

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

涂玉琴,戴兴临*,涂伟凤,汤 洁

(江西省农业科学院作物研究所,江西 南昌 330200)

摘 要: 采用 10%聚乙二醇(PEG—6000)模拟干旱胁迫的方法,对 41 份来源于甘蓝型油菜与蕈菜属间杂交获得的稳定高世代品系和 32 份来自不同地区的甘蓝型油菜品种进行芽期模拟干旱胁迫处理,以研究干旱胁迫下不同基因型甘蓝型油菜的反应差异。实验结果表明,PEG 模拟干旱胁迫后,大部分材料成苗率降低,平均相对成苗率为 96.11%,苗高、苗鲜重和活力指数普遍降低,相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数分别为 85.82%、75.65%和 82.60%,而根长则明显伸长,相对根长为 179.69%;73 份供试材料的相对成苗率、相对根长、相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数的变异系数依次为 4.33、20.10、16.72、18.73 和 18.05,不同基因型甘蓝型油菜芽期抗旱性存在较大差异;聚类分析结果,来源于远缘杂交的 16 份创新种质和 8 份育成品种为高抗旱类型,可作为油菜抗旱性遗传改良的种质资源加以利用;41 份创新种质与 32 份育成品种芽期抗旱性比较分析表明,创新种质芽期抗旱力高于育成品种,且抗旱遗传差异也较育成品种明显。

关键词: 甘蓝型油菜;聚乙二醇(PEG);干旱胁迫;反应差异;种质创新

中图分类号: Q945.78;S565.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0213-09

水资源短缺是制约农业发展的全球性问题^[1]。我国是水资源十分短缺的国家之一,干旱与半干旱地区约占国土面积的 1/2,随着全球气候变暖,我国干旱发生频率高,持续时间长,分布范围广,严重地影响了我国农业生产,制约了作物生长发育和产量提高,其危害在所有非生物胁迫中居首位^[2]。提高农作物抗旱特性是发展节水农业、应对气候变化的有效措施之一。油菜是世界食用油和植物蛋白的主要来源,是我国重要的油料作物^[3],我国油菜种植面积和总产量均占世界的 1/3,居世界首位^[4]。干旱是影响我国油菜生产的重要因素之一,近年来,随着全球气候变化,各地旱涝不均,灾害频发。作为我国油菜主产区的长江流域,播种期间秋旱频繁发生^[5,6],导致油菜延迟播种甚至难以播种,或播种后出苗慢,苗少、不整齐,生长缓慢等,致使油菜播种面积和产量显著减少^[7]。而在我国干旱、半干旱的广大北方冬油菜区,干旱更是制约油菜产业发展的重要因素^[6]。因此,油菜抗旱研究已经成为油菜科研工作者的重要课题和关注热点。已有的研究报道主要围绕干旱对油菜形态^[8,9]、产量^[10]和生理生化性状^[11~14]的影响分析和油菜抗旱性的遗传与基因研究^[5,15,16]等方面,而关于油菜品种和创新种质的抗

旱性鉴定、筛选等相关报道较少。本实验采用 10%(w/v)PEG—6000 高渗溶液模拟干旱胁迫的方法,对 32 份来自不同地区的甘蓝型油菜品种和 41 份通过远缘杂交获得的稳定高世代品系进行模拟干旱胁迫处理,以研究干旱胁迫对甘蓝型油菜种子萌发和幼苗生长的影响以及不同甘蓝型油菜基因型之间的差异,筛选和鉴定抗旱性较强的品种(种质),为油菜抗旱育种提供新材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

73 份供试材料名称及来源见表 1,其中 41 份是由甘蓝型油菜与蕈菜(*Rorippa indica*,十字花科蕈菜属,具很强的抗旱、耐湿、抗菌核病等特性)属间杂种^[17]经多代回交、自交后获得的遗传稳定的高世代品系;32 份材料为甘蓝型油菜改良品种。PEG—6000 购自上海国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验方法与数据分析

参照杨春杰等^[12]的方法进行模拟干旱胁迫处理。选取大小均匀、饱满、无病虫的油菜种子放入内含三层滤纸直径为 9 cm 的培养皿中,加蒸馏水湿润后置于恒温 25℃室内发芽,加蒸馏水保湿,待种子

收稿日期:2011-04-14
基金项目:国家自然科学基金(31060195);江西省自然科学基金(2009GZN0060,2010GQN0104);江西省农科院博士启动项目;江西省农科院科技创新基金。
作者简介:涂玉琴(1981—),女,江西高安人,博士,助理研究员,主要从事油菜种质创新与遗传育种研究。E-mail:yuqintu@yahoo.cn。
* 通讯作者:戴兴临(1960—),男,研究员,主要从事油菜遗传育种研究。
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

破壳后胚根长 2~3 mm 左右时,选取发芽正常、胚根长一致的种子转移到 10%的 PEG-6000 溶液浸透的铺有三层滤纸的培养皿中进行干旱胁迫处理,50 粒每皿,对照则转移到加等量蒸馏水的培养皿中继续发芽,每个品种(系)处理和对照各重复 3 次,7 天后测定存活的幼苗数,计算成苗率,根长、苗高和苗鲜重则通过每个重复随机抽取 10 株幼苗进行测

量,最后取 3 个重复的平均值,所得数据通过 Excel 和 SPSS 软件进行处理和相关分析。各指标相对值(α)用以下公式计算值表示^[18]:

$$\alpha(\%) = (\text{处理幼苗测定值} / \text{对照幼苗测定值}) \times 100\%$$

$$\text{相对活力指数} = (\text{处理成苗率} \times \text{处理幼苗苗高}) / (\text{对照成苗率} \times \text{对照幼苗苗高})^{[12]}$$

表 1 供试材料的名称及来源
Table 1 Material names and origins

编号 Code	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Origin	编号 Code	材料名称 Material name	类型 Type	来源 Origin
1	F1001	创新种质 NG	江西 Jiangxi	38	F1503	创新种质 NG	江西 Jiangxi
2	F1401	创新种质 NG	江西 Jiangxi	39	F1402	创新种质 NG	江西 Jiangxi
3	F1501	创新种质 NG	江西 Jiangxi	40	F1002	创新种质 NG	江西 Jiangxi
4	F1502	创新种质 NG	江西 Jiangxi	41	F1003	创新种质 NG	江西 Jiangxi
5	F1800	创新种质 NG	江西 Jiangxi	42	长油 2 号	育成品种 RC	四川 Sichuan
6	F2000	创新种质 NG	江西 Jiangxi	43	南油杂 1 号	育成品种 RC	四川 Sichuan
7	F2401	创新种质 NG	江西 Jiangxi	44	杏油 2 号	育成品种 RC	四川 Sichuan
8	F2402	创新种质 NG	江西 Jiangxi	45	丰油 701	育成品种 RC	湖南 Hunan
9	F2601	创新种质 NG	江西 Jiangxi	46	德油 16	育成品种 RC	江西 Jiangxi
10	F2602	创新种质 NG	江西 Jiangxi	47	绵新油 28	育成品种 RC	四川 Sichuan
11	F2901	创新种质 NG	江西 Jiangxi	48	科乐 521	育成品种 RC	四川 Sichuan
12	F2902	创新种质 NG	江西 Jiangxi	49	德新油 18	育成品种 RC	贵州 Guizhou
13	F4401	创新种质 NG	江西 Jiangxi	50	科源油 2 号	育成品种 RC	四川 Sichuan
14	F4402	创新种质 NG	江西 Jiangxi	51	杂选 1 号	育成品种 RC	贵州 Guizhou
15	F5200	创新种质 NG	江西 Jiangxi	52	宜油 15	育成品种 RC	四川 Sichuan
16	F5401	创新种质 NG	江西 Jiangxi	53	同富油 3 号	育成品种 RC	安徽 Anhui
17	F5402	创新种质 NG	江西 Jiangxi	54	先油杂 2 号	育成品种 RC	贵州 Guizhou
18	F5600	创新种质 NG	江西 Jiangxi	55	中农油 6 号	育成品种 RC	湖北 Hubei
19	F6000	创新种质 NG	江西 Jiangxi	56	希望 528	育成品种 RC	湖北 Hubei
20	F6200	创新种质 NG	江西 Jiangxi	57	丰油 730	育成品种 RC	湖南 Hunan
21	F6300	创新种质 NG	江西 Jiangxi	58	渝黄 2 号	育成品种 RC	重庆 Chongqing
22	F6400	创新种质 NG	江西 Jiangxi	59	裕农 98	育成品种 RC	未知 Unknown
23	F6502	创新种质 NG	江西 Jiangxi	60	中油 821	育成品种 RC	湖北 Hubei
24	F6502	创新种质 NG	江西 Jiangxi	61	浙油 601	育成品种 RC	浙江 Zhejiang
25	F6600	创新种质 NG	江西 Jiangxi	62	湘油王	育成品种 RC	湖南 Hunan
26	F6700	创新种质 NG	江西 Jiangxi	63	湘油 15 号	育成品种 RC	湖南 Hunan
27	F6801	创新种质 NG	江西 Jiangxi	64	皖油 518	育成品种 RC	安徽 Anhui
28	F6802	创新种质 NG	江西 Jiangxi	65	德油杂 988	育成品种 RC	湖北 Hubei
29	F6900	创新种质 NG	江西 Jiangxi	66	两优 586	育成品种 RC	江西 Jiangxi
30	F7200	创新种质 NG	江西 Jiangxi	67	中双 4 号	育成品种 RC	湖北 Hubei
31	F7401	创新种质 NG	江西 Jiangxi	68	德油 5 号	育成品种 RC	四川 Sichuan
32	F7402	创新种质 NG	江西 Jiangxi	69	华油杂四号	育成品种 RC	湖北 Hubei
33	F4403	创新种质 NG	江西 Jiangxi	70	华双 4 号	育成品种 RC	湖北 Hubei
34	F2903	创新种质 NG	江西 Jiangxi	71	华油杂 12 号	育成品种 RC	湖北 Hubei
35	F2904	创新种质 NG	江西 Jiangxi	72	富油 668	育成品种 RC	湖北 Hubei
36	F2403	创新种质 NG	江西 Jiangxi	73	湘油 13 号	育成品种 RC	湖南 Hunan
37	F2404	创新种质 NG	江西 Jiangxi				

2 结果与分析

2.1 模拟干旱胁迫对甘蓝型油菜幼苗生长的影响

模拟干旱胁迫处理后,73 份供试材料均表现生长受到抑制,与对照相比,处理后的幼苗普遍较矮,根长较长,子叶卷缩,生长势较弱,且相同基因型材料表现较为一致,不同基因型之间存在较大差异。表 2 所示,成苗率为对照的 82.0%~100%,平均成苗率为 96.11%,其中 23 份材料成苗率和对照相同均达 100%。可见,PEG 模拟干旱胁迫对甘蓝型油菜芽期成苗率影响较小,大部分材料能保持较高的成苗率,不同基因型甘蓝型油菜在 PEG 模拟干旱胁迫处理后对成苗率的影响差异不明显。干旱胁迫处理后,幼苗根长增长,苗高变矮,苗鲜重减少。处理后幼苗根长平均 9.99 cm,变幅 6.58~16.33 cm,较对照(平均 5.64 cm,变幅 3.30~7.80 cm)显著增长,处理根长为对照的 179.69%,变幅 131.37%~

313.97%。说明 PEG 模拟干旱胁迫对甘蓝型油菜芽期根长的影响较大,干旱胁迫下甘蓝型油菜为保证其正常生长尽可能多地吸收水分而启动生理代偿反应,从而使根系不断伸长。经干旱胁迫后 10 份材料表现为处理苗高大于对照苗高,2 份材料表现为处理与对照相同,61 份材料表现为降低。处理后幼苗苗高平均 1.74 cm,变幅 0.92~2.61 cm,为对照(平均 2.07 cm,变幅 1.42~3.22 cm)的 85.82%,变幅 51.69%~125.13%。同样,干旱胁迫对苗鲜重的影响也普遍表现为降低明显,仅 2 份材料稍有增长,处理后苗鲜重平均 2.60 mg,变幅 1.14~4.02 mg,为对照(平均 3.49 mg,变幅 1.76~5.53 mg)的 75.65%,变幅为 45.51%~118.96%。供试的 73 份材料相对活力指数平均为 82.60%,变幅 47.55%~125.13%,这表明干旱胁迫下,甘蓝型油菜幼苗对种子养分的利用受到阻碍,致使甘蓝型油菜苗高和苗鲜重普遍减低,相对活力指数下降,最终影响幼苗的生长。

表 2 模拟干旱胁迫对甘蓝型油菜幼苗生长的影响
Table 2 Effects of simulated drought stress on seedling of *B. napus*

编号 Code	成苗率(%) Survival ratio			根长(cm) Length of taproot			苗高(cm) Height of seedling			苗鲜重(mg) Fresh weight per plant			相对活 力指数(%) Relative vigor index
	CK	T	α	CK	T	α	CK	T	α	CK	T	α	
1	100	98.0	98.0	5.68	9.04	159.15	1.91	2.16	113.09	2.59	1.40	54.14	110.83
2	100	97.8	97.8	6.74	9.49	140.80	1.80	1.85	102.78	3.10	2.43	78.52	100.49
3	100	92.0	92.0	5.86	10.00	170.65	1.56	1.67	107.05	2.62	2.42	92.30	98.49
4	100	86.0	86.0	4.80	11.90	247.92	1.91	1.98	103.66	3.62	2.16	59.80	89.15
5	100	94.0	94.0	5.27	11.55	219.17	2.14	1.89	88.32	3.26	2.41	73.87	83.02
6	100	90.0	90.0	7.73	11.06	143.08	2.46	2.08	84.55	4.67	3.08	66.02	76.10
7	100	92.0	92.0	5.73	10.73	187.26	2.29	2.08	90.83	3.93	2.63	67.01	83.56
8	100	98.0	98.0	5.94	10.58	178.11	1.93	1.82	94.30	2.92	2.21	75.83	92.41
9	100	98.0	98.0	5.72	9.83	171.85	1.95	1.82	93.33	3.89	3.16	81.34	91.47
10	100	98.0	98.0	5.58	7.99	143.19	1.58	1.79	113.29	2.84	2.17	76.44	111.03
11	100	100.0	100.0	6.09	12.26	201.31	1.87	2.34	125.13	4.44	4.02	90.60	125.13
12	100	96.0	96.0	6.92	11.50	166.18	1.74	1.98	113.79	3.06	2.76	90.26	109.24
13	100	95.7	95.7	7.25	16.33	225.24	1.68	1.62	96.43	4.18	2.96	70.95	92.24
14	100	100.0	100.0	6.04	10.41	172.35	1.58	1.62	102.53	3.16	2.02	64.07	102.53
15	100	100.0	100.0	5.35	8.73	163.18	1.59	1.58	99.37	2.67	1.95	72.92	99.37
16	100	100.0	100.0	7.19	11.86	164.95	1.61	1.89	117.39	3.60	3.42	94.95	117.39
17	100	92.0	92.0	4.09	8.88	217.11	2.13	1.82	85.45	3.32	2.29	68.99	78.61
18	100	98.0	98.0	3.30	6.90	209.09	1.79	1.32	73.74	2.27	1.66	73.03	72.27
19	100	92.0	92.0	4.98	12.81	257.23	1.78	0.92	51.69	2.46	1.14	46.43	47.55
20	100	92.0	92.0	5.42	8.16	150.55	2.13	1.39	65.26	2.86	1.30	45.51	60.04
21	100	96.0	96.0	5.46	7.72	141.39	1.64	1.33	81.10	1.93	1.51	78.31	77.85
22	100	92.0	92.0	4.85	7.06	145.57	2.37	1.45	61.18	2.52	1.16	46.19	56.29
23	100	96.0	96.0	5.62	12.16	216.37	2.22	1.90	85.59	2.97	1.65	55.57	82.16
24	100	82.0	82.0	5.39	10.78	200.00	2.12	1.60	75.47	4.14	2.47	59.73	61.89
25	100	90.0	90.0	5.68	8.11	142.78	2.08	1.61	77.40	4.83	2.89	59.86	69.66
26	100	92.0	92.0	6.91	9.16	132.56	2.53	1.87	73.91	4.12	2.60	62.95	68.00
27	100	89.5	89.5	6.94	14.64	210.95	1.61	1.57	97.52	3.10	2.64	85.13	87.25

续表 2													
28	100	98.0	98.0	5.67	15.90	280.42	1.79	1.41	78.77	2.91	2.14	73.64	77.20
29	100	100.0	100.0	6.74	13.02	193.18	1.81	1.49	82.32	2.42	2.87	118.96	82.32
30	100	98.0	98.0	7.65	13.40	175.16	1.62	1.53	94.44	3.39	2.92	86.03	92.56
31	100	100.0	100.0	5.77	9.27	160.66	2.06	1.74	84.47	2.47	1.72	69.57	84.47
32	100	96.0	96.0	6.28	8.25	131.37	1.83	1.48	80.87	2.30	1.53	66.77	77.64
33	100	100.0	100.0	5.58	12.10	216.85	1.42	1.35	95.07	2.23	2.11	94.58	95.07
34	100	100.0	100.0	5.47	8.66	158.32	1.48	1.46	98.65	2.94	2.71	92.09	98.65
35	100	100.0	100.0	6.65	9.65	145.11	1.81	1.58	87.29	3.80	3.22	84.68	87.29
36	100	98.0	98.0	4.07	10.28	252.58	2.34	1.67	71.37	2.24	1.65	73.85	69.94
37	100	100.0	100.0	5.60	11.64	207.86	2.24	1.81	80.80	2.93	2.46	83.91	80.80
38	100	100.0	100.0	4.67	9.15	195.93	1.51	1.20	79.47	1.82	1.50	82.67	79.47
39	100	100.0	100.0	4.58	7.72	168.56	1.62	1.47	90.74	1.76	1.41	79.76	90.74
40	100	100.0	100.0	6.15	9.69	157.56	1.56	1.56	100.00	2.05	2.02	98.68	100.00
41	100	100.0	100.0	5.84	11.99	205.31	1.53	1.33	86.93	2.17	2.10	97.00	86.93
42	100	100.0	100.0	4.60	9.26	201.30	1.78	1.56	87.64	3.45	2.46	71.32	87.64
43	100	100.0	100.0	4.61	8.62	186.98	2.34	1.99	85.04	4.74	3.59	75.65	85.04
44	100	96.7	96.7	7.80	10.86	139.23	2.22	1.83	82.43	5.36	3.96	73.78	79.68
45	100	94.0	94.0	5.15	9.34	181.36	2.52	1.77	70.24	5.24	3.72	71.14	66.02
46	100	100.0	100.0	5.47	8.81	161.06	2.29	1.66	72.49	4.38	2.25	51.37	72.49
47	100	92.0	92.0	6.42	10.32	160.75	2.26	1.59	70.35	4.66	2.78	59.59	64.73
48	100	100.0	100.0	5.12	7.61	148.63	2.54	1.87	73.62	3.83	3.08	80.20	73.62
49	100	98.0	98.0	5.01	7.17	143.11	2.35	1.62	68.94	3.94	2.88	73.21	67.56
50	100	84.0	84.0	6.04	9.28	153.64	1.83	1.69	92.35	4.26	3.28	77.05	77.57
51	100	94.0	94.0	5.66	9.66	170.67	2.16	1.68	77.78	3.94	2.80	71.04	73.11
52	100	100.0	100.0	4.64	7.72	166.38	2.54	1.87	73.62	4.56	2.83	62.03	73.62
53	100	100.0	100.0	4.32	7.84	181.48	2.28	1.85	81.14	4.09	3.46	84.58	81.14
54	100	96.0	96.0	5.71	8.72	152.71	1.95	1.71	87.69	3.48	2.73	78.46	84.18
55	100	92.0	92.0	6.17	10.31	167.10	2.55	1.67	65.49	5.18	2.84	54.81	60.25
56	100	92.0	92.0	4.93	8.79	178.30	2.83	1.83	64.66	5.53	3.47	62.72	59.49
57	100	94.0	94.0	6.38	9.94	155.80	2.92	2.03	69.52	5.39	3.35	62.24	65.35
58	100	96.0	96.0	3.96	8.42	212.63	2.04	1.53	75.00	4.60	3.68	79.93	72.00
59	100	98.0	98.0	6.26	10.29	164.38	1.94	1.68	86.60	3.84	2.59	67.42	84.87
60	100	100.0	100.0	7.76	10.76	138.66	1.89	1.61	85.19	3.69	2.57	69.69	85.19
61	100	98.0	98.0	4.62	7.61	164.72	2.37	1.58	66.67	3.20	2.30	71.69	65.33
62	100	90.0	90.0	6.85	10.42	152.12	2.37	1.86	78.48	4.45	3.40	76.54	70.63
63	100	98.0	98.0	4.34	9.91	228.34	1.98	1.98	100.00	3.59	3.15	87.73	98.00
64	100	98.0	98.0	4.26	7.48	175.59	2.48	1.98	79.84	3.55	2.92	82.28	78.24
65	100	100.0	100.0	5.29	10.59	200.19	1.89	1.79	94.71	3.77	3.51	93.10	94.71
66	100	100.0	100.0	5.04	9.54	189.29	1.76	1.64	93.18	3.53	2.77	78.34	93.18
67	100	97.5	97.5	6.19	10.76	173.83	1.82	1.53	84.07	3.98	3.27	82.19	81.96
68	100	98.0	98.0	4.96	6.58	132.66	3.20	2.35	73.44	3.75	2.82	75.20	71.97
69	100	98.0	98.0	6.62	9.82	148.34	3.22	2.61	81.06	4.08	2.93	71.81	79.43
70	100	93.3	93.3	4.08	12.81	313.97	2.74	2.17	79.20	3.44	3.06	88.98	73.92
71	100	93.3	93.3	5.57	9.24	165.89	2.17	2.48	114.29	2.91	2.70	92.52	106.67
72	100	97.6	97.6	5.47	8.85	161.79	2.46	2.02	82.11	2.88	2.93	101.46	80.16
73	100	90.3	90.3	5.32	11.67	219.36	2.62	2.17	82.82	3.02	3.07	101.76	74.81
最大值 Max	100	100.0	100.0	7.80	16.33	313.97	3.22	2.61	125.13	5.53	4.02	118.96	125.13
最小值 Min	100	82.0	82.0	3.30	6.58	131.37	1.42	0.92	51.69	1.76	1.14	45.51	47.55
平均值 Average	100	96.11	96.11	5.64	9.99	179.69	2.07	1.74	85.82	3.49	2.60	75.65	82.60
标准差 s	0	4.16	4.16	0.98	1.99	36.11	0.41	0.29	14.35	0.92	0.69	14.17	14.91
变异系数 CV	0	4.33	4.33	17.32	19.90	20.10	19.67	16.79	16.72	26.37	26.34	18.73	18.05

同时, 数据分析显示, 干旱处理后相对根长的变异系数最高, 为 20.10, 其次为相对苗鲜重、相对活力指数和相对苗高, 其变异系数分别为 18.73、18.05 和 16.72, 相对成苗率的变异系数最小, 为 4.33。变异系数越大, 该性状的基因型反应差异越大, 由此可见, PEG 模拟干旱胁迫对甘蓝型油菜的成苗率、根长、苗高和苗鲜重都产生了较为明显的影响, 其中以对根长的影响最大, 其次是苗高和苗鲜重, 对成苗率的影响相对较小。另外, 不同基因型甘蓝型油菜对

PEG 模拟干旱胁迫的反应差异也很大, 即不同基因型甘蓝型油菜芽期的抗旱性强弱差异明显。

将所测指标的相对值(α 值)进行相关分析, 结果表明干旱胁迫后甘蓝型油菜的成苗率与苗鲜重、相对活力指数呈极显著正相关, 相对活力指数与成苗率、苗高、苗鲜重呈极显著正相关, 而根长与成苗率、苗高和相对活力指数均呈负相关, 未达到显著水平(见表 3)。

表 3 模拟干旱胁迫处理下甘蓝型油菜幼苗生长性状的相关分析

Table 3 Correlation analysis of seedling traits of *B. napus* under simulated drought stress

生长性状 Seedling trait	成苗率 Survival ratio	根长 Length of taproot	苗高 Height of seedling	苗鲜重 Fresh weight per plant	相对活力指数 Relative vigor index
成苗率 Survival ratio	1.000				
根长 Length of taproot	-0.090	1.000			
苗高 Height of see	0.202	-0.016	1.000		
苗鲜重 Fresh weight per plant	0.354 **	0.132	0.465 **	1.000	
相对活指 Relative vigor index	0.426 **	-0.039	0.971 **	0.509 **	1.000

2.2 聚类分析

将 73 份材料模拟干旱胁迫处理后的相对成苗率、相对根长、相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数等 5 个性状指标, 采用欧氏距离离差平方和法进行聚类分析, 结果显示(图 1), 供试材料明显被聚为三大类, 结合表 2 数据, I 类包括 24 份材料, 占总供试材料的 32.88%, 此 24 份材料相对成苗率平均 98.09% (变幅 92% ~ 100%), 相对根长平均 171.45% (变幅 140.80% ~ 201.31%), 相对苗高平均 98.50% (变幅 79.84% ~ 125.13%), 相对苗鲜重平均 81.80% (变幅 54.14% ~ 101.46%), 相对活力指数平均 96.58% (变幅 78.24% ~ 125.13%); II 类包括 28 份材料, 占总材料的 38.36%, 此 28 份材料相对成苗率平均 95.10% (变幅 84% ~ 100%), 相对根长平均 152.60% (变幅 131.37% ~ 181.36%), 相对苗高平均 76.31% (变幅 61.18% ~ 92.35%), 相对苗鲜重平均 67.49% (变幅 45.51% ~ 84.68%), 相对活力指数平均 72.59% (变幅 56.29% ~ 87.29%); III 类包括 21 份材料, 占总材料的 28.77%, 此 21 份材料相对成苗率平均 95.18% (变幅 82% ~ 100%), 相对根长平均 225.22% (变幅 193.18% ~ 313.97%), 相对苗高平均 84.02% (变幅 51.69% ~ 103.66%), 相对苗鲜重平均 79.51% (变幅 46.43% ~ 118.96%), 相对活力指数平均 79.97% (变幅 47.55% ~ 98.00%)。比较分析表明, I 类的 24 份材料具有相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数较

高的共同特点, 可视为高抗旱类型, II 类的 28 份材料其相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数较低, 可视为不抗旱类型, III 类的 21 份材料其相对根长值 200% 左右或以上, 相对苗高、苗鲜重和相对活力指数值中等, 可视为一般抗旱类型。

2.3 甘蓝型油菜创新种质的抗旱性显著提高

将 41 份由甘蓝型油菜与蕈菜属间杂交而来的远缘杂种后代高世代品系(创新种质)与 32 份育成品种进行比较分析, 结果显示(表 4), 两种类型材料在 PEG 模拟干旱胁迫后的成苗率差别不明显, 创新种质在干旱胁迫处理后相对根长(平均 183.58%)、相对苗高(平均 89.89%)和相对活力指数(平均 86.51%)均比育成品种大, 相对苗鲜重(平均 75.44%)与育成品种(平均 75.93%)相当, 而创新种质的相对成苗率、相对根长、相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数的变异系数均大于育成品种, 且聚类分析结果显示, 在 24 份高抗旱材料中有 16 份来自创新种质, 占 66.67%, 21 份一般抗旱材料中也有 16 份来自创新种质, 占 76.19%, 而在 28 份不抗旱材料中只有 9 份来自创新种质, 占 32.14%, 在高抗旱和一般抗旱类型中创新种质占 70.40%。由此可见, 由甘蓝型油菜与蕈菜远缘杂交而来的高世代品系相对育成品种来说, 其具有更好的芽期抗旱能力, 抗旱性得到了显著增强, 且不同基因型之间差异较育成品种大。这与亲本蕈菜的抗旱性状导入到甘蓝型油菜有关, 因此, 通过远缘杂交将十字花科近缘野

生种焯菜的抗旱特性导入到现有优良品种进行种质创新,有利于提高甘蓝型油菜抗旱性,是进行油菜抗旱性遗传改良的有效途径。

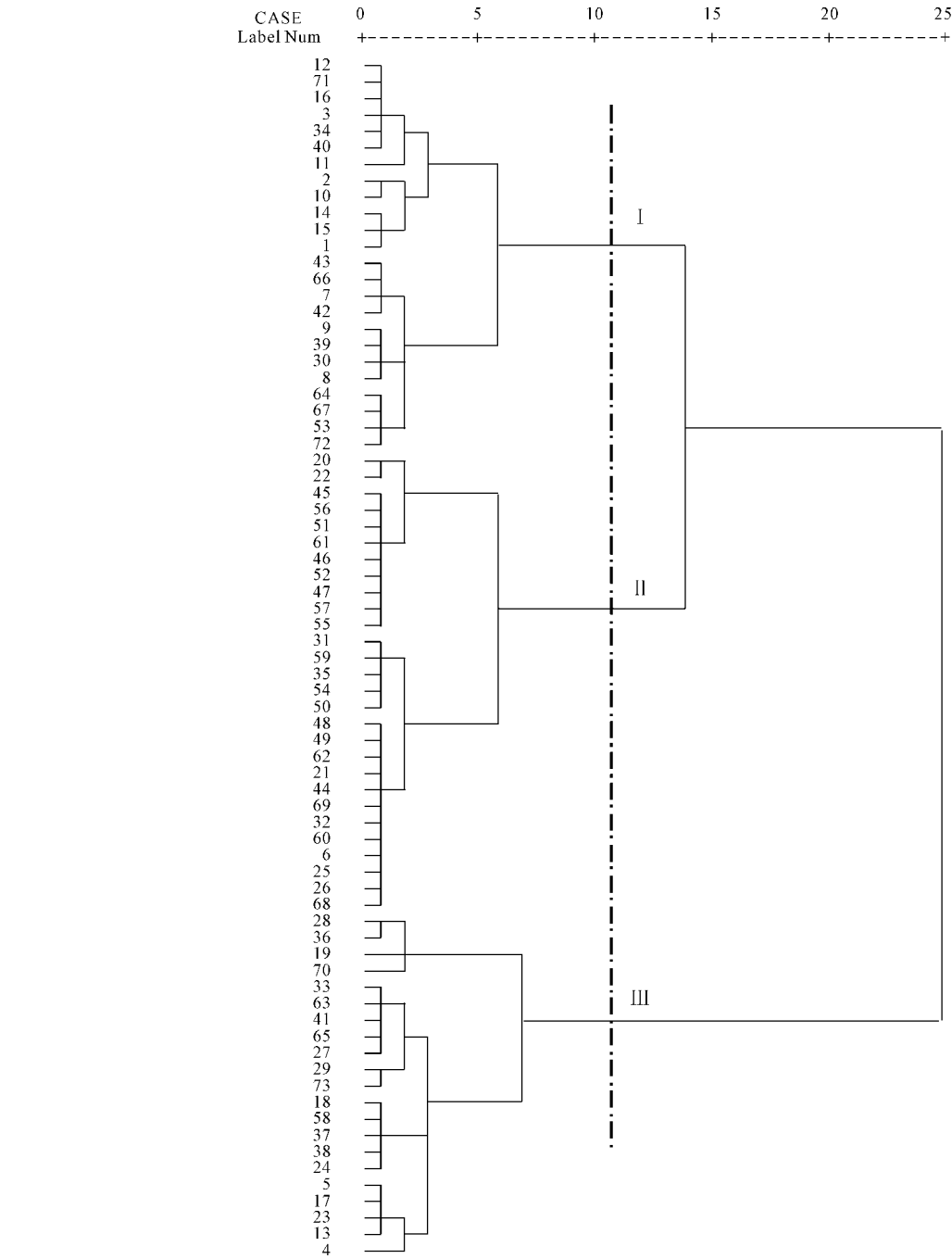


图 1 模拟干旱胁迫下 73 份甘蓝型油菜幼苗生长指标的聚类分析
Fig.1 Cluster result of seedling growth indexes of 73 *B. napus* under simulated drought stress

3 讨 论

人工模拟干旱胁迫处理是植物抗旱性研究的重要方法之一。利用聚乙二醇(PEG)、甘露醇和蔗糖等高渗溶液模拟干旱胁迫处理是作物抗旱性室内鉴定的常用方法^[19,20],其中所用高渗溶液中以 PEG—6000 较为理想,PEG 溶于水后既能产生强大的渗透

压,使植物组织和细胞处于类似于干旱的水分胁迫之中,又因分子量大,不能穿越细胞壁进入细胞质,不会引起质壁分离伤害植物^[12,20~22]。自 1979 年首次以 PEG 作为诱导剂和筛选剂筛选出抗旱的烟草细胞系以后,PEG 就被普遍应用于水稻^[23]、小麦^[24]、玉米^[25]、紫花苜蓿^[26]等作物耐旱性研究。本试验采用 10%PEG—6000 模拟干旱胁迫处理 73 份

表 4 PEG 模拟干旱胁迫下创新种质与育成品种幼苗性状的比较分析

Table 4 Comparison of seedling traits of new enhanced gemplasms and released cultivars under PEG simulated drought stress

类型 Type	项目 Item	成苗率(%) Survival ratio			根长(cm) Length of taproot			苗高(cm) Height of seedling			苗鲜重(mg) Fresh weight per plant			相对活 力指数(%) Relative vigor index
		CK	T	α	CK	T	α	CK	T	α	CK	T	α	
创新 种质 NG	最大值 Max	100	100.0	100.0	7.73	16.33	280.42	2.53	2.34	125.13	4.83	4.02	118.96	125.13
	最小值 Min	100	82.0	82.0	3.3	6.90	131.37	1.42	0.92	51.69	1.76	1.14	45.51	47.55
	平均值 Average	100	96.02	96.02	5.79	10.50	183.58	1.87	1.66	89.89	3.04	2.27	75.44	86.51
	标准差 s	0	4.43	4.43	0.96	2.24	37.24	0.30	0.28	15.55	0.79	0.67	15.78	16.48
	变异系数 CV	0	4.62	4.62	16.56	21.36	20.28	15.81	17.04	17.3	26.02	29.39	20.91	19.05
育成 品种 RC	最大值 Max	100	100.0	100.0	7.80	12.81	313.97	3.22	2.61	114.29	5.53	3.96	101.76	106.67
	最小值 Min	100	84.0	84.0	3.96	6.58	132.66	1.76	1.53	64.66	2.88	2.25	51.37	59.49
	平均值 Average	100	96.21	96.21	5.46	9.34	174.70	2.32	1.85	80.61	4.07	3.03	75.93	77.58
	标准差 s	0	3.86	3.86	0.99	1.39	34.55	0.39	0.27	10.80	0.73	0.42	12.05	10.92
	变异系数 CV	0	4.01	4.01	18.06	14.84	19.78	16.80	14.76	13.39	18.05	13.88	15.87	14.07

来源不同的甘蓝型油菜材料,结果发现干旱胁迫使各材料成苗率降低,苗高和苗鲜重普遍降低,这与前人在油菜^[12,27]、小麦^[24]、玉米^[28]等作物中的部分研究结果类似。而干旱胁迫导致各材料的根长全部伸长,原因可能是水分胁迫下,植物吸收的养分优先供应胚根,为保证幼苗的成活和生长,导致补偿和超补偿的生长效应,以适应外界不良的环境条件^[29,30]。本试验干旱处理后相对根长、相对苗高、相对苗鲜重和相对活力指数的变异系数很大,分别为 20.10、16.72、18.73 和 18.05,表明不同基因型甘蓝型油菜芽期抗旱性遗传差异很大,聚类分析得到由 16 份创新种质和 8 份育成品种组成的高抗旱材料可用于抗旱性研究和抗旱新品种的选育。

远缘杂交是作物遗传改良的重要途径。迄今为止,已有很多成功的例子通过远缘杂交将外源基因转移到各芸苔属栽培种中^[31],如来自芥菜的低芥酸^[32]、来自诸葛菜的高亚油酸^[33]、来自芸芥和海甘蓝的高芥酸^[34]、来自 *Lesquerella fendleri* 的羟基脂肪酸^[35]和与耐干燥有关的种子表皮的粘性胶膜^[36]、来自芥菜和菘蓝的菌核病抗性^[37]以及来自白芥的抗黑胫病性^[38]等。本研究将 41 份创新种质(来自甘蓝型油菜与焯菜的远缘杂种高世代品系)与 32 份育成品种的芽期抗旱性进行比较分析发现,创新种

质在经干旱胁迫后平均相对根长、相对苗高和平均相对活力指数及其变异系数均高于育成品种,且聚类分析的高抗旱和一般抗旱类型中创新种质占 70%以上,由此可见,创新种质具有比育成品种更好的芽期抗旱能力,抗旱性得到了显著增强,且不同基因型之间差异更明显。因此,通过远缘杂交等途径将油菜近缘物种的优异特性转移到栽培种,创新种质,是拓宽现有甘蓝型油菜的遗传基础,为其引入新的抗旱等优异基因源的有效途径,对油菜的遗传改良具有重要实际意义。

参 考 文 献:

[1] Glombitza S, Dubuis P H, Thulke O, et al. Crosstalk and diferential response to abiotic and biotic stressors reflected at the transcriptional level of effector genes from secondary metabolism [J]. Plant Mol Biol, 2004, 51: 1—19.

[2] 陈善福,舒庆尧.植物耐干旱胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展[J].植物学通报,1999,16(5):555—556.

[3] 王新发,王汉中,刘贵华.现代生物技术在油菜育种中的应用及前景[J].中国油料作物学报,2002,24(3):74—77.

[4] 傅廷栋.杂交油菜育种与应用[M].武汉:湖北科学技术出版社,2000.

[5] 杨春杰,程 勇,邹崇顺,等.模拟干旱胁迫下不同甘蓝型油菜品种发芽能力的配合力与遗传效应分析[J].作物学报,2008,34(10):1744—1749.

- [6] 于澄宇,徐会善,王成军.不同油菜品种(系)在严重干旱条件下越冬能力及保苗方法效果的比较[J].西北农业学报,2010,19(10):65—69.
- [7] 戴清明,吕爱钦,何维君,等.洞庭湖区油菜主要气象灾害发生规律与减灾避灾对策[J].作物研究,2006,(1):60—65.
- [8] 韩善华.油菜叶绿体在干旱处理过程中的超微结构变化[J].作物学报,1991,17(4):311—313.
- [9] 韩善华.油菜叶肉细胞中特殊管泡状结构的形成及其与干旱的关系[J].西北植物学报,1989,9(3):145—149.
- [10] Richards R A, Thurling N. Genetic analysis of drought stress response in rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*). II. Yield improvement and the application of selection indices[J]. Euphytica, 1979,28(1):169—177.
- [11] Richards R A, Thurling N. Genetic analysis of drought stress response in rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*). III. physiological characters[J]. Euphytica, 1979,28(3):755—759.
- [12] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等.PEG—6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J].中国油料作物学报,2007,29(4):425—430.
- [13] 项俊,陈兆波,王沛,等.CaCl₂ 对干旱胁迫下甘蓝型油菜抗旱性相关的生理生化指标变化影响[J].华中农业大学学报,2007,26(5):607—611.
- [14] 陈健,熊王丹,杨伟伟,等.干旱胁迫对油菜多胺代谢的影响[J].种子,2009,28(12):74—76.
- [15] 王景娜,高勇,安金玲,等.油菜一个 WRKY 基因对盐胁迫和干旱胁迫的表达响应[J].四川大学学报(自然科学版),2010,47(1):197—201.
- [16] Yang M G, Yang Q Y, Fu T D, et al. Overexpression of the *Brassica napus* *BnLAS* gene in *Arabidopsis* affects plant development and increases drought tolerance [J]. Plant Cell Reports, 2011, 30(3): 373—388.
- [17] 戴兴临,程春明,宋来强,等.油菜×葎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.
- [18] 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.
- [19] Bouslama M. Stress tolerance in soybeans evaluation[J]. Crop Science, 1984,24:933—937.
- [20] Ravikumar R L, Patil B S, Salimath P M. Drought tolerance in sorghum by pollen selection using osmotic stress [J]. Euphytica, 2003,133:371—376.
- [21] Atree S M, Fowke L C. Embryogeny of gymnosperms; advances in synthetic seed technology of conifers[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 1993,35:1—35.
- [22] 景蕊莲,吕小平.用渗透胁迫鉴定小麦种子萌发期抗旱性的方法分析[J].植物遗传资源学报,2003,4(4):292—296.
- [23] 安永平,强爱玲,张媛媛,等.渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究[J].植物遗传资源学报,2006,7(4):421—426.
- [24] 刘宁涛.PEG—6000 模拟干旱胁迫下春小麦萌芽期抗旱性评价[J].小麦研究,2009,30(2):10—14.
- [25] 吴妍,张岁岐,刘小芳,等.水分胁迫及复水条件下外源 Ca²⁺ 对玉米幼苗根系水力导度及生长的影响[J].作物学报,2010,36(6):1044—1049.
- [26] 李文尧,张岁岐,山仑,等.PEG 模拟旱后复水对紫花苜蓿茎叶生理生态特性的影响[J].西北农业学报,2008,17(6):247—252.
- [27] 李震,杨春杰,张学昆,等.PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J].中国油料作物学报,2008,30(4):438—442.
- [28] 武斌,李新海,肖木辑,等.53 份玉米自交系的苗期耐旱性分析[J].中国农业科学,2007,40(4):665—676.
- [29] 高世铭,赵松岭.半干旱区春小麦水分亏缺补偿效应研究[J].西北植物学报,1995,15(8):32—39.
- [30] 胡晓艳,呼天明,李红星.草坪草马蹄金与结缕草种子萌发期抗旱性比较[J].草业科学,2006,23(1):89—92.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Wang Y P, Sonntag K, Rudloff E. Development of rapeseed with high erucic acid content by asymmetric somatic hybridization between *Brassica napus* and *Crambe abyssinica* [J]. Theor Appl Genet, 2003, 106:1147—1155.
- [35] Schroder—Pontoppidan M, Skarzhinskaya M, Dixelius C, et al. Very long chain and hydroxylated fatty acids in offspring of somatic hybrids between *Brassica napus* and *Lequerella fendleri* [J]. Theor Appl Genet, 1999,99:108—114.
- [36] Du X Z, Ge X H, Zhao Z G, et al. Chromosome elimination and fragment introgression and recombination producing intertribal partial hybrids from *Brassica napus* × *Lesquerella fendleri* crosses [J]. Plant Cell Rep, 2008,27:261—271.
- [37] 赵合句,黄永菊,王玉叶.油菜与菘蓝和荠菜属间杂交初探[J].湖北农业科学,1993,5:17—18.
- [38] 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.

Studies on genetic difference of different genotype *Brassica napus* during germination period under drought stress simulated by PEG

TU Yu-qin, DAI Xing-lin^{*}, TU Wei-feng, TANG Jie

(Crops Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: With simulated drought stress in 10% (w/v) polyethylene glycol 6000 (PEG—6000), 41 accessions of high generation lines from intergeneric hybrids between *B. napus* and *Rorippa indica* and 32 *Brassica napus* released cultivars from different areas were treated during germination period to investigate genetic difference of various genotypes of *B. napus* under drought stress simulated by PEG. The results showed that the survival ratio of most materials reduced with an average of 96.11%, the seedling height, fresh weight per plant and vigor index also generally reduced, with the relative seedling height of 85.82%, relative fresh weight per plant of 75.65% and relative vigor index of 82.60%. But the taproot length increased significantly, the average relative taproot length reached 179.69%. The variation coefficient of relative survival ratio, relative taproot length, relative seedling height, relative fresh weight per plant and relative vigor index from 73 accessions of gemplasm were 4.33, 20.10, 16.72, 18.73 and 18.05, respectively. The drought tolerance of different genotypes of *B. napus* had greater difference during germination period. And the clustering analysis showed that 16 accessions of new gemplasm from wide cross and 8 released varieties belonged to high tolerant drought resistance types, which could be used as drought tolerant gemplasm for genetic improvement of *B. napus*. The comparison between the drought tolerance of 41 accessions of new gemplasm and that of 32 released cultivars during germination period showed that new gemplasm from wide cross had better drought tolerance than released cultivars.

Keywords: *Brassica napus*; polyethylene glycol (PEG); drought stress; genetic difference; gemplasm creation

(上接第 194 页)

[12] Danesh M. Practical applications of geographic information systems and digital elevation models in water resources development [A]. WRM'95 Proceedings of Regional Conference on Water Resources Management, Conference Secretariat [C]. Isfahan: Isfahan University Of Technology, 1995:301—310.

[13] Venteris E R, Slater B K. A comparison between contour elevation data sources for DEM creation and soil carbon prediction [J]. Coshocton, Ohio: Transaction in GIS, 2005,9(2):179—198.

[14] 斯钧浪, 齐伟, 曲衍波, 等. 胶东山区县域土地利用在地形梯度上的分布特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 679—685.

Terrain character analysis of land use at county level

——A case study of Huxian County in Shaanxi Province

MA Ting-gang, QIN Zhan-fei, CHANG Qing-rui^{*}, XIE Bao-ni, HAO Ya-jun

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on GIS techniques and combining with digital terrain index and land use degree composite index, this paper studied the spatial distribution of land use of Huxian County in Shaanxi Province, and analyzed the land use degree on terrain gradient. The results indicated that crop land, orchard and construction land had obvious advantages in 16 terrain positions, and the distribution index of forest and grassland increased with the increase of terrain position; According to the quantitative expression of landuse degree on terrain gradient, terrain niche was divided into three sections, 1~6, 7~20 and 21~25, which occupied respectively 43.44%, 50.39% and 6.17% of the total study area. Distribution index can describe the difference between the actual distribution and the standard distribution of a landscape element, excluding the disturbance of the area, therefore availing kinds of comparative analysis. Crop land and construction land had obvious advantages on lower terrain niche. Finally suggestions were put forward for land use of Huxian County in the future.

Keywords: land use; terrain niche index; distribution index; composite index of land use degree