限制了其广泛利用。近年来,尝试利用化学杀雄剂在制种中杀掉可育株,既提高了制种产量,又节约了大量的人工成本。目前,利用隐性细胞核雄性不育技术育成了双低高产“两系”杂交种杂双 6 号、双油杂 1 号,另外,双油 1301、1306、1308、1309 等杂交组合正在参加国家或河南省区域试验。

1.2.3 细胞核+细胞质雄性不育杂种优势利用  
细胞质雄性不育和细胞核雄性不育都存在一定的不足,为了克服二者的缺点,综合利用其优点,华中农业大学杨光圣等<sup>[3]</sup>提出了细胞核+细胞质雄性不育杂种优势利用新途径,该系统解决了细胞核雄性不育系中50%不育株的问题,而且在很大程度上解决波里马细胞质雄性不育系统存在的育性易受环境条件影响而不稳定的问题。河南省农业科学院应用该系统选育出了细胞核+细胞质雄性不育系M192、M202,并且组配出了2个高产优质杂交种,目前正在参加河南省区域试验和杂交种比较试验。

## 2 种质资源创新与基础研究

### 2.1 种质资源创新

种质资源是作物遗传改良工作的物质基础,油菜品种改良工作要实现跨越式发展,离不开优异种质资源的创新和利用。河南省农业科学院多年来非常重视种质材料的引进、创新和基础研究,广泛收集河南省白菜型油菜栽培种、农家种、野生种及其近缘种,并从形态学性状、生物学性状以及细胞生物学、分子生物学几个方面进行鉴定,建立了较为完善的白菜型油菜种质资源数据库,并先后与加拿大、比利时、法国等以及国内知名的科研单位和大学建立了密切的合作关系,引进油菜种质资源500多份。通过现代生物技术与常规技术相结合,创制了高含油量、高油酸、低亚麻酸、抗裂荚、不同花色等优异种质资源2000多份,建立了稳定的细胞质雄性不育三系育种群体以及高油酸、高含油量核心种质,为今后高油酸、适应机械化、超高产、耐迟播、耐密植、耐逆境等油菜新品种的选育奠定了基础。

### 2.2 基础研究

2.2.1 油菜重要农艺性状和品质性状的QTL定位和遗传分析 借助SRAP、SSR和AFLP标记技术构建了油菜分子标记遗传连锁图,将性状的杂种优势分析和遗传分析结合起来,系统地分析了油菜重要农艺和品质性状的杂种优势表现<sup>[4-5]</sup>。主基因+多基因混合遗传模型的遗传分析<sup>[6-7]</sup>、分子水平的QTL定位和遗传分析<sup>[8]</sup>显示,检测到26对影响产量构成性状的上位性互作效应QTL,推测上位性是甘蓝型油菜产量性状杂种优势的重要遗传基础。该研究丰富了作物杂种优势的遗传学理论,对杂交油菜育种和油菜的品质改良均具有重要的理论意义、实践意义及参考价值。

2.2.2 油菜抗旱性鉴定和分子机制研究 开展了油菜抗旱性及鉴定方法与指标研究,还对不同基因

型油菜品系进行抗(耐)性筛选,获得4个耐旱性较好的品系。运用高通量的转录组测序(RNA-seq)技术对干旱诱导和非诱导胁迫处理的4个样本的转录组测序,获得了大量的油菜转录组数据。比对分析发现,抗旱品种在干旱胁迫处理前后有1928个基因上调表达、3132个基因下调表达;而早敏感品种在干旱胁迫处理前后有1552个基因上调表达、1056个基因下调表达<sup>[9]</sup>。

2.2.3 油菜品种演化规律分析及品种DNA指纹图谱构建 通过油菜品种来源、演化规律分析及品种DNA指纹图谱构建,从分子水平上揭示油菜遗传基础及演化规律,寻找有代表性品种的特异指纹<sup>[10]</sup>。此外,还对甘蓝型油菜育种亲本材料遗传多样性进行了分析<sup>[11]</sup>。这对油菜品种的系谱来源分析、品种选育、品种保护、审定等具有重要意义。

2.2.4 油菜抗裂荚遗传机制及其分子标记研究  
裂荚严重影响了油菜的收获与产量。对油菜抗裂荚遗传机制及其分子标记研究发现,抗裂荚由遗传因素决定。通过多年多点QTL作图,在郑州试验点检测到9个与抗裂角性状有关的QTL,对表现型的总贡献率达49.0%,这9个QTL间存在上位性互作,对表现型的贡献率达到45.9%;在武汉试验点检测到4个与抗裂角性状有关的QTL,对表现型的总贡献率为38.6%。在武汉和郑州2个试点,共有3个QTL被重复检出<sup>[12]</sup>。“甘蓝型油菜抗裂角胞质不育系和保持系的选育方法”已经申请了国家发明专利<sup>[13]</sup>。

## 3 生物技术在油菜种质改良中的应用

### 3.1 分子育种体系构建

采用现代生物技术与常规育种相结合,促进油菜育种由表现型选择向基因型选择的转变,提高育种效率。在对油菜重要性状基因定位的基础上,还开展了甘蓝型油菜分子育种研究。研究和开发有育种价值的实用分子标记,构建分子育种技术体系,并应用于油菜高产优质多抗新品种选育。重点开展了油菜CMS恢复基因的分子标记研究<sup>[14-15]</sup>。开展了油菜中与抗寒相关基因的分离和抗寒功能分析,拟根据获得的抗寒品系和寒敏感品系中的*BnCSDP3*基因的差异位点设计引物开发功能型分子标记,用于油菜育种材料的抗寒性鉴定以及抗寒性种质资源的分子标记辅助选择,将有助于提高育种效率。

### 3.2 油菜游离小孢子培养技术研究

小孢子培养技术可以较快地获得甘蓝型油菜的纯合植株,应用于双单倍体群体(DH)构建,可以加

快育种进程。河南农业科学院在国内较早开展了油菜游离小孢子培养技术研究<sup>[16]</sup>。应用中发现,传统的小孢子培养技术存在操作繁琐、成本高、效率低等问题,提出了“延长取样时间、提高供体利用效率、简化提取液成分和培养程序、提高胚状体长途无菌运输效率”的技术路线,对甘蓝型油菜游离小孢子培养技术进行了全面研究和改进,在取样技术、提取液成分、培养方法、胚状体长途无菌运输方法等方面取得了一些重大突破和技术创新。第一,建立了简便高效的油菜小孢子培养取样技术,简化了程序,降低了成本;解决了传统方法取样时间短、供体需要量大、培养过程繁琐等技术难题。第二,简化了油菜游离小孢子培养程序。改两段温度培养为一步恒温培养成胚,出胚时间缩短 4 d;建立了高效胚状体无菌运输技术,改固体培养基为液体培养基运输胚状体,降低了异地加代过程中胚状体的运输成本,提高了运输效率。第三,建立了甘蓝型油菜游离小孢子简化高效培养技术规程,实现了游离小孢子培养技术的规模化应用<sup>[17]</sup>。“甘蓝型油菜小孢子简化高效培养技术”于 2014 年获得了国家发明专利<sup>[18]</sup>。

4 油菜新品种生产应用效果

2000 年以来,河南省各油菜科研团队选育的油菜新品种均为双低优质品种,其产量、品质和抗逆性等比之前的品种有显著提高,为油菜新品种的更新换代和增产增收提供了强有力的技术支撑,且推广效果十分显著。2002 年前,河南省油菜平均产量总体上低于全国平均水平,1978—2002 年河南省油菜平均产量 1 190.36 kg/hm<sup>2</sup>,较全国平均水平(1 478.76 kg/hm<sup>2</sup>)低 19.50%(表 2)。2003—2014 年河南省油菜产量 1 817~2 565 kg/hm<sup>2</sup>,平均 2192.58 kg/hm<sup>2</sup>,较全国平均产量(1 797.18 kg/hm<sup>2</sup>)高 21.84%(表 3),取得了显著的社会经济效益。

表 2 1978—2002 年河南省和全国的油菜平均产量比较

年份	全国/(kg/hm <sup>2</sup> )	河南省/(kg/hm <sup>2</sup> )	较全国增产/%
1978	718.50	435	-39.46
1979	838.13	690	-17.67
1980	1 247.60	600	-51.91
1981	1 264.32	765	-39.49
1982	1 212.42	1 230	1.45
1983	1 280.68	1 110	-13.33
1984	1 309.24	990	-24.38
1985	1 295.46	1 185	-8.53
1986	1 415.49	1 215	-14.16
1987	1 366.46	1 560	14.16
1988	1 479.14	270	-81.75
1989	1 271.77	915	-28.05

续表 2 1978—2002 年河南省和全国的油菜平均产量比较

年份	全国/(kg/hm <sup>2</sup> )	河南省/(kg/hm <sup>2</sup> )	较全国增产/%
1990	1 468.64	1 410	-3.99
1991	1 518.58	870	-42.71
1992	1 597.19	1 185	-25.81
1993	1 477.20	1 515	2.56
1994	1 581.51	1 215	-23.17
1995	1 812.82	1 590	-12.29
1996	1 793.27	1 575	-12.17
1997	1 832.64	1 740	-5.06
1998	1 873.82	1 425	-23.95
1999	1 835.34	1 470	-19.91
2000	1 876.52	1 305	-30.46
2001	1 775.10	1 823	2.70
2002	1 827.26	1 671	-8.55
平均	1 478.76	1 190.36	-19.50

注:表中数据来自文献[19]。表 3 同。

表 3 2003—2014 年河南省和全国的油菜平均产量比较

年份	全国/(kg/hm <sup>2</sup> )	河南省/(kg/hm <sup>2</sup> )	较全国增产/%
2003	1 581.51	1 817.00	14.89
2004	1 812.82	2 003.00	10.49
2005	1 793.27	2 151.00	19.95
2006	1 832.64	2 282.00	24.52
2007	1 873.82	2 409.00	28.56
2008	1 835.34	2 565.00	39.76
2009	1 876.52	2 475.00	31.89
2010	1 775.10	2 260.00	27.32
2011	1 827.26	2 016.40	10.35
2012	1 884.75	2 302.95	22.19
2013	1 713.15	2 050.35	19.68
2014	1 759.95	1 979.25	12.46
平均	1 797.18	2 192.58	21.84

5 展望

目前,河南省已选育出了产量、品质和抗逆性等显著提高的油菜新品种,为油菜新品种的更新换代和增产增收提供了强有力的技术支撑,且推广效果十分显著。但与世界第一菜籽出口国加拿大相比,油菜品种的菜籽含油量仍低 4~6 个百分点,且生产成本较高,在价格上不具备竞争优势。因此,提高菜籽含油量和产量、降低生产成本,提升河南省和我国油菜产业国际竞争力仍是当务之急。随着我国城镇化速度的加快,农村劳动力日趋紧缺,迫切需要油菜生产的全程机械化和轻简化。此外,极端天气日益频繁也迫切需提高油菜品种的抗倒、抗病、抗旱和抗寒能力。因此,下一步河南省油菜育种的目标是选育在品质、产量、抗逆性、生产效率(肥料利用率高、适合机械化)和生态安全(少用农药)等方面都得到改善和提高的油菜品种,即采用分子技术与常规技术相结合的方法,选育适合机械化生产、低耗

(省水、肥、工、药)、高效的油菜新品种。相信通过科研人员的不懈努力,河南省油菜产量和品质将大幅度提高,并实现油菜生产的全程机械化,进而实现油菜生产绿色、高效、低耗和可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 傅廷栋. 油菜品种改良的现状与展望[J]. 华中农业大学学报, 2004(增刊):1-6.
- [2] 傅廷栋. 杂交油菜的育种与利用[M]. 武汉:湖北科学技术出版社, 2000.
- [3] 杨光圣, 傅廷栋, 杨小牛, 等. 植物杂种优势利用的新途径及其遗传学理论研究专辑[J]. 华中农业大学学报, 1993(增刊):1-94.
- [4] 张书芬, 马朝芝, 朱家成, 等. 甘蓝型油菜主要农艺和产量性状的杂种优势及其分离世代分析[J]. 中国油料作物学报, 2007, 29(2):121-125.
- [5] 张书芬, 马朝芝, 朱家成, 等. 油菜杂种后代硫苷和蛋白质含量的表现及其杂种优势分析[J]. 华北农学报, 2005, 20(5):30-33.
- [6] Zhang S F, Ma C Z, Zhu J C, et al. Genetic analysis of oil content in *Brassica napus* L. using mixed model of major gene and polygene [J]. Acta Genetica Sinica, 2006, 33(2):171-180.
- [7] 张书芬, 傅廷栋, 朱家成, 等. 甘蓝型油菜芥酸含量的基因分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10):3343-3349.
- [8] 张书芬, 傅廷栋, 朱家成, 等. 甘蓝型油菜产量及其构成因素的 QTL 定位与分析[J]. 作物学报, 2006, 32(8):1135-1142.
- [9] Wang D J, Yang C L, Zhang S F, et al. Comparative transcriptome analyses of drought-resistant and -susceptible *Brassica napus* L. and development of EST-SSR markers by RNA-Seq[J]. Journal of Plant Biology, 2015, 58(4):259-269.
- [10] 文雁成, 王汉中, 沈金雄, 等. 用 SRAP 标记分析中国甘蓝型油菜品种的遗传多样性和遗传基础[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2):246-256.
- [11] 何俊平, 张书芬, 王建平, 等. 甘蓝型油菜育种亲本材料遗传多样性的 SSR 分析[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6):2374-2380.
- [12] Wen Y C, Zhang S F, Yi B, et al. Identification of QTLs involved in pod-shatter resistance in *Brassica napus* L. [J]. Crop & Pasture Science, 2012, 63:1082-1089.
- [13] 朱家成, 文雁成, 张书芬, 等. 甘蓝型油菜抗裂角胞质不育系和保持系的选育方法:201010246586. 1[P]. 2012-02-08.
- [14] 张书芬, 傅廷栋, 马朝芝, 等. 3 种分子标记分析油菜品种间的多态性效率比较[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(2):19-23.
- [15] 朱家成, 高玉千, 张书芬, 等. 甘蓝型油菜细胞质雄性不育恢复基因的分子标记及定位[J]. 河南农业科学, 2008(10):33-36, 40.
- [16] 朱家成, 文雁成, 张书芬, 等. 甘蓝型油菜游离小孢子培养技术研究[J]. 河南农业科学, 2001(11):4-5.
- [17] Wen Y C, Fu T D, Wen J, et al. Profound improvements of isolated microspores culture techniques in winter *Brassica napus* L. [J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11(7):1617-1623.
- [18] 文雁成, 张书芬, 王建平, 等. 甘蓝型油菜游离小孢子简化高效培养方法:ZL201010147898. 7[P]. 2014-05-28.
- [19] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M/OL]. 北京:中国统计出版社, 1995—2015. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>.