中国油料作物学报
Chinese Journal of Oil Crop Sciences
2026,48(5):1-8
doi:10.19802/j.issn.1007-9084.2026373

# 耐盐碱甘蓝型油菜研究与利用
## ——华中农业大学耐盐碱油菜研究二十年回顾与展望

傅廷栋[1],万何平[2],文静[1],沈金雄[1],汪波[1],周广生[1],张椿雨[1],郭亮[1]
(1.华中农业大学植物科学技术学院,湖北 武汉,430070;
2.江汉大学生命科学学院,湖北 武汉,430056)

**摘要:**我国盐碱地资源丰富,盐碱地综合利用对保障国家耕地资源与粮油安全具有重要意义。本文系统总结了近20年来华中农业大学联合多家单位开展的耐盐碱油菜研究成果:建立了甘蓝型油菜萌发期和幼苗期室内耐盐碱鉴定体系,筛选获得耐盐碱优异种质并选育出华油杂62、华油杂158、饲油2号等我国首批耐盐碱油菜品种;从避盐、渗透调节、吸盐聚钠及根系泌酸降碱等方面解析了油菜耐盐碱的多重生理机制;多点田间与定位试验证实,耐盐碱油菜根系可分泌有机酸降碱,脱盐率高,还可翻耕作绿肥,能快速提高耕地有机质含量,改良土壤结构,实现盐碱土壤改良;总结形成了不同盐碱生态区适配种植模式,如中重度盐碱荒地改良、棉油轮作及南方滨海盐碱地稻油轮作等,兼具油、饲、菜、观光、蜂业等多元功能。文章最后提出盐碱地改良的对策建议,以期为我国盐碱地生物修复与耐盐碱油菜产业化发展提供参考。

**关键词:**甘蓝型油菜;耐盐碱种质;品种选育;耐盐机制;盐碱地改良;种植模式
**中图分类号:**S565.4　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1007-9084(2026)05-0001-08

## Research and utilization of saline-alkali-tolerant *Brassica napus*
### — Review and prospect on two decades of research on saline-alkali-tolerant rapeseed at Huazhong Agricultural University

FU Ting-dong[1], WAN He-ping[2], WEN Jing[1], SHEN Jin-xiong[1], WANG Bo[1], ZHOU Guang-sheng[1], ZHANG Chun-yu[1], GUO Liang[1]
(1. *College of Plant Science & Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*; 2. *College of Life Sciences, Jianghan University, Wuhan* 430056, *China*)

**Abstract:** China has extensive saline-alkali land resources, and the comprehensive utilization of these lands is of strategic significance for safeguarding national cultivated land and food security. This paper systematically reviews the research achievements on saline-alkali-tolerant rapeseed conducted by Huazhong Agricultural University in collaboration with several institutes over the past two decades, such as the establishment of saline-alkali-tolerance identification system at the germination and seedling-stages, the screening of elite salt-alkali-tolerant germplasms and the release of the first batch of salt-alkali-tolerant varieties including Huayouza 62, Huayouza 158 and Siyou 2; the elucidation of multiple physiological mechanisms underlying salt-alkali tolerance from the perspectives of salt avoidance, osmotic adjustment, $Na^+$ absorption and accumulation, rhizosphere acidification. Multi-site field and positioned experiments confirmed that salt-tolerant rapeseed roots can secrete organic acids to reduce alkalinity, with a high desalination rate; the crop can also be plowed under as green manure, rapidly increasing the organic matter content of cultivated land, improving soil structure, and thereby achieving the improvement of saline-alkali soil. Adapted planting models for different saline-alkali ecological zones were summarized and established, such as amelioration of moderate-to-severe saline-alkali wasteland, cotton-rapeseed rotation, and rice-rapeseed rotation in coastal saline-alkali land of southern China, integrating multiple functions of oil, forage, vegetable, and ornamental beekeeping. Finally, countermeasures and suggestions for saline-alkali land improvement are proposed to pro-

收稿日期:2026-10-26
基金项目:国家重点研发计划(2022YFD1500500)
作者简介:傅廷栋(1938- ),男,教授,中国工程院院士,研究方向为油菜遗传育种,E-mail: futing@mail.hzau.edu.cn

vide reference for biological remediation and industrialization of salt-alkali-tolerant rapeseed in China.

**Key words:** *Brassica napus* L.; saline-alkali-tolerant germplasm; cultivar breeding; salt-tolerance mechanism; saline-alkali land improvement; cropping pattern

## 1 引言

根据联合国教科文组织与联合国粮农组织统计,全球盐碱地总面积9.5438亿公顷,我国盐碱地面积9913万公顷,占全球盐碱地总面积10%以上。我国具备开发利用潜力的盐碱地合计约3287万公顷,空间上划分为五大片区:西北地区2271万公顷(占69.10%)、东北平原378万公顷(占11.50%)、黄淮海平原294万公顷(占8.94%)、西藏高寒区193万公顷(占5.87%)、东部滨海地区151万公顷(占4.59%),不同区域盐分组成、盐碱障碍类型差异明显[1]。其中西北地区是我国盐碱资源最集中的区域,以新疆为典型代表:新疆现有耕地706.67万公顷(1.06亿)亩,盐渍化耕地占比高达46%;当地大规模推广滴灌节水技术,滴灌面积已近333.3万公顷,且仍以每年约6.67万公顷的速度持续增长。滴灌有效缓解了区域干旱缺水压力,但长期应用诱发耕地次生盐渍化,土壤盐渍化程度年均加重5%~10%;与此同时,新疆还分布有超亿亩盐碱荒地,是我国宝贵的耕地后备资源。

甘蓝型油菜(*Brassica napus* L.)适应性广,兼具油用、饲用、绿肥、菜用等多重属性。自2005年起,华中农业大学联合多家单位,针对江苏沿海滩涂及我国西北、东北、滨海等地区盐碱地作物生产受抑的问题,系统开展了耐盐碱油菜种质评价、品种选育、耐逆机理解析与盐碱地改良利用技术研究。本文对该团队20余年取得的研究进展进行系统梳理与综述,从种质筛选与品种选育、抗逆特性与耐盐碱机制、盐碱土壤改良效应、区域适配种植模式及多元化利用等方面总结已有成果,并提出对策建议,以期为我国盐碱地生物修复和耐盐碱油菜的进一步研发与推广应用提供参考。

## 2 甘蓝型油菜耐盐碱种质资源筛选与品种选育

### 2.1 油菜耐盐碱性初步发现

2005年,团队关注到江苏沿海滩涂新增大面积高盐碱地块,亟须适配的耐盐作物品种。2007年秋,我们与江苏省盐城市大丰区种植大户合作,在土壤盐碱度约0.8%的滩涂地示范种植油菜品种"华油杂7号"20公顷(300亩)。2008年4月底现场考察,发现同地块小麦几乎绝收,而油菜生长状态良好,实收产量超过1950 kg/hm$^2$(亩产130 kg),高于当年全国油菜平均产量1800 kg/hm$^2$(图1)。这一案例为后续耐盐碱油菜研究的开展提供了重要契机。

### 2.2 耐盐碱油菜鉴定体系的建立与种质筛选

自2010年起,团队系统开展了耐盐碱油菜资源筛选、耐盐机理解析与耐盐相关基因定位等研究,确定了13.5 g/L(1.35%)NaCl溶液作为区分油菜耐盐与盐敏感材料的有效鉴定浓度[3]。利用体系对138份甘蓝型油菜自交系进行耐盐性分类,结果如表1所示:耐盐型与极耐盐型材料合计占供试材料的28%,表明油菜种质整体具有较强的耐盐潜力。

针对国内缺乏油菜耐盐碱性鉴定统一评价标准、不同区域盐碱地盐分类型差异大、鉴定结果难以横向比对的难题,我们联合国内多家相关单位,制定了国内首个甘蓝型油菜耐盐碱性鉴定的农业行业标准(已报批)和地方标准(DB42/T 2403-2025)



**图1 小麦(左)和油菜(右)在江苏盐城大丰盐碱地长势比较[2]**

**Fig. 1 Growth performance of wheat (left) and rapeseed (right) in saline-alkali land in Dafeng district, Yancheng, Jiangsu Province[2]**

表1 138份甘蓝型油菜自交系在13.5 g/L NaCl浓度下的耐性分类[3]

Table 1 Salt tolerance classification of 138 B. napus inbred lines under 13.5 g/L NaCl stress

| 类型 Class | 敏感性 Susceptive | 中间型 Medium | 耐盐性 Tolerant | 极耐盐型 Extra tolerant |
|---|---|---|---|---|
| 耐盐指数 Salt tolerant index | <0.3 | 0.3-0.6 | >0.6 | >0.7 |
| 各类型份数 Numbers in the class | 18 | 81 | 23 | 16 |
| 各类型占比 Percentage in class /% | 13 | 58.7 | 16.7 | 11.6 |

注:根据叶片数耐盐指数(ST-NL)和地上部鲜重耐盐指数(ST-SFW)所做的综合评价

Note: Comprehensive evaluation based on both salt tolerance indices of leaf number (ST-NL) and shoot fresh weight (ST-SFW)

《甘蓝型油菜耐盐碱性鉴定技术规范》各一项。在此基础上,团队通过水培鉴定、表型组学解析以及内蒙古、新疆等多地盐碱地田间鉴定,从3000余份油菜种质资源中筛选获得40余份耐盐碱优异材料,为耐盐碱油菜品种选育提供了核心种源。

### 2.3 耐盐碱品种选育与多学科协同攻关

2011-2017年,团队成功选育出我国首批耐盐碱油菜品种,包括华油杂62、饲油2号、华油杂158等,为大面积田间示范提供了品种支撑。2015年,傅廷栋主持的农业农村部农业公益性行业科研专项“北方一熟区土壤培肥和合理轮作”(2015-2022)项目启动,新疆、内蒙古、甘肃、宁夏、山西、河北和黑龙江等地相关院校以及中国农业科学院、中国科学院东北地理与农业生态研究所等15家单位联合协作,汇聚育种、栽培、耕作、土壤肥料、农田生态、畜牧饲料等多学科力量协同攻关耐盐碱油菜的研究与利用。项目实施期间累计示范面积超2万公顷(30万亩),组织现场观摩会8次。2022年项目结题验收时,“耐盐碱油菜利用及盐碱地综合修复技术”被15家参与单位一致推荐为项目标志性成果,并获农业农村部验收专家组认可。

## 3 耐盐碱甘蓝型油菜的抗逆特性与耐盐碱机制

### 3.1 品种抗逆表现与盐生植物判定标准

国际通用盐生植物判定标准要求植物可在1.2% NaCl(约200 mmol/L)条件下完成从出苗至结实的完整生命周期[4,5]。水培试验表明,耐盐碱油菜可在1.0%~1.2% NaCl条件下正常生长;在pH 10、NaCl 1.0%的盐碱复合胁迫下,苗期仍可维持正常生长(图2~图4)。试验证实,华油杂62在200 mmol/L NaCl胁迫下能够完成全生育期生长并正常结实。新疆农垦科学院杨相昆2018年试验结果显示(项目合作),轻度盐胁迫(0.3% NaCl)下耐盐碱油菜鲜草产量达66 392.2 kg/hm$^2$,显著高于无盐对照(61 299.4 kg/hm$^2$),表现出盐促生长现象。上述结果表明,耐盐碱油菜品种的耐盐碱能力已接近盐生植物水平。

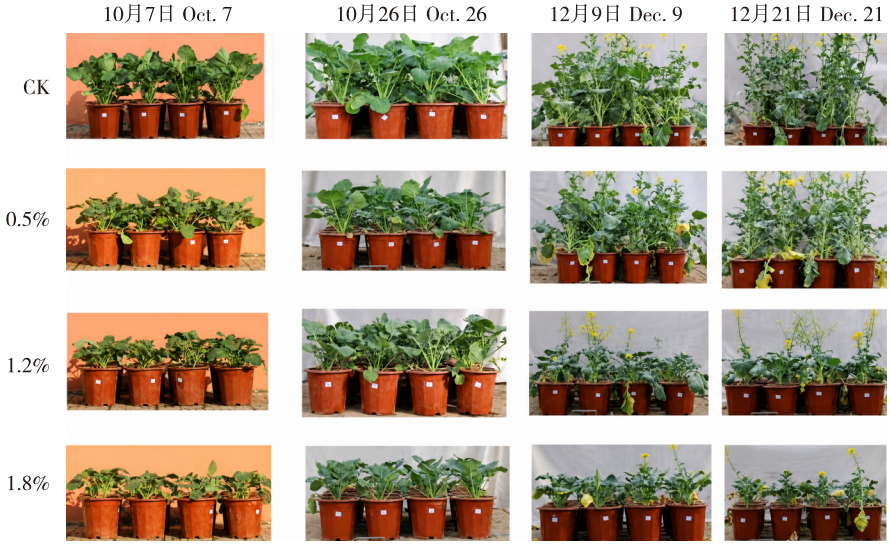



图2 华油杂62在不同NaCl浓度下的盆栽试验(新疆石河子大学张凤华团队,2018)

Fig. 2 Pot experiment of Huayouza 62 under different NaCl concentrations (by Zhang Feng-hua's team, Shihezi University, China, 2018)

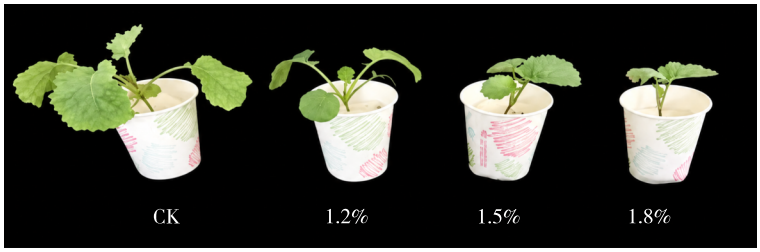
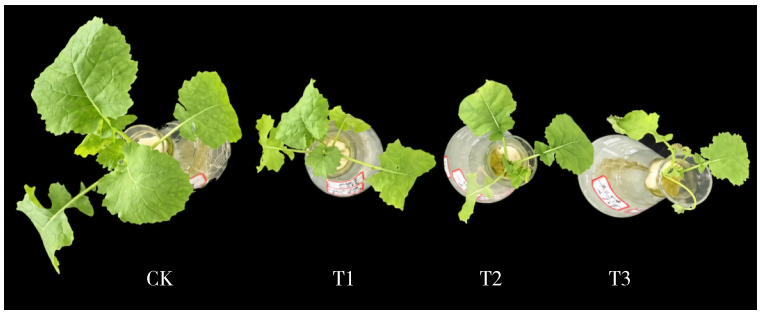



图3 华油杂62在不同盐浓度下的表现(江汉大学万何平团队,2022)

Fig. 3 Performance of Huayouza 62 under different salt concentrations (by Wan He-ping's team at Jianghan University, China)




注/Note: CK: 0.0% NaCl+0.00% $Na_2CO_3$ (pH 7.78); T1: 1.0% NaCl+0.05% $Na_2CO_3$ (pH 10.28); T2: 1.0% NaCl+0.10% $Na_2CO_3$ (pH 10.47); T3: 1.0% NaCl+0.15% $Na_2CO_3$ (pH 10.69)

图4 华油杂62在不同浓度盐碱胁迫下的生长情况[6]

Fig. 4 Growth of Huayouza 62 under salt-alkali stress at different concentrations[6]

### 3.2 西北内陆盐碱地多点试验与田间示范

在新疆、青海等地的多点田间监测结果表明,耐盐碱油菜在重盐化土、盐土及重碱化土条件下均可获得稳定的种子或鲜草产量(表2)。例如,2024年在新疆奇台吉布库pH 8.35、总盐12.31‰的重盐化土壤,华油杂158R菜籽产量达2368.5 kg/hm$^2$(亩产157.9 kg);2017年在新疆石河子pH 10.2~11.2的重碱化土地上,华油杂62播种60天鲜草产量即达48 000~67 500 kg/hm$^2$(亩产3200~4500 kg)。

### 3.3 大田作物耐盐碱能力比较

为进一步明确油菜在耐盐碱性方面的相对优势,我们在2022-2023年间选取水稻、玉米、小麦、燕麦、棉花、向日葵、大豆、高粱等作物为研究对象,每个作物选取8~10个品种(包括已报道的耐盐碱品种如海水稻、科豆35、济麦60、华油杂62等)开展耐盐性水培鉴定,结果证实甘蓝型油菜是大田作物中耐盐碱能力最强的作物之一。

### 3.4 耐盐碱生理与分子机制

油菜的耐盐碱特性由多重生理机制协同决定,主要包括以下几个方面:

(1)避盐机制。植物可调整根系生长取向规避高盐,即为避盐性[7]。*SMB*基因通过调控根尖生长素转运,介导这一避盐响应[8]。2016年,新疆石河子大学张凤华团队研究发现,盐碱胁迫下油菜株高、地上鲜重降低,但根长增加;根系可穿透表层高含盐土层,向深层土壤获取低盐水分,实现避盐(项目协作交流)。我们的研究也发现,在1.0% NaCl胁迫条件下,盐胁迫能够显著促进华油杂62幼苗主根伸长,且*BnSAUR12*发挥了重要作用[9]。

(2)渗透调节机制。高盐碱条件下,油菜体内脯氨酸、可溶性糖、甜菜碱等渗透调节物质含量分别可达对照的66倍、5倍和4倍,通过渗透调节维持细胞稳态[10]。

(3)吸盐聚钠机制。油菜地上部具有较强的钠离子富集能力。浙江苍南田间试验发现,盐碱地油菜菜薹盐分含量较高;盐碱地种植的华油杂62地上部钠离子含量分别为小麦、大豆的15.5倍和13.9倍[11],说明油菜植株可富集钠离子,减少土壤盐分。

(4)根系泌酸降碱机制。碱胁迫会诱导油菜根系启动有机酸合成与外排通路,依靠有机酸的螯合与中和作用缓解高pH带来的碱毒害,同时活化根际被固定的磷、锌等难溶矿质营养。

(5)物种起源与遗传基础。甘蓝型油菜(AACC,2n=38)由野生甘蓝(CC,2n=18,起源于地中海沿岸滨海区域)与白菜(AA,2n=20)天然杂交形成,其耐盐碱特性可能与其滨海起源的二倍体亲本有关。

(6)耐盐碱候选基因与杂种优势。团队利用全基因组关联分析(GWAS)、转录组与代谢组联合分

**表2 耐盐碱油菜在新疆和青海部分示范点的表现**

**Table 2 Performance of salt-alkali-tolerant rapeseed at demonstration sites in Xinjiang and Qinghai**

| 年份 Year | 地点 Site | pH | 总盐 Total salt /‰ | 土壤类别 Soil type | 油菜品种 Cultivar | 面积(亩) Area /mu | 菜籽或鲜草产量(千克/亩) Seeds/fresh weight /(kg/mu) | 试验单位 Institute/University |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2024 | 新疆奇台吉布库[a] Jibuku, Qitai, Xinjiang[a] | 8.35 | 12.31 | 重盐化土 Strong salinized | 华油杂158 Huayouza 158 | 56 | 菜籽157.9 Seeds: 157.9 | 新疆维吾尔自治区农业科学院 Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences |
| 2023 | 青海格尔木 Golmud, Qinghai | 8.31 | 7.38 | 中盐化土 Moderate salinized | 华油杂62 Huayouza 62 | 4 | 菜籽261.61 Seeds: 261.61 | 青海大学农林科学院 Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University |
| 2023 | 新疆克拉玛依 Karamay, Xinjiang | 7.6 | 15.38 | 重盐化土 Strong salinized | 华油杂62 Huayouza 62 | 15 | 菜籽167.6;鲜草3759.7 Seeds: 167.6; Fresh plants: 3759.7 | 新疆维吾尔自治区农业科学院 Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences |
| 2023 | 新疆甘泉堡[a] Ganquanpu, Urumqi, Xinjiang | 8.6 | 24.8 | 盐土 Salinized | 华油杂62 Huayouza 62 | 7.5 | 结角初期鲜草1688.5;成熟期菜籽50.06 Fresh plants at initial silique stage: 1688.5; Seeds after mature: 50.06 | 新疆维吾尔自治区农业科学院 Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences |
| 2023 | 新疆甘泉堡[a] Ganquanpu, Urumqi, Xinjiang[a] | 8.6 | 24.8 | 盐土 Salinized | 华油杂158R Huayouza 158R | 7.5 | 结角初期鲜草1550.0;成熟期菜籽61.37 Fresh plants at initial silique stage: 1550.0; Seeds after mature: 61.37 | 新疆维吾尔自治区农业科学院 Xinjiang Uygur Autonomous Region Academy of Agricultural Sciences |
| 2017 | 新疆石河子[b] Shihezi, Xinjiang[b] | 10.2-11.2 | 3-5 | 重碱化土 Strongly alkalized | 华油杂62 Huayouza 62 | 340 | 鲜草3200~4500 Fresh plants: 3200-4500 | 石河子大学 Shihezi University |

注:a:奇台甘泉堡试验点旁种植的向日葵、棉花枯死;b:石河子试验点7月15日播种、9月18日测产(仅生长60天),鲜草亩产量3200~4500千克

Note: a: sunflower and cotton died around the site; b: sowed on July 15, and yield measured on Sept. 18 (60 days of the whole growth period), where fresh forage yield reached 3200 to 4500 kg/mu. 1 mu = 0.667 $hm^2$

析等手段,挖掘获得*BnaGRP3*等400余个耐盐(碱)候选基因并对部分基因的功能进行了验证[12-16];我们整合包括油菜以及水稻、玉米、小麦、高粱和拟南芥等作物中已经报道的盐碱胁迫相关基因,结合505份油菜种质的重测序数据与耐盐碱表型开展候选基因关联分析,鉴定获得483个显著关联基因;同步开发947个分子标记,并联合华智生物创制了*Brassica napus* 5K cGPS液相芯片,可用于油菜种质资源的高通量基因分型和耐盐碱有利等位变异检测[17]。同时研究证实油菜耐盐碱性状存在显著杂种优势,杂交种耐盐性优于亲本,该优势主要源于双亲基因组与表观基因组的互补互作[18];不育胞质对油菜耐盐性存在负效应[19]。

## 4 耐盐碱油菜对盐碱土壤的改良效应

### 4.1 根际降碱与养分活化

盐碱胁迫下,油菜根系大量分泌有机酸,部分有机酸分泌量提升20~30倍,实现根际降碱并活化难溶性磷、锌等养分。溶液培养试验表明,将4-5叶期华油杂62幼苗置于pH 10.11(1.0% NaCl+0.1% $Na_2CO_3$)溶液体系,处理3天后体系pH降至8.87(降幅1.24),6天后降至8.70(降幅1.41),根际降碱效应明显。

### 4.2 土壤脱盐效应

2024年,新疆维吾尔自治区农业科学院油菜团队在博湖盐碱地开展的油葵与耐盐碱油菜对比试验显示,油菜收获后土壤脱盐率达39.5%,而油葵仅12.4%。油菜的脱盐优势一方面源于植株吸盐

特性,另一方面来自油菜能带来较高的地表覆盖度,可抑制盐分表聚。需要说明的是,该季节性脱盐并不代表土壤盐分的永久消除,受气候与地下水位波动影响,盐分存在表聚反弹风险。

### 4.3 绿肥翻压培肥改土

多点多年定位试验证实,耐盐碱油菜翻压绿肥可同步实现降盐、降碱与培肥改土。内蒙古农业大学与内蒙古农业科学院于2015-2019年间在盐分0.3%~0.6%的盐碱地开展麦后复种耐盐碱油菜,累计示范20余万亩。每年10月收获青饲/绿肥鲜草45~75 t/hm$^2$(亩产3~5吨),取约37.5 t/hm$^2$翻压还田后,次年耕层土壤盐分下降2.24%~9.38%,有机质提升9.2%~13.9%,碱解氮、速效磷、速效钾分别提升3.92%~11.8%、10.4%~14.8%和3.6%~18.6%。2017-2020年,石河子大学张凤华团队连续2~4年种植耐盐碱油菜并翻压绿肥,耕层有机质提升18.2%~30.7%,土壤盐分下降23.1%~46.4%,碱化度降低20%~30%,pH下降0.4~1.5。华中农业大学联合吉林白城农业科学院(2018-2021)在pH 8.5的苏打盐碱地构建燕麦(3-7月)收获后复种耐盐碱油菜模式,连续2~3年翻压油菜绿肥(鲜草产量>60 t/hm$^2$),与仅种植燕麦的对照相比,有机质提升29.43%,全氮提升25.23%,有效磷提升74.18%,速效钾提升86.17%,土壤pH由8.47(中度碱化)降至8.27(轻度碱化)。

## 5 区域适配种植模式与多元化利用

### 5.1 主要种植模式

耐盐碱油菜耐受中重度盐碱,可直接在盐碱地种植,改良盐碱土壤,为后茬作物创造良好生长条件,实现“以种适地”与“以地适种”的有机统一,目前已形成多套区域适配的种植模式。

(1)西北、东北重度盐碱荒地改良模式。该模式以连续2~3年种植耐盐碱油菜并翻压绿肥为核心进行土壤改良。2017-2021年,石河子大学张凤华团队在新疆大泉沟重度盐碱荒地(pH 9.4,总盐10.3 g/kg)连续种植油菜2年并翻压绿肥,2019-2021年改种棉花,亩产可达300~450 kg,成功将千余亩盐碱荒地改造为中等质量棉田。

(2)中重度盐碱耕地秋闲复种模式。小麦、燕麦、鲜食/饲料玉米等早熟作物7-8月上旬收获后至10月下旬封冻前存在2~3个月秋闲窗口期,此时播种耐盐碱油菜,10月翻压作绿肥再播冬小麦,不影响粮食生产。我们在新疆伊犁巩留县开展了140亩盐碱耕地(pH 8.7~9.6,总盐>11‰)的改良示范:2025年7月小麦收获(亩产249 kg)后复种油菜,10月1日收获鲜草(亩产2456.79 kg)并翻压作绿肥,10月11日播种冬小麦,2026年6月小麦测产亩产达358.11千克,较上年同地块增产43.6%,较同区域未复种油菜绿肥地块增产40%以上。在东北哈尔滨阿城区,8月初鲜食玉米收获后无人机播撒油菜,10月下旬翻压作绿肥每亩鲜草2000~3000千克,下茬鲜食玉米化肥投入减少,品质提升。

(3)其他区域适配模式。新疆轻中度盐碱棉田采用“小麦+复种饲料/绿肥油菜”轮作一年后再恢复棉花连作,以减缓土壤盐渍化;中重度盐碱新垦果园套种耐盐碱油菜,翻压绿肥同步改良盐碱、培肥果园土壤;南方滨海盐碱区可构建“水稻—耐盐碱油菜(收籽、绿肥或饲用)”一年两熟或“稻-稻-油”一年三熟模式,实现盐碱地利用与改良。

### 5.2 多功能开发

耐盐碱油菜兼具多重产出功能。北方麦收后7月下旬至8月初复种油菜,9月可采收菜薹作为蔬菜上市,每亩采薹300~500 kg,产值600~1000元;10月可发展观光文旅与蜂产业;10月中下旬可旋耕打碎翻压还田作绿肥,或收割制作青贮饲料。

### 5.3 饲用油菜品质与农牧循环

耐盐碱油菜饲用价值突出。轻度、中度盐碱地青饲料产量可达4吨/亩,重度盐碱地亦可稳定在2吨/亩以上。饲用油菜营养丰富,与精液生成相关的精氨酸、赖氨酸、组氨酸及B族维生素含量显著高于胡萝卜,钙、锌含量较黑麦草高出3~4倍,且含糖量高、适口性佳。湖北畜牧良种中心、白城畜牧研究院、长春新牧公牛场等试验证实,饲喂油菜后公牛和公羊精液量提升12%~33%,有利于推动农牧循环发展。

### 5.4 特色大田作物的综合优势

耐盐碱油菜兼具耐盐碱性强、投入成本低、耐低温、生长速度快、生物量大、地表覆盖度高等优势。在北方秋闲地7月底至8月上旬播种,低温条件下其他绿肥、饲料作物产量很低,而油菜10月中旬每亩即可收获鲜草3~5吨。翻压绿肥或饲草过腹还田可快速提升土壤有机质,兼顾生态改良与经济产出,是盐碱地资源化利用与改良极具特色的大田作物。

## 6 讨论与建议

从当前生产实际看,盐碱地改良可分为现有盐

碱耕地产能提升和盐碱荒地后备资源开发两类。现有盐碱耕地改良投入少、覆盖面积大、见效快,应作为现阶段的工作重点;盐碱荒地治理则需要持续开展科研攻关与示范,同时也为中亚等“一带一路”共建国家的盐碱地治理提供可借鉴的技术方案。基于20余年的研究实践,我们提出以下对策建议:

(1)建立差异化投入机制。盐碱荒地改良应以国家投入为主,并出台配套政策引导民营资本参与。可参考部分农垦农场“企业出资改良、前三年免收土地租金、后续享有15-17年经营权”的政企双赢模式;盐碱耕地改良以经营主体投入为主、政府予以政策扶持,例如将种植耐盐碱油菜、田菁等绿肥改良盐碱地纳入绿肥补贴范围(每亩补贴200~300元),调动农户积极性,助力“藏粮于地”战略落地。

(2)因地制宜集成改良技术。地下水水位高、排水不畅的区域宜采用工程措施(开挖深沟、铺设暗管);东北与南方水源充沛区域可采用以水洗盐结合水稻种植的措施;各类生物修复方案中,轮作、套作等农艺生物手段在缺水地区实用性更强。应充分发挥工程、农艺、生物措施协同改良的优势。

(3)建设竞赛式盐碱地示范区。依托国家项目支持,在不同盐碱类型区域采用“揭榜挂帅”机制,建设若干千亩以上、产学研融合的示范片区,对比评价各类改良技术方案成效,筛选最优方案,推动盐碱地改良与资源化利用。

(4)搭建耐盐碱作物公共鉴定平台。建议按生态分区搭建2~3个国家级耐盐碱作物公共检测平台,各单位培育的耐盐碱作物品种统一送至平台开展室内耐盐性鉴定,为品种的审定、示范与推广提供标准化评价依据。

总体来看,耐盐碱甘蓝型油菜在种质创新、抗逆机制解析、盐碱地改良效应和区域适配栽培模式等方面已积累了丰富成果,具有广阔的应用前景。未来应进一步深化耐盐碱分子调控网络解析、耐盐与产量协同改良以及不同盐碱类型区的标准化栽培技术研究,推动耐盐碱油菜在我国盐碱地综合利用中发挥更大作用。

**参考文献:**


[1] 冯起, 尹鑫卫, 朱猛, 等. 统筹推进西北地区盐碱地综合治理利用:现状、挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(12): 2060-2073. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240702002.

[2] 汪波, 文静, 张凤华, 等. 耐盐碱油菜品种选育及修复利用盐碱地研究进展[J]. 科技导报, 2021, 39(23): 59-64.

[3] 万何平. 甘蓝型油菜苗期耐盐相关性状的全基因组关联分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.

[4] 王宝山. 逆境植物生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.

[5] Flowers T J, Colmer T D. Salinity tolerance in halophytes [J]. New Phytol, 2008, 179(4): 945-963. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x.

[6] 万何平, 余忆, 陈敬东, 等. 甘蓝型油菜耐盐碱性快速鉴定方法与应用[J]. 中国油料作物学报, 2023, 45(4): 776-784. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2022150.

[7] Galvan-Ampudia C S, Julkowska M M, Darwish E, et al. Halotropism is a response of plant roots to avoid a saline environment[J]. Curr Biol, 2013, 23(20): 2044-2050. DOI:10.1016/j.cub.2013.08.042.

[8] Zheng L L, Hu Y F, Yang T Z, et al. A root cap-localized NAC transcription factor controls root halotropic response to salt stress in *Arabidopsis*[J]. Nat Commun, 2024, 15(1): 2061. DOI: 10.1038/s41467-024-46482-7.

[9] Li O Q, Zou M, Hou X F, et al. BnaGRP3 mediates salt tolerance *via* $Na^+/K^+$ homeostasis and BnaPIPs interactions in *Brassica napus*[J]. J Adv Res, 2026, 88: 61-75. DOI:10.1016/j.jare.2026.01.018.

[10] 李班, 吕莹, 杨明煊, 等. 盐碱胁迫对甘蓝型油菜生理及分子机制的影响[J]. 华北农学报, 2022, 37(3): 86-93. DOI:10.7668/hbnxb.20192719.

[11] 王旺年, 葛均筑, 杨海昌, 等. 大田作物在不同盐碱地的饲料价值评价[J]. 作物学报, 2022, 48(6): 1451-1462. DOI:10.3724/SP.J.1006.2022.14051.

[12] Wan H P, Chen L L, Guo J B, et al. Genome-wide association study reveals the genetic architecture underlying salt tolerance-related traits in rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Front Plant Sci, 2017, 8: 593. DOI: 10.3389/fpls.2017.00593.

[13] Wan H P, Qian J L, Zhang H, et al. Combined transcriptomics and metabolomics analysis reveals the molecular mechanism of salt tolerance of Huayouza 62, an elite cultivar in rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(3): 1279. DOI: 10.3390/ijms23031279.

[14] Zhang G F, Peng Y, Zhou J Z, et al. Genome-wide association studies of salt-alkali tolerance at seedling and mature stages in *Brassica napus*[J]. Front Plant Sci, 2022, 13: 857149. DOI:10.3389/fpls.2022.857149.

[15] Zhang H, Wang S S, Li O Q, et al. Genome-wide identification of alcohol dehydrogenase (ADH) gene family in oilseed rape (*Brassica napus* L.) and BnADH36 function-

al verification under salt stress[J]. BMC Plant Biol, 2024, 24(1): 1013. DOI: 10.1186/s12870-024-05716-y.

[16] Li O Q, Zhao J W, Wang S Q, et al. Salt stress responses of *Brassica napus* roots and functional characterization of BnSAUR12 in salt tolerance[J]. Plant Sci, 2027, 374: 113521. DOI:10.1016/j.plantsci.2026.113521.

[17] Hou X F, Liu F R, Li O Q, et al. Development of molecular markers associated with saline-alkali tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.)[J]. Theor Appl Genet, 2026, 139(10): 264. DOI: 10.1007/s00122-026-05376-6.

[18] Chen J L, Zhang M Y, Zhang Q, et al. Hybrid epigenome unveils parental genetic divergence shaping salt-tolerant heterosis in *Brassica napus*[J]. New Phytol, 2025, 248(3): 1475-1490. DOI:10.1111/nph.70532.

[19] Ge X Y, Hou X F, Cui X Y, et al. Mitochondrial variation underlying cytoplasmic male sterility reduces stress tolerance in *Brassica napus*[J]. J Integr Agric, 2026. DOI:10.1016/j.jia.2026.10.012.

(责任编辑:王丽芳)