

我国油菜生产形势分析及科研对策研究

陈兆波,余 健*
(中国农村技术开发中心,北京 100045)

摘要:分析了我国油菜生产的现状和存在的问题,提出了油菜科研对策:(1)加强油菜杂种优势利用研究,进一步提高油菜产量;(2)挖掘高含油量油菜资源,加强油脂形成的基础研究,进一步提高油菜的含油量;(3)改善菜籽脂肪酸组成,改良其营养品质,提高商业价值;(4)加强早熟品种和适合机械化收获品种的培育;(5)加大油菜转基因研究。

关键词:油菜生产;现状;问题;对策
中图分类号:S565.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 - 9084(2010)02 - 0303 - 06

Research strategies based on the analysis of rapeseed production in China
CHEN Zhao - bo, YU Jian*
(China Rural Technology Development Center, Beijing 100045, China)

Abstract: In this paper, we analyzed the current situation of rapeseed production and the existing problems in China, and suggested research strategies based on the analysis. The strategies included: strengthening the research on heterosis utilization for further yield improving of rapeseed, mining germplasm resources with high oil content and strengthening the basic research on lipid biosynthesis for increasing rapeseed oil, improving the fatty acid composition and nutritional quality of rapeseed oil to enhance its commercial values, developing new varieties with early maturity and suitability for machine harvesting, strengthening rapeseed transgenic research.

Key words: Rapeseed production; Status; Problem; Strategy

油菜是重要的油料作物,品种类型多,适应性强,在世界五大洲均有分布,但以亚洲、欧洲和北美洲面积最大,三个洲油菜面积占世界总面积的 95.21%^[1]。油菜在我国也是最为重要的油料作物和优质的蛋白饲料作物,其种植面积和总产量均占世界的 1/3,其中长江流域又占世界的 1/4,是世界上最大的油菜产区^[2]。

1 我国油菜生产现状和面临的问题

新中国成立以来,我国油菜生产经历了三次大变革^[3]。一是解放初期,我国油菜种植类型由白菜型油菜和芥菜型油菜变革为甘蓝型油菜,使我国油菜平均产量由 400kg/hm² 提高到 650kg/hm²。二是 20 世纪 70、80 年代杂种优势利用及抗(耐)菌核病育种的突破,使我国油菜产量经历了由中低产到高

产的变革,平均产量由 650kg/hm² 增加到 1 300kg/hm²。三是从 20 世纪 80 年代后期开始国家连续 4 个五年计划,促进油菜生产由单纯注重产量向产量与质量并重的转变,油菜的平均产量不仅得到进一步提高,达到 1 500kg/hm² 以上^[4],而且双低优质油菜品种得到大面积推广,其食用油品质得到了极大的改善,从而使占我国植物油总量 40% 以上的菜籽油成为优质油品;另一方面,生产上大面积推广的双低油菜品种脂肪酸的组成以 C18 为主,和化石柴油的碳链组成类似,可以作为潜在的生物柴油原料,目前加拿大、澳大利亚、法国、奥地利等国已经把油菜确立为优势生物柴油原料^[4]。虽然,我国油菜生产过去几十年进步显著,但是当前形势下仍然面临着诸多问题。

不断增加的市场拉力,给油菜生产带来了前所

收稿日期:2010-02-21
作者简介:陈兆波(1973 -),男,博士,主要从事农业科技管理工作,E-mail: chzhaobo@126.com
* 通讯作者:余 健(1960 -),男,主要从事农业科技管理与宏观研究工作,Email: yj@crtcd.org.cn

未有的机遇。据统计,从2001到2006年,世界油菜生产出现大幅增长,种植面积、总产和菜籽压榨量分别增长了17%、34.7%和32%^[5]。与世界油菜生产不同的是,在世界食用油需求显著增加的情况下,我国国内油料作物的总产量和种植面积在2005年和2006年却连续下滑,直接影响了国家的植物油供应,造成我国植物油总消费量对外依存度达到61%,严重受制于国际供给^[6]。出现该现象的可能原因:一是国家对主要粮食作物实行了扶持政策(如保护价收购和粮食补贴等),而对油菜在2007年以前却没有相关的扶持政策,影响了农民种植油菜的积极性。二是中国加入WTO后,中国大量进口大豆等油料作物,对菜籽油的价格造成了很大的冲击,致使在一段时间内油菜籽价格降低,加上我国油菜单位面积产量和产油量与欧洲先进国家相比存在较大差距,导致了种植油菜效益不高,影响了农民收益。三是我国油菜品种不适合机械化种植,也缺少机械化收获设备,我国油菜生产全过程主要靠手工操作,而加拿大等国家则是全程机械化,从而导致我国油菜的种植成本较大;同时我国油菜品种抗逆性较差,也不适合轻简化栽培的要求;随着我国大量农村人口进城务工,农村劳动力的减少,致使很多土地在冬季出现闲置。所以在当前情况下,提升油菜生产效益具有重要意义。

为了应对目前我国油菜生产形势,尽快恢复发展我国油料生产,国务院办公厅在2007年下发了《关于促进油料生产发展的意见》(国办发〔2007〕59号),要求各地政府要采取有效的措施充分调动农民生产积极性;鼓励主产区恢复油料作物种植面积,促进油料作物生产,鼓励农民利用冬闲田扩大双低油菜种植面积。温家宝总理2008年3月5日在全国人大政府工作报告中也明确提出“要认真落实支持生猪、奶业和油料发展的政策措施”。在国家出台系列扶持油料生产的政策和措施的促进下,2007年我国油菜籽和大豆收购价格出现大幅回升,油菜籽种植面积和产量都出现了恢复性增加,据统计,2008年我国秋冬播种油菜面积连续第二年出现增长^[7]。这些政策的制定主要是从生产的层面上,而从科研的层面上如何应对目前我国油菜生产形势,促进油菜生产,亦具有重要的意义。

2 我国油菜科研应采取的对策

2.1 加强油菜杂种优势利用研究,进一步提高产量

在我国育种家的努力下,我国油菜产量有了较大幅度的提高。随着pol CMS和陕2A不育系的发

现^[8]、国际上第一个成功应用于生产的油菜杂交种秦油2号的育成和推广^[9],以及国家连续4个五年计划对油菜杂种优势利用及其优质油菜品种选育研究的支持,油菜产量已经达到目前的1 650kg/hm²。尽管如此,与欧洲先进国家产量相比仍低20%~50%,表明我国油菜产量尚有较大的提升空间。

进一步提高油菜产量可从以下几个方面加强研究。加强油菜杂种优势机理研究。和其他农作物相比,油菜杂种优势强,增产效果显著,并且油菜杂种制种技术易于掌握且繁殖系数高^[10]。加强油菜杂种优势机理研究将会为油菜产量进一步提升提供坚实的理论基础。我国历来十分重视农作物杂种优势的研究,先后在2002年和2007年启动了“主要农作物杂种优势及其利用的分子生物学基础”和“主要农作物杂种优势形成机理及利用途径研究”两个“973”项目,这两个项目主要围绕杂种优势的遗传学和分子生物学基础、雄性不育与育性恢复的分子机理与提高杂种优势利用效率的途径等关键内容为题开展研究工作。在上述两个“973”项目中,油菜杂种优势的机理研究列在其中,项目取得的研究成果将会为提升油菜产量提供帮助。2009年国家863计划启动了“强优势甘蓝型油菜杂交种的创制和应用”课题,其目的是在未来的20年内使我国油菜产量在现有的基础上增长30%,将为揭示油菜杂种优势机理和增加油菜产量奠定基础。

进一步开展杂种优势利用的新途径研究。目前,我国杂交油菜利用的细胞质雄性不育型主要有两个,即傅廷栋院士在1972年发现的pol CMS和李殿荣研究员在1976年发现的陕2A CMS,这两个不育型对于我国油菜产量的提升起到了至关重要的作用^[8,11]。除此之外,在我国油菜生产上利用的其它细胞质雄性不育型还很少。因此,寻找、创造新的不育材料并开拓新的杂种利用途径对于油菜产量进一步提高十分重要。最近,傅廷栋院士在芥菜型油菜中发现了新的细胞质雄性不育型。除细胞质雄性不育外,我国对细胞核雄性不育杂种优势也进行了大量研究,培育出不同类型的核不育杂交种;湖南农业大学官春云院士和陕西省杂交油菜研究中心李殿荣研究员等还进行了化学杀雄技术的研究,并培育出一批产量较高的油菜化杂种。由于化学杀雄不存在CMS中不育胞质可能带来的不良效应,也不存在CMS中微粉或核不育中存在可育株自交(兄妹交)造成的制种风险,且杂种选配自由,品种选育速度快,因此是一条有效的杂种优势利用途径。李殿荣研究员领导的课题组在开发出自有专利技术“SX

-1”化杀剂基础上,提出了“高油+化杀”育种策略。这一育种策略将会加快我国高油杂交油菜的育种速度,促进我国油菜产油量的进一步提高。华中农业大学孟金陵教授等也在国家“863”计划和国家自然科学基金重点项目的资助下,提出了利用油菜亚基因组杂种优势的设想^[12,13]。此外,自交不亲和系等也被利用在油菜杂种优势研究上。

此外,为了确保杂交优势,在杂交种推广过程中,还应加强杂种质量的监控管理。现代生化技术和生物技术的利用,在一定程度上,给品种的同质性判断提供了更加有力的工具,如陕西省杂交油菜研究中心每年对推广的油菜杂交种进行生化分析或分子标记分析,以确保推广品种的真实性,并保证农民的利益不受损害^[14~16]。

2.2 挖掘高含油量油菜资源,加强油脂形成的基础研究,进一步提高油菜的含油量

早在20世纪70年代,华中农业大学就系统地开展了甘蓝型油菜黄籽高含油量育种研究。1986年,他们育成的华黄1号含油量达到46.69%,其后代选系1991至1993年三年间种子含油量分别达到 $53.00\% \pm 2.57\%$ 、 $53.41\% \pm 2.47\%$ 和 $51.00\% \pm 0.71\%$ ^[17]。然而,与过去几十年中产量的较快速度增长相比,我国油菜新品种含油量却提高较少,基本维持在37%~40%。数据资料显示,过去9年中国家冬油菜区试的新品种含油量仅提高了2.6个百分点。就含油量而言,每增加3个百分点,相当于提高产量10%^[2]。陕西省杂交油菜研究中心李殿荣研究员根据油菜生产发展的需要和2004-2005年度参加国家区试的104个新品种的含油量已达40.63%的实际情况,提出冬油菜含油量在39%以下的品种不应审定,并将产油量纳入审定标准的建议,受到了育种工作者和全国品种审定委员会的赞同和采纳。近几年,在新的品种审定标准下,我国油菜含油量有了较大提高,长江流域部分品种含油量已超过45%^[18]。最近,我国培育的部分油菜品种含油量进一步提高,如陕西省杂交油菜研究中心育成的已经在黄淮区通过国审的含油量为47.8%的杂交种“秦优33”,单位面积产油量比对照增加19.9%;中国农科院油料作物研究所育成的在长江下游通过国审的油菜品种中双11号含油量达49%,单位面积产油量比对照增加6.31%^[19]。这两个品种都在该区创下了国家冬油菜区试含油量的最高纪录。当然要进一步提高油菜的含油量,还需加强以下几个方面研究。

加强高含油量种质资源的发掘研究。我国油菜

种质资源比较丰富,很多育种单位都保存了大量的种质资源,如中国农科院油料作物研究所保存了国内外油菜种质资源7000余份,华中农业大学和陕西省杂交油菜研究中心保存的国内外种质材料均超过2000份。但已有的种质资源的含油量并不是很高,其变异范围在26%~51%(大多数品种都在38%~42%)之间,4份含油量超过50%的品种均是西藏和云贵高原的品种^[8,10]。利用现有的油菜种质资源,我国科学家已通过定向选择、小孢子培养^[20]、种皮色泽^[21]选择以及卫星搭载等技术成功地培育出了一批高含油量的材料,如华中农业大学和中国农科院油料作物研究所培育出了含油量54%左右的油菜新品系^[4,22],江苏省农科院育成了含油量为55.48%的HOC1新品系^[23];陕西省杂交油菜中心获得了50余份含油量超过50%的种质资源,特别是培育出了含油量达到60%左右的世界上含油量最高的油菜新品系^[24,25]。这些高含油量资源的创造,为进一步培育高含油量油菜品种奠定了基础。

加强油菜“组学”研究,特别是油脂形成的组学研究。菜籽含油量是一个非常复杂的多因素多基因控制的数量性状。较大幅度提高油菜籽含油量,仅依靠传统育种方法通过表型选择相对比较困难,必须在对油分形成和积累的基因调控机制有全面和深入了解的基础上,从组学揭示油菜籽油脂形成的分子机理,以便对高含油量的品种选育起到事半功倍的效果。对已经获得的超高含油量的油菜种质资源进行菜籽发育过程中的形态观察、油脂合成的细胞学生理,基因的表达以及蛋白质学等多方面的研究,将会揭示油菜油脂形成过程和一批油菜油脂合成相关的基因和酶^[26],通过基因转化等方法有望提高现有油菜品种的含油量。我国对油脂形成的分子机理十分重视,科技部等有关部门先后启动了多个与之相关的项目,如国家“973”项目“油菜籽油脂形成的分子生物学机制及其代谢调控”等。

2.3 改善油菜籽的品质及脂肪酸组成,提升菜籽油的营养和商业价值

在双低优质油菜的选育和推广上,二十多年来,尽管我国油菜品质育种上取得了很大的成就,双低油菜的推广面积已达油菜种植面积的70%左右,但仍有30%左右的非优质油菜品种种植。对此我们必须采取多种措施,包括行政和经济措施等,彻底解决非优质的问题,以实现全国油菜产业优质化。

关于油菜的脂肪酸育种,其战略目标应是在保障其营养价值的同时,增加其保健功能,使之成为“最健康”的食用油。菜籽油主要由软脂酸、硬脂

酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、二十碳烯酸和芥酸等脂肪酸构成。在传统的高芥酸品种中,人体不易消化的芥酸占总脂肪酸含量 40% ~ 50%,而对人类健康有益的油酸、亚油酸含量低,两者只有 30% 左右。

油酸含量和饱和脂肪酸含量是衡量脂肪酸食品品质的重要指标,经过多年的品质改良,目前我国推广的双低油菜品种的油酸含量已达到 61%^[27],高油酸双低油菜的油酸达到 75% ~ 78%,有的材料甚至达到 85% 以上^[28],油酸对于降低血内总胆固醇和减少心血管疾病具有重要作用。很多不饱和脂肪酸具有调节与膜有关的生理过程,同时还可以调节人体的重要生理功能,参与人体的生理代谢,如花生四烯酸(ARA),二十碳五烯酸(EPA)和二十碳六烯酸(DHA)等不饱和脂肪酸等。这些不饱和脂肪酸目前主要来源于微生物和深海鱼油,存在很大的市场缺口。在植物中利用基因工程方法生产 AA 和 EPA 的首次报道是在 2004 年,Qi 等在拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)中构建了 AA 和 EPA 合成的 $\Delta 8$ 途径,成功实现了 AA 和 EPA 的合成^[29]。他们将等鞭金藻的 $\Delta 9$ 延长酶、纤细裸藻的 $\Delta 8$ 脱饱和酶和高山被孢霉的 $\Delta 5$ 脱饱和酶基因转入拟南芥中,转基因拟南芥中有新的脂肪酸生成,叶片中新生成的 C20-PUFAs 占总脂肪酸的 18.8%,其中 EPA 和 AA 的含量分别为 3.0% 和 6.6%。在油菜中转入少数几个基因就能在油菜中构筑 AA、EPA 和 DHA 等代谢途径^[30],从而可以让油菜作为生物反应器来生产这些不饱和脂肪酸。

此外,还通过各种手段来改变油菜脂肪酸的加工品质目标(如高硬脂酸和高岩芹酸目标)^[31]和工业用途目标(如高芥酸、高月桂酸和高蓖麻酸目标)^[32];还可以加强菜籽油中其它营养物质的代谢研究(如维生素 E 等),从而为提升菜籽油的商业价值、为农民增收作出贡献。

2.4 加强早熟品种和适应机械化收获品种的培育

在我国多数推广的油菜品种中,生育期相对较长,影响了后茬水稻的栽培,同时现有的油菜品种的抗逆性不适合轻简化栽培,且油菜生产成本相对较高。因此,早熟品种和适应机械化操作的品种是当前油菜育种的重要目标之一。

我国推广的甘蓝型油菜品种生育期较长,在主产区长江流域及长江流域以南区域内,4-5 月气温上升较快,因此,晚熟品种容易形成高温逼熟,从而使种子的含油量受到较大影响。由于直播和机械收获技术的应用,相对缩短了油菜的苗期和后熟的时间^[2]。在长江流域,由于油菜和水稻轮作是最常用

的栽培模式之一,早熟油菜品种给农民种植水稻提供了充足的前期保障时间,因此,早熟性是生产上需要的重要性状之一。目前,我国对早熟品种的研究非常重视,2009 年科技部发布了“十一五”国家科技支撑计划重点项目“油菜丰产关键技术与集成示范”的第三课题就是“早熟高产油菜品种培育”,其内容主要是针对长江上游、中游和下游油菜产区生态特点与种植制度需求以及暖冬现象明显的新趋势,通过聚合油菜早熟、抗寒、在暖冬气候下不早薹早花、高含油量、抗菌核病、抗旱和耐渍等优良基因,获得一批高产早熟的油菜育种材料,培育能适应三熟制地区冬闲田种植、越冬安全、极早熟高效的油菜新品种。

当前我国油菜的栽培和收获主要依靠人力来解决,由于劳动力的转移,育苗移栽、手工操作的栽培方式已经受到限制,因此需进一步开展适合油菜直播和少免耕技术研究,油菜高效低成本栽培关键技术研究以及适合机械收获的品种^[27]选育。现有的栽培品种抗倒性较差,在收获过程中角果容易开裂等,因此“十一五”国家科技支撑计划重点项目“油菜丰产关键技术与集成示范”多个课题中都对这方面的研究提出了要求。充分发掘油菜及其近缘种的高含油量、抗倒、抗裂角、矮秆基因源,鉴定并利用这些基因或分子标记,创造一批高油高产兼具适合机械化生产性状的育种材料,并利用聚合育种技术培育适合机械化收获的油菜新品种。“十一五”国家科技支撑计划重点项目“油料作物抗灾与节本增效关键技术研究”中对油菜品种培育中的多种抗性指标提出了要求。此外,在研究适合机械化栽培品种的过程中,还应关注这些品种的丰产高效栽培技术研究,如通过稳定提高叶片面积,提高叶片质量,调动和发挥非叶器官光合机能;研究油菜籽实期延缓衰老、增强光合、促进运转的生理机制、影响条件及栽培调控途径;探索新技术,完善强根健株、根-土系统和光-叶系统高效协调的关键技术等。

2.5 加强油菜重要农艺性状的基因定位、基因克隆和转基因研究

对控制农作物重要性状基因的定位和克隆已经成为当前植物功能基因组研究的热点。目前,我国在水稻上已利用图位克隆法克隆了一批有重要价值的基因,如成功克隆了控制水稻粒重的数量性状基因 *GW2*、控制水稻分蘖的基因 *MOC1*、控制水稻产量和生育期等性状的 *Ghd7* 基因以及在中国超级稻增产中起到的关键作用的 *DEP1* 基因等^[33]。我国在油菜中克隆出的具有自主知识产权的基因还很少,

所以必须要加大在油菜中具有自主知识产权基因的克隆。对油菜重要性状基因的定位是通过图位克隆法克隆基因的前提条件,因此,高密度遗传连锁图谱的构建和对重要性状基因进行精细定位非常重要。目前,我国很多科学家都进行了油菜相关性状的基因定位研究,如华中农业大学孟金陵课题组在“973”项目“油菜籽油脂形成的分子生物学机制及其代谢调控”的资助下建立了包含近千个分子标记的遗传连锁图,并对油菜的开花期^[34]、产量^[35]和含油量等性状进行了基因定位研究。

目前国际上转基因棉花、玉米、大豆和油菜等已经实现了产业化,转基因作物的种植面积和 1996 年相比增长了 60 余倍,其中转基因棉花在我国的种植面积已达到 380 万公顷^[36],但转基因水稻、玉米和油菜等则没有栽培。中国对转基因方面的研究非常重视,已启动了包括水稻、玉米、小麦、棉花和大豆在内、资助金额达 230 亿左右的“转基因重大专项”,从基因定位、基因克隆到转基因体系以及转基因基地建设等多个方面进行资助,并已经下达了第一批研究经费。转基因重大专项将会使我国转基因研究水平走向世界前列。在油菜中,我国科学家从抗虫、抗病、脂肪酸成分改良以及含油量等方面都进行着转基因方面的研究,但与水稻等其他主要农作物相比,油菜还存在较大的差距,目前进入田间试验的材料还很少。在国家转基因专项中,油菜的转基因方面的研究没有被包括在内,为防止我国油菜出现像大豆那样的状况,我国还应加大油菜的转基因研究,使我国的油菜转基因研究水平能够进入世界先进水平。

此外,还应加强油菜重要农艺性状的基因组学、代谢组学和蛋白组学等方面的研究(如元素营养高效、光合高效、植物株型等),并大力开展油菜高效栽培等研究。

参考文献:

- [1] 官春云. 双低油菜核心竞争力的研究[J]. 作物研究, 2004,2:88-93.
- [2] 涂金星,张冬晓,张毅,等. 我国油菜育种目标及品种审定问题的商榷[J]. 中国油料作物学报,2007,29(3):350-352.
- [3] 廖星,王汉中. 我国油菜品种变革对生产发展的影响[J]. 中国油料作物学报,2003,25(3):99-103.
- [4] 沈金雄,傅廷栋,涂金星,等. 中国油菜生产及遗传改良潜力与油菜生物柴油发展前景[J]. 华中农业大学学报,2007,26(6):894-899.
- [5] 王汉中. 我国食用油供给安全形势分析和对策建议[J]. 中国油料作物学报,2007,29(3):347-349.
- [6] 王汉中. 我国油菜产需形势分析及产业发展对策[J]. 中国油料作物学报,2007,29(1):101-105.
- [7] 陈艳君. 后期我国油菜籽、菜籽油市场浅析[J]. 粮食和油脂,2009,6:34-35.
- [8] 傅廷栋. 中国油菜生产和品种改良[J]. 华中农业大学学报,1999,18(6):501-504.
- [9] 李殿荣. 蓝型油菜(*Brassica napus* L.) 雄性不育系、保持系、恢复系选育成功并已大面积推广[J]. 中国农业科学,1986,4:84.
- [10] 傅廷栋. 中国油菜生产和品种改良的现状与前景[J]. 安徽农学通报,2000,6(1):2-8.
- [11] 李殿荣. 杂交油菜秦油二号的制种与栽培技术[J]. 中国油料,1992,1:45-49.
- [12] Li M, Qian W, Li Z et al. Construction of novel *Brassica napus* genotypes through chromosomal substitution and elimination using interpollid species hybridization[J]. Chromosome Research, 2004, 12(5): 417-426.
- [13] Li M, X Chen, Meng J L. Potential of intersubgenomic heterosis in rapeseed production with a partial new-typed *Brassica napus* containing subgenome Ar from *B. rapa* and Cc from *B. carinata*[J]. Crop Science,2006, 46:234-242.
- [14] 王灏,王道杰,李成梅,等. 利用 RAPD 技术进行杂交油菜秦油 59 品种鉴定和纯度分析[J]. 中国农业科学,2002,35(12):1550-1555.
- [15] 李殿荣,张文学. 提高甘蓝型油菜细胞质雄性不育杂交制种纯度的技术研究[J]. 种子,2005,24(9):114-115.
- [16] 穆建新,李殿荣,郭嵩光,等. 杂交油菜种子纯度的 RAPD 检测研究[J]. 西北植物学报,2005,25(11):2151-2156.
- [17] 刘后利. 油菜遗传育种学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2000.214-225.
- [18] 李云昌,胡琼,梅德圣. 高产油量优质杂交油菜中油杂 8 号的选育与优良特性[J]. 中国农业科学,2005,38(11):2198-2204.
- [19] 余波. 我国高油油菜产业化获重要突破含油量高达 49% 以上的品种中双 11 号通过国家审定[J]. 中国油料作物学报,2008,30(4):S2.
- [20] 王贵春,刘智,杨光圣. 利用小孢子培养技术创建高含油量甘蓝型油菜[J]. 中国油料作物学报,2007,29(4):382-386.
- [21] 李殿荣. 黄籽油菜的品种选育和产业化开发前景[J]. 陕西农业科学,2001,5:1-2.
- [22] 刘梓谕,王新发,刘贵华,等. 三个高含油量甘蓝型油菜新品系 SSR 指纹图谱的构建[J]. 中国油料作物学

报,2008,30(4):389-396.

[23] 傅寿仲,张洁夫,戚存扣,等. 甘蓝型油菜高含油量种质选育研究[J]. 中国油料作物学报,2008,30(3):279-283.

[24] 李殿荣. 科技创新结硕果经济发展做贡献-记陕西省杂交油菜研究中心[J]. 中国科技奖励,2008(9):75.

[25] 李殿荣. 油菜育种的三个重大突破[J]. 农业科技要闻,2009(24):1-3.

[26] Hajduch M, Casteel J E, Hurrelmeyer K E, et al. Proteomic analysis of seed filling in *Brassica napus*. Developmental characterization of metabolic isozymes using high-resolution two-dimensional gel electrophoresis[J]. Plant Physiology,2006,141,32-46

[27] 傅廷栋. 油菜品种改良现状和展望[J]. 华中农业大学学报,2004,34(10):1-6.

[28] 官春云. 油菜高油酸遗传育种研究进展[J]. 作物研究,2006,1:1-8.

[29] Qi B X, Fraser T, Mugford S, et al. Production of very long chain polyunsaturated omega-3 and omega-6 fatty acids in plants[J]. Nat Biotech,2004,22:739-745.

[30] Wu G H, Truksa M, Datla N, et al. Stepwise engineering to produce high yields of very long-chain polyunsaturated fatty acids in plants[J]. Nat Biotechnol,2005,23,1 013-1 017.

[31] 邬贤梦,官春云,李 恂. 油菜脂肪酸品质改良的研究进展[J]. 作物研究,2004,17(3):152-158.

[32] 傅寿仲,张洁夫,戚存扣,等. 工业专用型高芥酸油菜新品种选育[J]. 作物学报,2004,30(5):409-412.

[33] 陈兆波. 分子标记的种类及其在作物遗传育种中的应用[J]. 现代生物医学进展,2009,24(9):2 179-2 181.

[34] Long Y, Shi J, Qiu D, et al. Flowering time QTL analysis of oilseed *Brassica* in multiple environments and genome-wide alignment with *Arabidopsis* [J]. Genetics, 2007,177:2 433-2 444.

[35] Shi J, Li R, Qiu D, et al. Unraveling the complex trait of crop yield with quantitative trait loci mapping in *Brassica napus*[J]. Genetics,182:851-861.

[36] James C. 2008 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势[J]. 中国生物工程杂志,2009,29(2):1-10.