中国油料作物学报
Chinese Journal of Oil Crop Sciences
2026,48(4):119-133
doi:10.19802/j.issn.1007-9084.2026011

油菜发芽期耐渍性与渍害下产量性状的关系分析

马伍慧[1],罗丽娅[1],杨龙[1],程勇[2],许本波[1],徐劲松[1*],张学昆[1*]
(1.长江大学农学院,湖北 荆州,434025;
2.中国农业科学院油料作物研究所,湖北 武汉,430062)

摘要:长江流域是我国油菜核心产区,阴雨渍害频发,严重制约油菜生产。为加强品种早期选择的准确性,为耐渍品种快速筛选提供支撑,本文分析了油菜种质资源耐渍性状的遗传多样性,以及发芽期耐渍性与渍害后产量的关系,选取42个推广面积较大的冬油菜品种,于2020年(阴雨渍害)、2021年(正常降雨)秋季进行播种,成熟后,系统调查各品种产量及农艺性状,同步开展室内发芽耐渍性试验。通过描述性分析、聚类分析综合评价油菜发芽耐渍性的遗传多样性,通过线性回归、通径分析探究油菜发芽耐渍性与渍害后产量的关系。耐渍性状的变异系数分布为6%~55.03%,其中,根长指数、活力指数和下胚轴指数的变异系数较高,分别是55.03%、28.39%和23.45%;通过聚类分析可将42个品种划分为4类,其中Ⅰ型具有较高的下胚轴指数和鲜重指数,Ⅱ型品种具有高存活率的特性,Ⅲ型具有高根长指数,Ⅳ型发芽期各性状不突出。下胚轴指数对渍害胁迫下的产量具有极显著的相关性,相比其他指标,其预测的准确性最高。通径分析显示,阴雨渍害下,鲜重指数、下胚轴指数通过影响收获密度,进而影响产量,存活率通过单株有效角果数间接作用于产量。42份油菜种质具有丰富的表型遗传变异及多样性,可聚为4个不同的类群,下胚轴指数可作为耐渍性评价的核心指标,用于预测渍害胁迫下油菜的实际产量。

关键词:油菜;渍害;发芽期耐渍性;产量
中图分类号: S565.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号:**1007-9084(2026)04-0119-15

Relationship between waterlogging tolerance indexes and yield traits at rapeseed germination stage under waterlogging stress

MA Wu-hui[1], LUO Li-ya[1], YANG Long[1], CHENG Yong[2], XU Ben-bo[1], XU Jin-song[1*], ZHANG Xue-kun[1*]
(1. *College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou* 434025, *China*; 2. *Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan* 430062, *China*)

Abstract: The Yangtze River Basin is the core rapeseed-producing region in China. Frequent rain in the season severely restricts rape production. To improve the accuracy of early selection for rapeseed varieties, the study reports diversity of waterlogging tolerance traits in rapeseed germplasm resources, and relationship between waterlogging tolerance at germination stage and yield after waterlogging stress. Forty-two widely popularized winter rapeseed varieties were sown in autumn of 2020 (waterlogging) and 2021 (normal rainfall). Yield and agronomic traits of each variety were systematically investigated at maturity, and indoor waterlogging tolerance tests at germination stage were conducted simultaneously. Descriptive analysis and cluster analysis were used to comprehensively evaluate the diversity of waterlogging tolerance at germination stage, and linear regression and path analysis were applied to explore the relationship between waterlogging tolerance and yield. The coefficient of variation of waterlogging tolerance traits ranged from 6% to 55.03%, among which CVs of root length index, vigor index and hypocotyl index were relatively high, being 55.03%, 28.39% and 23.45%, respectively. The 42 varieties could be divided into 4 clusters: Cluster Ⅰ showed higher stem index and fresh weight index, Cluster Ⅱ was characterized by high survival rate, Cluster Ⅲ had high root length index, and all traits of Cluster Ⅳ were not prominent. Stem length index had an

收稿日期:2026-01-10
基金项目:农业生物育种重大科技专项(2023ZD04042)
作者简介:马伍慧(2001-),男,硕士研究生,主要从事油菜遗传育种研究,E-mail: 2561270886@qq.com
* 通讯作者:徐劲松(1982-),男,博士,副教授,主要从事油菜遗传育种研究,E-mail: xujinsong@yangtzeu.edu.cn;
张学昆(1968-),男,博士,教授,主要从事油菜遗传育种研究,E-mail: zhang.xk@139.com

extremely significant correlation with yield under waterlogging stress, and its prediction accuracy was the highest compared with other indices. Path analysis showed that under waterlogging stress, fresh weight index and stem length index affected yield by influencing harvest density, while survival rate exerted indirect effect on yield via effective silique number per plant. The 42 rapeseed accessions are revealed to have abundant phenotypic genetic variation and diversity. They are clustered into 4 distinct groups, and stem length index could be used as a core indicator for evaluating waterlogging tolerance, which is suitable for predicting the actual yield of rapeseed under waterlogging stress. The relationships between different waterlogging tolerance indices at germination stage and key agronomic traits were clarified, which could feciliate rapid screening of waterlogging-tolerant varieties.

Key words: rapeseed; waterlogging; germination stage waterlogging tolerance; yield

近年来,我国食用植物油自给率严重不足,进口依存度一直处于较高水平[1]。油菜是我国第一大油料作物,种植面积约700万公顷,产油量占我国油料作物自产食用植物油总量的55%以上,因此进一步提高油菜单产水平,扩大种植面积,降低生产成本,实现油菜高质量发展,对维护国家食用油供给安全具有重要的战略意义[2,3]。长江流域是我国油菜主要种植区域,该区域常年湿润多雨且实行水稻-油菜轮作制度,土壤黏重、透气性差,极易产生渍害[4]。研究表明,渍水可导致油菜株高、根颈粗、绿叶数、叶面积等性状值显著降低,一次和二次有效分枝数减少,单株角果数和每角粒数大幅下降[5,6]。渍害还会造成其他次生灾害发生,如苗势弱,抵御其他逆境的能力降低,有利于病菌繁殖和传播,引起病害(根腐、茎腐、霜霉病、菌核病等)、杂草等发生和蔓延,最终严重影响油菜单产[7]。陈于婷[8]等对近10年气象因子分析发现,苗期、花期和成熟期的降水量与油菜产量密切相关,降水量偏多年份出现概率达30%,可导致当年油菜产量比常年平均产量下降10%,是影响油菜产量最频繁和最严重的气象灾害。相比正常气候年份,油菜播种期阴雨渍害影响最大。何泽威[9]等分析发现,2021年秋季播种期阴雨渍害导致长江中游地区比上年度减产高达20%。播种期田间渍害也导致播种期推迟,油菜冬前有效生长积温减少,秋冬季发育缓慢,产量难以提高[10]。

油菜发芽期耐渍性具有丰富的遗传变异[4]。Li等[11]发现油菜胚根伸长期渍害显著降低幼苗出苗率,渍水5 d以上还会导致幼苗干物质量降低。王琼等[12]表明油菜苗期渍害发生后,根系会提高自身抗氧化酶活性,维持根系正常生长;但随着渍水时间延长,根系生长受抑制,根生物量显著降低最终导致油菜植株死亡。Leul等[13]发现油菜五叶期渍水3周会导致油菜苗期茎长、茎宽显著降低。前人发现渍害对表型特征有影响,阐述了发芽期耐渍性与产量耐渍性的关联性。Zou等[14]发现根部对淹水非常敏感,发芽期根长的耐渍指数与现蕾期模拟渍害胁迫下的产量呈极显著正相关。高建芹等[15]发现发芽期渍害下,油菜发芽期种子发芽率好、相对茎长和根长较大的油菜品种产量耐渍性指标高。张学昆等[5]阐述了发芽种子耐湿活力指数与花期田间湿害后产量性状的耐湿指标具有显著或极显著的相关关系。但油菜发芽期的根系、存活率、茎长和鲜重的耐渍性在产量形成中扮演什么角色,尚无明确报道。本研究收集42个长江中游高产优质油菜品种,利用室内发芽期耐渍性鉴定和自然阴雨渍害年份田间产量性状,分析油菜品种耐渍性与实际产量性状的多样性以及相互间的关系,以期明确与渍害胁迫下产量紧密相关的耐渍关键性状,为加强油菜耐渍抗性育种、提高早期选择的准确性提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

当前在生产上推广面积较大的42个甘蓝型半冬性油菜品种,其来源与相关信息见表1。所有品种均具备双低品质。

1.2 方法

1.2.1 *油菜发芽期耐渍性鉴定* 选取饱满种子置于放有滤纸的培养皿中,置于恒温培养箱内在25℃萌发36 h,参照《油菜耐渍性鉴定技术规程》[16]选取50粒正常发芽的种子(胚根长度2~5 mm)于10 mL离心管中25℃进行密闭水淹缺氧处理12 h,对照组正常选取50粒发芽种子继续于培养皿中生长。缺氧处理种子用蒸馏水冲洗2次后,再次置于与对照组相同的恒温培养箱内继续发芽5 d。5 d后统计存活幼苗数和成苗率;选取代表性10株幼苗测量根长、下胚轴长和鲜重,试验重复3次。按照如下公式计

表1　42个油菜品种来源及类型

Table 1　Sources and types of 42 rapeseed (*Brassica napus* L.) varieties

名称 Variety	来源 Parentage	育种单位 Breeder	品种类型 Type
沣油737 Fengyou 737	湘5A×6150R Xiang 5A×6150R	湖南省作物研究所 Hunan Crop Research Institute	甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter CMS three-line hybrid
中油杂200 Zhongyouza 200	86A×P028	中国农业科学院油料作物研究所 武汉中油种业科技有限公司 Oil Crops Research Institute, CAAS Wuhan Zhongyou Seed Industry Technology Co., Ltd.	甘蓝型半冬性杂交种 Semi-winter hybrid
华油杂705 Huayouza 705	T36A×BRS201R	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型半冬性萝卜细胞质雄性不育 Semi-winter Ogura CMS
中双11号 Zhongshuang 11	（中双9号/2F10）//26102 （Zhongshuang9/2F10）//26102	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute, CAAS	甘蓝型半冬性常规油菜品种 Semi-winter variety
宁杂1838 Ningza 1838	096030×096033	江苏省农业科学院 Jiangsu Academy of Agricultural Sciences	甘蓝型半冬性化学诱导雄性不育两系杂交品种 Semi-winter CGMS two-line hybrid
利油杂1号 Liyouza 1	947A×450RDH	湖北利众种业科技有限公司 Hubei Lizhong Seed Technology Co., Ltd.	甘蓝型春性细胞质雄性不育三系双低杂交油菜品种 Spring CMS three-line double-low hybrid
华油2129 Huayou 2129	H05A×甲F31 H05A×Jia F31	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型半冬性杂交油菜品种 Semi-winter hybrid
中油杂19 Zhongyouza 19	中双11×zy293 Zhongshuang 11×zy293	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute, CAAS	甘蓝型半冬性化学诱导雄性不育两系杂交种 Semi-winter CGMS two-line hybrid
德油杂12 Deyouza 12	956a×R528	什邡市皂角农科院 陕西省秦丰农业营销网络有限公司汉中分公司 Shifang Zaojiao Academy of Agricultural Sciences Hanzhong Branch, Shaanxi Qinfeng Agri-marketing Network Co., Ltd.	甘蓝型半冬性隐性雄性核不育两系杂交品种 Semi-winter recessive GMS two-line hybrid
圣光86 Shengguang 86	206A×L-135	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型半冬性温敏型波里马细胞质雄性不育两系杂交种 Semi-winter TCMS Polima two-line hybrid
黔油29号 Qianyou 29	Q6-18A×6-18C	贵州省农业科学院油菜研究所 Rape Research Institute of GAAS（Guizhou Academy of Agricultural Sciences）	甘蓝型半冬性中晚熟隐性核不育两系杂交油菜 Semi-winter medium-late maturing recessive GMS two-line hybrid
华油杂50 Huayouza 50	RG430A×J6-57R	华中农业大学 Huazhong Agricultural University 武汉联农种业科技有限公司 Wuhan Liannong Seed Technology Co., Ltd.	甘蓝型半冬性细胞核雄性不育三系杂交种 Semi-winter GMS three-line hybrid
大地199 Dadi 199	中双11CA×R11 Zhongshuang 11CA×R11	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute, CAAS 武汉中油科技新产业有限公司 Wuhan Zhongyou Tech & Industry Co., Ltd. 武汉中油大地希望种业有限公司 Wuhan Zhongyou Dadi Hope Seed Co., Ltd.	甘蓝型半冬性油菜杂交种 Semi-winter hybrid
绵新油19 Mianxinyou 19	4655A×42R	贵州省农业科学院油菜研究所 Rape Research Institute of GAAS 四川新丰种业有限公司 Sichuan Xinfeng Seed Co., Ltd.	甘蓝型半冬性杂交种 Semi-winter hybrid

续表

名称 Variety	来源 Parentage	育种单位 Breeder	品种类型 Type
华油杂72 Huayouza 72	749AB×119R	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型半冬性核不育杂交种 Semi-winter GMS hybrid
华油杂62R Huayouza 62R	2063A×05-P71-2R	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型油菜半冬性波里马细胞质雄性不育系杂交种 Semi-winter Polima CMS hybrid
华油杂13号 Huayouza 13	195A×7-6	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型半冬性温敏型波里马细胞质不育两系杂交种 Semi-winter Polima TCMS hybrid
圣光87 Shengguang 87	8087A×6105	华中农业大学 Huazhong Agricultural University 武汉联农种业科技有限责任公司 Wuhan Liannong Seed Technology Co., Ltd.	甘蓝型半冬性偏春性温敏型波里马细胞质雄性不育两系杂交种 Semi-winter partial spring TCMS Polima two-line hybrid
圣光128 Shengguang 128	616A×621R	华中农业大学 Huazhong Agricultural University 武汉联农种业科技有限责任公司 Wuhan Liannong Seed Technology Co., Ltd.	甘蓝型半冬性温度敏感型细胞质雄性不育两系杂交种 Semi-winter TCMS two-line hybrid
华油杂137 Huayouza 137	616A×6105R	华中农业大学 Huazhong Agricultural University 武汉联农种业科技有限公司 Wuhan Liannong Seed Technology Co., Ltd.	甘蓝型半冬性偏春性杂交种 Semi-winter partial spring hybrid
秦优9号 Qinyou 9	3026A×2034C	咸阳市农业科学院 Xianyang Academy of Agricultural Sciences	甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter CMS three-line hybrid
德新油88 Dexinyou 88	E17AB×18R	四川同路农业科技有限责任公司 Sichuan Tonglu Agricultural Technology Co., Ltd.	甘蓝型半冬性杂交种 Semi-winter hybrid
中油115 Zhongyou 115	01A×53238	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute, CAAS	甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter CMS three-line hybrid
汉油301 Hanyou 301	华23AB×华油07 Hua 23AB×Huayou 07	湖北华之夏种子有限公司 Hubei Huazhixia Seed Co., Ltd.	甘蓝型半冬性油菜杂交种 Semi-winter hybrid
蓉油16 Rongyou 16	蓉A0068×蓉C1118 Rong A0068×Rong C1118	成都市农林科学院作物研究所 Crop Research Institute, Chengdu Academy of Agriculture And Forestry Sciences	甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter CMS three-line hybrid
阳光2009 Yangguang 2009	中双6号×X22 Zhongshuang 6×X22	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute, CAAS	甘蓝型半冬性常规种 Semi-winter variety
油研585 Youyan 585	5824A×G5R	贵州省农业科学院油菜研究所 Rape Research Institute of GAAS	甘蓝型半冬性杂交种 Semi-winter hybrid
沣油679 Fengyou 679	20A×ZHR2	湖南省作物研究所 Hunan Crop Research Institute	甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter CMS three-line hybrid
赣油杂6号 Ganyouza 6	G5034AB×浙油5002 G5034AB×Zheyou 5002	江苏省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences	甘蓝型半冬性油菜隐性核不育两系杂交种 Semi-winter recessive GMS two-line hybrid

续表

名称 Variety	来源 Parentage	育种单位 Breeder	品种类型 Type
中双12号 Zhongshuang 12	（中双6号/50368）×50289 （Zhongshuang 6/50368）×50289	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute，CAAS	甘蓝型半冬性常规种 Semi-winter variety
阳光80 Yangguang 80	中双11A×C6603 Zhongshuang 11A×C6603	武汉中油阳光时代种业科技有限公司 Wuhan Zhongyou Yangguang Shidai Seed Technology Co.，Ltd.	甘蓝型半冬性杂交种 Semi-winter hybrid
庆油1号 Qingyou 1	0991×0802	重庆中一种业有限公司 Chongqing Zhongyi Seed Co.，Ltd.	甘蓝型半冬性化学诱导两系杂交种 Semi-winter CGMS two-line hybrid
川油36 Chuanyou 36	JA40×JR9	四川省农业科学院作物研究所 Crop Research Institute，Sichuan Academy of Agricultural Sciences	甘蓝型油菜半冬性细胞质雄性不育双低三系中熟杂交种 Semi-winter double-low CMS three-line medium-maturing hybrid
中油36 Zhongyou 36	36A×P7047	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute，CAAS	甘蓝型半冬性中早熟细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter medium-early CMS three-line hybrid
油研50 Youyan 50	7274A×6215R	贵州省油菜研究所 Guizhou Rapeseed Institute	半冬性中熟隐性核不育两系类型 Semi-winter medium-maturing recessive GMS two-line type
阳光50 Yangguang 50	浙油5002A×G5034B Zheyou 5002A×G5034B	江西省农业科学院作物研究所 武汉中油阳光时代种业科技有限公司 Crop Research Institute，Jiangxi Academy of Agricultural Sciences Wuhan Zhongyou Yangguang Shidai Seed Technology Co.，Ltd.	甘蓝型半冬性化学诱导不育两系杂交油菜品种 Semi-winter CGMS two-line hybrid
陕油0913 Shaanyou 0913	Z9A×Z716C	西北农林科技大学 Northwest A&F University	甘蓝型半冬性细胞质雄性不育三系杂交种 Semi-winter CMS three-line hybrid
绵新油58 Mianxinyou 58	036AB×38C	绵阳市新宇生物科学研究院 Mianyang Xinyu Bioscience Research Institute	甘蓝型半冬性双低核不育两系杂交种 Semi-winter double-low GMS two-line hybrid
中油80 Zhongyou 80	YG11A×C3067	中国农业科学院油料作物研究所 Oil Crops Research Institute，CAAS	甘蓝型半冬性中熟高油酸杂交种 Semi-winter medium-maturing high oleic acid hybrid
浙油50 Zheyou 50	沪油15/浙双6号 Huyou 15/Zheshuang 6	浙江省农业科学院 Zhejiang Academy of Agricultural Sciences	甘蓝型半冬性常规油菜Semi-winter variety
南油646 Nanyou 646	南A6×46R Nan A6×46R	南充市农业科学院 Nanchong Academy of Agricultural Sciences	甘蓝型半冬性杂交种Semi-winter hybrid
华油杂12 Huayouza 12	195A×7-5	华中农业大学 Huazhong Agricultural University	甘蓝型半冬性两系杂交种Semi-winter two-line hybrid

算各指标：

根长指数= 处理根长/对照根长

下胚轴指数= 处理下胚轴长/对照下胚轴长

鲜重指数= 处理鲜重/对照鲜重

存活率= 处理成苗率/对照成苗率

活力指数=（处理成苗率×处理下胚轴长）/（对照成苗率×对照下胚轴长）

根据本文耐渍指数分布情况，参考卢长明[17]的存活率、《油菜耐渍性鉴定技术规程》[14]的根长指数、张学昆[18]的活力指数等的分类标准，产量、下胚轴指数、鲜重指数按指标值大小（前20%为强耐渍品种，中间60%为中等耐渍品种，后20%为不耐渍品种）进行分类，将42个品种分为强耐渍、中等耐渍、不耐渍品种，判定指标如下（表2）。

1.2.2 田间种植 本试验于长江大学农学院试验基地（湖北荆州）进行。供试油菜品种于2020年9月28日播种后，根据当年秋季播种期自然降水偏多情况，作为自然阴雨渍害胁迫。2020年10月1日起自然阴雨渍害，到10月22日结束。期间降雨日数达11 d，降水量累计达145 mm，比常年同期增加262%，降水导致土壤约10 d处于水分饱和状态，油菜发芽期和幼苗期土壤相对含水量＞90%，形成渍害。2021年随机选择华油杂12等12个品种进行产量试验，其同期降水比2020年秋季显著降低，全生育期无渍害和冻害发生。

田间种植畦面宽2 m，畦沟宽20 cm，采取随机区组设计，3次重复，小区面积20 m^2，种植行距为30 cm，株距为5 cm，种植密度为30万株/hm^2，均采用直播方式播种。土壤质地为砂质壤土，pH 8.19，有机质含量14.79 g/kg，碱解氮42.8 mg/kg，速效钾75.7 mg/kg，速效磷17.3 mg/kg，前作为大豆。试验田每亩施用基肥N-P_2O_5-K_2O肥750 kg/hm^2，抽薹期追施尿素105 kg/hm^2，田间保持三沟配套，确保降水及时排除，厢面无积水，其他管理技术与当地大田栽培措施相同。全生育期对虫害进行及时防治，对病害不防控，油菜八成黄熟时采用人工割晒后分段收获。

1.2.3 产量和农艺性状 油菜成熟后各小区随机取10株进行考种，考察单株角果数、每角粒数、千粒重、株高、单株产量、菌核病发病率、含油量、收获密度等。油菜成熟后全区收获、脱粒，分小区单收、单晒、单计产。其中：

与实际性状的偏差率=（耐渍性指标判定的性状值-实际性状值）/实际性状值

与实际产量的偏差率=（耐渍性指标判定的产量-实际产量）/实际产量

1.2.4 气象数据 气象数据采用美国国家海洋和大气管理局（NOAA）国家环境信息中心网站（NCEI，NOAA-National Centers for Environmental Information，https://www.ncei.noaa.gov/）的气象数据。

荆州地区油菜生长季节总降水量年度间存在显著差异（图1）。荆州地区2020/2021年度生育期总降水量564.9 mm，较2021/2022年度463.78 mm多101.12 mm。2020/2021油菜生育期降水量整体表现为"前期降雨偏多、中后期减少"的变化特征。2020/2021年度生育期日平均气温为11.65℃，比2021/2022年度11.97℃降低了0.32℃，整体表现为“前后期偏低，中期偏高”。

1.2.5 数据统计及分析 采用Microsoft Excel 2021进行原始数据录入、计算和整理，利用SPSS 29.0数据处理系统进行线性回归、通径分析等，利用origin进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 油菜发芽期与田间产量的耐渍性遗传多样性分析

42个甘蓝型油菜种质资源的耐渍相关性状和变异见表3。除含油量与对照成苗率外，其他耐渍相关性状都存在较为广泛的遗传变异，变异系数介于6%~55.03%之间，未出现极端低变异（如CV<5%）或异常高变异（如CV>100%）的情况，均可用于

表2 油菜耐渍指标品种区分标准

Table 2 Criteria for distinguishing rapeseed varieties based on waterlogging tolerance indicators

	根长指数 Root length index	下胚轴指数 Stem length index	鲜重指数 Fresh weight index	存活率 Survivor rate index	活力指数 Vigor index	产量 Yield /(kg/hm^2)
不耐渍品种 Sensitive variety	X≤0.2	X≤0.55	X≤0.6	X≤0.75	X≤0.5	X≤2170
中等耐渍品种 Moderately tolerant variety	0.2＜X≤0.5	0.55＜X≤0.9	0.6＜X≤0.85	0.75＜X≤0.95	0.5＜X≤0.8	2170＜X≤2970
强耐渍品种 Tolerant variety	X＞0.5	X＞0.9	X＞0.85	X＞0.95	X＞0.8	X＞2970

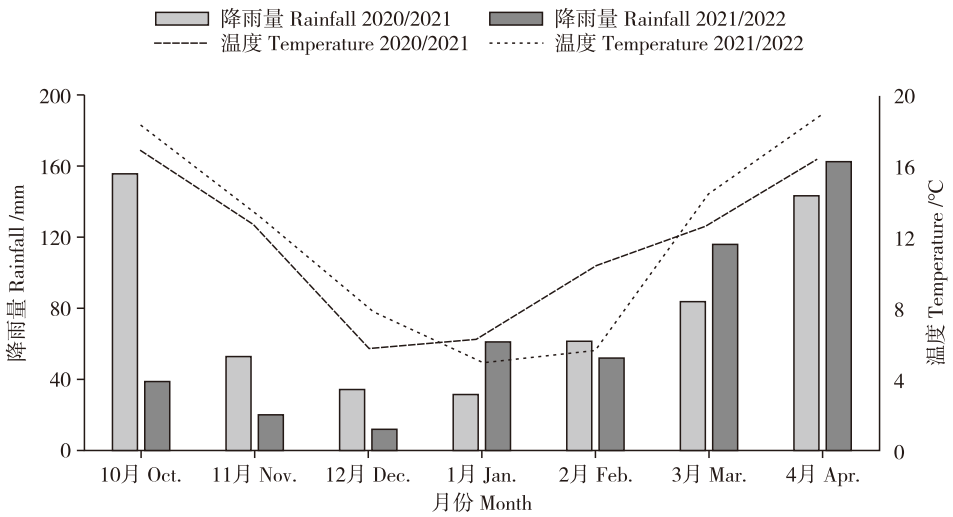


图1 两年度油菜生育期各月份降雨量、温度

Fig. 1 Monthly rainfall and temperature during the rapeseed growth period over two years

表3 42个油菜品种耐渍性相关性状的遗传变异及相关性

Table 3 Genetic variation and correlation of waterlogging tolerance traits in 42 rapeseed varieties

耐渍相关性状 Waterlogging trait	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	标准差 SD	极差 Range	变异系数 CV /%	与渍害下产量相关系数 Correlation coefficient with waterlogging yield
根长指数 Root length index	0.06	1.02	0.41	0.22	0.96	55.03	0.138
下胚轴指数 Stem length index	0.39	1.08	0.73	0.17	0.69	23.45	0.495**
鲜重指数 Fresh weight index	0.43	0.99	0.74	0.14	0.56	18.46	0.405**
存活率 Survivor rate index	0.46	1.00	0.91	0.13	0.54	14.82	−0.081
活力指数 Vigor index	0.32	1.07	0.66	0.19	0.75	28.39	0.394**
产量 Yield /(kg/hm^2)	1846.60	3408.90	2623.50	395.70	1562.30	15.08	1.000**
株高 Plant height /cm	152.70	195.90	174.64	10.47	43.20	6.00	0.259
分枝部位 Branching position /cm	60.90	104.20	82.98	8.96	43.30	10.80	0.206
有效分枝数 Number of effective branches	4.90	7.80	6.39	0.75	2.90	11.68	0.216
单株有效角果数 Number of effective siliques per plant	121.20	288.50	184.98	35.31	167.30	19.09	0.152
每角粒数 Seed number per silique	18.60	22.40	20.65	0.98	3.80	4.77	0.143
千粒重 Weight of 1000 seeds /g	3.45	5.17	4.06	0.38	1.72	9.31	−0.034
单株产量 Seed yield per plant /g	8.00	23.90	16.04	3.43	15.90	21.36	0.172
含油量 Oil content /%	41.14	49.77	45.54	2.23	8.63	4.89	0.235
菌核病发病率 Sclerotinia stem rot incidence rate /%	2.50	20.00	8.54	3.88	17.5	45.47	−0.128
收获密度 Harvest density /(株/hm^2)	100 425	299 612	171 189	46 038	199 187	0.27	0.398**

注/Note: **: $P< 0.01$

后续分析。简单相关分析发现,处理下胚轴长、处理鲜重、下胚轴指数、鲜重指数、活力指数与渍害后的产量存在极显著正相关关系。甘蓝型油菜种质资源的根长指数为0.41,变幅为0.06~1.02,说明发芽期缺氧胁迫对油菜幼苗的根系影响最大;其次为下胚轴长和鲜重,平均下胚轴指数和鲜重指数为0.73、0.74变幅分别为0.39~1.08、0.43~0.99;平均存活率为0.91,变幅为0.46~1;平均活力指数为0.66,变幅为0.32~1.07。从图2可以发现,存活率呈偏峰分布,根长指数、下胚轴指数、鲜重指数呈单峰正态分布。说明甘蓝型油菜种质资源发芽相关性状对水淹缺氧处理反应差异很大,存在十分丰富的遗传多样性。渍害发生后,菌核病发病率、单株产量、单株有效角果数的变异系数高于其他农艺性状,而含油量、株高等变异系数相对较小。产量相关性状大致呈单峰正态分布。

2.2 油菜发芽期耐渍性状的聚类分析

将42个油菜品种进行分类。将42个品种的8个发芽期指标(对照根长、下胚轴长、鲜重、成苗率,根长指数、下胚轴指数、鲜重指数、存活率)和渍害胁迫下产量作为分类依据进行聚类分析,将所有品种分为4类(图3)。分别为Ⅰ型(耐渍高产型)、Ⅱ型(低产生存型)、Ⅲ型(根系稳定型)和Ⅳ型(中间型),各品种数量分别为4、8、16、14份,分别占比为9.52%、19.04%、38.09%、33.33%。各类品种平均产量存在显著差异,平均产量分别为3353.02、2051.25、2818.75、2518.9 kg/hm^2。Ⅰ型具有较高的下胚轴指数和鲜重指数,显著高于其他类型且具

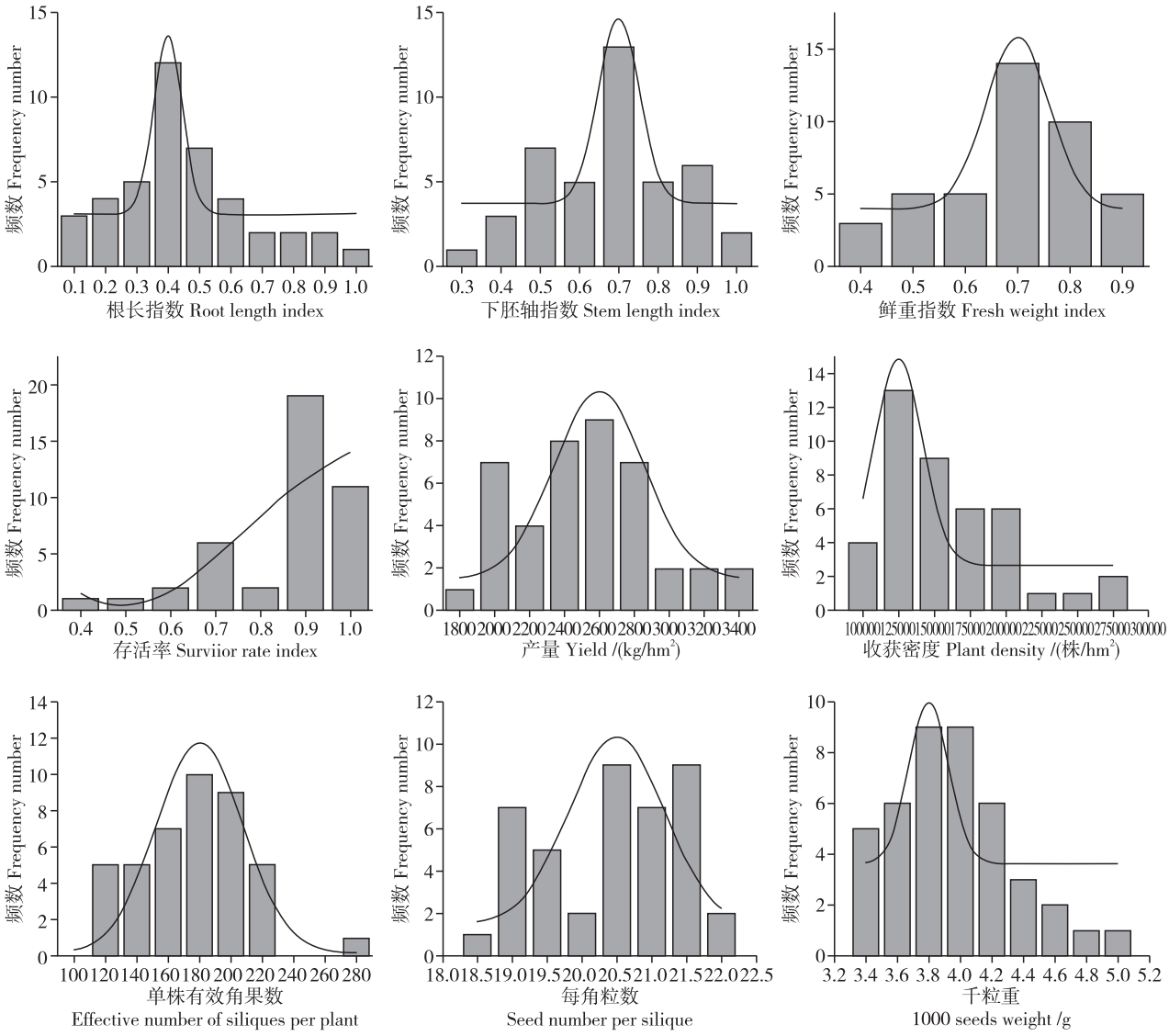


图2 油菜发芽期耐渍指数和阴雨渍害胁迫后的产量性状分布频率

Fig. 2 Distribution frequency of waterlogging index at germination stage and yield traits in rapeseed after rain waterlogging stress

有较高的存活率,代表品种有华油杂50、中油杂19。Ⅱ型品种具有高存活率的特性,但根长指数和鲜重指数较其他类型较低,代表品种有阳光50、汉301。Ⅲ型具有较高的根长指数,达0.483,代表品种有圣光87、阳光2009。Ⅳ型各发芽期性状不突出,产量适中,代表品种有华油杂12、中油80(图4)。

2.3 发芽期耐渍性与渍害胁迫下产量的关系分析

以42个品种发芽期耐渍性作为自变量,在播种期阴雨渍害胁迫下,渍害后的产量作为因变量,进行线性回归分析。线性回归分析结果显示:模型公式为 $y= 119.192+3.035X_1+7.356X_2+81.657X_3-0.647X_4+4.956X_5+63.902X_6+67.102X_7-20.855X_8$,模型$R^2$值为0.416,说明上述变量能解释41.6%的产量变异。对模型进行F检验时发现,下胚轴指数(X_6)、鲜重指数(X_7)对渍害年份产量关系最紧密,呈显著正相关关系(表4)。回归系数值分别为63.902($t= 2.189$, $P= 0.036< 0.05$)、67.102($t= -0.044$, $P= 0.044< 0.05$)。将下胚轴指数与鲜重指数作为自变量,渍害后产量作为因变量绘制散点图(图5)。下胚轴指数与渍害后的产量的线性回归方程为$y= 1149.23X+1788.2$,R^2值为0.245。鲜重指数与渍害后产量的线性回归方程为$y= 1177.06X+1755.05$,R^2值为0.164。

不同渍害耐渍性分类标准下(表5),与渍害下实际产量偏差最小的是下胚轴指数分类。下胚轴指数作为品种分类依据时,其不耐渍品种、中等耐渍品种、强耐渍品种的平均产量分别为2333.76、2582.7、3045.75 kg/hm^2,与实际产量相比,偏差率分别为13.77%、1.62%、4.52%,优于其他耐渍抗性的分类方法。而在存活率、根长指数、活力指数等分类下,不同耐渍性品种的平均产量与实际产量分类的偏差率较大。表明下胚轴指数作为早期选择,可以更准确预测基于产量的耐渍性。

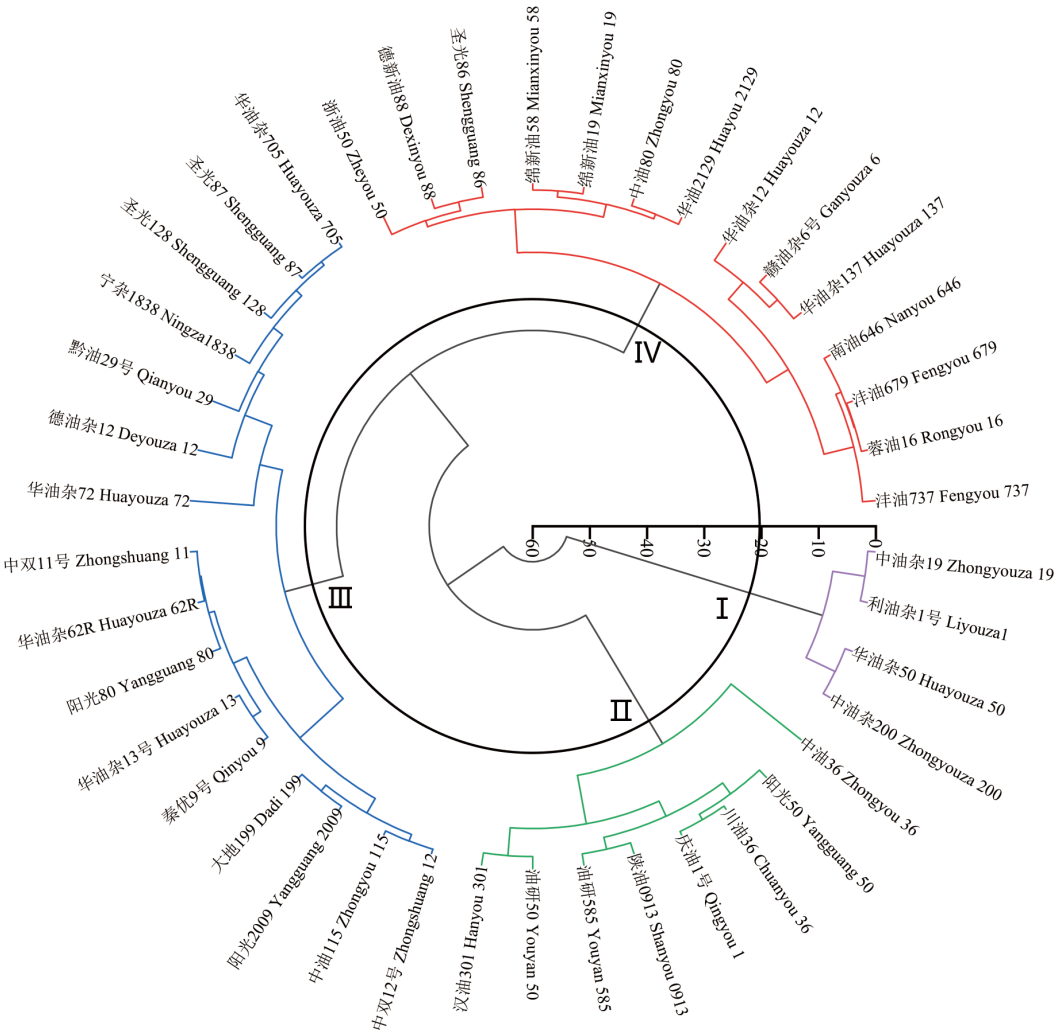
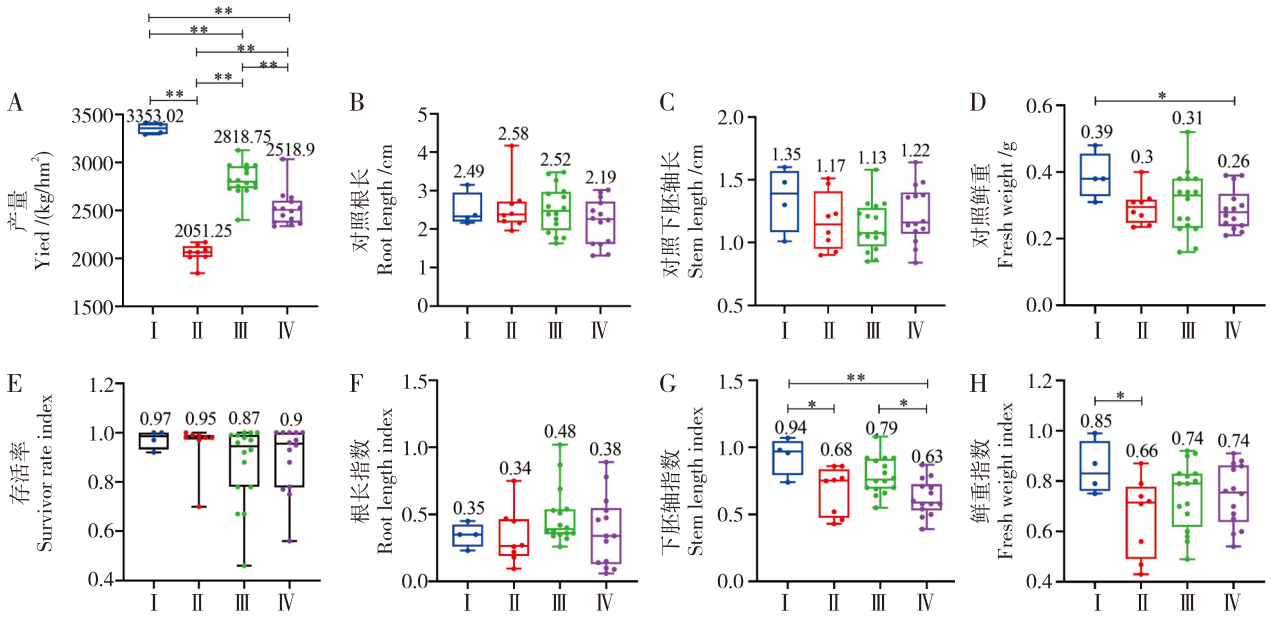


图3 42份油菜品种聚类分析谱系图

Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis for 42 rapeseed varieties



注/Note: *: $P<0.05$; **: $P<0.01$

图4 不同聚类类型品种耐渍性状的差异比较

Fig. 4 Comparison of differences in waterlogging tolerance traits among varieties of different clustering types

2.4 发芽期渍害性状和产量相关性状与渍害下产量关系的通径分析

为进一步了解油菜农艺性状对产量贡献的大小,将阴雨渍害下的4个产量农艺性状与4个发芽期耐渍性指标作为自变量,产量作为因变量,进行通径分析(图6)。阴雨渍害后油菜各农艺性状对产量的直接影响的绝对值大小顺序为:收获密度(|0.795|)>单株有效角果数(|0.605|)>每角粒数(|0.344|)>存活率(|-0.217|)>下胚轴指数(|0.148|)>鲜重指数(|0.109|)>根长指数(|0.072|)>千粒重(|0.062|)。其中,收获密度、单株有效角果数对产量的正效应最大。4个发芽期耐渍性和4个产量农艺性状对产量的直接影响分别为0.1046、1.8069。虽然油菜发芽期对产量的直接作用较小,但是通过对产量农艺性状的间接作用对产量产生了较大的影响。存活率主要是通过对单株有效角果数的正向作用,其间接通径系数为0.144。下胚轴指数与鲜重指数主要是通过对收获密度的影响进而影响产量,其间接通径系数分别为0.212、0.186。根长指数通过4个产量农艺性状的间接作用绝对值小于0.04,影响机制不明显,还有待进一步研究。

将正常降雨下的4个产量农艺性状与4个发芽期耐渍性指标作为自变量,产量作为因变量,进行通径分析(图7)。结果显示各农艺性状对产量的直接影响绝对值的大小顺序为:收获密度(|0.739|)>下胚轴指数(|0.702|)>单株有效角果数(|0.466|)>千粒重(|0.398|)>鲜重指数(|0.228|)>存活率(|-0.148|)>每角粒数(|0.148|)>根长指数(|-0.119|)。其中,收获密度、下胚轴指数、单株有效角果数对产量的正效应最大。4个发芽期耐渍性和4个产量农艺性状对产量的直接影响分别为0.663、1.75。针对发芽期耐渍性指标发现,下胚轴指数对产量有较大的直接影响,但其通过收获密度对产量产生了0.553的间接作用。可见,发芽期耐渍性不仅可以作为阴雨渍害年份的早期选择标准,在正常年份依然适用。根长指数、鲜重指数主要是通过对单株有效角果数的正向作用,其间接通径系数分别为0.209、0.152。存活率主要是通过对千粒重的影响进而影响产量,其间接通径系数为0.165。

3 讨论

3.1 耐渍性存在遗传多样性

品种耐渍性作为作物应对渍害胁迫的重要特性,其遗传变异的丰富程度是耐渍品种选育与抗逆栽培调控的重要理论基础。前人研究证实,油菜品种耐渍性存在极为丰富的遗传变异,这种变异在不同类型、生态区及种植模式的品种间呈现显著分化,为耐渍性遗传改良及抗逆种质资源筛选提供了丰富的基因库[18-20]。油菜耐渍性也是一个综合性状,包括对缺氧胁迫的耐受性、胁迫后恢复生长的能力、根系对养分的吸收能力等[21-23]。存活率体现了耐缺氧能力,尤其是发芽生长点的忍耐力,但这

表4 播种期渍害下油菜产量与发芽耐渍性的线性回归分析

Table 4 Linear regression analysis of rapeseed yield and germination waterlogging tolerance under sowing stage waterlogging stress

	非标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standar dization coefficients	t值 t value	P值 P value	共线性诊断 Colinearity diagnosis	
	回归系数 B	标准误 SE	标准化回归系数Beta			方差膨胀因子 VIF	容忍度 Tolerance
常数 Constant	119.192	344.300	–	0.346	0.731	–	–
根长 Root length	3.035	7.100	0.068	0.427	0.672	1.379	0.725
下胚轴长 Stem length	7.356	28.967	0.061	0.254	0.801	3.135	0.319
鲜重 Fresh weight	81.657	72.511	0.241	1.126	0.268	2.509	0.399
成苗率 Survivor rate	−0.647	3.356	−0.028	−0.193	0.848	1.195	0.837
根长指数 Root length index	4.956	16.592	0.042	0.299	0.767	1.075	0.931
下胚轴指数 Stem length index	63.902	29.193	0.414	2.189	0.036*	1.959	0.511
鲜重指数 Fresh weight index	67.102	31.932	0.343	2.101	0.044*	1.462	0.684
存活率 Survivor rate index	−20.855	30.002	−0.102	−0.695	0.492	1.173	0.853
R^2	0.416						
调整 R^2 Adjust R^2	0.270						
F值 F value	F(8,32)= 2.854, P= 0.016						
D-W值 Durbin-Watson value	1.322						

注/Note:*:P<0.05

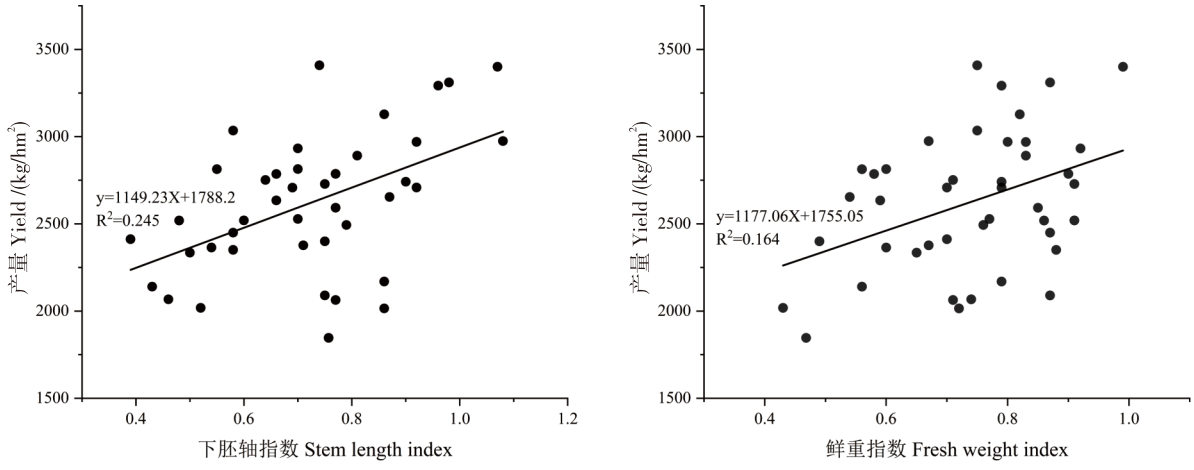


图5 播种期渍害下油菜产量与发芽期关键耐渍性状值的关系

Fig. 5 Relationship between rapeseed yield and key germination-stage waterlogging tolerance traits under sowing-stage waterlogging stress

表5 不同选择标准下各类别油菜产量

Table 5 Yield of various types of rapeseed under different selection criteria

筛选指标 Screening index		不耐渍品种 Sensitive variety	中等耐渍品种 Moderately tolerant variety	强耐渍品种 Tolerant variety
实际产量 Yield	平均值 Mean	2051.25b	2625.3a	3189.9a
根长指数 Root length index	平均值 Mean	2342.94ab	2705.4a	2623.05c
	与实际产量的偏差率 Actual yield deviation rate	14.22%	3.05%	17.77%
下胚轴指数 Stem length index	平均值 Mean	2333.76ab	2582.7a	3045.75ab
	与实际产量的偏差率 Actual yield deviation rate	13.77%	1.62%	4.52%
鲜重指数 Fresh weight index	平均值 Mean	2411.55ab	2658.6a	2708.7bc
	与实际产量的偏差率 Actual yield deviation rate	17.56%	1.27%	15.09%
存活率 Survivor rate index	平均值 Mean	2583.45a	2761.8a	2565.15c
	与实际产量的偏差率 Actual yield deviation rate	25.95%	5.20%	19.59%
活力指数 Vigor index	平均值 Mean	2514.6a	2570.4a	2867.7abc
	与实际产量的偏差率 Actual yield deviation rate	22.59%	2.09%	10.10%

注:显著性标注为6个耐渍指标间的产量,不同小写字母表示产量间差异达显著水平($P<0.05$)。分类按照表2数值进行

Note: The significance labels refer to the yields corresponding to the 6 waterlogging tolerance indices. Different lowercase letters indicate differences at 0.05 level among yields. This table is classified according to the values in Table 2

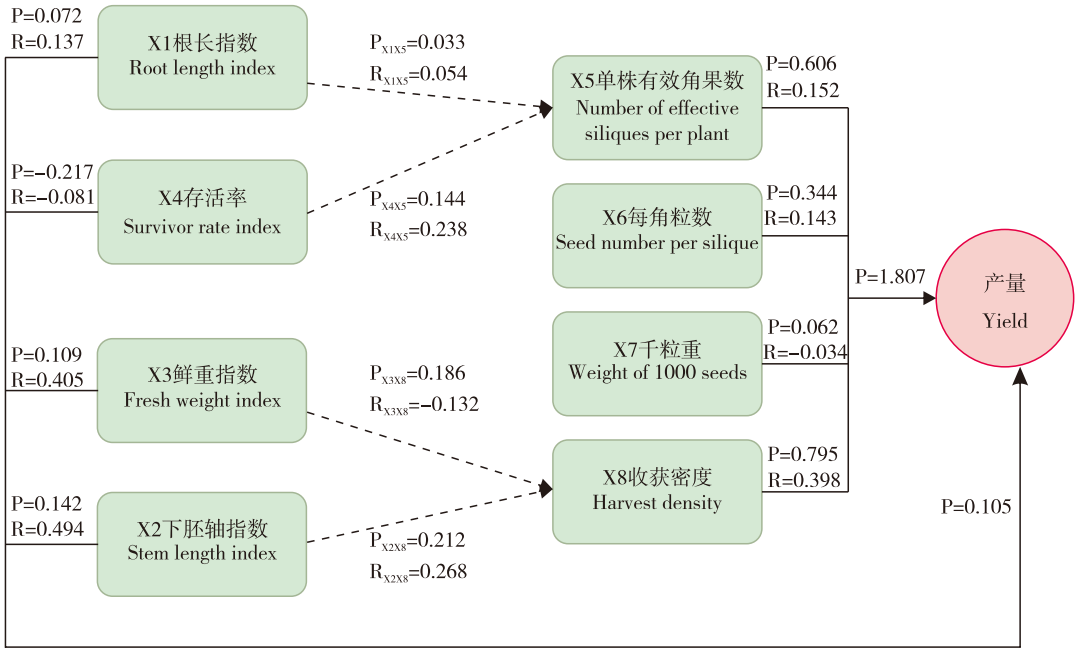
种忍耐力往往是通过较低的生长激素合成,减缓新陈代谢降低缺氧危害[24-26]。较强的恢复生长能力与产量相关的耐渍性提升关系更密切,实现更多的干物质积累,体现在下胚轴长和下胚轴指数上,如果同时具备更强的耐缺氧能力(存活率),则有利于在胁迫下实现较高的产量。胁迫下能保持较高的根系生长能力,也是提高耐渍性的一种途径,根系生长型确保营养元素的稳定吸收,能保证胁迫后稳定的产量[27,28]。本研究发现,发芽期渍害下各种相关性状表现丰富,发芽期耐渍性指数变幅在0.06~1.08,均表现为正态分布,菌核病发病率、单株产量、单株有效角果数的变异系数高于其他农艺性状。因此,油菜耐渍育种需要兼顾三种类型的有效聚合,才能有利于产量。

3.2 发芽期下胚轴指数与渍害后产量存在紧密关系

过去耐渍性研究,主要以发芽期缺氧胁迫下的成苗率作为快速鉴定指标,产量也以模拟渍害下的产量指数作为依据,主要体现了生物学的耐渍能力[17,29,30]。但实践中我们发现,很多高产品种由于正常情况下产量较高,但渍害胁迫后产量较低,从而使产量的耐渍指数偏低,而耐渍指数高的往往在正常情况下产量偏低,如果采用耐渍指数进行选择,则中选品种的实际产量反而较低,这就造成通过耐渍指数选择得到的品种不能满足生产上对高单产的要求,对生产实践应用的价值不大。前人研究已明确,耐渍材料的下胚轴长度受渍水胁迫的抑制率显著低于敏感材料,下胚轴长度可作为区分油菜耐渍与敏感基因型的重要形态参考[5,15,23]。在此基础上,本研究结合实际生产气候条件,重点探索胁迫后实际产量与室内发芽耐渍性的关联,结果发现:下胚轴指数与渍害胁迫下的实际产量呈极显著正相关,多元回归分析也进一步验证了二者的显著关联性,相比成苗率等传统指标,下胚轴指数对渍害后实际产量的预测准确性更高,可有效规避“耐渍但低产”的筛选困境。

3.3 不同耐渍性品种下播期调控对作物产量的影响

播种期阴雨渍害主要通过抑制单株发育进程,导致种植密度降低及单株角果数减少,最终引发产



注:虚线为间接通径系数P_{AB}表示A通过B的间接通径系数,R_{AB}表示A与B的相关系数,P为X对产量的直接通径系数,R为X与产量间的相关系数;下同

Note: Dashed lines: indirect path coefficients; P_{AB}: indirect path coefficient of A through B; R_{AB}: correlation coefficient between A and B; P: direct path coefficient of X to yield; R: correlation coefficient between X and yield; X1: root length index; X2: stem length index; X3: fresh weight index; X4: survivor rate index; X5: number of effective siliques per plant; X6: seed number per silique; X7: weight of 1000 seeds; X8: harvest density; Same as below

图6 阴雨渍害下油菜产量构成的解析

Fig. 6 Analysis of rapeseed yield components under rainwaterlogging stress

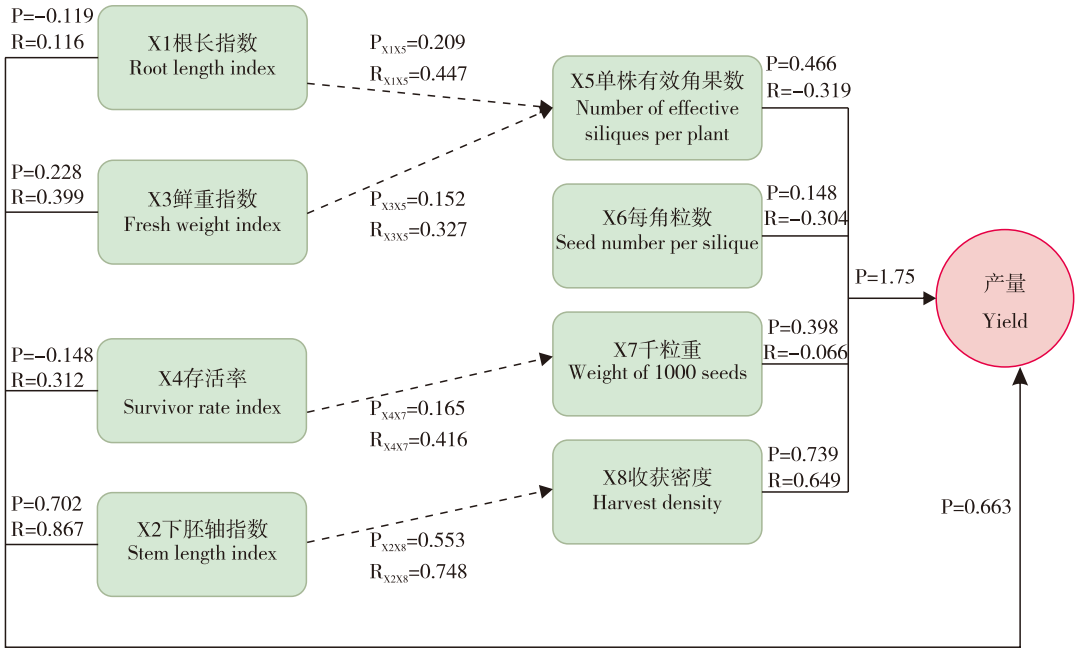


图7 正常生产年份油菜产量构成的解析

Fig. 7 Analysis of rapeseed yield components in normal production years

量下降[9]。油菜品种耐渍性存在极为丰富的遗传变异,这种变异在不同类型、生态区及种植模式的品种间呈现显著分化,为耐渍性遗传改良及抗逆种质资源筛选提供了丰富的遗传基础[18,19]。前人研究证实,品种耐渍性差异,直接决定了渍害胁迫下的产量损失幅度:耐渍品种在渍害条件下,每角粒数及单株有效果数的降低幅度显著小于不耐湿品种,使减产幅度极显著降低[5]。针对长江中游油菜播种期

阴雨渍害频发区域,通过选育高产耐渍品种,采用“抢播+耐渍品种”的协同策略,是一条实现抗逆稳产的关键技术路径。

4 结论

42份油菜种质资源在耐渍性状上均表现出较为丰富的变异和多样性,变异系数为6%~55.03%。将42份种质划分为4个群体,分为耐渍高产型、低产生存型、根系稳定型、中间型等群体;下胚轴指数与产量关系最重要,可作为预测指标。阴雨渍害下,下胚轴指数、鲜重指数通过影响收获密度进而影响产量,存活率通过单株有效角果数间接作用产量,正常年份下,发芽期耐渍性对产量构成依然有较大的直接或间接作用。

参考文献:

[1] 李谷成, 牛秋纯, 冷博峰, 等. 新时代十年:我国油菜产业发展与路径选择[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(2): 228-235. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2023248.

[2] 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. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2018.05.001

[3] 殷艳, 尹亮, 张学昆, 等. 我国油菜产业高质量发展现状和对策[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(8): 1-7. DOI:10.13304/j.nykjdb.2020.1050.

[4] 谢伶俐, 李永铃, 许本波, 等. 油菜耐渍机理解析及遗传改良研究进展[J]. 作物学报, 2025, 51(2): 287-300. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2025.44121

[5] 张学昆, 陈洁, 王汉中, 等. 甘蓝型油菜耐湿性的遗传差异鉴定[J]. 中国油料作物学报, 2007, (2): 204-208. DOI:10.3321/j.issn:1007-9084.2007.02.020

[6] Boem F H G, Lavado R S, Porcelli C A. Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed[J]. Field Crops Res, 1996, 47(2-3): 175-179. DOI: 10.1016/0378-4290(96)00025-1.

[7] 何激光, 官春云. 油菜耐渍的生理研究[J]. 作物研究, 2009, 23(5): 323-327. DOI:10.3969/j.issn.1001-5280.2009.z1.010.

[8] 陈于婷, 丁晓雨, 许本波, 等. 气候变暖对冬油菜产量、品质及重要农艺性状的影响[J]. 作物学报, 2025, 51(2): 516-525. DOI:10.3724/SP.J.1006.2025.44074

[9] 何泽威, 丁晓雨, 徐劲松, 等. 播种期降水偏多对油菜重要农艺性状和产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(1): 92-101. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2022248.

[10] 叶鹏, 贺继奎, 何泽威, 等. 不同类型甘蓝型油菜耐迟播生长能力差异分析[J]. 中国油料作物学报, 2024, 46(4): 855-862. DOI: 10.19802/j.issn.1007-9084.2023014.

[11] Li X H, Zhou X, Wang G J, et al. Identification of growth stages sensitive to waterlogging during seedling emergence and establishment for winter oilseed rape (*Brassica napus*)[J]. Int J Agric Biol, 2019, 22(6): 1513-1523. DOI:10.17957/ijab/15.1229.

[12] 王琼, 张春雷, 李光明, 等. 渍水胁迫对油菜根系形态与生理活性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(2): 157-162.

[13] Leul M, Zhou W J. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by application of uniconazole application: effects on enzyme activity, lipid peroxidation, and membrane integrity[J]. Field Crops Res, 1998, 59(2): 121-127. DOI:10.1016/s0378-4290(98)00112-9.

[14] Zou X L, Hu C W, Zeng L, et al. A comparison of screening methods to identify waterlogging tolerance in the field in *Brassica napus* L. during plant ontogeny[J]. PLoS One, 2014, 9(3): e89731. DOI:10.1371/journal.pone.0089731.

[15] 高建芹, 陈锋, 龙卫华, 等. 长江下游甘蓝型油菜种质耐湿性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(6): 79-86. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.06.012.

[16] 国家标准[NY/T] 3067-2016,油菜耐渍性鉴定技术规程[S].

[17] 卢长明,龚学明. 缺氧条件下油菜种子发芽特性的遗传参数研究[J]. 江西农业大学学报, 1989, (4): 23-26. DOI:10.13836/j.jjau.1989054.

[18] 张学昆, 范其新, 陈洁, 等. 不同耐湿基因型甘蓝型油菜苗期对缺氧胁迫的生理差异响应[J]. 中国农业科学, 2007(3): 485-491. DOI:10.3321/j.issn:0578-1752.2007.03.008

[19] 许晶, 曾柳, 徐明月, 等. 油菜耐渍性种质资源筛选与评价[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(6): 748-754. DOI:10.7505/j.issn.1007-9084.2014.06.009

[20] 陈洁, 张学昆, 谌利, 等. 甘蓝型油菜耐湿种质资源的快速筛选[J]. 中国油料作物学报, 2006, (2): 138-143. DOI:10.3321/j.issn:1007-9084.2006.02.007

[21] Zhang H, Zhao Y, Zhu J K. Thriving under stress: how plants balance growth and the stress response[J]. Dev Cell, 2020, 55(5): 529-543. DOI: 10.1016/j.devcel.2020.10.012.

[22] Skirycz A, Vandenbroucke K, Clauw P, et al. Survival and growth of *Arabidopsis* plants given limited water are not equal[J]. Nat Biotechnol, 2011, 29(3): 212-214. DOI:10.1038/nbt.1800.

[23] 王才权,杨柳,刘婷婷,等.油菜萌发期耐渍性综合评价和种质筛选[J].植物遗传资源学报,1-13. DOI:

10.13430/j.cnki.jpgr.20250916004.

[24] 周欣, 姚璇, 聂立璇, 等. 植物生长调节剂处理对油菜胚根伸长期耐渍性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(6): 914-920. DOI: 10.19802/j. issn. 1007-9084.2019029.

[25] Xu Z Y, Ye L Z, Shen Q F, et al. Advances in the study of waterlogging tolerance in plants[J]. J Integr Agric, 2024, 23(9): 2877-2897. DOI:10.1016/j.jia.2023.12.028.

[26] 周果曦,周香玉,李超,等.植物生长调节剂调控甘蓝型油菜苗期耐渍性的生理机制[J].中国油料作物学报,2025,47(3):714-723. DOI:10.19802/j.issn.1007-9084.2024272.

[27] 周香玉, 徐劲松, 谢伶俐, 等. 甘蓝型油菜苗期响应渍害胁迫的生理调控机制[J]. 作物学报, 2024, 50(4): 1015-1029. DOI:10.3724/SP.J.1006.2024.34116

[28] Ullah N, Qian F, Geng R D, et al. Root system architecture change in response to waterlogging stress in a 448 global collection of rapeseeds (*Brassica napus* L.)[J]. Planta, 2024, 259(5): 95. DOI:10.1007/s00425-024-04369-3.

[29] 张文英 朱建强, 郭显平,等. 花果期持续受渍对油菜生长、产量与含油量的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2003, (2): 194-197. DOI: 10.3969/j. issn. 1004-8227.2003.02.018

[30] 李云, 付三雄, 戚存扣. 油菜苗期耐淹性快速筛选方法的建立及验证[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(3): 256-261. DOI: 10.7666/d.Y2038866.

(责任编辑:郭学兰)