

张红,王超楠,范伟强,等.白菜种质资源耐抽薹性评价研究[J].江苏农业科学,2025,53(22):165-172.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.22.022

白菜种质资源耐抽薹性评价研究

张红¹,王超楠¹,范伟强²,黄志银¹,刘晓晖¹,张斌¹

(1.蔬菜生物育种全国重点实验室/天津市农业科学院,天津 300192;

2.天津科润农业科技股份有限公司蔬菜研究所/天津市蔬菜遗传育种企业重点实验室,天津 300381)

摘要:白菜种质资源耐抽薹性评价是开展耐抽薹育种工作的技术基础,但现阶段表型评价指标存在鉴定工作量大、难以全年无损观测等缺点。以 32 份白菜高代自交系为材料,将春、秋季节重要农艺性状与抽薹性进行相关性分析并测定抽薹前后白菜可溶性蛋白含量和 SOD、POD、CAT 活性等生理生化指标。结果表明,春、秋季调查时分别选择现蕾期、短缩茎长、短缩茎形状、外叶颜色可以更为直观、简便、准确地实现白菜耐抽薹性状评价。在营养生长期室内检测不同材料间的可溶性蛋白含量和 POD 酶活性也可在早期辅助评价材料的耐抽薹性强弱。同时通过隶属函数法对试材白菜的耐抽薹性进行综合比较和评价,将 32 份白菜高代自交系材料划分为 5 个耐抽薹等级,其中筛选出极不耐抽薹高代自交系材料 2 份、极耐抽薹高代自交系材料 6 份,为今后耐抽薹新品种选育储备了重要亲本材料。

关键词:白菜;耐抽薹;重要农艺性状;生理指标;相关性分析

中图分类号:S634.303.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)22-0165-07

白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis*)在我国每年播种面积近 267 万 hm^2 ,约占全国蔬菜栽培总面积的 15%,是我国第二大蔬菜作物^[1-2],近年来随着我国蔬菜产业模式和人民消费方式的改变,市场对白菜周年生产的需求正不断增加,但作为种子春化型低温长日照植物,白菜在冬春季节及高海拔冷凉地区栽培中,极易因气候变化、栽培不当或品种自身冬性弱等情况,出现“先期抽薹”风险,造成品质急剧降低,丧失商品性,给种植户造成巨大经济损失。开展耐抽薹育种工作,培育优质的强耐抽薹品种是解决白菜先期抽薹问题的根本,而对白菜种质资源进行系统、科学、准确的耐抽薹性评价和筛选则是培育强耐抽薹白菜品种的技术基础。

早期十字花科蔬菜的耐抽薹性通常以春季先

期抽薹植株的百分比来衡量,鉴定调查工作存在周期长、人力地力耗费大等缺点,随后育种者对白菜等十字花科蔬菜耐抽薹的鉴定方法和评价指标展开系列研究^[3-5],余阳俊等以 18 份白菜作为试材,结合田间耐抽薹的鉴定结果进行统计分析,发现春季短缩茎长短可作为室内苗期耐抽薹评价的指标^[6]。惠麦侠通过相关性分析发现,花芽分化临界期、显蕾始期、抽薹始期、开花始期、38 d 植株薹高、花芽分化指数等 6 个指标均与白菜耐抽薹性显著相关,认为花芽分化指数、薹高是最为简便、快捷的鉴定指标^[7]。刘娟等则以 64 份普通白菜高代自交系材料为试材,通过对耐抽薹指标和主要农艺性状进行主成分和相关性分析,也发现抽薹期、现蕾期、开花期之间呈极显著正相关,认为现蕾期的观测最为简单,可作为快速评价普通白菜耐抽薹性的指标^[8]。针对白菜耐抽薹鉴定评价,前人研究集中于春季相关指标的调查统计,但秋季开展耐抽薹性评价缺乏有效的衡量指标,因此针对白菜耐抽薹性的鉴定评价工作还有待进一步完善与确定。此外植物抽薹过程是一系列物质在多因素参与下发生的复杂且有规律性的生理生化变化,这一过程中某些重要成分的含量或关键酶活性将表现规律性的升高或降低,进而影响体内代谢途径和代谢方式顺序的改变,刺激植株由营养生长向生殖生长转变^[9-11]。因而针对抽薹性不同的材料探究可溶性

收稿日期:2024-09-24

基金项目:国家重点研发计划子课题(编号:2023YFD1201504-4);

全国实验室重大专项(编号:24ZXZSS00210);天津市科技计划种业创新重大专项(编号:23ZXZYSN00030);国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-23-G-05);天津市(蔬菜)现代农业产业技术体系创新团队项目(编号:ITTVRS2021003);天津市农业科学院财政种业创新研究项目(编号:2023ZYCX015)。

作者简介:张红(1990—),女,天津武清人,硕士,副研究员,主要从事白菜遗传育种工作。E-mail:zhanghongzyx@163.com。

通信作者:张斌,博士,研究员,博士生导师,主要从事十字花科蔬菜育种等研究工作。E-mail:zhangbin65@126.com。

蛋白含量和 POD、SOD、CAT 等关键酶活性变化,可以为解析抽薹机制和为鉴定评价试验材料的抽薹性提供参考依据。本研究以 32 份白菜高代自交系为研究对象,通过春、秋测定与抽薹性相关的农艺性状并采用相关性分析、隶属函数分析等数据分析手段综合评价试验材料的抽薹性,并对抽薹性存在显著差异的 3 份白菜高代自交系材料进行室内生理指标的检测,以期完善白菜耐抽薹鉴定评价方法,建立一套简单、准确的耐抽薹性鉴定体系,为今后白菜耐抽薹育种工作奠定坚实的技术基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 32 份白菜高代自交系材料(表 1),均由天津市农业科学院蔬菜研究所白菜课题组提供。

表 1 白菜供试材料的信息

编号	白菜类型	来源	编号	白菜类型	来源
B1	结球白菜	顶丽	B17	结球白菜	庆春
B2	结球白菜	15-1B	B18	结球白菜	强春
B3	结球白菜	650D	B19	不结球白菜	11 台湾快平
B4	结球白菜	华早 3 号	B20	结球白菜	YP32
B5	结球白菜	11 黄芽 14	B21	不结球白菜	11 小黄白
B6	结球白菜	药 59	B22	结球白菜	11 幕田秀美
B7	结球白菜	13B16	B23	不结球白菜	12 台湾快浅平
B8	结球白菜	韩国迷你	B24	结球白菜	黑 265
B9	结球白菜	贝贝玉	B25	结球白菜	黑 227
B10	结球白菜	世纪春宝	B26	结球白菜	J402
B11	结球白菜	10 东阳 50	B27	结球白菜	12G23
B12	结球白菜	SRIS60	B28	结球白菜	青 667
B13	结球白菜	极品 W30 大 D	B29	结球白菜	青 537
B14	结球白菜	金峰高 D	B30	结球白菜	J406
B15	结球白菜	亚洲迷你	B31	结球白菜	J405
B16	结球白菜	eR 黄芯 D	B32	结球白菜	埠 461A

1.2 白菜田间抽薹性表型及相关农艺性状指标的测定方法

试验于 2021—2023 年期间在天津市农业科学院蔬菜研究所武清试验基地开展,采用白菜春、秋季节田间鉴定及人工春化室内鉴定方法进行了白菜抽薹性及相关农艺性状的数据采集。

春季鉴定:每年 1 月 15 日将 32 份白菜种子露天播种于试验基地,采用随机区组设计,株距 10 cm,行距 15 cm,每小区 15 株,所有材料进行 3 次重复,设保护行,进行常规田间管理。在白菜成苗

后,每隔 3~5 d 观察并记录各材料不同单株的现蕾、抽薹、开花及薹高情况,统计记录植株相应的抽薹期、现蕾期、初花期、盛花期,待植株进入末花期结束调查。

秋季鉴定:每年 7 月 28 日将供试 32 份材料播种于 72 孔穴盘中,8 月 26 日定植于田间,每小区 15 株,正常田间管理,待成熟期依次记录外叶颜色、球宽、中心柱高、中心柱形状、株高、株幅、球心颜色、叶球紧实度等农艺性状。

人工春化室内鉴定:每年 10 月 11 日,将大白菜种子在 28 ℃ 恒温箱催芽 2 d,待种子萌发后首先进行 4 ℃ 人工春化处理 25 d,其次模拟田间培养条件设定 25 ℃,每天给予光照度 6 000~8 000 lx,光照 16 h,待成苗后记录抽薹开花情况,至盛花期末期结束调查。

1.3 抽薹性调查标准及抽薹等级划分

对 2021—2023 年期间白菜田间鉴定及人工春化室内鉴定的数据取平均值,以开花时间早晚作为抽薹性状的主要关联指标,将表型抽薹性等级根据开花时间早晚划分为 5 个等级,即:极耐抽薹(HT) ≥ 120 ; $120 >$ 耐抽薹(T) ≥ 110 ; $110 >$ 中等耐抽薹(MT) ≥ 100 ; $100 >$ 不耐抽薹(LT) ≥ 90 ; 极不耐抽薹(S) < 90 ;

主要农艺性状参照杨平等的方法^[5,12],进行调查和测算,并计算平均值。性状测定标准如下:现蕾期,自播种之日起至供试小区 50% 植株出现肉眼可见黄绿色花蕾的天数;抽薹期,自播种之日起至薹长 2 cm 天数;初花期,自播种之日起到供试小区中 30% 植株主顶第 1 朵花开放的天数;盛花期,自播种之日起到供试小区中 50% 植株主顶第 1 朵花开放的天数;薹高,盛花期结束时,测量从植株基部到植株顶端的高度;外叶颜色、中心柱形状、球心颜色、叶球紧实度等 4 个质量性状按照《大白菜种质资源描述规范和数据标准》^[13] 和范伟强等的方法^[14] 进行赋值分级和数量化处理(表 2)。

表 2 质量性状赋值分级

性状	赋值分级				
	1	2	3	4	5
叶球紧实度	松	中	紧		
球心颜色	白	浅黄	黄	橙	
外叶颜色	黄绿	浅绿	中等绿	深绿	灰绿
中心柱形状	扁圆	圆	长圆	锥	

1.4 生理生化指标测定方法

2023 年 1 月 15 日选择具有代表性的不同抽薹

性等级的白菜高代自交系材料各 1 份,播种于 50 穴大孔穴盘中,2023 年 2 月 26 日采用随机区组设计,每小区种植 10 株,进行常规苗期管理。自 2 月 26 日定植日起,分别于各个材料的营养生长期、抽薹期、初花期和盛花期依次进行叶片取样,并置于离心管中液氮速冻。各个时期每隔 5 d 取样,每个时期取样 3 次,随后对不同时期叶片中可溶性蛋白含量和 SOD、POD、CAT 的活性进行检测,同一试材各时期重复处理 3 次。实验室内各指标具体检测方法如下。

1.4.1 可溶性蛋白含量测定 可溶性蛋白含量的测定参考刘加乐等的方法^[15-16]略作改动,采用考马斯亮蓝染色法,具体步骤如下:取 6 支试管按 1~6 顺序进行编号,向试管中分别加入 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 牛血清蛋白标准溶液,再加入蒸馏水,使 6 支试管内溶液体积均至 1.0 mL。向 2~6 号试管中分别加入 5 mL 考马斯亮蓝溶液,振荡试管使其均匀接触,充分混合后静置 5 min。1 号试管为空白对照管,所有试管于 595 nm 波长下测定各待测液的吸光度。以不同浓度标准溶液测得的吸光度为纵坐标,以蛋白质含量为横坐标,制作标准曲线,获得回归方程为 $y = 0.0006x + 0.0013$ ($r^2 = 0.9916$)。称取 0.5 g 新鲜白菜叶片,放于 10 mL 圆底离心管中,加入 4 mm 小钢珠和 1 mL 缓冲液,高通量组织研磨仪粉碎,加入缓冲液使离心管内匀浆液总体积为 5 mL。混匀后 5 000 r/min 离心 15 min,上清液即为蛋白粗提取液;取 3 mL 测定吸光度,根据标准曲线计算可溶性蛋白含量。

可溶性蛋白含量计算:可溶性蛋白含量(mg/g) = $(C \times V_T) / (1000V_S \times FW)$ 。式中: C 表示对应标准曲线值,μg; V_T 表示提取液总体积,mL; FW 为样品鲜重,g; V_S 为样品加入量,mL。

1.4.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定 取新鲜白菜叶片 0.5 g 于预冷的研钵中,剪刀剪碎,加 1 mL 预冷的磷酸缓冲液,冰浴研磨,加入缓冲液使离心管内匀浆液总体积为 5 mL。于 4 °C 以 12 000 r/min 离心 20 min,上清液即为 SOD 粗提取液,置于 4 °C 冰箱备用。测定酶活性时试管外壁记录试剂名称与剂量,混匀后将暗中对照管用锡纸包裹进行遮光处理,需光对照及测定管分别进行 3 次重复,在配制好试剂后统一置于 4 000 lx 光照度反应 15 min,每隔 5 min 观察 1 次颜色变化程度。待反应完全后,将全部试管进行遮光处理,以暗中对照管为空白对照,进行调零,待测各管于 560 nm 波长下测定吸光度。

SOD 酶活性计算: $SOD(U/g) = (D_0 - D_E) \times V_l \times 60 / (D_0 \times 0.5 \times FW \times V_s \times t)$ 。式中: D_0 表示需光对照管吸光度; D_E 表示待测样品管吸光度; V_l 表示样品提取液总体积,mL; FW 为称取样品鲜重,g; V_s 为测定时吸取粗酶液量,mL; t 表示显色反应光照时间,min。

1.4.3 过氧化物酶(POD)活性测定 称取 0.5 g 新鲜白菜叶片放入研钵中,加入 1 mL 预冷的 KH_2PO_4 提取液冰浴研磨,匀浆液再加提取液使终体积为 5 mL。于 4 °C 以 12 000 r/min 离心 10 min,上清液即为 POD 粗提取液,置于 4 °C 冰箱备用。向 50 mL 0.1 mol/L PBS(pH 值 6.0)中加入 28 μL 愈创木酚溶液,加热搅拌溶解,溶液冷却后加入 19 μL 30% H_2O_2 ,混合均匀,配制反应液存于 4 °C 冰箱备用。试管中加入 3 mL 反应液和 1 mL 浓度为 20 mmol/L 的 KH_2PO_4 调零。样品管中加入 3 mL 反应液和 1 mL 酶液后开始计时,于 470 nm 波长测定吸光度,每隔 1 min 记录 1 次,共测 3 min。以每 1 min 吸光度变化值表示酶活大小。

POD 酶活性计算: $POD(U/g) = (\Delta D_{470\text{nm}} \times V_l) / (FW \times V_s \times 0.01 \times t)$ 。式中: $\Delta D_{470\text{nm}}$ 表示反应时间内吸光度的变化; V_l 表示提取酶液总体积,mL; FW 为称取样品鲜重,g; V_s 为测定时吸取粗酶液量,mL; t 表示反应时间,min。

1.4.4 过氧化氢酶(CAT)活性测定 称取 0.5 g 新鲜白菜叶片,加入 1 mL 预冷的 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.8),冰浴研磨,匀浆液再加缓冲液使终体积为 5 mL。于 4 °C 以 10 000 r/min 离心 20 min,上清液为 CAT 粗提取液,置于 4 °C 冰箱备用。将 100 mL 0.1 mol/L PBS(pH 值 7.8)置于烧杯中,加入 0.154 6 mL 30% H_2O_2 混匀,配制反应液备用。向试管中加入 2.9 mL 反应液和 0.1 mL 待测酶液,用 PBS 为对照调零,于 240 nm 波长测定吸光度,每隔 30 s 记录 1 次,共测 1 min。

CAT 活性计算: $CAT(U/g) = (\Delta D_{240\text{nm}} \times V_l) / (W \times V_s \times 0.01 \times t)$ 。式中: $\Delta D_{240\text{nm}}$ 为反应时间内吸光度的变化; V_l 为提取酶液总体积,mL; FW 为称取样品鲜重; V_s 为测定时酶液用量,mL; t 为反应时间,min。

1.5 数据处理与分析

试验数据利用 Excel 2010 软件、SPSS 22.0 软件进行统计和分析,结合主要农艺性状指标与抽薹性的正负相关关系,利用隶属函数法计算 32 份白菜高

代自交系各指标的隶属度及平均隶属度,通过隶属函数法分析不同形态指标间的差异性。

正相关指标的隶属度计算公式: $U_{ab} = (X_{ab} - X_{bmin}) / (X_{bmax} - X_{bmin})$;

负相关指标的隶属度计算公式: $U_{ab} = 1 - [(X_{ab} - X_{bmin}) / (X_{bmax} - X_{bmin})]$ 。

式中:a 表示试验中选取的某类试验材料;b 表示试验中测定记录的某项指标; U_{ab} 表示 a 类试验材料中测量的 b 类指标的实际测定值; X_{bmin} 和 X_{bmax} 表示所有试验材料中 b 类指标的最小值和最大值。

根据平均隶属度计算公式,参考张素君等对白菜类蔬菜种质抽薹性状的鉴定评价方法^[17],将供试白菜高代自交系材料耐抽薹性分为 5 级(表 3)。

表 3 平均隶属度及耐抽薹等级分级

组别	平均隶属度	耐抽薹等级
1	0 ~ 0.19	极不耐抽薹(S, susceptible)
2	0.20 ~ 0.39	不耐抽薹(LT, low tolerance)
3	0.40 ~ 0.59	中等耐抽薹(MT, middle tolerance)
4	0.60 ~ 0.79	耐抽薹(T, tolerance)
5	0.80 ~ 1.00	极耐抽薹(HT, high tolerance)

2 结果与分析

2.1 白菜重要性状的遗传变异分析

对供试 32 份白菜高代自交系的重要农艺性状进行变异分析,结果(表 4)发现,不同供试白菜高代自交系材料的各农艺性状间变异系数介于 7.64% ~ 58.18% 之间,平均变异系数约 29.36%,变异幅度较大,表明供试白菜不同材料间各性状内存在着极其显著的遗传差异。

2.2 白菜春季抽薹评价指标的相关性分析

白菜的抽薹性常通过记录花茎抽生的早晚来描述,一般通过调查抽薹期,即从播种至抽薹出 5 cm 花薹的日数进行划分。该评价指标往往存在调查周期长、工作量大等缺点。试验利用 SPSS 22.0 软件对 32 份白菜高代自交系的现蕾期、抽薹期、初花期、盛花期及薹高指标进行相关性分析,结果(表 5)发现,不同白菜高代自交系材料的抽薹期与现蕾期、初花期、盛花期之间均呈极显著正相关,与薹高呈显著负相关,其中现蕾期与抽薹期相关系数最高,为 0.979,且现蕾期相较其他春季性状指标调查时间早,调查过程简单高效,因此春季开展种质的耐抽薹能力鉴定评价时适宜选择现蕾期替代抽薹期。

表 4 白菜重要农艺性状的遗传变异情况

性状	最小值	最大值	平均值	标准差	极差	变异系数 (%)
现蕾期(d)	68.00	112.00	96.28	10.53	45.00	10.94
抽薹期(d)	73.00	118.00	104.16	11.08	44.00	10.64
初花期(d)	90.00	136.00	113.38	10.11	46.00	8.92
盛花期(d)	103.00	140.00	121.78	9.31	37.00	7.64
薹高(cm)	13.04	94.50	73.45	13.04	78.46	17.75
外叶颜色	1.00	4.00	2.81	0.82	3.00	29.18
球高(cm)	23.00	50.00	33.84	7.02	27.00	20.74
球宽(cm)	5.90	15.00	12.01	2.87	9.10	23.90
短缩茎长(cm)	1.20	6.50	2.25	1.23	5.30	54.67
短缩茎形状	1.00	4.00	2.21	1.18	2.00	53.39
株高(cm)	28.00	54.00	36.56	7.18	26.00	19.64
株幅(cm)	45.00	67.00	56.88	6.12	22.00	10.76
球心颜色	0.00	4.00	2.63	0.91	4.00	34.60
叶球紧实度	0.00	3.00	1.84	0.95	3.00	51.63
球形指数	1.70	8.47	3.18	1.85	6.77	58.18
茎球比	0.04	0.21	0.07	0.04	0.17	57.14

表 5 白菜耐抽薹性相关指标的相关性分析

指标	相关系数				
	现蕾期	抽薹期	初花期	盛花期	薹高
现蕾期	1.000				
抽薹期	0.979**	1.000			
初花期	0.772**	0.818**	1.000		
盛花期	0.730**	0.781**	0.967**	1.000	
薹高	-0.539**	-0.465*	-0.291	-0.258	1.000

注:*表示在 0.05 水平上显著相关;**表示在 0.01 水平上显著相关。表 6 同。

2.3 白菜耐抽薹性与秋季主要农艺性状的相关性分析

秋季对同批材料开展主要农艺性状指标调查,并将农艺性状与抽薹期数据进行相关性分析,结果(表 6)发现,各评价指标间相关性极显著的有 15 对,显著的有 10 对。其中短缩茎长、短缩茎形状、茎球比与抽薹期均呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.881、-0.781、-0.587,外叶颜色、球心颜色与抽薹期呈极显著正相关,相关系数为 0.715、0.513,相关系数绝对值由高到低依次为短缩茎长 > 短缩茎形状 > 外叶颜色 > 茎球比 > 球心颜色,因此秋季开展白菜高代自交系材料耐抽性鉴定评价时可选择上述相关系数绝对值最高的 3 个指标短缩茎长、短缩茎形状、外叶颜色作为高代自交系材料抽薹性鉴定的辅助评价指标。

表 6 白菜抽薹期与秋季主要农艺性状指标的相关性分析

指标	相关系数											
	抽薹期	外叶颜色	球高	球宽	短缩茎长	短缩茎形状	株高	株幅	球心颜色	叶球紧实度	球形指数	茎球比
抽薹期	1.000											
外叶颜色	0.715 **	1.000										
球高	-0.355	0.128	1.000									
球宽	0.457 *	0.166	-0.464 *	1.000								
短缩茎长	-0.881 **	-0.684 **	0.216	0.406 *	1.000							
短缩茎形状	-0.781 **	-0.356	0.209	-0.392 *	0.703 **	1.000						
株高	0.309	0.100	0.821 **	-0.451 *	0.196	0.305	1.000					
株幅	0.083	0.396 *	0.095	0.0190	-0.092	0.139	0.287	1.000				
球心颜色	0.513 **	0.664 **	-0.127	-0.141	-0.313	-0.267	-0.177	0.409 *	1.000			
叶球紧实度	-0.200	-0.190	-0.486 *	0.295	0.047	0.010	0.814 **	0.342	0.039	1.000		
球形指数	-0.391 *	-0.046	0.819 **	-0.819 **	0.241	0.205	0.669 **	0.018	0.000	0.376	1.000	
茎球比	-0.587 **	-0.588 **	-0.194	-0.276	0.803 **	0.455 *	-0.293	0.062	0.068	0.383	0.018	1.000

2.4 白菜生长期间生理生化指标测定

基于对 32 份白菜高代自交系材料多年的田间抽薹性表型评价,试验选取 B1 (HT,极耐抽薹型)、B15 (MT,中等耐抽薹型)、B19 (S,极不耐抽薹型)等 3 份耐抽薹性存在差异的白菜高代自交系材料,对试材营养生长期、抽薹期、初花期、盛花期各时间段的可溶性蛋白含量、SOD、POD、CAT 活性进行测定。

2.4.1 白菜生长期间可溶性蛋白含量测定 由图 1 可知,3 种不同抽薹性白菜材料生长过程中可溶性蛋白含量变化均呈先升高后降低的趋势,且在盛花期可溶性蛋白含量均较始花期有一定程度降低,其变化趋势与李梅兰等的研究结果^[18-22]一致,分析高可溶性蛋白在花芽分化及成花过程起到了推动作用。另研究发现,在营养生长期白菜材料耐抽薹性强弱与可溶性蛋白含量成反比,极耐抽薹材料的可溶性蛋白含量明显低于极易抽薹材料,结论与奥岩松等的研究结果^[22]相符,分析植株内可溶性蛋白含量变化与抽薹有着密切的联系,因此利用营养生长期测定不同白菜品种的可溶性蛋白含量,可用来辅助预测白菜的耐抽薹性。

2.4.2 白菜生长期间 SOD 活性测定 SOD 能够清除植物衰老过程中产生的自由基,在植物生长旺盛时期,SOD 活性会随生长加速保持稳定或升高,随着衰老而降低^[23]。由图 2 可知,3 种不同抽薹性的白菜材料在生长期 SOD 活性的变化呈现先升高后降低的趋势,而极耐抽薹型材料 SOD 的最高活性峰值出现较早,在抽薹期,另外 2 份试材在始花期达

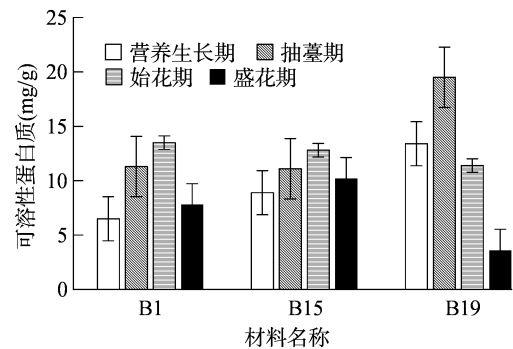


图1 大白菜可溶性蛋白含量变化

到峰值,分析可能是极耐抽薹型材料抗衰老能力相对较强。此外在营养生长期、抽薹期和始花期极耐抽薹型材料的 SOD 活性均明显高于其他 2 份材料,但 SOD 活性变化在抽薹性不同的白菜间未表现出明显的规律,因此不适宜通过测定不同白菜材料的 SOD 活性变化来预测白菜的耐抽薹性。

2.4.3 白菜生长期间 POD 活性测定 POD 活性作

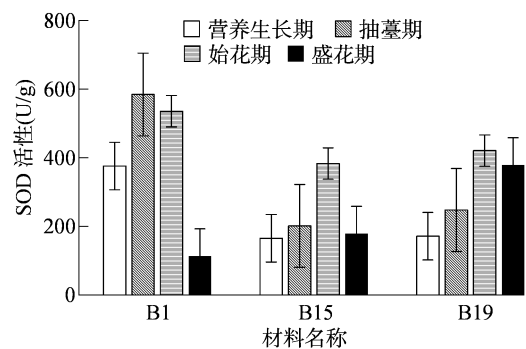


图2 大白菜生长期间 SOD 活性变化

为植物抗逆性重要生理指标之一,在植物受到低温胁迫时为增强对活性氧的清除能力,会大幅度升高^[24]。由图 3 可知,3 种不同抽薹性的白菜材料在植株生长过程中 POD 活性变化均表现先升高后降低的趋势,且均在抽薹期活性达到最高。此外营养生长期 3 种不同抽薹性的白菜材料间 POD 活性表现明显差异,与抽薹性强弱成反比,表明 POD 活性变化与抽薹性存在密切关系,所以检测抽薹前的 POD 活性高低可用来辅助预测白菜抽薹性强弱。

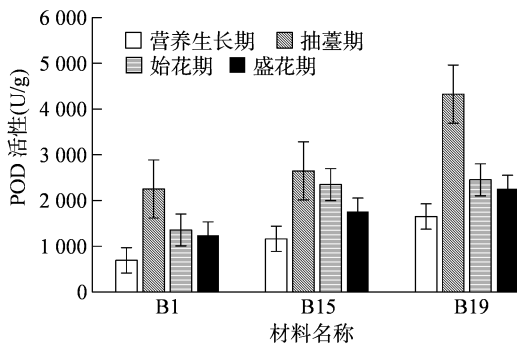


图 3 大白菜生长期间 POD 活性变化

2.4.4 白菜生长期间 CAT 活性测定 由图 4 可知,3 种不同抽薹性的白菜材料在生长期间 CAT 活性变化呈先升高后降低的趋势,但中等耐抽薹型材料和极不耐抽薹型材料 CAT 活性最高时期均为始花期,极耐抽薹型材料 CAT 活性最高时期为抽薹期,在营养生长期与抽薹期 3 个白菜品种间 CAT 活性的变化与抽薹性间均未形成规律,因此不适宜选择 CAT 活性变化来预测不同品种白菜的耐抽薹性。

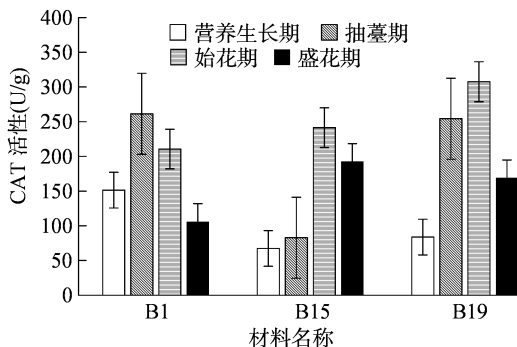


图 4 大白菜生长期间 CAT 活性变化

2.5 白菜抽薹性评价

根据性状调查结果,利用隶属函数法计算 32 份白菜高代自交系材料常规评价指标的隶属函数值,以平均隶属度综合评价耐抽薹能力。分析结果(表 7)发现,32 份供试白菜高代自交系材料的平均隶属度在 0.12 ~ 0.96,供试材料中包含极不耐抽薹(S)

高代自交系材料 2 份,不耐抽薹(LT)高代自交系材料 4 份,中等耐抽薹(MT)高代自交系材料 2 份,耐抽薹(T)高代自交系材料 18 份和极耐抽薹(HT)高代自交系材料 6 份。上述结果与 2021—2023 年期间室内表型评价结果一致率达 91%,为完善白菜抽薹性评价体系及快速选育白菜耐抽薹种质资源提供了坚实的理论依据,同时也奠定了良好的材料基础。

3 讨论和结论

构建高效、可靠的耐抽薹性鉴定方法和评价体系是耐抽薹白菜种质资源创制、品种选育的关键。而白菜性状评价主要建立在表型与生理生化基础上^[25-27],本试验以 32 份白菜高代自交系材料为试材,采用多个表型指标结合生理指标开展研究,利用 5 个春季抽薹相关性状、11 个秋季主要农艺性状及 4 个关键酶活性,探究开展白菜耐抽薹性评价的最佳关联指标,春季对植株的现蕾期开展调查记录,发现该指标早于抽薹期,可直观、简便地评价不同材料的抽薹性,同时营养生长阶段测定可溶性蛋白含量及 POD 活性变化均存在极不耐抽薹类型材料明显高于耐抽薹类型材料的规律,这一研究结果也与杜正香等的结论^[10,16]相符。试验通过将白菜抽薹期与秋季田间农艺性状指标进行相关性分析,发现不同植株的短缩茎长、短缩茎形状、外叶颜色与抽薹性间存在一定相关性,可以为秋季开展白菜耐抽薹性状评价提供辅助。同时本研究通过隶属函数法利用多个指标对试材白菜的耐抽薹性进行全面综合的比较和评价,根据春季对常规抽薹评价指标的平均隶属度分析,筛选出了 2 份极不耐抽薹高代自交系材料 B19、B23 和 6 份极耐抽薹高代自交系材料 B1、B2、B3、B9、B17、B18,为后续应用上述高代自交系材料创新种质及选育白菜耐抽薹优良品种提供了材料和理论依据。

参考文献:

[1] 中华人民共和国农业农村部. 2020 中国农业农村统计摘要 [M]. 北京:中国农业出版社,2020,61.
 [2] 张凤兰,于拴仓,余阳俊,等. “十二五”我国大白菜遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜,2017(3):16-22.
 [3] 张梦璐,张红,黄志银,等. 大白菜核心种质资源抽薹性的高效鉴定评价方法[J/OL]. 分子植物育种,2023:1-14(2023-04-26) [2024-09-01]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230426.1313.010.html>.
 [4] 赖佳,韦树谷,黄玲,等. 白菜类蔬菜种质资源抽薹性状鉴定评价[J]. 中国农学通报,2022,38(28):41-47.

表 7 32 份白菜高代自交系材料的耐抽薹性分级

编号	种质来源	平均隶属度	耐抽薹级别 A	人工春化室内鉴定 50% 植株平均开花时间 (d)	耐抽薹级别 B
B1	顶丽	0.96	HT	139	HT
B2	15-1B	0.87	HT	129	HT
B3	650D	0.81	HT	120	HT
B4	华早 3 号	0.73	T	120	T
B5	11 黄芽 14	0.59	MT	105	MT
B6	药 59	0.79	T	118	T
B7	13B16	0.62	T	120	T
B8	韩国迷你	0.79	T	118	T
B9	贝贝玉	0.81	HT	120	HT
B10	世纪春宝 H	0.68	T	118	T
B11	10 东阳 50	0.74	T	118	T
B12	SRiS60	0.72	T	118	T
B13	极品 W30 大 D	0.72	T	118	T
B14	金峰高 D	0.79	T	118	T
B15	亚洲迷你	0.72	T	118	T
B16	cR 黄芯 D	0.69	T	120	T
B17	庆春	0.85	HT	128	HT
B18	强春 H	0.85	HT	125	HT
B19	11 台湾快平	0.12	S	88	S
B20	YP32	0.60	T	118	T
B21	11 小黄白	0.26	LT	97	LT
B22	11 幕田秀美	0.79	T	125	HT
B23	12 台湾快浅平	0.19	S	88	S
B24	黑 265	0.28	LT	97	LT
B25	黑 227	0.39	LT	112	MT
B26	J402	0.29	LT	97	LT
B27	12G23	0.69	T	118	T
B28	青 667	0.67	T	114	T
B29	青 537	0.61	T	112	T
B30	J406	0.65	T	119	T
B31	J405	0.43	MT	112	T
B32	埠 461A	0.67	T	119	T

注:耐抽薹级别 A 代表由平均隶属度划分的等级,耐抽薹级别 B 代表由开花时间早晚划分的等级。

- [5] 杨平,杨鸿基,杨建超,等. 芜菁种质资源抽薹性状鉴定及评价[J]. 分子植物育种,2022,20(4):1363-1372.
- [6] 余阳俊,赵岫云,徐家炳,等. 大白菜室内苗期耐抽薹鉴定方法[J]. 中国蔬菜,2002(1):29-30.
- [7] 惠麦侠. 大白菜耐抽薹性及其鉴定方法的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2002:1-44.
- [8] 刘娟,黎黎,陆柄辰,等. 普通白菜种质资源耐抽薹性评价及耐抽薹种质的筛选[J]. 中国蔬菜,2019(9):37-43.
- [9] 田山君,严希,孟繁博,等. 萝卜抽薹特性的鉴定及抽薹前后生理生化特性的变化[J]. 北方园艺,2017(12):1-5.
- [10] 杜正香,侯瑞贤,李晓峰,等. 不结球白菜抽薹前后的生理生化研究[J]. 上海农业学报,2011,27(1):60-64.
- [11] 严奉君,刘独臣,代云璐,等. 叶用芥菜抽薹速率与现蕾期生理生化特征的关系[J]. 北方园艺,2020(21):27-33.
- [12] 肖艳,张倩倩,原让花,等. 基于主成分分析和聚类分析的大白菜耐抽薹种质资源评价[J]. 中国瓜菜,2023,36(5):37-43.
- [13] 李锡香,孙日飞. 大白菜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2008:6-28.
- [14] 范伟强,尹婧,王超楠,等. 33 个大白菜品种表型遗传多样性评价[J]. 中国瓜菜,2021,34(10):32-38.
- [15] 刘加乐. 高花青素晚抽薹不结球白菜种质资源筛选[D]. 合肥:安徽农业大学,2022.

许园园,李 强,任延靖,等. 甘蓝耐盐性评价与耐盐品种筛选[J]. 江苏农业科学,2025,53(22):172-176.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.22.023

甘蓝耐盐性评价与耐盐品种筛选

许园园¹,李 强^{2,3},任延靖⁴,邢苗苗¹,卢昱宇¹,严继勇¹,曾爱松¹

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏南京 210014; 2. 唐山师范学院,河北唐山 063000; 3. Faculty of Plantation and Agrotechnology/Universiti Teknologi MARA, Melaka Malaysia 77300; 4. 青海省农林科学院,青海西宁 810016)

摘要:结球甘蓝(*Brassica oleracea* L. var. *capitata*)是一种广泛栽培的两年生草本蔬菜作物,因其营养价值丰富、口感脆甜等特点,深受人们喜爱。随着我国盐渍化土地面积不断扩大,筛选耐盐甘蓝品种是有效利用盐渍化土地的重要途径。为发掘耐盐性强的甘蓝种质资源,进行甘蓝苗期耐盐性鉴定方法研究,采用实验室模拟盐胁迫的方法,首先确定 1.2% 的盐浓度为甘蓝苗期耐盐鉴定的最适浓度。随后,根据盐胁迫过程中甘蓝植株表型变化,将耐盐性甘蓝分为 5 个类型:高耐、耐盐、中耐、敏感、高感。选择叶片颜色、叶片形态、叶柄形态、叶片脱落性、茎秆形态等 5 个形态指标,制定等级得分标准计算盐害指数;测定植株根数、根长、株高、展开叶数、根鲜干重以及叶鲜(干)重,计算盐害系数,依据盐害指数结合盐害系数对甘蓝耐盐性进行综合评价。利用本试验建立的盐害评价体系对 21 个甘蓝品种(系)进行苗期耐盐性评价,结果表明,大部分甘蓝品种对盐胁迫表现为耐受,最终筛选到高耐盐资源 1 份,耐盐资源 10 份,同时鉴定出高感资源 1 份。

关键词:甘蓝;苗期;耐盐性;形态指标;鉴定方法

中图分类号:S635.103.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)22-0172-05

结球甘蓝(*Brassica oleracea* L. var. *capitata*)简称甘蓝,为十字花科芸薹属甘蓝种的一个变种,在世界各地广泛栽培,我国每年种植面积约为 90 万 hm^2 ,占世界甘蓝类蔬菜收获面积的 1/3 以上,在蔬菜周年供应和出口创汇中发挥重要作用^[1-2]。

土壤盐渍化是一个世界性的资源和生态问题,

据统计,目前全球盐渍化土壤面积为 956 万 hm^2 ,其中我国面积为 36 万 hm^2 ,约占全国可耕地面积的 5%,目前仍在不断增长,给农业生产和人类的生存环境带来严重影响^[3-7]。因此,除了对盐碱地进行综合治理外,明确不同蔬菜种质资源的耐盐性,选育具有耐盐性的蔬菜新品种,是确保盐碱地区蔬菜安全生产和改善盐碱地生态环境的有效途径^[8-9]。

近年来,江苏省甘蓝类蔬菜播种面积约 26.7 万 hm^2 ,其中冬春甘蓝多采用设施栽培,而随着设施甘蓝栽培的快速发展,设施条件下的淋溶不足,化肥过量使用引起的盐离子积累土壤次生盐渍化日益严重,导致甘蓝产量损失和品质下降,选育耐盐性较好的品种应用于生产是目前提高产量和

收稿日期:2024-10-14

基金项目:江苏省种业振兴“揭榜挂帅”项目[编号:JBGS(2021)015]。

作者简介:许园园(1985—),女,山东潍坊人,博士,副研究员,从事甘蓝分子育种方面的研究,E-mail:20130024@jaas.ac.cn。

通信作者:曾爱松,博士,副研究员,研究方向为甘蓝类蔬菜遗传育种,E-mail:zengaisong1960@163.com。

[16]李慧楠. 大白菜耐抽薹性鉴定与 QTL 定位[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2021.

[17]张素君,邱 杨,宋江萍,等. 萝卜种质资源耐抽薹性鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报,2014,15(2):262-269.

[18]李梅兰,汪俏梅,朱祝军,等. 春化对白菜 DNA 甲基化、GA 含量及蛋白质的影响[J]. 园艺学报,2002,29(4):353-357.

[19]王神云,余方伟,张 伟,等. 结球甘蓝抽薹过程中抗氧化系统及蛋白质含量的变化[J]. 西北农业学报,2023,32(1):101-108.

[20]刘贝贝,陈发兴. 多效唑对西克刺桐生理特性和花芽分化的影响[J]. 东南园艺,2024,12(1):64-70.

[21]李一鸣. 贮藏方式及温光条件对萝卜抽薹开花的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2022:1-70.

[22]奥岩松,李式军. 大白菜发育过程中可溶性蛋白质的变化[J]. 中国蔬菜,1997(2):19-21.

[23]袁晓伟,梁 悦,郭仰东,等. 十字花科蔬菜抽薹开花性状的研究进展[J]. 浙江农业科学,2024,65(5):1012-1018.

[24]徐春梅,邹 娅,刘自刚,等. 白菜型冬油菜萌动种子低温春化的生理生化特征[J]. 中国农业科学,2020,53(5):929-941.

[25]任慧女. 不同抽薹性萝卜春化及抽薹前后生理生化指标的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019.

[26]刘 艳,王宝祥,邢运高,等. 水稻品种资源苗期耐盐性评价指标分析[J]. 江苏农业科学,2021,49(17):75-79.

[27]韩 笑,陆文静,王桂玲,等. 寒地粳稻苗期耐碱性综合评价[J]. 江苏农业科学,2024,52(14):80-86.