

芜菁种质资源抗旱性鉴定与筛选

何苗, 姜元昊, 朱超凡, 王亚海, 吴忠祥, 赵建勋, 轩正英

(新疆设施农业兵团重点实验室·塔里木大学园艺与林学院 新疆阿拉尔 843300)

摘要:为系统评价芜菁幼苗的抗旱性, 筛选抗旱种质, 以 40 份芜菁种质为试验材料, 采用苗期盆栽试验, 设置干旱和正常浇水两种处理, 测定芜菁幼苗形态指标、叶绿素含量、旱害指数、死亡率等 19 个抗旱性评价指标, 并利用相关性分析、主成分分析、隶属函数法等对芜菁幼苗进行抗旱性综合评价和抗旱鉴定指标筛选。结果表明, 与正常浇水处理相比, 干旱胁迫降低了芜菁的株高、茎粗、叶长和叶宽、地上鲜质量和干质量、叶绿素含量等指标, 但对地下部相关指标的影响有正负两种结果。根据综合评价结果, 可将 40 份芜菁种质划分为 3 种类型, 包括 11 份干旱敏感种质、5 份抗旱种质、24 份中度抗旱种质, 其中抗旱性强的芜菁材料是 B9, 对干旱最为敏感的材料是 B2; 主成分分析结果表明, 株高、叶长、叶宽、叶柄长、主根长、根体积、地上鲜质量、地下鲜质量、地下干质量、根冠比、旱害指数可作为芜菁幼苗抗旱性评价的重要指标。

关键词: 芜菁; 苗期抗旱性; 鉴定和筛选

中图分类号: S631.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2024)08-100-09

Identification and screening of turnip germplasm resources for drought resistance

HE Miao, JIANG Yuanhao, ZHU Chaofan, WANG Yahai, WU Zhongxiang, ZHAO Jianxun, XUAN Zhengying

(Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protected Agriculture/College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Aral 843300, Xinjiang, China)

Abstract: In order to evaluate the drought resistance of turnip seedlings and screen the drought-resistant germplasm, 40 turnip germplasm resources were used as experimental materials, and the seedling potting test was set up with two treatments of drought and normal watering to determine 19 drought-resistant evaluation indexes, such as morphological indexes, chlorophyll content, drought index, mortality rate, and so on, and the drought-resistant evaluation and drought resistance identification index screening were carried out on turnip seedlings using correlation analysis, principal component analysis, and the affiliation function method. The results showed that drought stress reduced plant height, stem thickness, leaf length and width, aboveground fresh mass and dry mass, chlorophyll content and other indexes of turnip, but had positive and negative effects on underground indexes. Fourty germplasm could be classified into 11 drought-sensitive varieties, 5 drought-resistant varieties and 24 moderately drought-resistant varieties, among which the drought-resistant turnip material was B9, and the drought-most sensitive material was B2, leaf length, leaf width, petiole length, main root length, root volume, aboveground fresh mass, underground fresh mass, underground dry mass, root-crown ratio, and drought index were used as important indexes for the evaluation of drought resistance of turnip seedlings.

Key words: Turnip; Seedling drought tolerance; Identification and screening

芜菁 (*Brassica rapa* L.) 又名蔓菁、圆根、盘菜等, 属十字花科芸薹属二年生草本植物^[1], 因具有食用、药用、饲用 3 种价值而被广泛种植^[2]。新疆是芜菁的主要生产地区, 由于栽培季节大多在秋冬季,

在生长过程中常受到干旱胁迫的影响, 产量降低^[3], 因此筛选抗旱型种质对芜菁产业发展具有重要意义。

干旱不仅会使植株大小发生变化, 调节植株的

收稿日期: 2023-11-17; 修回日期: 2024-05-05

基金项目: 塔里木大学校长基金一般项目 (TDZKYB201903); 塔里木大学自然科学类创新研究团队项目 (TDZKCX202407); 塔里木大学研究生科研创新项目 (TDGRI202332)

作者简介: 何苗, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜种质资源与遗传育种。E-mail: 1819329257@qq.com

通信作者: 轩正英, 女, 教授, 研究方向为蔬菜种质资源与遗传育种。E-mail: xzyzky@163.com

生物量,限制细胞的有丝分裂,导致叶面积减小,植株低矮,抑制作物生长^[4],也会影响植物的光合作用和生理生化活动^[5-6],严重干旱甚至会导致植株死亡。因此,研究植物的抗旱性具有重要意义。前人已经对芸薹属植物的抗旱性进行了大量研究。朱小慧^[7]研究表明,油菜地上部鲜质量、茎粗、根粗在干旱胁迫下受到抑制,茎干质量和根干质量升高,叶片干质量下降,根冠比显著升高;油菜膜脂过氧化水平、抗氧化酶活性、渗透调节物质含量和叶绿素含量都受到干旱胁迫的影响。在干旱胁迫下,植物通过多个性状的同时变化来抵御逆境,这是一个复杂的过程^[8],通常需要测定多个性状指标,以抗旱系数为基本评价指标,结合相关性分析、主成分分析、隶属函数法等统计方法进行抗旱性综合评价,这些方法已经在油菜^[9]、西瓜^[10]、马铃薯^[11]等蔬菜抗旱研究中得到运用。岳瑶琴等^[12]采用主成分分析、相关性分析和隶属函数法,对油菜种质资源抗旱性进行综合评价与鉴定,筛选出抗旱性较好的资源。刘翔等^[13]通过主成分分析、隶属函数法等分析相关抗旱指标的变化,利用抗旱性综合度量值 D 值评价甘蓝型油菜苗期抗旱性,结果表明,叶片相对含水量、可溶性蛋白和丙二醛含量可作为甘蓝型油菜苗期抗旱性的评价指标。黄倩等^[14]通过隶属函数法筛选出 39 个油菜干旱敏感品种、8 个抗旱品种、32 个中度抗旱品种,并表明相对含水量、地上鲜质量、地上干质量、地下鲜质量、地下干质量、过氧化氢酶活性、过氧化物酶活性和脯氨酸含量均可作为油菜苗期抗旱性鉴定的辅助指标。

虽然目前对芸薹属植物抗旱性开展了大量研究,但还没有统一的指标评价标准,很难全面而又准确地进行抗旱性评价^[15]。为此,笔者采用苗期盆栽自然干旱胁迫的方法,对 40 份芜菁种质进行干旱胁迫处理,对幼苗的各形态指标、叶绿素含量、抗旱指数、死亡率进行比较分析,以期筛选抗旱性较强的芜菁种质和适宜芜菁鉴定评价的抗旱指标,为芜菁抗旱种质筛选和评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为塔里木大学园艺与林学院前期搜集和保存的 40 份芜菁种质(表 1)。

1.2 方法

试验于 2023 年 6 月在塔里木大学连栋温室内进行。采用完全随机试验,每份材料 32 株,3 次重

复,共 96 株。每份种质挑选饱满的种子,播种于 32 孔育苗穴盘(上口口径 58 mm,底部 20 mm,高 110 mm),育苗基质为草炭:蛭石:园土按照 2:2:1 体积比混合。播种后正常水分管理,在幼苗长至 4 叶 1 心时采用自然干旱法进行胁迫处理,设置对照(CK,正常浇水)和干旱胁迫处理(T),直到各个材料都表现出旱害症状并且与对照有明显差别时结束试验。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长及生理指标的测定 干旱胁迫 10 d 后,每个处理随机选取 5 株幼苗,3 次重复,共 15 株。清洗并擦干表面水分后,用游标卡尺测量株高(基质表面到生长点的高度)、茎粗(第 1 节位近子叶部)、叶长、叶宽、叶厚、叶柄长、主根长(基质表面到主根根尖的长度),采用排水法测定 5 株幼苗的根体积,采用百分之一电子天平称量 5 株幼苗的地上和地下部鲜质量、干质量,最后计算根冠比。根冠比=地下部生物量/地上部生物量。

随机选取幼苗第 3 片真叶采用 95%无水乙醇黑暗浸提法测定叶绿素含量^[16],每个处理 5 株,3 次重复,共 15 株。

1.3.2 抗旱指数及死亡率的测定 参照左凯峰^[17]分级标准(表 2)并适当修改,对各个品种的萎蔫情况分级并计算抗旱指数,最后进行抗旱分级。抗旱指数(DRI)= $1-(1 \times S_1 + 2 \times S_2 + 3 \times S_3 + 4 \times S_4) / (\text{调查的总植株数} \times 4)$;其中, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 分别代表 1~4 级干旱的植株数。每隔 3 d 调查各品种幼苗的死亡率,直到幼苗全部死亡,计算死亡率(死亡率/%=死亡株数/总株数 $\times 100$)。抗旱系数=各指标在干旱胁迫下的值/对照值。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 整理试验数据,采用 SPSS 25.0 软件进行方差分析、独立样本 t 检验和 Duncan 多重对比。参考谢小玉等^[18]的方法计算抗旱系数、变异幅度及综合评价 D 值。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下芜菁种质苗期各指标差异分析

由表 3 可知,干旱胁迫处理组的株高、茎粗、叶长、叶宽、叶厚、叶柄长、主根长、地上鲜质量、地上干质量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量、叶绿素 a/b 的均值均低于对照组,下降幅度分别为 41.40%、42.68%、24.46%、15.95%、3.03%、20.55%、2.08%、34.80%、36.84%、30.00%、34.92%、

表1 供试资源及来源
Table 1 Test resource and source

种质编号 Germplasm No.	来源 Source	类型 Type	种质编号 Germplasm No.	来源 Source	类型 Type
B1	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B21	黑龙江 Heilongjiang	常规种 Conventional variety
B2	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B22	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B3	河南 Henan	常规种 Conventional variety	B23	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B4	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B24	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B5	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B25	辽宁 Liaoning	常规种 Conventional variety
B6	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B26	河北 Hebei	常规种 Conventional variety
B7	安徽 Anhui	常规种 Conventional variety	B27	河北 Hebei	常规种 Conventional variety
B8	北京 Beijing	常规种 Conventional variety	B28	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B9	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B29	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B10	山东 Shandong	常规种 Conventional variety	B30	甘肃 Gansu	常规种 Conventional variety
B11	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B31	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B12	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B32	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B13	河南 Henan	常规种 Conventional variety	B33	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B14	河北 Hebei	常规种 Conventional variety	B34	新疆 Xinjiang	地方品种 Landrace
B15	河北 Hebei	常规种 Conventional variety	B35	新疆 Xinjiang	地方品种 Landrace
B16	河南 Henan	常规种 Conventional variety	B36	新疆 Xinjiang	地方品种 Landrace
B17	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety	B37	新疆 Xinjiang	地方品种 Landrace
B18	黑龙江 Heilongjiang	常规种 Conventional variety	B38	新疆 Xinjiang	地方品种 Landrace
B19	福建 Fujian	常规种 Conventional variety	B39	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety
B20	河北 Hebei	常规种 Conventional variety	B40	新疆 Xinjiang	常规种 Conventional variety

表2 旱害调查分级标准
Table 2 Drought survey classification criteria

级别 Level	旱害症状 Drought symptom
0	植株正常,没有叶片萎蔫 Plants normal, no leaf wilt
1	发黄叶不超过1片,无枯死叶 No more than 1 yellowing leaf, no dead leaves
2	枯死叶不超过2片,心叶正常 No more than 2 dead leaves, heart leaves are normal
3	枯死叶3~4片,心叶正常 Dead leaves 3-4, heart leaves are normal
4	全部的叶片萎蔫干枯,心叶开始萎蔫,趋向死亡 All leaves are chlorotic and dry, and the heart leaves begin to wilt and tend to die

表 3 芜菁苗期各指标的差异分析
Table 3 Difference analysis of indexes of turnip seedling stage

指标 Index	处理 Treat- ment	株高 Plant height/ cm	茎粗 Stem thick- ness/ mm	叶长 Leaf length/ mm	叶宽 Leaf width/ mm	叶厚 Leaf thick- ness/ mm	叶柄长 Petiole length/ mm	主根长 Rootlet length/ mm	根体积 Root volume/ cm ³	地上鲜 质量 Above- ground fresh mass/g	地下 鲜质量 Under- ground fresh mass/g	地上干 质量 Above- ground dry mass/g	地下 干质量 Under- ground dry mass/ g	根冠比 Root- crown ratio	w(叶绿 素 a) Chloro- phyll a content/ (mg·g ⁻¹)	w(叶绿 素 b) Chloro- phyll b content/ (mg·g ⁻¹)	w(总叶 绿素) Total chlo- rophyll content/ (mg·g ⁻¹)	叶绿 素 a/b Chloro- phyll a/b	早害 指数 DRI	死亡率 Mortality rate/ %
最大值	CK	19.80	9.34	123.39	87.74	0.59	158.70	99.98	0.55	7.68	0.78	0.78	0.11	0.37	1.97	1.56	3.93	0.34	0.00	0.00
Max.	T	17.70	6.09	103.26	75.58	0.63	142.38	98.59	0.76	5.12	0.74	0.48	0.16	1.67	1.68	0.81	2.36	0.24	0.86	96.00
最小值	CK	4.53	1.26	47.14	23.47	0.10	80.01	10.32	0.08	1.44	0.03	0.08	0.01	0.02	0.78	0.32	1.11	0.19	0.00	0.00
Min.	T	1.82	0.85	3.62	2.13	0.07	5.83	22.56	0.08	0.68	0.03	0.02	0.01	0.02	0.49	0.23	0.75	0.12	0.12	36.00
均值	CK	12.10	4.17	81.52	53.23	0.33	118.45	70.16	0.23	4.31	0.22	0.38	0.04	0.12	1.30	0.63	2.01	0.24	0.00	0.00
Mean	T	7.09	2.39	61.58	44.74	0.32	94.11	68.70	0.24	2.81	0.24	0.24	0.04	0.22	0.91	0.41	1.32	0.20	0.43	68.00
标准差	CK	3.78	1.55	13.65	9.52	0.09	19.13	17.90	0.09	1.41	0.13	0.15	0.02	0.07	0.29	0.25	0.63	0.02	0.00	0.00
Standard deviation	T	2.71	1.03	19.40	12.95	0.11	25.86	18.58	0.12	1.01	0.12	0.10	0.02	0.20	0.25	0.11	0.34	0.02	0.18	16.00
变异系数	CK	31.26	37.19	16.75	17.89	27.19	16.15	25.52	40.92	32.75	57.19	38.76	53.63	58.22	22.31	39.28	31.42	7.87	0.00	0.00
Variable coefficient/ %	T	38.28	43.02	31.51	28.95	33.26	27.48	27.05	47.22	35.97	52.02	40.88	56.37	91.48	27.48	26.41	26.09	9.80	42.89	23.43
变异幅度 Amplitude of variation/%		39.00	39.64	24.50	16.26	-13.78	21.46	-3.73	-25.28	31.37	-34.77	32.26	-32.45	-122.34	28.71	30.53	31.22	15.48	42.89	23.43
t 检验 t value		7.94**	7.21**	6.10**	3.82**	0.23	4.74**	0.34	-0.59**	5.57	-0.57**	5.20	-0.30**	-3.42	6.49**	5.23**	6.04**	8.86**	-14.75**	-27.00**

注: *和**分别表示在 0.05 水平和 0.01 水平差异显著。
Note: * and ** represent significant difference at 0.05 level and 0.01 level, respectively.

34.33%、16.67%；根体积、地下鲜质量和根冠比较对照增加，增加幅度分别为 4.35%、9.09%和 83.33%；旱害指数和死亡率在干旱胁迫处理下的平均值分别为 0.43 和 68.00%。干旱胁迫下 19 个指标均发生较大变化，说明这些指标可以用来反映芜菁苗期的抗旱情况。

在对照中，19 个指标的变异系数范围为 0~58.22%，平均为 29.17%；在干旱胁迫处理中，19 个指标的变异系数范围为 9.80%~91.48%，平均为 37.35%，说明试验选择的 40 份芜菁种质在干旱胁迫下各指标变化较大。利用 SPSS 中独立样本 *t* 检验对处理组与对照组的数据进行分析，结果表明，株高、茎粗、叶长等 14 个指标 *t* 检验显著性数值均小于 0.01，这些数据存在极显著差异，说明干旱胁迫对这些指标的影响较为显著。

2.2 干旱胁迫下芜菁种质苗期各指标抗旱系数分析

由表 4 可以看出，各指标抗旱系数有较大差异。根冠比抗旱系数的变异系数最大，为 80.55%，叶绿素 a/b 抗旱系数的变异系数最小，为 10.69%；主根长抗旱系数的变异系数为 19.04%，其他各指标抗旱系数的变异系数均超过 20.00%。

从表 3、表 4 可以看出，干旱胁迫下株高、茎粗、叶长、叶宽、叶柄长、地上鲜质量、地上干质量、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、总叶绿素含量、叶绿素 a/b 抗旱系数的变异幅度呈下降趋势，降低幅度为 51.07%~96.35%，其中叶长和叶宽抗旱系数下降幅度最大，叶绿素 a/b 抗旱系数下降幅度最小；叶厚、主根长、根体积、地下鲜质量、地下干质量、根冠比抗旱系数的变异幅度均呈上升趋势，上升幅度为 81.00%~97.91%，其中根冠比上升幅度最大，主根长上升幅度最小。

由此可知，干旱胁迫后各指标抗旱系数均发生较大变化，结合各指标的差异分析，说明这 17 个指标均对干旱胁迫敏感。

2.3 干旱胁迫下芜菁种质苗期各指标抗旱系数间相关性分析

由图 1 可以看出，苗期 19 个指标抗旱系数间大多数存在显著或极显著的相关关系，叶长与叶宽、叶柄长、地上鲜质量、旱害指数呈极显著正相关，叶宽与叶柄长、地上鲜质量、旱害指数呈极显著正相关，叶厚与主根长呈极显著正相关，根体积与地下鲜质量、地下干质量、根冠比呈极显著正相关，地下鲜质量与地下干质量、根冠比呈极显著正相关，地下干质量与根冠比呈极显著正相关，叶绿素 a

表 4 芜菁苗期各指标抗旱系数分析
Table 4 Analysis of drought tolerance coefficients of turnip seedling indexes

指标 Index	株高 Plant height	茎粗 Stem thickness	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶厚 Leaf thickness	叶柄长 Petiole length	主根长 Rootlet length	根体积 Root volume	地上鲜质量 Above-ground fresh mass	地下鲜质量 Underground fresh mass	地上干质量 Above-ground dry mass	地下干质量 Underground dry mass	根冠比 Root-crown ratio	叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content	叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content	总叶绿素含量 Total chlorophyll content	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
均值 Mean	0.61	0.60	0.76	0.84	1.14	0.79	1.04	1.25	0.69	1.35	0.68	1.32	2.22	0.71	0.69	0.69	0.80
标准差 Standard deviation	0.19	0.21	0.21	0.19	0.49	0.17	0.20	0.77	0.24	1.04	0.32	0.99	1.79	0.17	0.18	0.17	0.09
变异系数 Variable coefficient/%	31.86	34.62	28.06	22.32	43.35	22.02	19.04	61.48	35.08	76.92	46.98	74.86	80.55	23.48	25.61	24.68	10.69
变异幅度 Amplitude of variation/%	91.02	93.75	96.35	96.35	91.59	93.11	81.00	89.28	88.15	97.55	93.87	97.79	97.91	61.12	79.00	72.97	51.07

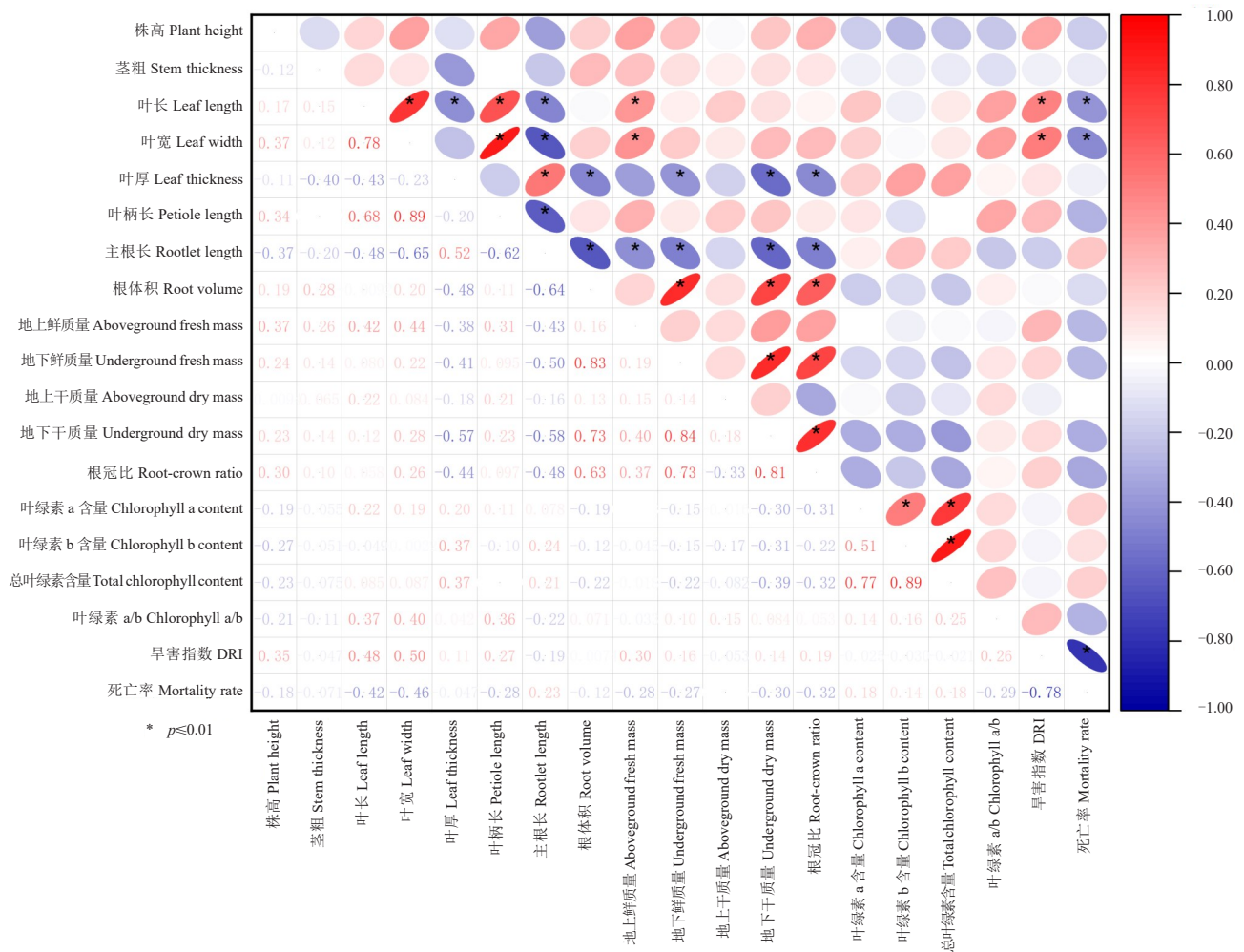


图1 芜菁苗期各指标抗旱系数的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of drought tolerance coefficient of turnip seedling indexes

含量与叶绿素 b 含量、总叶绿素含量呈极显著正相关,叶绿素 b 含量与总叶绿素含量呈极显著正相关;叶长与叶厚、主根长、死亡率呈极显著负相关,叶宽与主根长、死亡率呈极显著负相关,叶厚与根体积、地下鲜质量、地下干质量、根冠比呈极显著负相关,叶柄长与主根长呈极显著负相关,主根长与根体积、地上鲜质量、地下鲜质量、地下干质量、根冠比呈极显著负相关,旱害指数与死亡率呈极显著负相关。以上结果说明芜菁幼苗的抗旱性由多个指标共同决定,因此,其抗旱性鉴定评价需要通过多个指标共同完成。

2.4 干旱胁迫下芜菁种质资源苗期各指标抗旱系数主成分分析

为了综合评价各抗旱指标,对各指标的抗旱系数进行了主成分分析(表5),共提取了7个主成分,累积贡献率为85.526%,其中主成分1的特征值为5.760,贡献率为30.317%,占比较大的是主根长和

地下干质量,此成分主要与芜菁的根系有关,根系发达的材料其抗旱性也强;主成分2的特征值为3.348,贡献率为17.623%,占比较大的是总叶绿素含量、叶长和叶宽,干旱会影响幼苗叶片的生长和光合色素含量;主成分3的特征值为2.010,贡献率为10.577%,占比较大的是叶绿素 b 和总叶绿素含量,此成分主要与幼苗光合作用有关,光合能力强的材料其抗旱性较强;主成分4占比较大的是地上干质量、叶厚、旱害指数和死亡率;主成分5占比较大的是叶绿素 a/b 和地上鲜质量,主成分6占比较大的是株高和茎粗;主成分7占比较大的是地上干质量。根据主成分分析可知,主根长、地下干质量、总叶绿素含量、叶面积和叶绿素 b 含量对芜菁苗期抗旱性鉴定具有重要作用。

2.5 干旱胁迫下芜菁种质资源苗期抗旱性的综合评价

根据公式计算芜菁幼苗综合评价 D 值,D 值越

表5 芜菁苗期各指标抗旱系数主成分分析

Table 5 Principal component analysis of drought tolerance coefficient of turnip seedling indicators

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7
株高 Plant height	0.196	0.006	-0.255	0.075	0.400	0.426	0.258
茎粗 Stem thickness	0.105	-0.056	0.191	-0.240	0.201	-0.640	-0.044
叶长 Leaf length	0.226	0.355	-0.076	-0.227	0.010	-0.143	-0.115
叶宽 Leaf width	0.282	0.355	-0.046	-0.056	0.059	0.099	-0.171
叶厚 Leaf thickness	-0.261	0.145	-0.169	0.346	-0.098	0.154	0.182
叶柄长 Petiole length	0.238	0.311	-0.086	-0.211	-0.031	0.285	-0.200
主根长 Rootlet length	-0.343	-0.059	-0.116	0.127	-0.020	-0.189	0.139
根体积 Root volume	0.279	-0.191	0.339	0.104	-0.111	0.084	0.075
地上鲜质量 Aboveground fresh mass	0.234	0.105	0.012	-0.078	0.421	-0.169	0.317
地下鲜质量 Underground fresh mass	0.295	-0.163	0.266	0.233	-0.151	0.072	0.194
地上干质量 Aboveground dry mass	0.074	0.040	0.030	-0.429	-0.396	0.045	0.671
地下干质量 Underground dry mass	0.339	-0.186	0.168	0.112	-0.110	0.036	0.112
根冠比 Root-crown ratio	0.298	-0.183	0.121	0.346	0.125	0.006	-0.219
叶绿素 a 含量 Chlorophyll a content	-0.111	0.340	0.335	-0.016	0.135	0.088	0.070
叶绿素 b 含量 Chlorophyll b content	-0.162	0.269	0.391	0.252	0.113	-0.045	0.114
总叶绿素含量 Total chlorophyll content	-0.166	0.360	0.389	0.146	0.116	0.028	0.126
叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	0.087	0.276	0.089	0.097	-0.563	-0.028	-0.226
旱害指数 DRI	0.174	0.247	-0.319	0.337	-0.010	-0.229	0.204
死亡率 Mortality rate	-0.212	-0.159	0.292	-0.326	0.161	0.362	-0.127
特征值 Eigenvalues	5.760	3.348	2.010	1.729	1.305	1.158	0.940
贡献率 Contribution rate/%	30.317	17.623	10.577	9.099	6.866	6.095	4.949
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	30.317	47.940	58.517	67.616	74.482	80.578	85.526

大,种质抗旱性越强。根据黄倩^[14]的抗旱种质划分方法并稍作修改,以0.6为阈值,将D值大于0.6定为抗旱种质,将D值小于0.5的定为干旱敏感种质,将D值介于两者之间的定为中度抗旱种质。由表6可知,40份芜菁种质根据D值大小,可以划分为11份干旱敏感种质、5份抗旱种质、24份中度抗旱种质,其中抗旱性最强的种质是B9,D值为0.726;最弱的种质为B2,D值为0.224。

2.6 抗旱性回归模型建立

以D值为因变量,以各指标抗旱系数为自变量,应用逐步回归方法建立回归模型 $Y = -0.005X_1 - 0.029X_2 + 0.275X_3 + 0.027X_4 - 0.005X_5 + 0.012X_6 + 0.118X_7 + 0.044X_8 - 0.029X_9 + 0.002X_{10} + 0.035X_{11} + 0.173$, $R^2 = 0.8335$, $p < 0.05$,其中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 分别表示株高、叶长、叶宽、叶柄长、主根长、根体积、地上鲜质量、地下鲜质量、地下干质量、根冠比、旱害指数。用回归方程对40份芜菁种质各指标的相对值进行预测,将预测D值(表6)和综合评价进行相关性分析,相关系数 $r = 0.91$,呈极显著正相关,表明该回归方程可用于芜菁抗旱性的综合评价。因此,株高、叶长、叶宽、叶

柄长、主根长、根体积、地上鲜质量、地下鲜质量、地下干质量、根冠比、旱害指数可以作为芜菁幼苗抗旱性评价的指标。

3 讨论与结论

在植物的抗旱性研究中,种质资源田间抗旱性鉴定可以直接评价出耐旱植株,但容易受到其他环境因素的影响,可操作性和可重复性较差^[19]。苗期抗旱性鉴定不仅可以有效避免这些问题,而且具有可控性好和周期短等优点^[20],被广泛应用于多种植物的抗旱品种筛选^[21-22]。苗期是芜菁生长的关键阶段,此时鉴定芜菁抗旱性可以成功筛选出耐旱种质。

干旱严重影响芜菁幼苗的生长发育,不同芜菁种质受干旱胁迫影响差异较大。本试验研究表明,与对照相比,干旱胁迫显著降低了芜菁幼苗的株高、茎粗、叶长、叶宽、叶柄长、地上鲜质量、地上干质量、叶绿素a含量、叶绿素b含量、总叶绿素含量、叶绿素a/b,而根冠比增大,这与张富来^[23]、李啸云等^[24]的研究结果基本一致。不同芜菁资源的叶厚、主根长、根体积、地下鲜质量和地下干质量变化差

表6 芜菁苗期抗旱性综合评价
Table 6 Comprehensive evaluation of drought tolerance of turnip seedlings

编号 No.	F_1 得分 F_1 score	F_2 得分 F_2 score	F_3 得分 F_3 score	F_4 得分 F_4 score	F_5 得分 F_5 score	F_6 得分 F_6 score	F_7 得分 F_7 score	D 值 D -value	预测 D 值 Predicted D -value
B1	0.000	0.000	0.520	0.443	0.885	0.349	0.838	0.256	0.261
B2	0.040	0.070	0.600	0.496	0.241	0.322	0.452	0.224	0.231
B3	0.332	0.668	0.873	0.402	0.590	0.855	0.397	0.537	0.493
B4	0.404	0.449	0.618	0.301	0.410	0.666	0.000	0.424	0.456
B5	0.348	0.684	0.689	0.053	0.642	0.835	0.700	0.506	0.484
B6	0.562	0.591	0.892	0.489	0.373	1.000	0.241	0.598	0.506
B7	0.539	0.651	0.847	0.182	0.553	0.571	0.359	0.555	0.562
B8	0.312	0.773	0.671	0.498	0.288	0.400	0.317	0.475	0.455
B9	1.000	0.325	0.638	1.000	0.458	0.571	0.744	0.726	0.693
B10	0.617	0.522	0.946	0.390	0.409	0.395	0.358	0.566	0.576
B11	0.695	0.402	0.335	0.243	0.441	0.627	0.345	0.496	0.541
B12	0.667	0.568	1.000	0.584	0.507	0.552	0.511	0.648	0.636
B13	0.369	0.687	0.121	0.638	0.542	0.980	0.700	0.509	0.528
B14	0.795	0.411	0.512	0.566	0.766	0.387	0.326	0.597	0.649
B15	0.569	0.434	0.601	0.100	0.566	0.482	0.237	0.469	0.530
B16	0.542	0.549	0.482	0.023	0.633	0.649	0.318	0.482	0.472
B17	0.699	0.396	0.174	0.101	0.519	0.422	0.447	0.459	0.522
B18	0.661	0.559	0.915	0.332	1.000	0.590	0.450	0.646	0.618
B19	0.672	0.632	0.678	0.278	0.538	0.466	0.446	0.584	0.564
B20	0.583	0.567	0.464	0.133	0.639	0.405	0.511	0.505	0.515
B21	0.621	0.606	0.346	0.232	0.790	0.837	0.486	0.563	0.572
B22	0.418	0.773	0.468	0.282	0.472	0.406	0.531	0.493	0.524
B23	0.490	0.807	0.301	0.353	0.381	0.590	0.444	0.512	0.525
B24	0.421	0.832	0.523	0.314	0.749	0.435	0.643	0.547	0.573
B25	0.589	0.891	0.696	0.314	0.710	0.437	0.726	0.642	0.614
B26	0.477	0.906	0.540	0.400	0.673	0.385	0.433	0.571	0.550
B27	0.651	0.790	0.671	0.391	0.772	0.302	0.579	0.635	0.596
B28	0.572	0.665	0.000	0.615	0.594	0.538	0.261	0.505	0.520
B29	0.424	0.840	0.508	0.479	0.418	0.545	0.310	0.527	0.504
B30	0.508	0.642	0.398	0.368	0.496	0.608	0.429	0.509	0.548
B31	0.418	0.858	0.539	0.431	0.861	0.803	0.608	0.598	0.528
B32	0.404	0.946	0.565	0.455	0.580	0.804	0.422	0.584	0.511
B33	0.649	0.573	0.135	0.254	0.477	0.863	0.550	0.523	0.562
B34	0.443	1.000	0.581	0.455	0.617	0.000	0.430	0.557	0.530
B35	0.450	0.843	0.214	0.490	0.362	0.493	0.511	0.505	0.508
B36	0.434	0.925	0.408	0.391	0.232	0.418	0.669	0.523	0.543
B37	0.401	0.950	0.776	0.455	0.557	0.423	0.290	0.573	0.548
B38	0.682	0.523	0.195	0.328	0.681	0.243	0.302	0.498	0.556
B39	0.552	0.689	0.366	0.325	0.571	0.178	0.397	0.499	0.530
B40	0.767	0.609	0.766	0.000	0.000	0.476	1.000	0.584	0.585
权重 Weight	0.354	0.206	0.124	0.106	0.080	0.071	0.058		

异较大,干旱胁迫处理和对照之间无规律可循,这与焦志银等^[25]的研究结果基本一致。

合理的抗旱指标对确定植物的抗旱性非常重

要。抗旱性评价指标包括植株外观形态指标^[18]、生理生化指标^[26]、抗旱指数^[27]、存活率^[28]等,而且各指标间也相互联系。笔者通过相关性分析发现,33对

性状指标表现出极显著相关性,又结合回归方程分析,发现株高、叶长、叶宽、叶柄长、主根长、根体积、地上鲜质量、地下鲜质量、地下干质量、根冠比、旱害指数可作为芜菁幼苗抗旱性评价的指标,这与陈娇等^[29]的研究结果基本一致,认为光合参数指标、含水量指标、植株形态和根系性状指标与苗期的抗旱性关系密切。

植物的抗旱性是由遗传和环境因素共同决定的复杂性状,不同品种的抗旱性存在差异,不能只用单一指标进行评价,多个指标的综合评价在马铃薯^[30]、小麦^[31]、苜蓿^[32]等植物抗旱性鉴定中广泛应用。笔者采用相关性分析、主成分分析、隶属函数法等对40份芜菁种质进行综合评价,并筛选出干旱敏感和抗旱型种质,这与高亚宁^[33]的研究结果基本一致,此方法可用于芜菁幼苗的抗旱性评价。

综上所述,干旱胁迫降低了芜菁幼苗的株高、茎粗、叶长、叶宽、地上部鲜质量和干质量、叶绿素含量等指标,但对地下部相关指标的影响有正负两种结果;40份芜菁种质可以划分为11份干旱敏感种质、5份抗旱种质、24份中度抗旱种质,苗期抗旱性强的芜菁材料是B9,干旱最为敏感的材料是B2;株高、叶长、叶宽、叶柄长、主根长、根体积、地上鲜质量、地下鲜质量、地下干质量、根冠比、旱害指数可以作为芜菁幼苗抗旱性评价的指标。

参考文献

- [1] 张德纯. 蔬菜史话·芜菁[J]. 中国蔬菜, 2012(17):43.
- [2] 次仁德吉, 米玛. 浅谈芜菁研究现状[J]. 西藏农业科技, 2021, 43(1):89-92.
- [3] 高亚宁, 张凯浩, 杨鸿基, 等. 干旱胁迫对不同种源芜菁生长和品质的影响[J]. 塔里木大学学报, 2022, 34(3):40-46.
- [4] 张玉, 冷海楠, 曹宏杰, 等. 干旱胁迫对植物的影响研究[J]. 黑龙江科学, 2022, 13(14):22-24.
- [5] 云建英, 杨甲定, 赵哈林. 干旱和高温对植物光合作用的影响机制研究进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3):641-648.
- [6] JEZDINSKY A, POKLUDA R. Photosynthetic activity as an indicator of drought stress in vegetables[J]. Acta Horticulturae, 2016, 1112:39-44.
- [7] 朱小慧. 甘蓝型油菜种质抗旱评价与生理机制研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [8] 王硕, 贾潇倩, 何璐, 等. 作物对干旱胁迫的响应机制及提高作物抗旱能力的调控措施研究进展[J]. 中国农学通报, 2022, 38(29):31-44.
- [9] 田宏先, 李小玉, 施毅, 等. 晋北区地方油菜品种苗期抗旱性比较[J]. 山西农业科学, 2020, 48(9):1411-1417.
- [10] 何亚萍, 尹丽娟, 丁小玲, 等. 25份西瓜种质苗期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(12):49-59.
- [11] 李丰先, 罗磊, 李亚杰, 等. 基于PCA和隶属函数法分析的马铃薯创新种质抗旱性鉴定与分类[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(11):141-147.
- [12] 岳瑶琴, 赵彤, 余青兰, 等. 342份油菜种质资源抗旱性评价研究[J]. 青海大学学报, 2023, 41(2):29-36.
- [13] 刘翔, 左凯峰, 许伟, 等. PEG 6000模拟干旱胁迫下甘蓝型油菜芽期及苗期抗旱指标筛选[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(5):66-70.
- [14] 黄倩, 赵永国, 徐劲松, 等. 油菜苗期抗旱性鉴定及抗旱指标评价[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(3):9-17.
- [15] 孙彩霞, 沈秀瑛. 作物抗旱性鉴定指标及数量分析方法的研究进展[J]. 中国农学通报, 2002, 18(1):49-51.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [17] 左凯峰. 甘蓝型油菜抗旱种质鉴定及相关基因分析[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [18] 谢小玉, 张霞, 张兵. 油菜苗期抗旱性评价及抗旱相关指标变化分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3):476-485.
- [19] 杜娟, 钟巧芳, 殷富有, 等. 水稻抗旱性鉴定研究进展及其展望[J]. 江西农业学报, 2023, 35(3):25-29.
- [20] 任海红, 刘学义, 李文强, 等. 大豆不同时期抗旱鉴定研究进展[J]. 农业科技通讯, 2016(8):111-114.
- [21] 王新军, 阎世江. 干旱胁迫对番茄幼苗生理特性的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(6):76-80.
- [22] 辛亚军, 陈思谨, 邵发琦, 等. 不同西瓜品种幼苗期抗旱特性[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(5):28-33.
- [23] 张富来. 玉米不同品种抗旱指标筛选及其抗旱性综合评价[D]. 新疆阿拉尔: 塔里木大学, 2023.
- [24] 李啸云, 吕春娜, 王舰, 等. 干旱胁迫下马铃薯的生理响应及其相关性分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(24):50-59.
- [25] 焦志银, 王金萍, 石燕楠, 等. 不同粒用高粱品种苗期抗旱性鉴定试验[J]. 农业科技通讯, 2023(12):109-114.
- [26] 王应党, 林坤, 郭凌云, 等. 小麦抗旱鉴定和评价方法研究进展[J]. 中国种业, 2024(2):1-8.
- [27] 王晓龙, 杨墨, 来永才, 等. 干旱胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(9):89-92.
- [28] 孙余丹, 刘金祥, 牛学礼, 等. 干旱胁迫对洋竹草形态、生理及存活率的影响[J]. 草原与草坪, 2023, 43(1):38-44.
- [29] 陈娇, 谢小玉, 张小短, 等. 甘蓝型油菜苗期抗旱性鉴定及综合抗旱指标筛选[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(5):713-722.
- [30] 马奔驰, 陈杰盼, 苏晨晨, 等. 马铃薯高代品系材料生长性状调查及抗旱性评价[J]. 现代农业科技, 2024(3):40-45.
- [31] 宋璐杏, 张闪闪, 李玟, 等. 小麦高代系的抗旱性状筛选与抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2024, 42(1):14-22.
- [32] 王江银, 徐婉宁, 苏洋, 等. 干旱胁迫对不同苜蓿种质苗期抗旱性的影响[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(11):14-24.
- [33] 高亚宁, 张凯浩, 杨鸿基, 等. 芜菁苗期抗旱性鉴定及抗旱指标的评价[J]. 西北农业学报, 2023, 32(2):310-319.