

甘蓝型油菜与蔊菜属间杂种后代的 苗期耐湿性综合评价

涂玉琴, 汤 洁, 涂伟凤, 戴兴临, 张 弢

(江西省农业科学院作物研究所/农业部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室, 南昌 330200)

摘要:以生产上应用的耐湿性存在差异的3个甘蓝型油菜品种为对照,采用盆栽模拟湿害胁迫的方法,对15份源自甘蓝型油菜与蔊菜属间杂交获得的遗传稳定的创新种质进行苗期耐湿性鉴定和综合评价。结果显示:(1)湿害抑制根系生长,导致植株变矮,叶片发黄,生物量降低,湿害对根系影响最为严重,其次是植株总生物量积累和地上部分的生长。(2)通过主成分分析和隶属函数法,将全展叶数、绿叶率、苗高、根长、地上部分鲜重、根鲜重、植株总鲜重、地上部分干重、根干重和植株总干重等10个性状指标值转化成单一的综合评价值(D 值),客观、科学、准确地对参试的18份材料进行了综合评价,为甘蓝型油菜苗期耐湿性评价提供了方法参考。(3)15份创新种质除绿叶率外的9个测定指标的耐湿性系数均高于对照品种,耐湿性综合评价结果显示,15份创新种质的 D 值均高于渝黄2号,13份创新种质的 D 值高于综合抗耐性俱佳的中油821,3份创新种质的 D 值高于高耐湿品种中双9号,聚类得到的高耐湿类群的7份材料中创新种质占6份(85.71%)。可见,创新种质的耐湿性平均要优于对照品种,说明通过远缘杂交获得的创新种质对甘蓝型油菜的耐湿性有了较为明显的改良和提高。

关键词:甘蓝型油菜;蔊菜;属间杂种后代;耐湿性;综合评价

Comprehensive Evaluation of Waterlogging Tolerance of Progenies between *Brassica napus* L. and *Rorippa indica* (L.) Hiern

TU Yu-qin, TANG Jie, TU Wei-feng, DAI Xing-lin, ZHANG Tao

(Crops Research Institute of Jiangxi Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming
System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River of Ministry of Agriculture, Nanchang 330200)

Abstract: Taking three rapeseed (*Brassica napus* L.) with different waterlogging tolerance as the control, waterlogging tolerance of 15 stable lines between *B. napus* and *Rorippa indica* were identified and evaluated comprehensively in seedling period by using simulated drought in plastic pots. The results showed that: (1) Waterlogging restrained root system growth, resulting in shorter plant, yellow leaves and biomass decreased. Effects of waterlogging on root system were most serious compared to the plant total biomass and the growth of plant upside. (2) Through principal components analysis and subordinate function analysis, 10 character indexes, including number of leaves, ratio of green leaves, seedling height, root length, fresh weight of plant upside, root and the whole plant, dry weight of plant upside, root and the whole plant, were transformed into a single comprehensive evaluation value (D value), which accurately provided comprehensive evaluation for 18 materials, also provided method reference for *Brassica napus* waterlogging tolerance evaluation in seedling period. (3) Waterlogging tolerance coefficient of 9 character indexes (excluding ratio of green leaves) from 15 innovative germplasm all were higher than the control cultivars. Comprehensive evaluation results showed D value of 15 germplasm all were higher than Yuhuang No. 2, D

收稿日期: 2014-06-25 修回日期: 2014-08-05 网络出版日期: 2015-06-10

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150610.1603.005.html>

基金项目:国家自然科学基金(31060195);江西省自然科学基金(2009GZ0060, 2010GQN0104);江西省农业科学院科技创新基金

第一作者研究方向为油菜种质创新与遗传育种。E-mail: tuyuqin@aliyun.com

通信作者: 戴兴临, 研究方向为油菜遗传育种。E-mail: dxlgny@163.com

value of 13 germplasm were higher than Zhongyou 821 with high comprehensive tolerance and *D* value of 3 germplasm were higher than Zhongshuang No. 9 with high waterlogging tolerance. Cluster analysis showed innovative germplasm accounted for 6 (85.71%) in 7 germplasm with high waterlogging tolerance. Consequently, the waterlogging tolerance of innovative germplasm were higher than the control cultivars averagely, which indicated that innovative germplasm from wide cross obviously improved waterlogging tolerance of *Brassica napus*.

Key words: *Brassica napus*; *Rorippa indica*; progenies of intergeneric hybrid; waterlogging tolerance; comprehensive evaluation

油菜是我国重要的油料作物之一,种植面积和产量约占世界的30%,居世界首位。长江流域是我国油菜主产区,种植面积占全国的85%左右^[1],该产区油菜多为水旱轮作,且油菜生长期雨水较多,超出油菜正常需水量,容易导致湿害发生。已有的研究表明,湿害胁迫直接导致油菜根系缺氧而生长受到抑制^[2-4],植株生理紊乱^[5],出现叶片叶绿素含量下降^[4,6],丙二醛及脯氨酸含量增加^[2,4,7-8],光合速率降低^[9-10]等现象,同时影响营养元素的吸收利用^[11],进而抑制植株生长,造成产量和品质的显著下降^[9,12-14]。湿害是影响长江流域油菜生产的重要逆境因素之一。

通过遗传改良以提高品种抗逆性是解决作物逆境胁迫的有效途径之一。近年来,油菜耐湿性遗传改良研究受到较多关注,丛野等^[15]研究认为甘蓝型油菜耐湿性遗传可能由2对完全显性主基因控制,伴随加性-显性多基因修饰作用。Z. Li等^[16]进行了甘蓝型油菜耐湿性QTL分析,在耐湿性DH遗传群体中检测到26个相关QTL,4个分布在遗传连锁群上。同时,通过芽期淹水处理^[12,17-18]、盆栽模拟胁迫^[19-20]和田间鉴定^[4]等方式大量开展了油菜耐湿性遗传多样性和种质资源耐湿性鉴定研究工作,而关于油菜耐湿性种质创新研究较少^[21]。远缘杂交是植物种质创新的重要途径之一,油菜所属的十字花科蕴含有丰富的野生优异基因资源,通过远缘杂交等方法转移、利用近缘野生种的优异基因对甘蓝型油菜的遗传改良和种质创新具有重要意义。蔊菜(*Rorippa indica*)是十字花科蔊菜属野生植物,具有良好的抗旱、耐湿和抗菌核病等优良性状^[22-23],通过远缘杂交和原生质体融合等方式转移蔊菜优异性状基因得到尝试和成功^[24-26],并利用后代材料开展了农艺及产量性状、抗旱性和硼效应等研究^[27-30]。本研究随机选取15份甘蓝型油菜与蔊菜属间杂交获得的遗传稳定的创新种质和3份生产上耐湿性程度不一的甘蓝型油菜品种,利用盆栽模拟胁迫的方法开展了耐湿性鉴定和综合评价,为油菜耐湿性研

究和远缘杂交创新种质的利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料包含15份创新种质和3份普通品种,共计18份,其中15份创新种质为甘蓝型油菜与蔊菜属间杂交^[25]获得的遗传稳定后代(编号Q1~Q15),3份为生产中应用的耐湿性程度不一致的普通甘蓝型油菜品种,其中中双9号为高耐湿品种^[8,15]。中双9号和中油821种子由中国农业科学院油料作物研究所提供,渝黄2号种子购自市场,其他材料种子由本课题组提供。

1.2 试验设计与处理

试验在江西省农业科学院作物研究所试验大棚进行,采用盆栽法,盆高30 cm,直径25 cm,每盆分装6.0 kg大田栽培土,10月下旬播种,正常水分管理,每盆浇水一致。出苗后间苗,3叶期定苗,每盆4株。在6~7片真叶期(次年1月18日)进行湿害处理^[13,19,23],盆栽土表保持1~2 cm的浅水层,处理时间20 d,以正常浇水为对照,设置3次重复。

1.3 测定指标与数据分析

1.3.1 测定指标 处理结束后取样测定全展叶数、绿叶率、苗高、根长、地上部分鲜重、根鲜重、植株总鲜重、地上部分干重、根干重、植株总干重等项目。其中鲜重为吸水纸擦去表面水之后的质量值,干重为160℃杀青处理1 h后,70℃恒温烘烤至恒重的质量值。

1.3.2 主成分分析 各指标相对值 α (即耐湿性系数 α)按以下公式计算^[31-32]:

$$\alpha(\%) = (\text{湿害处理植株测定值} / \text{对照植株测定值}) \times 100$$

利用10个测定指标的耐湿性系数进行主成分分析,获得少数几个综合指标值用于进一步数据分析。

1.3.3 隶属函数分析 每份材料各综合指标的隶属函数值通过以下公式计算^[31-32]:

$$u(x_j) = (X_j - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$$

(j = 1, 2, ……n)

式中 X_j 为第 j 个综合指标; X_{max} 为第 j 个综合指标的最大值; X_{min} 为第 j 个综合指标的最小值。

1.3.4 确定权重 根据综合指标贡献率的大小计算权重,公式如下^[31-32]:

$$W_j = p_j / \sum_{j=1}^n p_j \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

式中 W_j 值为第 j 个综合指标的权重, p_j 为主成分分析中的第 j 个综合指标的贡献率。

1.3.5 综合评价 耐湿性能力的综合评价值 (D 值) 用以下公式计算^[31-32]:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(x_j) \times W_j] \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

以上数据处理、方差分析、相关分析、主成分分析、隶属函数计算和聚类分析均在 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件上完成。

2 结果与分析

2.1 湿害胁迫对甘蓝型油菜苗期生长的影响

长时间湿害胁迫对甘蓝型油菜苗期生长起到明显的抑制作用,主要表现在:大多数材料全展叶数减少,叶片变黄,绿叶率降低,苗高和根长缩短,进而影响生物量的增长,导致各器官鲜、干重减少。表 1 所示,湿害胁迫处理对甘蓝型油菜根系的影响最大,即相对值(耐湿性系数)最低,18 份供试材料的相对根

长为 41.13% ~ 86.33%, 平均 59.43%; 相对根鲜重为 39.40% ~ 68.91%, 平均 49.68%; 相对根干重为 30.05% ~ 61.81%, 平均 42.89%。其次是对甘蓝型油菜植株总生物量的影响较大,相对植株总鲜重为 37.93% ~ 71.72%, 平均 58.01%; 相对植株总干重为 55.58% ~ 89.08%, 平均 75.80%。再次是对甘蓝型油菜地上部分的生长影响较大,相对苗高为 40.21% ~ 92.93%, 平均 63.89%; 相对地上部分鲜重为 36.53% ~ 75.14%, 平均 59.32%; 相对地上部分干重为 62.64% ~ 97.29%, 平均 85.88%。湿害胁迫对甘蓝型油菜影响较小的是叶片生长情况,相对全展叶数为 66.67% ~ 110.81%, 平均 89.97%, 其中 3 份材料湿害胁迫后全展叶数较对照有所增加; 相对绿叶率为 88.24% ~ 100.00%, 平均 93.19%, 2 份材料没有出现叶片变黄的现象。

在湿害胁迫测定的 10 个指标中,湿害对各指标的影响大小依次为根干重(α 值平均为 42.89%, 下同)、根鲜重(49.68%)、植株总鲜重(58.01%)、地上部分鲜重(59.32%)、根长(59.43%)、苗高(63.89%)、植株总干重(75.80%)、地上部分干重(85.88%)、全展叶数(89.97%)和绿叶率(93.19%)。可见,湿害胁迫下,甘蓝型油菜根系生长首先受到抑制,影响根系生物量的积累和对水分的吸收,进而影响地上部分的生长,致使植株总鲜、干重和地上部分鲜、干重的降低。

表 1 苗期湿害胁迫对甘蓝型油菜生长的影响

Table 1 Effect of waterlogging stress on *B. napus* seedling growth at the seedling stage

材料名称 Material name	类别 Sort	全展叶数 NOL	绿叶率 (%) RGL	苗高 (cm) HPS	根长 (cm) LOR	地上部分鲜 重(g) FWU	根鲜重 (g) FWR	植株总鲜重 (g) FWP	地上部分 干重(g) DWU	根干重 (g) DWR	植株总干重 (g) DWP
Q1	CK	9.00	100.00	12.38	17.25	36.34	6.84	43.18	3.10	1.01	4.11
	T	9.25	91.89**	11.50	10.75**	19.35**	2.94**	22.29**	2.54**	0.43**	2.97**
	α (%)	102.78	91.89	92.93	62.32	53.25	42.93	51.61	81.84	42.57	72.19
Q2	CK	10.75	95.35	18.25	16.75	36.73	6.83	43.56	3.10	0.95	4.05
	T	10.00*	85.00**	8.13**	12.63**	19.78**	3.17**	22.95**	2.65*	0.45**	3.10**
	α (%)	93.02	89.15	44.52	75.37	53.85	46.40	52.68	85.56	46.97	76.53
Q3	CK	11.00	93.18	25.63	15.13	42.23	5.60	47.83	3.27	0.78	4.04
	T	10.75	88.37*	12.25**	11.25**	22.02**	3.05**	25.07**	2.52**	0.43**	2.94**
	α (%)	97.73	94.84	47.80	74.38	52.13	54.53	52.41	77.03	54.84	72.77
Q4	CK	10.50	97.62	17.88	16.00	39.18	5.82	45.00	3.32	0.95	4.27
	T	10.25	90.24*	10.25**	11.50**	27.83**	3.40**	31.23**	3.23	0.47**	3.71*
	α (%)	97.62	92.44	57.34	71.88	71.02	58.40	69.39	97.29	49.87	86.89

表 1(续)

材料名称 Material name	类别 Sort	全展叶数 NOL	绿叶率 (%) RGL	苗高 (cm) HPS	根长 (cm) LOR	地上部分鲜 重(g) FWU	根鲜重 (g) FWR	植株总鲜重 (g) FWP	地上部分 干重(g) DWU	根干重 (g) DWR	植株总干重 (g) DWP
Q5	CK	9.25	97.30	14.50	15.00	35.43	4.92	40.34	2.79	0.77	3.57
	T	10.25	92.68 *	8.88 **	11.63 **	25.59 **	3.35 **	28.94 **	2.70	0.48 **	3.18 **
	α (%)	110.81	95.26	61.21	77.50	72.22	68.16	71.72	96.77	61.81	89.08
Q6	CK	10.00	95.00	11.88	15.88	44.11	7.17	51.27	3.76	1.27	5.03
	T	8.75 **	88.57 *	7.63 **	7.63 **	22.35 **	3.08 **	25.42 **	2.93 **	0.41 **	3.35 **
	α (%)	87.50	93.23	64.21	48.03	50.66	42.95	49.58	77.99	32.54	66.53
Q7	CK	13.25	95.24	24.25	17.38	45.82	6.86	52.67	3.72	1.11	4.83
	T	10.25 **	88.68 *	9.75 **	15.00 *	28.07 **	3.73 **	31.80 **	3.11 *	0.52 **	3.63 **
	α (%)	77.36	93.11	40.21	86.33	61.26	54.41	60.37	83.78	46.40	75.18
Q8	CK	10.50	92.86	14.50	17.13	37.72	6.28	44.00	3.40	1.17	4.56
	T	9.50 *	86.84 *	9.38 **	11.25 **	22.48 **	3.26 **	25.74 **	2.84 *	0.47 **	3.31 **
	α (%)	90.48	93.52	64.66	65.69	59.59	51.97	58.50	83.59	40.56	72.60
Q9	CK	10.00	95.00	12.63	16.13	39.18	5.80	44.97	3.37	1.09	4.46
	T	10.25	87.80 *	10.13 **	8.50 **	29.44 **	2.68 **	32.12 **	3.25	0.39 **	3.63 *
	α (%)	102.50	92.43	80.20	52.71	75.14	46.20	71.41	96.29	35.48	81.48
Q10	CK	8.67	100.00	9.00	17.83	33.65	5.04	38.69	2.89	0.86	3.74
	T	8.50	88.24 **	4.88 **	8.38 **	19.52 **	2.03 **	21.56 **	2.46 *	0.32 **	2.77 **
	α (%)	98.08	88.24	54.17	46.96	58.01	40.33	55.71	85.13	36.77	74.07
Q11	CK	9.25	100.00	8.88	16.25	33.04	5.09	38.12	2.71	0.83	3.54
	T	7.75 **	100.00	6.13 **	10.13 **	18.19 **	2.11 **	20.30 **	2.11 **	0.31 **	2.42 **
	α (%)	83.78	100.00	69.01	62.31	55.06	41.45	53.24	77.84	36.94	68.22
Q12	CK	9.25	94.59	8.75	17.63	39.14	6.11	45.26	3.46	1.01	4.47
	T	8.25 *	87.88 *	8.00 *	9.38 **	28.82 **	3.13 **	31.95 **	3.28	0.44 **	3.72 *
	α (%)	89.19	92.90	91.43	53.19	73.63	51.17	70.60	94.73	44.03	83.32
Q13	CK	10.00	100.00	10.75	16.50	35.89	5.08	40.97	2.96	0.94	3.90
	T	8.50 **	91.18 **	8.38 **	7.13 **	21.76 **	2.27 **	24.03 **	2.83	0.32 **	3.14 *
	α (%)	85.00	91.18	77.91	43.18	60.63	44.69	58.65	95.52	33.51	80.58
Q14	CK	10.00	92.50	8.63	16.13	36.49	4.75	41.24	3.07	0.82	3.89
	T	8.75 **	91.43	6.00 **	8.88 **	21.60 **	3.28 **	24.87 **	2.90	0.48 **	3.38 *
	α (%)	87.50	98.84	69.57	55.04	59.19	68.91	60.31	94.39	58.23	86.77
Q15	CK	9.25	97.30	10.75	17.63	34.27	5.74	40.02	3.37	1.09	4.46
	T	8.25 *	87.88 **	5.75 **	7.25 **	19.27 **	2.26 **	21.54 **	2.72 *	0.33 **	3.05 **
	α (%)	89.19	90.32	53.49	41.13	56.23	39.40	53.82	80.83	30.05	68.41
中双9号	CK	11.75	97.87	12.00	16.38	28.34	4.56	32.89	2.35	0.75	3.11
ZS9	T	8.75 **	91.43 *	8.25 **	8.75 **	18.71 **	2.32 **	21.03 **	2.27	0.37 **	2.64 *
	α (%)	74.47	93.42	68.75	53.44	66.04	50.82	63.93	96.60	48.84	84.89
中油821	CK	12.25	95.92	17.25	17.13	39.88	5.59	45.46	3.41	0.92	4.32
ZY821	T	10.50 **	88.10 *	10.63 **	8.13 **	21.26 **	2.51 **	23.77 **	2.66 **	0.34 **	3.00 **
	α (%)	85.71	91.84	61.59	47.45	53.32	44.94	52.29	78.05	36.89	69.33
渝黄2号	CK	9.75	97.44	12.00	17.75	33.40	5.41	38.81	3.23	1.14	4.37
YH2	T	6.50 **	92.31 *	6.13 **	9.38 **	12.20 **	2.52 **	14.72 **	2.02 **	0.41 **	2.43 **
	α (%)	66.67	94.74	51.04	52.82	36.53	46.58	37.93	62.64	35.67	55.58

* 和 ** 分别表示处理值与对照值差异达到 0.05 显著水平和 0.01 极显著水平,CK 为对照,T 为处理

* and ** show the difference is significant between waterlogging stress groups and CK groups at 0.05 /0.01 level, respectively. NOL = Number of leaves, RGL = Ratio of green leaves, HPS = Height per seedling, LOR = Length of root, FWU = Fresh weight of plant upside, FWR = Fresh weight of root, FWP = Fresh weight of plant, DWU = Dry weight of plant upside, DWR = Dry weight of root, DWP = Dry weight of plant, ZS9 = Zhongshuang No. 9, ZY821 = Zhongyou 821, YH2 = Yuhuang No. 2. The same as below

相关分析结果显示(表 2),全展叶数与除绿叶率之外的 8 个指标呈正相关,其中与地上部分鲜重、植株总鲜重的相关系数达到显著水平。根长、根鲜重和根干重等根系生长指标之间均呈显著或极显著正相关。根鲜重、地上部分鲜重、植株总鲜重、根干重、地上部分干重和植株总干重等生物量积累相关性状指标之间均呈正相关,大部分性状指标间的相关系数达到显著或极显著水平。

表 2 苗期湿害胁迫下甘蓝型油菜生长性状的相关分析

Table 2 Correlation analysis of growth traits under waterlogging stress at the seedling stage

	全展叶数 NOL	绿叶率 RGL	苗高 HPS	根长 LOR	地上部分 鲜重 FWU	根鲜重 FWR	植株总鲜重 FWP	地上部分 干重 DWU	根干重 DWR	植株总干 重 DWP
全展叶数	1.000									
绿叶率	-0.195	1.000								
苗高	0.223	0.130	1.000							
根长	0.236	0.209	-0.407	1.000						
地上部分鲜重	0.482 *	-0.048	0.375	0.160	1.000					
根鲜重	0.215	0.474 *	-0.089	0.528 *	0.405	1.000				
植株总鲜重	0.479 *	0.015	0.339	0.217	0.993 **	0.509 *	1.000			
地上部分干重	0.423	-0.076	0.393	0.070	0.904 **	0.468	0.910 **	1.000		
根干重	0.322	0.376	-0.130	0.669 **	0.341	0.891 **	0.432	0.419	1.000	
植株总干重	0.457	0.041	0.286	0.247	0.863 **	0.652 **	0.894 **	0.963 **	0.643 **	1.000

2.2 耐湿性综合评价

利用 SPSS 软件对 18 份供试材料的 10 个性状指标的耐湿性系数进行主成分分析,获得 4 个主要综合指标贡献率分别为 0.497、0.224、0.121 和 0.073,累计贡献率达 91.49%,即这 4 个主要综合指标代表了所有信息的 91.49%。其中,综合指标 1 可以看作与地上部分及植株生物量积累有关的指标,主要有地上部分鲜重(0.263)、植株总鲜重(0.259)、地上部分干重(0.301)和植株总干重(0.253);综合指标 2 可以看作与根系生长相关的指标,主要有根长(0.404)、根鲜重(0.200)和根干重(0.265);综合指标 3 可看作与苗高(0.414)和绿叶率(0.695)有关的指标;综合指标 4 可看作与全展叶数(0.970)相关的指标。

根据主成分及隶属函数分析,获得每份供试材料的各综合指标值(CI)及隶属函数值(u),结合确定的权重(IW),计算获各供试材料耐湿性综合评价价值(D 值)。结果显示(表 3),生产中表现耐湿性强的品种中双 9 号居第 4 位,3 份甘蓝型油菜与蔊菜属间杂种后代材料的耐湿性优于中双 9 号,其中 Q5 的耐湿性综合评价价值居第 1 位,中油 821 及渝黄 2 号的耐湿性居第 15 和 18 位。可见,通过甘蓝型油菜与蔊菜远缘杂交可以创制耐湿性较强的新种质。

2.3 聚类分析

利用 SPSS 软件,以欧氏距离-离差和平均法对 18 份供试材料耐湿性综合评价价值(D 值)进行聚类分析,结果表明(图 1):18 份材料的耐湿性明显聚为 3 大类,第 I 类包含中油 821 和渝黄 2 号等 7 份材料,占参试材料的 38.89%,其 D 值为 0.186 ~ 0.442,排序在第 12 ~ 18 位,结合中油 821 和渝黄 2 号在生产中的耐湿性表现,该第 I 类可视为耐湿性一般的类群。第 II 类包含 4 份材料,占参试材料的 22.22%,D 值为 0.515 ~ 0.540,排序在第 8 ~ 11 位,可视为耐湿性中等的类群。第 III 类包含高耐湿品种中双 9 号等 7 份材料,占参试材料的 38.89%,D 值为 0.631 ~ 0.877,排序在第 1 ~ 7 位,可视为高耐湿类群。

2.4 甘蓝型油菜与蔊菜属间杂种后代的耐湿性比较分析

将 15 份甘蓝型油菜与蔊菜属间杂种后代材料的耐湿性与 3 个生产中应用的品种进行比较分析,结果表明(表 4),甘蓝型油菜与蔊菜属间杂种后代材料在除绿叶率外的 9 个测定指标的耐湿性系数均高于对照品种,其中全展叶数的耐湿性系数差异达到极显著水平。可见,创新种质的耐湿性平均要优于普通品种。

表 3 供试材料的综合指标值、权重、 $u(x)$ 、 D 值及其排序

Table 3 Value of materials comprehensive index (CI), index weight (IW), $u(x)$, D value and its taxis

材料名称 Material name	CI(1)	CI(2)	CI(3)	CI(4)	$u(1)$	$u(2)$	$u(3)$	$u(4)$	D 值	D 值排序 Taxis
Q1	-0.846	-0.848	0.398	2.272	0.373	0.152	0.544	1.000	0.392	13
Q2	-0.360	1.338	-1.479	0.208	0.513	0.870	0.074	0.487	0.540	8
Q3	-0.982	1.470	0.432	0.886	0.334	0.914	0.552	0.655	0.531	9
Q4	1.202	0.951	-0.402	0.103	0.964	0.743	0.344	0.461	0.788	2
Q5	1.072	1.519	0.766	1.407	0.926	0.930	0.636	0.785	0.877	1
Q6	-0.925	-0.762	-0.067	0.016	0.351	0.180	0.427	0.439	0.326	17
Q7	0.093	1.732	-0.524	-1.337	0.644	1.000	0.313	0.103	0.644	6
Q8	-0.190	0.140	0.121	0.191	0.562	0.477	0.474	0.483	0.523	10
Q9	1.139	-1.074	-0.371	0.893	0.946	0.078	0.351	0.657	0.631	7
Q10	-0.134	-0.253	-1.774	0.428	0.579	0.348	0.000	0.542	0.442	12
Q11	-0.943	-0.661	1.616	-0.011	0.345	0.214	0.849	0.433	0.387	14
Q12	1.328	-1.092	0.444	0.038	1.000	0.072	0.555	0.445	0.670	5
Q13	0.726	-1.310	-0.454	-0.628	0.826	0.000	0.331	0.279	0.515	11
Q14	0.704	0.355	2.219	-0.598	0.820	0.548	1.000	0.287	0.735	3
Q15	-0.415	-0.721	-1.306	-0.350	0.498	0.194	0.117	0.348	0.361	16
中双 9 号 ZS9	1.264	-0.267	0.188	-1.751	0.982	0.343	0.491	0	0.682	4
中油 821ZY821	-0.592	-0.489	-0.377	-0.286	0.447	0.270	0.350	0.364	0.384	15
渝黄 2 号 YH2	-2.141	-0.029	0.568	-1.480	0	0.421	0.587	0.067	0.186	18
权重 IW					0.543	0.245	0.133	0.079		

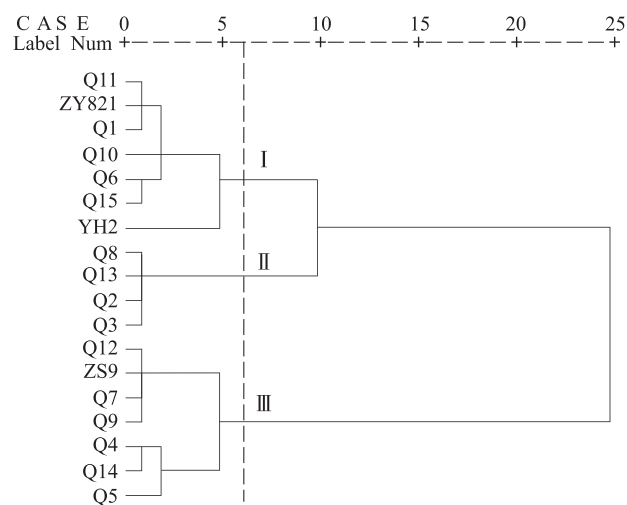


图 1 供试材料耐湿性 (D 值) 聚类分析

Fig. 1 Cluster result of D value of 18 materials' waterlogging tolerance

基于主成分分析的耐湿性综合评价结果显示,3 份甘蓝型油菜与蔊菜远缘杂交获得的创新种质的耐湿性综合评价值 (D 值) 高于高耐湿品种中双 9 号, 13 份创新种质的耐湿性综合评价值高于曾经在生

产上大面积种植的综合抗耐性俱佳的中油 821, 所有参试的 15 份创新种质的耐湿性综合评价值均高于普通品种渝黄 2 号。同样, 聚类分析结果显示, 高耐湿类群中含有 6 份创新种质, 占该类群的 85.71%, 中等耐湿类群中全为创新种质, 耐湿性一般的类群中含有 5 份创新种质。说明通过远缘杂交获得的创新种质对甘蓝型油菜的耐湿性有了较为明显的改良和提高, 蔊菜的高耐湿特性^[23]可能成功转移至甘蓝型油菜中, 这需要进行进一步的分子证据。

3 讨论

湿害胁迫对植物的伤害最直接的表现对根系的伤害, 湿害胁迫下, 根系长时间缺氧导致根毛减少, 根系活力减弱, 造成代谢紊乱及有害物质积累等形成次生胁迫^[13,31], 进而影响植株地上部分生长。宋丰萍等^[13]对油菜苗期湿害处理 10~30 d 发现, 苗期湿害处理 10 d 即可影响植株生长, 随湿害时间延长, 受害加重, 根系受伤害最重, 湿害指数最高, 其次表现为地上部分。李真等^[19]对油菜 DH 遗传群体苗期耐湿性鉴定结果显示, 湿害胁迫后, 群体各株

表 4 不同来源材料的耐湿性比较分析

Table 4 Comparison of waterlogging tolerance of different origin materials (%)

类型 Type	项目 Item	全展叶数 NOL	绿叶率 RGL	苗高 HPS	根长 LOR	地上 部分鲜重 FWU	根鲜重 FWR	植株 总鲜重 FWP	地上 部分干重 DWU	根干重 DWR	植株 总干重 DWP
总体(18 份) Total	最小值 Min.	66.67	88.24	40.21	41.13	36.53	39.40	37.93	62.64	30.05	55.58
	最大值 Max.	110.81	100.00	92.93	86.33	75.14	68.91	71.72	97.29	61.81	89.08
	平均值 Average	89.97	93.19	63.89	59.43	59.32	49.68	58.01	85.88	42.89	75.80
	标准差 s	10.81	2.93	14.88	13.17	9.66	8.66	8.93	9.62	9.18	8.74
	变异系数 CV	12.01	3.14	23.29	22.16	16.29	17.42	15.39	11.21	21.40	11.53
甘蓝型油菜与 蔊菜属间杂种 后代(15 份) Progenies between <i>B. napus</i> and <i>R. indica</i>	最小值 Min.	77.36	88.24	40.21	41.13	50.66	39.40	49.58	77.03	30.05	66.53
	最大值 Max.	110.81	100.00	92.93	86.33	75.14	68.91	71.72	97.29	61.81	89.08
	平均值 Average	92.84 **	93.16	64.58	61.07	60.79	50.13	59.33	87.24	43.37	76.97
	标准差 s	8.71	3.18	15.96	13.85	8.26	9.40	7.83	7.70	9.65	7.29
对照品种(3 份) CK	变异系数 CV	9.38	3.41	24.71	22.68	13.58	18.75	13.20	8.83	22.26	9.48
	最小值 Min.	66.67	91.84	51.04	47.45	36.53	44.94	37.93	62.64	35.67	55.58
	最大值 Max.	85.71	94.74	68.75	53.44	66.04	50.82	63.93	96.60	48.84	84.89
	平均值 Average	75.62	93.33	60.46	51.24	51.96	47.45	51.38	79.10	40.47	69.93
	标准差 s	9.57	1.45	8.91	3.29	14.80	3.03	13.02	17.00	7.28	14.66
	变异系数 CV	12.66	1.56	14.74	6.43	28.48	6.40	25.35	21.50	17.98	20.97

系处理值较对照值下降明显,其中根干重降幅最大,其次是植株总干重和地上部分干重。本研究结果与已有研究一致^[13,19,23],湿害胁迫对甘蓝型油菜根系影响最大,其根长和鲜、干重的耐湿性系数最小,其次是植株总鲜、干重,再次是苗高和地上部鲜、干重等地上部分生长性状指标,影响较小的是全展叶数和绿叶率等叶片生长性状指标。

耐湿性是一个受多因素影响的复杂性状,单一性状指标难以可靠评价基因型耐湿性特点,而基于主成分分析和隶属函数法的综合评价方法能够较为全面、客观、科学、准确地对某一复杂性状进行综合评价。该方法已经大量应用于小麦耐湿性^[31]、芝麻抗旱性^[32]及耐湿性^[33]、水稻抗旱性^[34]、苧麻耐瘠性^[35]和红三叶抗旱性^[36]等的综合评价。本研究利用主成分分析结合隶属函数法对甘蓝型油菜苗期耐湿性的 10 个性状转化成单一的综合评价值(*D* 值),简单明了、科学客观地对油菜苗期耐湿性进行了综合评价,并通过聚类分析方法将参试的 18 份材料明显聚为 3 类,获得了中双 9 号和 6 份创新种质在内的 7 份高耐湿材料,为油菜苗期耐湿性鉴定评价提供了方法参考。

远缘杂交是作物遗传改良和种质创新的重要方法。通过远缘杂交已经将许多十字花科野生近缘物

种的优异基因成功转入到油菜中^[37],如芥菜的低芥酸^[38]和菌核病抗性^[39]、诸葛菜的高油酸^[40]和白芥的黑胫病抗性^[41]等。本研究结果显示,与蔊菜远缘杂交产生的甘蓝型油菜创新种质的耐湿性平均要优于普通品种,获得了 6 份高耐湿创新种质,其中 3 份创新种质的耐湿性优于生产中高耐湿品种中双 9 号。可见,通过远缘杂交可以将蔊菜高耐湿特性^[23]转移至甘蓝型油菜中以改良油菜的耐湿性能,这与蔊菜抗旱性基因转移到甘蓝型油菜使得油菜抗旱性显著增强的研究结果^[30]一致。因此,远缘杂交是转移和利用蔊菜优异基因的有效途径,对油菜遗传改良具有重要意义。

参考文献

- [1] 戚存扣. 长江流域双低油菜产业发展需求与品种改良[J]. 中国种业,2004(4):5-6
- [2] 李玲,张春雷,张树杰,等. 渍水对冬油菜苗期生长及生理的影响[J]. 中国油料作物学报,2011,33(3):247-252
- [3] 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,2012,32(2):157-162
- [4] 李浩杰,张雪花,蒲晓斌,等. 甘蓝型油菜对田间模拟湿害胁迫的生理响应[J]. 西南农业学报,2013,26(1):84-88
- [5] Ashraf M, Mehmood S. Effects of waterlogging on growth and some physiological parameters of four *Brassica* species[J]. Plant Soil, 1990,121(2):203-209
- [6] 殷丽琴,钟成,陈伟,等. 湿害胁迫下晒对油菜出苗率及叶绿素含量的影响[J]. 西南农业学报,2013,26(4):1398-1401

- [7] Leul M, Zhou W J. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by uniconazole application; effects on enzyme activity, lipid peroxidation, and membrane integrity [J]. J Plant Growth Regul, 1999, 18(1): 9-14
- [8] 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, 40(3): 485-491
- [9] Zhou W, Lin X. Effects of waterlogging at different growth stages on physiological characteristics and seed yield of winter rape (*Brassica napus* L.) [J]. Field Crop Res, 1995, 44: 103-110
- [10] 林贤青, 沈惠聪, 季吟秋, 等. 油菜渍害若干生理问题的探讨 [J]. 浙江农业大学学报, 1993, 19(1): 19-23
- [11] Zhou W, Zhao D, Lin X. Effects of waterlogging on nitrogen accumulation and alleviation of waterlogging damage by application of nitrogen fertilizer and mixtalol in winter rape (*Brassica napus* L.) [J]. J Plant Growth Regul, 1997, 16(1): 47-53
- [12] 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, 29(2): 204-208
- [13] 宋丰萍, 胡立勇, 周广生, 等. 渍水时间对油菜生长及产量的影响 [J]. 作物学报, 2010, 36(1): 170-176
- [14] 陈红琳, 陈尚洪, 王昌桃, 等. 苗期渍水胁迫对免耕直播油菜产量和品质的影响 [J]. 江苏农业学报, 2014, 30(2): 259-263
- [15] 丛野, 程勇, 邹崇顺, 等. 甘蓝型油菜发芽种子耐湿性的主基因 + 多基因遗传分析 [J]. 作物学报, 2009, 35(8): 1462-1467
- [16] Li Z, Mei S F, Mei Z, et al. Mapping of QTL associated with waterlogging tolerance and drought resistance during the seedling stage in oilseed rape (*Brassica napus*) [J]. Euphytica, 2014, 197(3): 341-353
- [17] 陈洁, 张学昆, 湛利, 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, 28(2): 138-143
- [18] 张雪花, 李浩杰, 张锦芳, 等. 甘蓝型油菜耐湿性初步评价和主成分分析 [J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 98-103
- [19] 李真, 蒲圆圆, 高长斌, 等. 甘蓝型油菜 DH 群体苗期耐湿性的评价 [J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 286-292
- [20] 何激光, 官春云, 李凤阳, 等. 不同渍水处理对油菜产量及生理特性的影响 [J]. 作物研究, 2011, 25(4): 313-315
- [21] 薛远超, 李加纳, 刘列钊, 等. 甘蓝型油菜 EMS 诱变材料的耐湿性鉴定与筛选 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2012, 37(4): 76-80
- [22] 周太炎. 中国植物志: 第三十三卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 300-304
- [23] 涂玉琴, 戴兴临, 涂伟凤. 蕪菜幼苗抗菌核病及抗旱和耐湿特性的鉴定 [J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(3): 9-15
- [24] 戴兴临, 程春明, 潘皓, 等. 油菜与蕪菜远缘杂交亲和性研究 [J]. 江西农业学报, 2001, 13(1): 60-61
- [25] 戴兴临, 程春明, 宋来强, 等. 油菜 × 蕪菜远缘杂交创新油菜种质资源研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 242-244
- [26] 姜淑慧, 管荣展, 唐三元, 等. 甘蓝型油菜与蕪菜的原生质体融合与植株再生 [J]. 遗传, 2007, 29(6): 745-750
- [27] 汤洁, 张弢, 宋来强, 等. 甘蓝型油菜与蕪菜远缘杂交选育新品系的主要性状及其硼效应研究 [J]. 江西农业学报, 2007, 19(4): 7-9
- [28] 汤洁, 戴兴临, 张弢, 等. 甘蓝型油菜与蕪菜远缘杂交选育新品系的主要农艺及产量性状研究 [J]. 江西农业学报, 2008, 20(9): 35-37
- [29] 熊任香, 涂伟凤, 涂玉琴, 等. 甘蓝型油菜与蕪菜远缘杂交后代抗旱性鉴定及综合评价 [J]. 江西农业学报, 2011, 23(12): 1-6
- [30] 涂玉琴, 戴兴临, 涂伟凤, 等. 芽期 PEG 模拟干旱胁迫下不同基因型甘蓝型油菜的反应差异研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(6): 213-221
- [31] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测 [J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1378-1382
- [32] 孙建, 饶月亮, 乐美旺, 等. 干旱胁迫对芝麻生长与产量性状的影响及其抗旱性综合评价 [J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(4): 525-533
- [33] 孙建, 张秀荣, 张艳欣, 等. 芝麻不同品种 (系) 耐湿性的综合评价 [J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(4): 518-521
- [34] 胡标林, 杨平, 万勇, 等. 东乡野生稻 BILs 群体苗期抗旱性综合评价及其遗传分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2013, 14(2): 249-256
- [35] 康万利, 揭雨成, 邢虎成. 10 个芝麻种质资源耐瘠性鉴定评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(6): 1023-1030
- [36] 何玮, 范彦, 徐远东, 等. 红三叶苗期抗旱性指标筛选及综合评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(4): 572-577
- [37] Prakash S, Bhat S R, Quiros C F, et al. *Brassica* and its close allies: cytogenetics and evolution [J]. Plant Breed Rev, 2009, 31: 21-187
- [38] Chen H F, Wang H, Li Z Y. Production and genetic analysis of partial hybrids in intertribal crosses between *Brassica* species (*B. rapa*, *B. napus*) and *Capsella bursa-pastoris* [J]. Plant Cell Rep, 2007, 26: 1791-1800
- [39] 赵合句, 黄永菊, 王玉叶. 油菜与菘蓝和芥菜属间杂交初探 [J]. 湖北农业科学, 1993(5): 17-18
- [40] Ma N, Li Z Y, Cartagena J A, et al. GISH and AFLP analysis of novel *Brassica napus* lines derived from one hybrid between *B. napus* and *Orychophragmus violaceus* [J]. Plant Cell Rep, 2006, 25(10): 1089-1093
- [41] Snowdon R J, Winter H, Diestel A, et al. Development and characterisation of *Brassica napus*-*Sinapis arvensis* addition lines exhibiting resistance to *Leptosphaeria maculans* [J]. Theor Appl Genet, 2000, 101: 1008-1014