中国农业大学学报　2024,29(3):50-62
Journal of China Agricultural University　http://zgnydxxb.ijournals.cn

胡志勇,鲜孟筑,李俊. 我国油菜品种改良现状及发展趋势[J]. 中国农业大学学报,2024,29(03):50-62.
HU Zhiyong, XIAN Mengzhu, LI Jun. Current situation and development trends of rapeseed variety improvement in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(03): 50-62.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.03.05

我国油菜品种改良现状及发展趋势

胡志勇　鲜孟筑　李　俊*
(中国农业科学院 油料作物研究所,武汉 430062)

摘　要　为了解我国油菜主导品种的品质发展现状和品种改良趋势,以"油菜品种改良""油菜育种""油菜产业发展"为关键词检索了PubMed、SpringerLink及中国知网等数据库,获得1987—2023年已发表的相关文献70篇,并结合农业农村部、国家统计局和中国种业大数据平台发布的油菜主导品种数据,综合分析我国油菜主导品种及产业现状、存在的风险与不足以及未来发展趋势。结果表明:1)我国油菜种植面积趋于稳定,油菜品种数量大幅增长,多样性更趋丰富;2)油菜主导品种含油率提升明显,且单产不断取得突破;3)当前我国油菜品种存在一些风险,如特专型品种含油率和产量较低、油菜品种同质化严重、抗病性不强、生育期短且抗逆性强的品种不足等。综上,我国油菜产业在品种改良和产业发展方面取得了显著进展,但仍需关注品种品质和抗病性等问题。未来可通过加强油菜种质资源收集与利用推进转基因生物育种的研发,推进油菜株型、抗性和光合效能的改造以实现产油率等一系列性状的再突破,满足多元化需求,探索密植增产技术,提升油菜机械化生产水平,推动我国油菜产业的可持续发展。

关键词　油菜; 品种改良; 发展趋势; 分子育种
中图分类号　S565.4　　**文章编号**　1007-4333(2024)03-0050-13　　**文献标志码**　A

Current situation and development trends of rapeseed variety improvement in China

HU Zhiyong, XIAN Mengzhu, LI Jun*
(Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

Abstract　In order to understand the quality development status and variety improvement trends of the leading rapeseed varieties in China, PubMed, SpringerLink, and China National Knowledge Infrastructure databases were searched by taking "rapeseed variety improvement" "rapeseed breeding" and "rapeseed industry development" as keywords. A total of 70 relevant literature published from 1987 to 2023 were obtained and combined with rapeseed leading variety data released by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the National Bureau of Statistics and the China Seed Industry Big Data Platform. A comprehensive analysis was conducted to explore the leading varieties and industry status of rapeseed in China, as well as the existing risks and shortcomings, as well as future development trends. The results show that: 1) The planting area of rapeseed in China is stabilizing, the number of rapeseed varieties is significantly increasing, and the diversity is becoming more abundant; 2) The oil content of the leading rapeseed variety has significantly increased, and the yield has continuously achieved breakthroughs; 3) There are some risks in the current rapeseed varieties in China, such as the low oil content and yield of specialized

收稿日期: 2023-10-16
基金项目: 中国农业科学院科技创新工程新兴学科培育项目(CAAS-OCRI-XKPY-202101);云南省科技人才与平台计划(202105AF150075)
第一作者: 胡志勇(ORCID:0000-0002-9081-220X),副研究员,主要从事油菜分子遗传与改良研究,E-mail:huzhiyong@oilcrops.cn
通讯作者: 李俊(ORCID:0000-0002-7432-2286),副研究员,主要从事油菜环境生物学研究,E-mail:lijun02@caas.cn

varieties, severe homogenization of rapeseed varieties, weak disease resistance, short growth period, and insufficient varieties with stress resistance. In summary, China´s rapeseed industry has made significant progress in variety improvement and industrial development, but still needs to pay attention to issues such as variety quality and disease resistance. In the future, efforts can be made to strengthen the collection and utilization of rapeseed germplasm resources, promote the research and development of genetically modified organisms for breeding, and promote the transformation of rapeseed plant type, resistance, and photosynthetic efficiency to achieve a series of breakthroughs in oil production. This will meet diversified needs, explore close planting and yield increasing technologies to improve the mechanization production level of rapeseed, and promote the sustainable development of China´s rapeseed industry.

Keywords　rapeseed; variety improvement; development trends; molecular breeding

我国食用植物油自给率长期偏低，油菜等油料产业安全形势不容乐观[1]。2023年中央一号文件指出，统筹油菜综合性扶持措施，推行稻油轮作，大力开发利用冬闲田种植油菜。油菜是我国第一大油料作物，每年生产菜籽油约520万t，生产饲用饼粕约800万t，是我国国产第一大植物油油源和第二大饲用蛋白源[2]。此外，油菜还具有菜用、花用、蜜用、肥用以及休闲观光、环境改良等多重功能[3-5]。

1964—2010年，物种和品种变革推动了我国油菜产业的三次革命性飞跃[6-7]。即从1964—1979年，我国长江流域等油菜主产区基本完成了以甘蓝型油菜替代白菜型油菜的物种更替，实现了油菜单产、种植面积和总产分别增长103%、60%和226%的由低产向中产的第一次飞跃。从1979—2000年，以‘中油821’‘秦油2号’为代表的抗病高产品种改良，实现了油菜单产、种植面积和总产分别增长74.5%、171%和374%的由中产向高产的第二次飞跃。从2000—2010年，一大批既优质高产又抗病的低芥酸和低硫甙油菜改良新品种的应用促进我国油菜的“双低化”进程，实现了油菜生产由高产到优质高产、由单纯注重产量向产量与质量并重的第三次飞跃[7]。这充分说明，油菜品种改良是促进油菜产业发展的主要推动力之一，对我国油菜产业产量提高、品质改善以及成本降低等都具有十分重要的意义。

在国际上，1974年加拿大的Baldur Stefansson育成了世界上第一个低芥酸和低硫甙的“双低油菜”品种，也产生了油菜名称的新术语—卡诺拉(Canola)[8]。随着现代生物技术的发展，尤其是CRISPR编辑技术和转基因技术的应用，极大地缩短了油菜育种周期。ISAAA统计数据表明，2019年全球转基因油菜播种面积比例为27%，达到1 010万hm^2[9]。种植转基因油菜的国家主要有加拿大、澳大利亚、美国和智利等，且美国和加拿大的转基因油菜普及率分别高达100%和95%[9-10]。中国只进口转基因油菜籽，尚未商业化种植转基因油菜品种，但油菜转基因等生物技术育种应是未来发展的趋势。

我国当前油菜生产面临着茬口矛盾突出、种植集中度低、适收期短、自然灾害频发等主要问题，制约着油菜产业的发展。在新的历史时期，面对国际竞争激烈、种植效益不高的挑战，以及油菜产业新需求、新功能拓展的发展机遇，油菜品种的改良需要与时俱进，不断突破油菜绿色高产高效与多元化利用“卡脖子”关键技术，既保障支撑国家油料产能提升战略，又不断满足市场新需求，以推动早日实现“高油、高产、高效”为标志的我国油菜产业发展的第四次飞跃[7]。通过扩种油菜、大豆等油料作物，提高油脂油料自给率，保证中国油瓶里多装中国油，端稳端牢中国人的“油瓶子”。目前，关于我国油菜主导品种的品质发展现状和趋势的研究鲜见报道。本研究通过整理1987—2023年国内外油菜品种改良、油菜产业发展的相关文献，系统分析了我国油菜主导品种及产业发展现状，并对我国油菜育种的未来发展趋势进行了探讨，以期为推动我国油菜产业快速发展提供参考。

1　数据来源

依据PubMed、SpringerLink及中国知网等数据库，以“油菜品种改良”(“Improvement of rapeseed varieties”)、“油菜育种”(“Rapeseed breeding”)、“油菜产业发展”(“Rapeseed industry development”)为关键词，检索了1987—2023年已发表的相关文献70篇。油菜主导品种信息及相关品种数据来源于

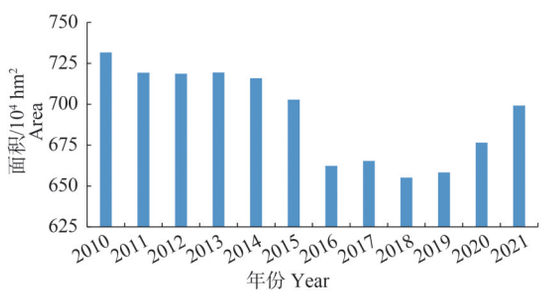
农业农村部网站(http://zdscxx.moa.gov.cn:8080/nyb/pc/index.jsp)、国家统计局网站(https://www.stats.gov.cn/sj/)和中国种业大数据平台[11]。

2 我国油菜主导品种与产业现状

2.1 我国油菜种植面积趋于稳定

2010—2021年,我国油菜种植面积总体上相对平稳;2015年以前,种植面积基本稳定在700万hm^2以上;2016—2019年缩减至660万hm^2左右;2020年开始回升;2021年我国油菜种植面积接近700万hm^2(图1)。

油菜总产量在2010—2014年呈上升趋势,2015年以后略有下降,2016年降到最低,为1 312.80万t,2016年以后逐年增长,2021年油菜总产达到1 471.35万t(图2)。从整体上看,我国油菜生产上,单产呈稳步增加趋势,全国油菜单产由2010年的1 747.97 kg/hm^2增长到2021年的2 104.46 kg/hm^2,平均每年增产约29.71 kg/hm^2(图3)。但我国油菜生产的实际单产水平与主导品种的平均单产还有巨大的差距,由于我国油菜生产存在种植集中度低、中小种植户生产技术相对落后等问题[12],油菜生产水平还有巨大的提升空间。



数据来源于国家统计局网站:https://www.stats.gov.cn/sj/。图2,图3同。

The data is sourced from the website of National Bureau of Statistics: https://www.stats.gov.cn/sj/. The same in Fig 2 and Fig 3.

图1 2010—2021年我国油菜种植面积的变化

Fig. 1 Changes in planting area of rapeseed in China from 2010 to 2021

2.2 油菜品种数量大幅增长,多样性更趋丰富

自2000年《中华人民共和国种子法》[13]颁布以来,我国油菜品种经历了品种审定和品种登记2个阶段。从2017年5月开始,油菜品种登记制度开始实施,油菜品种数量显著增多。中国种业大数据平台[11]显示,自2017年5月—2023年5月,全国共登记油菜品种1 666个。

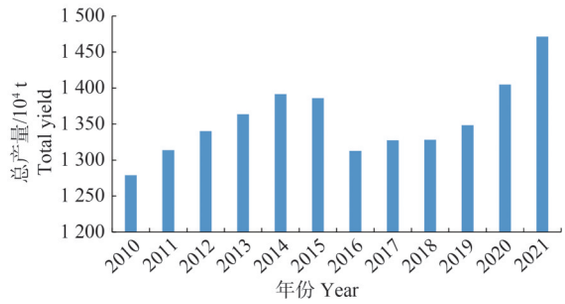


图2 2010—2021年我国油菜产量的变化

Fig. 2 Changes in yield of rapeseed in China from 2010 to 2021

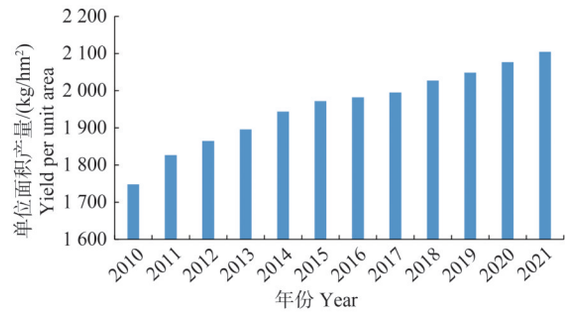


图3 2010—2021年我国油菜单产的变化

Fig. 3 Changes in yield per unit area of rapeseed in China from 2010 to 2021

农业部于2005年制定《农业主导品种和主推技术推介发布办法》[14],并每年发布农业主导品种和主推技术,引导广大农民选择优良品种和先进适用技术,其中推介发布的主导品种范围就包括作为主要农作物之一的油菜。2023年起农业农村部对发布形式进行调整,首次发布《国家农作物优良品种推广目录》[15],并按照骨干型、成长型、苗头型和特专型4种类型进行了分类,以帮助指导农民科学选种、正确用种,促进优良品种的推广应用,加快品种更新换代[16]。

由表1可知,我国发布的油菜主导品种数量呈逐年增加趋势,由2006年的3个增长为2023年的26个。油菜主导品种的多样性也更趋丰富,如2023年除发布了一批综合性状好、产量高、适应性广的双低优良品种外,还发布了5个特专型品种,分别为短生育期油菜品种'阳光131'和'沣油320'、抗根肿病油菜品种'华油杂62R'、高油酸油菜品种'华油2129'和黄籽高油酸油菜品种'康油3号',以满足短生育期、抗根肿病以及高油酸品质等多样化的产业需求。

表 1　农业农村部发布的我国油菜主导品种

Table 1　Leading varieties of rapeseed in China published by the Ministry of Agriculture and Rural Affairs

年份 Year	数量 Number	品种 Variety
2006	3	中油杂 11 号、扬油 6 号、油研 10 号 Zhongyouza11，Yangyou6，Youyan10
2008	5	中油杂 11 号、华双 5 号、秦油 7 号、浙油 18 号、青杂 5 号 Zhongyouza 11，Huashuang 5，Qinyou 7，Zheyou 18，Qingza 5
2009	6	青杂 5 号、蓉油 12 号、中农油 6 号、丰油 701、秦优 7 号、华双 5 号 Qingza 5，Rongyou 12，Zhongnongyou 6，Fengyou 701，Qinyou 7，Huashuang 5
2010	6	中油杂 11 号、南油 12 号、中油杂 12 号、华油杂 13 号、渝油 21 号、青杂 5 号 Zhongyouza11，Nanyou12，Zhongyouza12，Huayouza13，Yuyou21，Qingza5
2011	10	中双 11 号、中油杂 12 号、华油杂 13 号、宁杂 11 号、青杂 5 号、秦优七号、油研 10 号、蓉油 16 号、沪油杂 1 号、湘杂油 753 Zhongshuang 11，Zhongyouza 12，Huayouza 13，Ningza 11，Qingza 5，Qinyou 7，Youyan 10，Rongyou 16，Huyouza 1，Xiangzayou 753
2013	11	中双 11 号、秦优 10 号、宁杂 19 号、华油杂 62、华油杂 13 号、阳光 2009、中农油 6 号、沣油 737、川油 36、蓉油 18 号、青杂 7 号 Zhongshuang 11，Qinyou 10，Ningza 19，Huayouza 62，Huayouza 13，Yangguang 2009，Zhongnongyou 6，Fengyou 737，Chuanyou 36，Rongyou 18，Qinza 7
2014	11	中双 11 号、浙油 50、宁杂 19 号、华油杂 62、华油杂 13 号、阳光 2009、中农油 6 号、沣油 737、川油 36、蓉油 18 号、青杂 7 号 Zhongshuang 11，Zheyou 50，Ningza 19，Huayouza 62，Huayouza 13，Yangguang 2009，Zhongnongyou 6，Fengyou 737，Chuanyou 36，Rongyou 18，Qinza 7
2016	9	中双 11 号、浙油 50、华油杂 62、华油杂 13 号、阳光 2009、中农油 6 号、沣油 737、川油 36、青杂 7 号 Zhongshuang 11，Zheyou 50，Huayouza 62，Huayouza13，Yangguang 2009，Zhongnongyou 6，Fengyou 737，Chuanyou 36，Qinza 7
2022	21	中油杂 19 号、大地 199、中双 11 号、华油杂 62、沣油 737、华油杂 62R、庆油 3 号、秦优 1618、浙杂 903、华油杂 50、赣油杂 8 号、川油 36、云油杂 15 号、青杂 12 号、丰油 730、油研 57、邡油 777、青杂 15 号、川油 81、阳光 131、沣油 320 Zhongyouza 19，Dadi1 99，Zhongshuang 11，Huayouza 62，Fengyou 737，Huayouza 62R，Qingyou 3，Qinyou 1618，Zheza 903，Huayouza 50，Ganyouza 8，Chuanyou 36，Yunyouza 15，Qingza 12，Fengyou 730，Youyan 57，Fangyou 777，Qingza15，Chuanyou 81，Yangguang 131，Fengyou 320
2023	26	骨干型品种（9 个）：沣油 737、丰油 730、华油杂 62、中双 11 号、华油杂 9 号、阳光 2009、秦优 10 号、浙油 50、青杂 5 号 Backbone type varieties（9）：Fengyou 737，Fengyou 730，Huayouza 62，Zhongshuang 11，Huayouza 9，Yangguang 2009，Qinyou 10，Zheyou 50，Qingza5 成长型品种（6 个）：庆油 3 号、中油杂 19 号、大地 199、华油杂 50、赣油杂 8 号、青杂 12 号 Growth type varieties（6）：Qingyou 3，Zhongyouza 19，Dadi 199，Huayouza50，Ganyouza8，Qingza12 苗头型品种（6 个）：中油杂 501、邡油 777、川油 81、秦优 1618、宁杂 182、宝油 150 Potential type varieties（6）：Zhongyouza 501，Fangyou 777，Chuanyou 81，Qinyou 1618，Ningza 182，Baoyou 150 特专型品种（5 个）：阳光 131（短生育期油菜）、沣油 320（短生育期油菜）、华油杂 62R（抗根肿病油菜）、华油 2129（高油酸油菜）、康油 3 号（黄籽高油酸油菜） Specialized type varieties（5）：Yangguang 131（short growth period rapeseed），Fengyou 320（short growth period rapeseed），Huayouza 62R（Clubroot resistant rapeseed），Huayou 2129（high oleic acid rapeseed），Kangyou 3（yellow seed high oleic acid rapeseed）

注：数据来源于农业农村部网站（http://zdscxx.moa.gov.cn:8080/nyb/pc/index.jsp），2023 年称为优良品种，并分为骨干型、成长型、苗头型和特专型 4 类。

Note：The data is sourced from the website of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs（http://zdscxx.moa.gov.cn:8080/nyb/pc/index.jsp），and is classified as excellent varieties in 2023，which are divided into four categories：backbone type，growth type，potential type，and specialized type.

2.3 油菜主导品种含油率提升明显

提高油菜品种含油率，能够有效提高单位面积产油量，比提高单位面积产量更具现实意义[17]。我国油菜主导品种最高含油率在2010年以前还徘徊在45.00%左右，随着‘中双11号’的审定和推广，2011年以后主导品种的最高含油率提升到49.04%以上（表2）。2023年发布的苗头型品种‘中油杂501’，含油率更是突破了50.00%，达到50.38%，极大地缩小了与加拿大含油率为51.00%左右的主流油菜品种‘Zephyr’和‘Midas’的差距。但从主导品种的平均含油率来看，含油率的提升较为平缓，平均含油率从2006年的43.29%提升到2023年的46.03%，仅提升了2.74个百分点，而近10多年来主导品种的平均含油率比主导品种最高含油率一直都是低4～5个百分点（表2）。这说明虽然我国油菜品种含油率的提升成效显著，但由于高含油率主导品种适应性、抗性等因素限制，导致更新力度不够，群体含油率水平仍有较大的提升空间。

2.4 油菜主导品种单产不断取得突破

提高农作物单产是增加农民油菜种植收益最快速有效的方式[18]。我国油菜主导品种单产呈现稳步提高的趋势（表2）。其中，2022和2023年的主导品种‘青杂12号’，第2生长周期产量高达5 435.10 kg/hm^2，该品种适宜在青海省东部农业区海拔2 800 m以下地区和柴达木盆地海拔3 000 m以下灌区种植[11]。此外，中国农业科学院油料作物研究所联合湖北省襄阳市农业科学院于2022年4月24日在襄州区召开的油菜绿色革命核心技术观摩会，采用耐密高产高油多抗适合机械化油菜新品种‘中油杂501’及耐密植高产技术，经现场测产，油菜籽理论单产可达6 299.25 kg/hm^2，产油量（单产与含油率的乘积）高达3 173.55 kg/hm^2，刷新了长江流域油菜高产纪录，标志着我国油菜产业绿色革命核心技术获重大突破[19]。但由于不同油菜主导品种的单位面积产量差异巨大[11]，再加上油菜种植集中度低、众多小型种植户生产技术跟不上[12]等原因，我国油菜主导品种的平均单产增长不明显，从2006—2023年，平均单产基本一直徘徊在2 800～3 000 kg/hm^{2}左右（表2）。

根据第十五届中国国际种业博览会暨第二十届全国种子信息交流与产品交易会发布的数据[20]，2022年度冬油菜全国推广面积前十大品种分别是‘沣油737’‘庆油3号’‘大地199’‘中油杂19’‘邡油777’‘丰油730’‘华油杂50’‘华油杂62’‘庆油8号’

表2 我国油菜主导品种含油率及产量

Table 2 Oil content and yield of the leading rapeseed varieties in China

年份 Year	最高含油率/% The highest oil content	平均含油率/% Average oil content	最高产量/(kg/hm^2) The highest yield	平均产量/(kg/hm^2) Average yield
2006	44.95	43.29	3 164.25	2 795.25
2008	45.23	43.61	3 791.25	3 052.05
2009	45.23	42.53	3 791.25	2 875.38
2010	45.23	43.06	3 791.25	2 942.10
2011	49.04	44.30	3 791.25	2 871.21
2013	49.04	44.46	3 304.50	2 860.69
2014	49.04	44.91	3 304.50	2 839.96
2016	49.04	45.10	3 304.50	2 805.90
2022	49.96	45.94	5 435.10	2 944.79
2023	50.38	46.03	5 435.10	3 019.48

注：数据来源于农业农村部网站（http://zdscxx.moa.gov.cn:8080/nyb/pc/index.jsp）和中国种业大数据平台[11]。

Note: The data is adapted from the website of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (http://zdscxx.moa.gov.cn:8080/nyb/pc/index.jsp) and China Seed Industry Big data Platform[11].

‘中双11号’和‘油研2020’（并列第10），其中9个品种为主导品种，合计推广面积97.3万hm^2，仅占油菜播种面积的14%左右。说明目前我国油菜主导品种的市场占有率并不高，还需要不断加大油菜主导品种的推广力度。

2.5　油菜主导品种注重品质提升，引导多元化利用

随着社会的进步和人们生活水平的提高，消费者的需求也越来越多样化[21]。改良油菜品质对提高人民生活质量、满足健康生活需求具有重要意义。在2023年发布的特专型品种中，首次出现了以品质为关注重点的主导品种，分别是高油酸油菜品种‘华油2129’和黄籽高油酸油菜品种‘康油3号’，体现了农业主管部门对油菜品质的高度重视和多元化利用的引导。中国种业大数据平台[11]显示，为适应当前油菜产业多功能发展的需求，越来越多的多元化应用油菜品种得以登记，如含有锌、钙、硒、维生素C等元素的菜薹用油菜品种、用于油菜花观光旅游的彩色油菜品种以及用于喂养家畜的饲料油菜品种等等。油菜的多元化利用可以提高其附加值，也是我国油菜产业结构和供给调整的有效措施[4-5]。

3　我国现有油菜品种的风险

3.1　特专型油菜品种含油率和产量存在较大差距

农业农村部2023年发布了5个特专型油菜品种[15]，这5个品种分别具有生育期短、抗根肿病和油酸含率高等特点，但其含油率和产量均低于主导品种平均值。比如抗根肿病油菜品种‘华油杂62R’含油率只有41.46%，短生育期油菜品种‘沣油320’和‘阳光131’的含油率更是分别低至40.35%和40.09%。在产量方面，‘沣油320’和‘阳光131’的单产也分别只有2 127.6和2 342.4 kg/hm^2。因此，这些具有特殊用途的特专型品种大大拉低了主导品种的平均含油率和单产，制约了特专型油菜品种的应用和推广。

3.2　油菜品种同质化严重，无法满足多元化需求

我国油菜品种分为白菜型、芥菜型和甘蓝型3种，但主要以甘蓝型为主，登记品种中甘蓝型品种约占97.4%[22]。甘蓝型油菜由于驯化历史很短，遗传背景和遗传基础相对单一和狭窄，导致油菜育种同质化严重。

由于我国是人口大国，随着生活水平的提高和膳食结构的不断改善，我国对食用油的消费需求还将持续增加[23]。而我国油菜生产上虽然单产不断增长，但增长水平仍不能满足我国消费需求的增长，导致我国油料油脂对外依存度过高[1]。

近年来我国主导油菜品种在产量和质量上都有较大提高，出现了‘中油杂501’‘宁杂182’‘庆油3号’‘中油杂19’‘青杂12号’等高含油率、高产品种，但是同加拿大、美国和欧洲等发达国家相比较，产量和含油率仍然存在一定差距[24]。加上不同油菜种植区域气候条件存在差异，油菜品种的适宜种植范围各不相同。针对不同的气候条件区域，市场需要相适宜的高产、优质等优异性状聚合的品种，只有这样油菜的产量才能得到可靠的保障。

此外，随着油菜多元化利用的发展，油菜在工业、旅游、绿肥和饲料等方面的需求也在不断增长。现有品种无法满足我国的油菜消费和多元化发展的需求，培育和拓展满足新需求的优异品种也是当前油菜品种改良的一个重要方向[25]。

3.3　品种抗病性不强，油菜生产缺乏保障

由核盘菌引起的菌核病是油菜的一大主要病害，菌核病可引起我国油菜减产10%～80%[26]。油菜菌核病是典型的气候型病害，其发病程度主要取决于油菜盛花期的降雨日数及降雨量[27]，而作为油菜主产区的长江流域，降雨量较多，导致菌核病等病菌高发，对油菜的丰产和稳产提出了严峻挑战。如地处长江中游南岸的鄂州市，油菜菌核病常年呈中等以上程度发生，武汉黄陂区菌核病病田率高达10%～30%，是油菜生产上危害最严重的病害[28-29]。

根肿病是世界范围内的毁灭性土传植物病害，发生后会给油菜生产造成严重的破坏，可造成20%～90%的严重减产，给油菜种植造成巨大的经济损失[30]。近年来，随着气候条件影响土壤酸化程度的加剧，油菜根肿病发病逐年严重，在我国大部分的油菜生产省、市、自治区均有油菜根肿病的发生，当前主要分布区域包括四川、云南等西南地区，湖南、湖北等华中地区以及安徽等淮海地区[31]。

受限于油菜抗病资源的缺乏，目前我国油菜对菌核病只具有部分抗性的品种，如‘中双11号’等。在根肿病抗性方面，主导品种‘华油杂62R’对油菜根肿病4号生理小种表现出了全免疫抗性，但广谱抗性和适应性等仍存在较大的局限[31]。

3.4 短生育期及抗逆性品种不足，制约油菜扩面增长

据测算，我国双季稻冬闲田面积约280万hm^2，可形成“稻稻油”种植模式的面积约85万hm^2[32]。短生育期油菜品种可解决茬口矛盾问题，实现“稻稻油”三熟制轮作模式，实现更高的油菜生产效益。农业农村部2023年发布的特专型品种‘阳光131’和‘沣油320’就是短生育期油菜品种，生育期分别为173.2和176.1 d，2023年4月报道的‘中油早1号’生育期约169 d，为解决‘稻稻油’茬口矛盾提供了品种支撑[33]。然而，不同区域种植条件和轮作情况存在差异，对短生育期品种的要求各不相同，现有品种尚不能完全满足实际需求。如在湖南长沙和鹰潭、江西上饶以北到湖北荆州、咸宁、黄冈和江西九江一线等温光资源约束区，冬季易出现极端低温，有效积温低，出苗慢，需选育早熟不早花、耐花期低温、耐迟播的短生育期品种。在浙赣铁路沿线附近、江西和湖南中部等温光资源平衡区，播种期温度不高，影响出苗和成苗速度，晚播苗或早播早薹花都有遭遇冻害的风险，亟需发展4月底能收获的耐迟播抗寒早熟高产品种[32]。

我国各油菜种植区域气候条件不一，如西北、华北地区的降水量分布不均，长江中下游地区的季节性干旱，以及在全球变暖的大背景下，高温、干旱和强降水等极端气候事件频发，都会对油菜的生产造成不利的影响。品种的抗逆性直接关系到油菜产量和品质的稳定性，也是提高油菜产量和品质的基础[34]。而且，提高甘蓝型冬油菜品种的抗寒性可促进甘蓝型冬油菜的“北移西扩”，对扩大我国油菜种植面积，推进中国西北冬油菜产业的发展具有重要的作用[35]。此外，提高油菜耐盐碱性，对中国近1亿hm^2盐碱地的开发利用及生物修复都具有十分重要的意义。在保证油菜产量和品质的情况下，选育拥有多重抗性的油菜品种，如抗病、抗寒、抗旱、抗倒、抗裂角、耐渍、耐瘠、耐肥、耐盐碱、耐密植性等等，可不断提高油菜的综合抗逆能力，促进我国油菜产业扩大增长。

4 我国油菜育种未来发展趋势探讨

4.1 加强油菜种质资源收集、创制、保存及评价，推进转基因育种及应用

油菜产业要高质量发展，品种选育是首要问题，种质资源更是重中之重。油菜种质资源是科学研究、品种改良和产业发展不可或缺的物质基础，系统开展油菜种质资源收集、创制、保存及评价鉴定工作，对我国油菜产业的持续健康发展具有十分重要的战略意义[36]。在我国油菜产业的三次革命性飞跃中，优异油菜种质的发掘和利用发挥了关键性作用，如甘蓝型油菜种质的引进实现了产量的飞跃，高产抗病及双低油菜种质的发掘则助推了油菜品质的显著提升。由于自然环境、油菜生产以及社会需求等都在持续地发生变化，各种油菜资源包括野生种、农家种以及育成品种等也会逐渐流失，因此我们要不断加强油菜种质资源的保护，依据种类、起源、分布规律和生产利用特点等制定科学高效的收集保存及评价策略。

随着生物技术的发展，油菜转基因育种势头迅猛，但油菜转基因生物育种的发展呈现区域不平衡态势[29]。加拿大、澳大利亚、美国、智利等国家均已广泛种植转基因油菜，其中美国和加拿大的转基因油菜普及率分别高达100%和95%[9-10]，但我国目前尚未放开转基因油菜品种的商业化种植。油菜转基因育种趋势已经形成[37]，应该逐步推进油菜转基因研究，充分利用基因编辑、转基因等生物技术加强优异油菜资源的人工创制，为油菜的转基因育种及应用储备技术和资源。

4.2 提升油菜高光合效率，实现产油量的再突破

光合作用是作物产量形成的基础，作物干物质的95%左右来自光合作用同化的CO_2[38]。世界上许多国家都将提高C3作物的光合能力作为遗传改良的重点，明确了提高光合效率是作物育种的重要内容[39]。

在之前的生产实践中，油菜育种者通过物种和品种的变革推动了我国油菜产业的三次革命性飞跃，我国油菜的单产和品质都得到了显著的提升，单纯依靠杂种优势来大幅度提高油菜产量越来越难[39]。因此，油菜品种产量的进一步提升，必须在叶片和角果的光合效率上挖掘潜力。

油菜的主要光合器官除了叶片还有角果。油菜角果既是油菜重要的光合器官又是经济器官，对油菜产油量的提升意义重大。油菜的光合作用存在一个由叶片向角果转变的过程，叶片和角果对油菜产量的形成具有不同的作用[40]。叶片是早期的光合器官，光合产物主要用于构建油菜植株的营养

体，角果皮是后期形成的，其光合产物对籽粒产量的作用更为直接[41]，在油菜角果期，角果层的光合产物占80%～95%[42]。

当前油菜的实际光能利用率仅为0.615%～1.056%，低于水稻、小麦和大豆等作物[43]。已有研究发现，角果具有高活性的C4途径酶和类似C4途径的循环途径，更耐高温和高光强，若能进一步促进C4途径酶和类似C4途径的循环途径高效表达，将会使油菜的光合效率大幅提高[44]。Zhu等[45]首次发现逆境处理能诱导C3-C4光合中间型近缘种向类C4物种的光合结构转变并获得高光效种质，为油菜C4化改良提供了理论基础。未来，进行油菜高光效育种是进一步提高油菜品种产量潜力的重要突破口，也应当是油菜超高产育种的重要内容和方向[39,46-47]。

4.3　推进油菜理想株型和多抗品种的改造，满足多元化需求

理想株型是指植株形态最有利于满足人们经济利益需求时所具备的相应形态特征[48]。油菜具有多重功能属性，不同功能需求的油菜对株型的要求具有“千型千面”的特点[48]。对于追求菜籽产量的理想株型应有利于提高单位面积油菜菜籽产量；对于菜用和饲用的理想株型则应有利于提高特定生育期单位面积产量和品质；对于景观或盆栽等的理想株型则在于丰富花色，改良株高形态等特征；对于机械化生产需求的理想株型一般要求群体具有生育期集中，株型结构整齐划一，适宜密植、紧凑且不易倒伏的特点等[49-50]。

随着作物表型组学的发展以及云计算、人工智能、物联网、大数据等技术的广泛应用，作物表型研究正迈向“高通量的表型组学时代”[51]。油菜株型指标的测量也将朝着自动化、高效率、高精度、高通量、无损伤、易操作等趋势发展。在现代分子育种技术手段的加持下，油菜理想株型的研究将进入快速发展阶段。近年来，我国学者在油菜株型研究上取得了一系列进展，Zheng等[52]通过CRISPR/Cas9靶向突变敲除2个*BnaMAX1*同源物可改善油菜的植株结构并提高产量；Cheng等[53]利用单碱基编辑技术对油菜*IAA7*和*RGA*基因的保守基序进行点突变，可导致油菜花朵及角果生长角度改变和植株矮化的表型。

伴随着油菜多功能开发利用需求的兴起，油菜株型突破高产、适应机械化，抗病、抗逆等抗性改良，以及满足人们菜用、饲用、观赏和药用等多功能需求，相关理论和技术将不断拓展和丰富，精准、高效地改良油菜株型的研究也将迎来广阔的发展机遇[48]。

4.4　探索油菜密植增产技术，提升油菜机械化生产水平

当前我国油菜主导品种中涌现出了许多高产优质的品种，但生产上由于生产水平较低等导致产量不高[54]。而且，由于国内油菜种植户经营规模过小、机械化程度不高，使得油菜籽生产成本相对过高，市场竞争力不足[55]。再加上国际上低价油菜籽的冲击，进一步压低了国内油菜产品价格，挤压了国内油菜产业发展的空间[56]。从而形成了目前我国油菜生产面积和产量增长乏力的现状，油菜种植效益低下，农户种植积极性不高。

要提高油菜种植效益，一方面要大幅度提高产量，另一方面则要提高机械化水平减少人力投入。在培育高产优质且适合全程机械化生产的优质品种基础上，育种工作者还需要不断探索轻简高效的栽培技术措施，如油菜密植增产技术等，不断提升油菜机械化生产水平。据报道，由中国农业科学院油料作物研究所牵头研发的油菜“耐盐碱高产高油”技术模式取得了突破，采用耐盐耐密高产高油新品种和密植抗盐稳产新技术，在江苏省东台市盐碱地200亩连片种植的油菜新品种‘中油杂501’，密度高达90万株/hm^2，机收实际单产达到4 858.05 kg/hm^2，比当地油菜平均单产产油率增加82.7%，创造了盐碱地油菜高产新纪录[57]。这说明油菜密植增产潜力巨大，应不断探索突破。

4.5　发展和应用新兴生物技术，实现人工设计育种

生物技术在作物育种中的广泛应用促进了作物抗逆、抗病、产量、品质等性状的遗传改良及优异资源的人工创制[58]。目前，利用分子标记、细胞工程等生物技术已成功鉴定了大量油菜重要性状的候选基因和优异等位变异，如花器官发育相关基因*BnMs1*、*BnaMs3*、*Bnams4b*、*Rfp*、*Rfn*，品质相关基因*BnFAE1.1*、*BnFAE1.2*、*BnaA.FAE1*、*fad2*等[59]，辅助了油菜的性状改良和遗传育种。随着基因工程、全基因组选择、基因编辑和合成生物学等新兴技术的发展和成熟，其在油菜育种中的贡献将会越

来越凸显。

基因编辑技术能对植物基因组进行精准修饰[58],定向改变目标性状,为作物遗传改良提供了有力的技术支撑。如CRISPR/Cas基因编辑系统,因具有简单、高效、低成本等优势,已成为应用最广泛的编辑系统[58]。该系统可实现基因敲除、碱基编辑、基因定点替换、插入和引导编辑,已成为作物基因功能研究和性状改良的重要工具[60-62]。目前,在油菜中已有不少研究应用的报道,如通过编辑相关同源基因建立单倍体诱导技术体系[63],对油菜的*ALS*基因进行单碱基替换,获得抗除草剂品种[64],对*BnaIDA*进行编辑,获得"花不落"油菜新种质,可有效阻断菌核病的传播途径等[65]。Li等[66]通过对全球588份有代表性的油菜品种进行全基因重测序,在挖掘出的500多万个SNP位点中筛选了5万多个位点,成功开发了世界首款油菜50K液相育种芯片,为油菜人工设计育种奠定了重要基础。

此外,随着分子生物学、系统生物学等技术的快速发展,利用植物为宿主即底盘的合成生物学研究也取得了长足的进步[67]。植物合成生物学将工程原理贯彻到生物系统中,有望突破传统农业瓶颈,带来产量、抗逆和品质改良方面的突破性进展。提升作物产量是植物合成生物学研究的第一要务,而提高光合作用效率则是提升农作物产量的重要途径之一。合成生物技术体系的出现和发展为系统改造光合作用、提高光合效率,从而改良作物产量提供了一条崭新的途径[68-70]。

5 结语

随着油菜品种抗逆性的不断改良,通过"北移西扩"以及盐碱地的开发利用,我国油菜的发展潜力十分巨大。通过加强油菜种质资源收集与利用,推进转基因育种研发,提高油菜的光合效能,实现产油量的再突破。同时,新时期消费者对油菜产品新的需求也孕育了新的市场。油菜的油、菜、花、蜜、饲、肥、药等多重功能及其开发利用潜力为农业农村发展提供了新的动能。利用新兴生物技术的发展和应用人工设计育种可进一步推动我国油菜产业的快速发展。

参考文献 References

[1] 严茂林,施文华,周晓亮,张志丹,张洋,吴成亮. 基于进口视角的我国主要植物油料油脂产业安全研究[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(4): 643-653
Yan M L, Shi W H, Zhou X L, Zhang Z D, Zhang Y, Wu C L. Research on industry security of China's main oilseeds and vegetable oils from the perspective of import[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2023, 45(4):643-653(in Chinese)

[2] 刘成, 冯中朝, 肖唐华, 马晓敏, 周广生, 黄凤洪, 李加纳, 王汉中. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489
Liu C, Feng Z C, Xiao T H, Ma X M, Zhou G S, Huang F H, Li J N, Wang H Z. Development, potential and adaptation of Chinese rapeseed industry[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2019, 41(4):485-489 (in Chinese)

[3] 王汉中. 以新需求为导向的油菜产业发展战略[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 613-617
Wang H Z. New-demand oriented oilseed rape industry developing strategy[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2018, 40(5): 613-617 (in Chinese)

[4] 张哲, 殷艳, 刘芳, 王积军, 傅廷栋. 我国油菜多功能开发利用现状及发展对策[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 618-623
Zhang Z, Yin Y, Liu F, Wang J J, Fu T D. Current situation and development countermeasures of Chinese rapeseed multifunctional development and utilization[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2018, 40(5): 618-623 (in Chinese)

[5] 魏超, 王美容, 刘骉骉, 李杰. 中国多功能油菜利用的研究现状与前景分析[J]. 肇庆学院学报, 2021, 42(5): 59-65
Wei C, Wang M R, Liu S S, Li J. Current research situation and prospects of multifunctional utilization of oilseed rape[J]. *Journal of Zhaoqing University*, 2021, 42(5): 59-65 (in Chinese)

[6] 王汉中. 中国油菜品种改良的中长期发展战略[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(2): 98-101
Wang H Z. Mid-long-term development strategy of rape variety improvement in China[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Science*, 2004, 26(2): 98-101 (in Chinese)

[7] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 300-302
Wang H Z. Review and future development of rapeseed industry in China [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2010, 32(2): 300-302 (in Chinese)

[8] 王艳玲, 赵小文. 加拿大双低油菜:卡诺拉(Canola)介绍[J]. 甘肃农业, 2004, (10):125
Wang Y L, Zhao X W. Introduction of Canadian double-low rape-Canola [J]. *Gansu Agriculture*, 2004, (10):125 (in Chinese)

[9] ISAAA. Global status of commercialized biotech /GM crops 2019: Africa leads progree in biotech crop adoption with doubled number of planting countries in 2019 [R/OL]. [2023-10-01]. https://www. isaaa. org/resources/publications/briefs/55/default. asp

[10] ISAAA. Global status of commercialized biotech /GM crops 2018: biotech crops continue to help meet the challenges of increased population and climate change [R/OL]. [2023-10-01]. https://www. isaaa. org/resources/publications/briefs/54/default. asp

[11] 中国种业大数据平台[DB/OL]. [2023-10-01]. http://202.127.42.47:6010/index.aspx
China Seed Industry Big Data Platform[DB/OL]. [2023-10-01]. http://202.127.42.47:6010/index.aspx(in Chinese)

[12] 李丹阳，陈兴和，吴传云. 我国油菜生产面临的问题及机械化措施建议[J]. 农机科技推广，2021(12)：24-26
Li D Y, Chen X H, Wu C Y. Problems faced by rapeseed production in China and suggestions for mechanization measures [J]. *Agriculture Machinery Technology Extension*, 2021(12): 24-26 (in Chinese)

[13] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国主席令(第三十四号)中华人民共和国种子法_2000年第25号国务院公报[EB/OL]. (2000-07-08) [2023-10-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2000/content_60332.htm
The Central People's Government of the People's Republic of China. Seed Law of the People's Republic of China State Council Gazette No. 25 of 2000 [EB/OL]. (2000-07-08)[2023-10-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2000/content_60332.htm

[14] 中华人民共和国农业部. 关于印发《农业主导品种和主推技术推介发布办法》的通知[EB/OL]. (2005-01-20)[2023-10-01]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2005/dyq/201806/t20180617_6152390.htm
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Notice on Issuing the Measures for Promoting and Releasing Leading Agricultural Varieties and Technologies [EB/OL]. (2005-01-20) [2023-10-01]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2005/dyq/201806/t20180617_6152390.htm

[15] 中华人民共和国农业农村部. 国家农作物优良品种推广目录(2023年)[EB/OL]. (2023-03-02)[2023-10-01]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202303/t20230302_6422033.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. National Catalogue of Excellent Crop Varieties Promotion[EB/OL]. (2023-03-02)[2023-10-01]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202303/t20230302_6422033.htm

[16] 宋先锋，贾志远. 农业农村部首次发布《国家农作物优良品种推广目录》[J]. 乡村科技，2023，14(6)：4-5
Song X F, Jia Z Y. The Ministry of Agriculture and Rural Affairs issued "the National Catalogue for the Promotion of Excellent Crop Varieties Promotion" for the first time[J]. *Rural Science and Technology*, 2023, 14(6): 4-5 (in Chinese)

[17] 王贵春，杨光圣. 油菜高含油量育种研究进展[J]. 安徽农业科学，2007，35(18)：5373-5375，5411
Wang G C, Yang G S. Research progress in the high oil content oilseed rape breeding [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(18): 5373-5375, 5411 (in Chinese)

[18] 梅星星，冯中朝，王璐，郑炎成. 油菜籽目标价格制度的机制设计、效应估判及细节观察[J]. 农业现代化研究，2015，36(2)：237-244
Mei X X, Feng Z C, Wang L, Zheng Y C. The mechanism design, effect assessment and detail observations of the rapeseed target price system[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2015, 36(2): 237-244 (in Chinese)

[19] 顿小玲. 我国油菜产业绿色革命核心技术获重大突破[N]. 粮油市场报，2022-04-26(B02)
Dun X L. The core technology of the green revolution in China's rapeseed industry has made significant breakthroughs[N]. *Grain News*, 2022-04-26(B02) (in Chinese)

[20] 全国农业技术推广服务中心. 2022年度主要粮油和重要特色作物前十大品种[EB/OL]. [2023-10-01]. https://www.natesc.org.cn/admin/UeditorUploadFiles/file/20230924/6383117196224023439883848.pdf
National Agricultural Technology Extension Service Center, Top 10 major grain and oil and important characteristic crop varieties in 2022 [EB/OL]. [2023-10-01]. https://www.natesc.org.cn/admin/UeditorUploadFiles/file/20230924/6383117196224023439883848.pdf

[21] 洪岩，黄思思. 做强油菜产业端稳端牢中国人的"油瓶子"[J]. 中国粮食经济，2023(7)：41-43
Hong Y, Huang S S. Strengthen the rape industry, stabilize the China People's "oil bottle"[J]. *China's Grain Economy*, 2023(7): 41-43 (in Chinese)

[22] 李荣德，何平，史梦雅，侯乾，胡琼，孙海艳. 我国油菜品种登记与推广现状分析[J]. 中国油料作物学报，2023，45(1)：17-22
Li R D, He P, Shi M Y, Hou Q, Hu Q, Sun H Y. Current status of registration and extension of rapeseed varieties in China [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2023, 45(1): 17-22 (in Chinese)

[23] 孟桂元，涂洲溢，詹兴国，周静. 我国植物油料油脂生产、消费需求分析及发展对策[J]. 中国油脂，2020，45(10)：1-4，27
Meng G Y, Tu Z Y, Zhan X G, Zhou J. Development strategy and analysis of production and consumption demand of plant oilseeds and oils in China[J]. *China Oils and Fats*, 2020, 45(10): 1-4, 27 (in Chinese)

[24] 谢慧，谭太龙，罗晴，杨柳，陈光辉. 油菜产业发展现状及面临的机遇[J]. 作物研究，2018，32(5)：431-436
Xie H, Tan T L, Luo Q, Yang L, Chen G H. Development status and opportunities of rape industry[J]. *Crop Research*, 2018, 32(5): 431-436 (in Chinese)

[25] 范成明，田建华，胡赞民，王珏，吕慧颖，葛毅强，魏珣，邓向东，张蕾颖，杨维才. 油菜育种行业创新动态与发展趋势[J]. 植物遗传资源学报，2018，19(3)：447-454
Fan C M, Tian J H, Hu Z M, Wang J, Lv H Y, Ge Y Q, Wei X, Deng X D, Zhang L Y, Yang W C. Advances of oilseed rape breeding [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(3): 447-454 (in Chinese)

[26] 汪雷，刘瑶，丁一娟，王雨，万华方，梅家琴，钱伟. 油菜菌核病研究进展[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，2015，43(10)：85-93
Wang L, Liu Y, Ding Y J, Wang Y, Wan H F, Mei J Q, Qian W. Advance in *Sclerotinia* stem rot of rapeseed[J]. *Journal of Northwest A&F University: Nature Science Edition*, 2015, 43(10): 85-93 (in Chinese)

[27] 胡千，吴秀俊. 绩溪县油菜菌核病发生特点分析[J]. 乡村科技，2019(24)：92，94
Hu Q, Wu X J. Analysis on the occurrence characteristics of *Sclerotinia sclerotiorum* in Jixi County [J]. *Rural Science and Technology*, 2019(24): 92, 94 (in Chinese)

[28] 吴江. 鄂州市油菜菌核病偏重发生原因分析及防治对策[J]. 湖北植保，2022(3)：54-55
Wu J. Cause analysis and control strategy of rape *Sclerotinia* disease in Ezhou City[J]. *Hubei Plant Protection*, 2022(3): 54-55 (in Chinese)

[29] 何微，李俊，王晓梅，林巧，杨小薇．全球油菜产业现状与我国油菜产业问题、对策[J]．中国油脂，2022，47(2)：1-7
He W，Li J，Wang X M，Lin Q，Yang X W．Current status of global rapeseed industry and problems，countermeasures of rapeseed industry in China[J]．*China Oils and Fats*，2022，47(2)：1-7 (in Chinese)

[30] 王靖，黄云，李小兰，黎怀忠．十字花科根肿病研究进展[J]．植物保护，2011，37(6)：153-158
Wang J，Huang Y，Li X L，Li H Z．Research progress in clubroot of crucifers[J]．*Plant protection*，2011，37(6)：153-158 (in Chinese)

[31] 彭玉姣．油菜根肿病的发生与防治研究进展[J]．甘肃农业科技，2022，53(7)：9-12
Peng Y J．Research advance on the occurrence and control of rape clubroot disease[J]．*Gansu Agricultural Science and Technology*，2022，53(7)：9-12 (in Chinese)

[32] 祖祎祎．为"两熟"变"三熟"提供更多模式[N]．农民日报，2023-05-26(008) Zu W W．Provide more modes for the transformation from "two ripe" to "three ripe"[N]．*Farmers' Daily*，2023-05-26(008)(in Chinese)

[33] 常理．我国油菜育种获重大突破创三熟制模式下短生育期高产纪录[N]．经济日报，2023-04-18(003)
Chang L．Major breakthroughs have been made in rapeseed breeding in China，setting a record for high yield in the short growth period under the three-cropping system [N]．*Economic Daily*，2023-04-18 (003) (in Chinese)

[34] 张树杰，王汉中．我国油菜生产应对气候变化的对策和措施分析[J]．中国油料作物学报，2012，34(1)：114-122
Zhang S J，Wang H Z．Policies and strategies analyses of rapeseed production response to climate change in China[J]．*Chinese Journal of Oil Crop Sciences*，2012，34(1)：114-122 (in Chinese)

[35] 祁伟亮，孙万仓，马骊，乔岩，武军艳，乔义林，陈红，刘丽君，蒲媛媛，赖守孝，李学才，方彦，王旺田，李金玲，袁兰兰，姚来来，王静．甘蓝型油菜种质资源创新与抗寒机理研究进展[J]．中国野生植物资源，2023，42(4)：70-77，85
Qi W L，Sun W C，Ma L，Qiao Y，Wu J Y，Qiao Y L，Chen H，Liu L J，Pu Y Y，Lai S X，Li X C，Fang Y，Wang W T，Li J L，Yuan L L，Yao L L，Wang J．Research progress of germplasm resource innovation and mechanism of cold tolerance of *Brassica napus* L[J]．*Chinese Wild Plant Resources*，2023，42(4)：70-77，85 (in Chinese)

[36] 李利霞，陈碧云，闫贵欣，高桂珍，许鲲，谢婷，张付贵，伍晓明．中国油菜种质资源研究利用策略与进展[J]．植物遗传资源学报，2020，21(1)：1-19
Li L X，Chen B Y，Yan G X，Gao G Z，Xu K，Xie T，Zhang F G，Wu X M．Proposed strategies and current progress of research and utilization of oilseed rape germplasm in China[J]．*Journal of Plant Genetic Resources*，2020，21(1)：1-19 (in Chinese)

[37] 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
Fu T D．Present situation and prospect of rapeseed production and variety improvement in China[J]．*Anhui Agricultural Science Bulletin*，2000，6(1)：2-8 (in Chinese)

[38] 许大全．光合速率、光合效率与作物产量[J]．生物学通报，1999，34(8)：8-10
Xu D Q．Photosynthetic rate，photosynthetic efficiency，and crop yield [J]．*Biology of Biology*，1999，34(8)：8-10 (in Chinese)

[39] 张耀文，赵小光，关周博，王学芳，候君莉，田建华，李殿荣，卢从明．油菜光合生理研究及高光效育种研究进展[J]．中国农学通报，2017，33(3)：44-51
Zhang Y W，Zhao X G，Guan Z B，Wang X F，Hou J L，Tian J H，Li D R，Lu C M．A review on photosynthetic physiological research and high photosynthetic efficiency breeding of *Brassica napus* [J]．*Chinese Agricultural Science Bulletin*，2017，33(3)：44-51 (in Chinese)

[40] 李凤阳，何激光，官春云．油菜叶片和角果光合作用研究进展[J]．作物研究，2011，25(4)：405-409
Li F Y，He J G，Guan C Y．Research progress on photosynthesis of rape leaves and pods[J]．*Crop Research*，2011，25(4)：405-409 (in Chinese)

[41] 刘后利．实用油菜栽培学[M]．上海：上海科学技术出版社，1987
Liu H L．*Practical Rapeseed Cultivation* [M]．Shanghai：Shanghai Science and Technical Press，1987 (in Chinese)

[42] 胡会庆，刘安国，王维金．油菜光合速率日变化的初步研究[J]．华中农业大学学报，1998，17(5)：430-434
Hu H Q，Liu A G，Wang W J．Study on daily change and midday depression of photosynthetic rate in rape leaves under field condition[J]．*Journal of Huazhong Agricultural University*，1998，17(5)：430-434 (in Chinese)

[43] 张耀文，赵小光，关周博，王学芳，侯君利，董育红，田建华，李殿荣，卢庆陶，卢从明．油菜高光效育种的难点及解决策略[J]．西北农业学报，2018，27(1)：1-9
Zhang Y W，Zhao X G，Guan Z B，Wang X F，Hou J L，Dong Y H，Tian J H，Li D R，Lu Q T，Lu C M．Difficulties and solutions to rape high photosynthetic efficiency breeding[J]．*Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*，2018，27(1)：1-9 (in Chinese)

[44] 张耀文，王竹云，李殿荣，张新，陈文杰，田建华．甘蓝型油菜角果光合日变化特性的研究[J]．西北农业学报，2008，17(5)：174-180
Zhang Y W，Wang Z Y，Li D R，Zhang X，Chen W J，Tian J H．Study on diurnal changes of photosynthetic characteristics in pods of *Brassica napus*[J]．*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*，2008，17(5)：174-180 (in Chinese)

[45] Zhu X Y，Liu J，Sun X C，Kuang C，Liu H F，Zhang L，Zheng Q W，Liu J，Li J，Wang H Z，Hua W．Stress-induced higher vein density in the C3-C4 intermediate *Moricandia suffruticosa* under drought and heat stress[J]．*Journal of Experimental Botany*，2022，73(18)：6334-6351

[46] 王汉中，殷艳．我国油料产业形势分析与发展对策建议[J]．中国油料作物学报，2014，36(3)：414-421
Wang H Z，Yin Y．Analysis and strategy for oil crop industry in China [J]．*Chinese Journal of Oil Crop Sciences*，2014，36(3)：414-421 (in Chinese)

[47] 沈金雄，傅廷栋，杨光圣，马朝芝，涂金星．甘蓝型油菜杂种优势及产量性状的遗传改良[J]．中国油料作物学报，2005，27(1)：5-9
Shen J X，Fu T D，Yang G S，Ma C Z，Tu J X．Analysis of heterosis reveals genetic improvement for yield traits in rapeseed (*Brassica napus* L)[J]．*Chinese Journal of Oil Crop Sciences*，2005，27(1)：5-9 (in Chinese)

[48] 李方一，黄璜，官梅，官春云．油菜理想株型研究进展[J]．中国油料作物

学报，2023，45(1)：4-16
Li F Y，Huang H，Guan M，Guan C Y. Research progress toward the ideal type of rapeseed plant[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Scieves*，，2023，45(1)：4-16 (in Chinese)

[49] 朱珊，李银水，余常兵，谢立华，胡小加，张树杰，廖星，廖祥生，车志．密度和氮肥用量对油菜产量及氮肥利用率的影响[J]．中国油料作物学报，2013，35(2)：179-184
Zhu S，Li Y S，Yu C B，Xie L H，Hu X J，Zhang S J，Liao X，Liao X S，Che Z. Effects of planting density and nitrogen application rate on rapeseed yield and nitrogen efficiency[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*，2013，35(2)：179-184 (in Chinese)

[50] 马春仙，杨希文．不同种植密度对油菜品种机械化收获特性的影响[J]．现代农业科技，2017(18)：14-15
Ma C X，Yang X W. Effects of different planting density on mechanized harvesting characteristics of rape varieties [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*，2017(18)：14-15(in Chinese)

[51] 穆金虎，陈玉泽，冯慧，李文建，周利斌．作物育种学领域新的革命：高通量的表型组学时代[J]．植物科学学报，2016，34(6)：962-971
Mu J H，Chen Y Z，Feng H，Li W J，Zhou L B. A new revolution in crop breeding：The era of high-throughput phenomics [J]. *Plant Science Journal*，2016，34(6)：962-971 (in Chinese)

[52] Zheng M，Zhang L，Tang M，Liu J L，Liu H F，Yang H L，Fan S H，Terzaghi W，Wang H Z，Hua W. Knockout of two BnaMAX1 homologs by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis improves plant architecture and increases yield in rapeseed (*Brassica napus* L) [J]. *Plant Biotechnology Journal*，2020，18(3)：644-654

[53] Cheng H T，Hao M Y，Ding B L，Mei D S，Wang W X，Wang H，Zhou R J，Liu J，Li C，Hu Q. Base editing with high efficiency in allotetraploid oilseed rape by A3A-PBE system [J]. *Plant Biotechnology Journal*，2021，19(1)：87-97

[54] 王宁．我国油菜产业发展的现状及对策研究[J]．现代经济信息，2015(12)：356
Wang N. Study on the present situation and countermeasures of the development of rapeseed industry development in China [J]. *Modern Economic Information*，2015(12)：356 (in Chinese)

[55] 刘成，黄杰，冷博峰，冯中朝，李俊鹏．我国油菜产业现状、发展困境及建议[J]．中国农业大学学报，2017，22(12)：203-210
Liu C，Huang J，Leng B F，Feng Z C，Li J P. Current situation，development difficulties and suggestions of Chinese rape industry [J]. *Journal of China Agricultural University*，2017，22(12)：203-210 (in Chinese)

[56] 钟志平，刘俊，刘文祥．我国油菜生产现状、效益及提升策略[J]．湖南农业科学，2023(4)：94-97
Zhong Z P，Liu J，Liu W X. The current situation，benefit and improvement strategy of rape production in China [J]. *Hunan Agricultural Sciences*，2023(4)：94-97 (in Chinese)

[57] 马爱平．“中油杂501”创盐碱地油菜高产新纪录[N]．科技日报，2023-06-07(008)
Ma A P. Zhongyouza 501 has set a new record for high yield of rapeseed in saline alkali soil[N]. *Science and Technology Daily*，2023-06-07(008) (in Chinese)

[58] 蒋金金，苏汉东，洪登峰，杨光琴，闫磊，徐扬，张阳，张立新，韩方普，金双侠，夏兰琴，王幼平．植物生物技术研究进展[J]．植物生理学报，2023，59(8)：1436-1462
Jiang J J，Su H D，Hong D F，Yang G Q，Yan L，Xu Y，Zhang Y，Zhang L X，Han F P，Jin S X，Xia L Q，Wang Y P. Advances and perspectives in plant biotechnology[J]. *Plant Physiology Journal*，2023，59(8)：1436-1462 (in Chinese)

[59] 夏胜前，张毅，涂金星．油菜重要性状功能基因研究进展[J]．中国油料作物学报，2018，40(5)：656-663
Xia S Q，Zhang Y，Tu J X. Research advance on functional genomics in rapeseed[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*，2018，40(5)：656-663 (in Chinese)

[60] Li S Y，Xia L Q. Precise gene replacement in plants through CRISPR/Cas genome editing technology：Current status and future perspectives [J]. *aBIOTECH*，2020，1(1)：58-73

[61] Ma X L，Zhang Q Y，Zhu Q L，Liu W，Chen Y，Qiu R，Wang B，Yang Z F，Li H Y，Lin Y R，Xie Y Y，Shen R X，Chen S F，Wang Z，Chen Y L，Guo J X，Chen L T，Zhao X C，Dong Z C，Liu Y G. A robust CRISPR/Cas9 system for convenient，high-efficiency multiplex genome editing in monocot and dicot plants[J]. *Molecular Plant*，2015，8(8)：1274-1284

[62] Manghwar H，Lindsey K，Zhang X L，Jin S X. CRISPR/cas system：recent advances and future prospects for genome editing[J]. *Trends in Plant Science*，2019，24(12)：1102-1125

[63] Zhong Y，Wang Y W，Chen B J，Liu J C，Wang D，Li M R，Qi X L，Liu C X，Boutilier K，Chen S J. Establishment of a dmp based maternal haploid induction system for polyploid *Brassica napus* and *Nicotiana tabacum* [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*，2022，64(6)：1281-1294

[64] Wu J，Chen C，Xian G Y，Liu D X，Lin L，Yin S L，Sun Q F，Fang Y J，Zhang H，Wang Y P. Engineering herbicide-resistant oilseed rape by CRISPR/Cas9-mediated cytosine base-editing [J]. *Plant Biotechnol Journal*，2020，18(9)：1857-1859

[65] Wu J，Liu H M，Ren S C，Li P P，Li X，Lin L，Sun Q F，Zhang L，Lin C，Wang Y P. Generating an oilseed rape mutant with non-abscising floral organs using CRISPR/Cas9 technology [J]. *Plant Physiology*，2022，190(3)：1562-1565

[66] Li X D，Liu X M，Fan Y H，Li S T，Yu M N，Qian M C，Chen Y L，Chen H Q，Li X C，Liu B，Xu X F，Qu C M，Li J N，Lu K. Development of a target capture sequencing SNP genotyping platform for genetic analysis and genomic breeding in rapeseed [J]. *The Crop Journal*，2023，11(2)：499-510

[67] 邵洁，刘海利，王勇．植物合成生物学的现在与未来[J]．合成生物学，2020，1(4)：395-412
Shao J，Liu H L，Wang Y. Present and future of plant synthetic biology [J]. *Synthetic Biology Journal*，2020，1(4)：395-412 (in Chinese)

[68] Long S P，Marshall-Colon A，Zhu X G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential[J]. *Cell*，2015，161(1)：56-66

[69] Zhu X G，Long S P，Ort D R. Improving photosynthetic efficiency for greater yield[J]. *Annual Review of Plant Biology*，2010，61：235-261

[70] 张立新，卢从明，彭连伟，马为民，钱万强．利用合成生物学原理提高光

合作用效率的研究进展[J]. 生物工程学报, 2017, 33(3): 486-493
Zhang L X, Lu C M, Peng L W, Ma W M, Qian W Q. Progress in improving photosynthetic efficiency by synthetic biology [J]. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2017, 33(3): 486-493 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅

第一作者简介: 胡志勇,博士,中国农业科学院油料作物研究所副研究员。主要从事油菜功能基因组学研究。先后主持国家自然科学基金、湖北省自然科学基金等项目10余项;发表学术论文30多篇,其中第一作者SCI论文10篇;获得授权专利12项,主编和参编著作各1部;获国家技术发明二等奖1项(第6);主编的科普著作《健康生活油中来》荣获中国农业科学院2022年度科普作品奖。

通讯作者简介: 李俊,博士,中国农业科学院油料作物研究所科技传播与产业发展中心主任,副研究员,硕士生导师,中国作物学会油料专业委员会委员、栽培土肥与机械化学组副组长,中国农学会预警监测分会委员会委员。主要研究领域为油菜生物学、乡村振兴和农旅融合,主持国家重点研发计划课题、国家自然科学基金等各类课题近20项;发表论文50余篇,主编和参编著作6部,获国家专利授权12项、国际发明专利授权4项、软件著作权2项,农业农村部主推技术1项,湖北省科技进步二等奖等省部级科技进步奖3项。