

西南地区小麦品种萌发期抗旱性分析

李国瑞¹, 李朝苏², 吴春², 汤永禄², 樊高琼¹

(1. 四川农业大学农学院, 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130;

2. 四川省农业科学院作物研究所, 四川 成都 610066)

摘要: 以 20 份小麦品种为材料, 采用 20% PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫, 研究小麦种子萌发期对渗透胁迫的响应, 并进行抗旱性综合分析, 筛选抗旱性鉴定指标。结果表明: PEG 胁迫下, 不同小麦品种的发芽势、发芽率、发芽指数、胚根长、胚根数、胚芽鞘长度、胚芽长等均有不同程度的降低, 各个指标在不同品种间的降低幅度不同, 平均降低幅度分别为 59.1%、17.1%、51.7%、51.4%、18.5%、19.6%、71.1%; 使用单一鉴定指标筛选出的抗旱性品种结果不一致; 将隶属函数法与系统聚类法结合, 筛选出蜀万 8 号为强抗旱型小麦品种, 绵麦 1403 为弱抗旱型品种, 川麦 42 和川麦 55 为不抗旱型品种, 其余的为中间抗旱型品种; 相关分析表明, 相对发芽率与 D 值的相关性最大(0.90), 可将其作为快速鉴定小麦品种抗旱性的指标。

关键词: 小麦; 萌发期; 抗旱性鉴定; 指标; 隶属函数法; 聚类分析法

中图分类号: S512.101 **文献标志码:** A

The analysis of drought resistance in different wheat varieties during germination in southwest area of China

LI Guo-rui¹, LI Chao-su², WU Chun², TANG Yong-lu², FAN Gao-qiong¹

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture, Chengdu, Sichuan 611130, China;

2. Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu, Sichuan 610066, China)

Abstract: To identify drought resistance indexes, responses from twenty wheat varieties to osmotic stress during the germination period were studied by adopting 20% PEG-6000 solution as drought stress treatment, and the overall drought resistance capabilities were analyzed. The results showed that the germination potential, germination rate, germination index, radicle length, radicle number, coleoptile length and germ length of each variety were decreased under PEG stress, and these indexes of different varieties were reduced at different levels with average reduction rates at 59.1%, 17.1%, 51.7%, 51.4%, 18.5%, 19.6% and 71.1%, respectively. This was inconsistent with the results examined by varieties with single index of drought resistance. The combination of membership function method and system clustering method was used to have identified that Shuwan 8 was strong, Mianmai 1403 was weak, Chuanmai 42 and Chuanmai 55 were incapable, and the rest were moderate in drought resistance. Correlation analyses showed that the relative germination rate had the maximal positive correlation (0.90) with the D value, indicating that the relative germination rate could be used to provide fast identification of the drought resistance index in wheat.

Keywords: wheat; germination period; drought resistance identification; index; membership function method; clustering analysis

种子萌发期是种子生活史中的关键阶段, 生产上播种出苗阶段遭遇干旱导致缺苗断垄, 进而严重影响作物的产量, 挖掘萌发期抗旱种质资源对于抗

旱栽培具有重要意义。

小麦是世界性重要粮食作物, 种植面积占全球粮食作物种植面积的八分之一^[1]。西南麦区是我国

收稿日期: 2014-06-10

基金项目: 国家小麦产业技术体系建设资金(CARS-3-1-23); 南方丘区节水农业研究四川省重点实验室开放课题; 四川省学带培养资金; 四川省育种攻关项目(2011NZ0098-15-3)

作者简介: 李国瑞(1988—), 男, 河南濮阳人, 在读硕士, 主要从事小麦抗旱性研究。E-mail: 450970004@qq.com。

通信作者: 樊高琼(1976—), 女, 四川宜宾人, 博士, 教授, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究。E-mail: fangao20056@126.com。

第三大麦区,又以四川麦区为主^[2]。四川小麦产量位居全国第六、西南第一^[3]。四川小麦主要种植在丘陵旱地,占全省小麦种植面积的85%,丘区基础设施差,属于典型的雨养农业区域^[4]。省内降雨时空分布不均^[5],在小麦播种出苗阶段缺乏有效降水,致使土壤墒情不足,小麦种子出土成苗困难,常常造成基本苗不足,群体过小,产量低而不稳^[6]。在机播条件下,农民往往播后不浇水,遭遇持续晴好无雨天气时,很容易造成大面积缺苗断垄,对群体构建和产量建成不利。因此,研究小麦种子萌发期的抗旱性对于抗旱立苗、促进机械化播种技术推广十分必要。前人研究表明,作物种子的萌发期是作物生长过程中最敏感、最关键的时期^[7],同时也是衡量作物抗旱

性强弱的重要时期^[8-10]。筛选抗旱性强的品种,是解决干旱问题最简便有效的途径之一。鉴于此,本试验以西南地区审定的具有代表性的20个小麦品种为材料,利用20% PEG-6000模拟干旱胁迫,对供试品种种子萌发期的抗旱能力进行系统评价,以期为西南丘陵区小麦机械化抗旱栽培技术的推广提供品种支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验选用来自四川省、云南省、贵州省和重庆市的20个小麦品种(表1),渗透剂为分析纯PEG-6000(聚乙二醇6000)。

表1 供试品种编号、名称、选育单位、审定年份

Table 1 Numbers, names, breeding units and approval years of wheat varieties tested

编号 Number	品种名称 Name of variety	选育单位 Breeding unit	审定年份 Approval year	编号 Number	品种名称 Name of variety	选育单位 Breeding unit	审定年份 Approval year
V1	蜀万8号 Shuwan 8	重庆三峡农业科学院 The chongqing three gorges academy of agricultural sciences	1963	V11	川麦30 Chuanmai 30	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	1998
V2	内麦9号 Neimai 9	内江市农业科学院 Neijiang city academy of agricultural sciences	2004	V12	贵农19 Guinong 19	贵州大学 Guizhou university	2007
V3	川麦39 Chuanmai 39	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2003	V13	渝麦10号 Yumai 10	重庆市农业科学院 Chongqing academy of agricultural sciences	2005
V4	川麦44 Chuanmai 44	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2004	V14	绵农4号 Miannong 4	西南科技大学 Southwest university of science and technology	2004
V5	川麦43 Chuanmai 43	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2004	V15	云麦53 Yunmai 53	云南省农业科学院、玉溪市农业科学研究所 Yunnan academy of agricultural sciences; Yuxi City academy of agricultural sciences	2009
V6	绵阳26 Mianyang 26	绵阳市农业科学院 Mianyang City academy of agricultural sciences	1998	V16	川麦42 Chuanmai 42	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2004
V7	川麦41 Chuanmai 41	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2003	V17	川麦51 Chuanmai 51	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2008
V8	蜀麦482 Shumai 482	四川农业大学 Sichuan agricultural university	2008	V18	川麦55 Chuanmai 55	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2009
V9	绵麦1403 Mianmia 1403	绵阳市农业科学院 Mianyang City academy of agricultural sciences	2007	V19	川麦56 Chuanmai 56	四川省农业科学院 Sichuan academy of agricultural sciences	2009
V10	川农16 Chuannong 16	四川农业大学 Sichuan agricultural university	2003	V20	内麦836 Neimai 836	内江市农业科学院 Neijiang City academy of agricultural sciences	2008

1.2 试验设计

试验采用完全随机设计,品种为因素A,PEG模拟干旱胁迫为因素B,设置2个水平,0%的PEG水

溶液(CK)和20%的PEG-6000水溶液(-0.6MP,中度干旱,记作T)。

具体培养方法为:挑选大小均匀、饱满整齐的小

麦籽粒,用 1% NaClO 消毒,用蒸馏水反复冲洗后用吸水纸吸干种子表面的水分,挑选 50 粒种子均匀摆放在发芽床上(直径为 9 cm 的培养皿,铺 2 层滤纸),然后分别加入 10 ml 20% PEG-6000(W/V)溶液,对照加等量的蒸馏水,重复 3 次,20℃、12 h/12h 恒温光照培养箱中培养,培养皿加盖,采用称重法每天加入适量的蒸馏水保持各处理的渗透势不变。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 PEG 胁迫下种子萌发情况测定 种子置于培养皿后,每天定时调查种子的发芽情况(以胚根长等于种子长,胚芽长等于 1/2 种子长作为发芽标准),第 3 天调查种子发芽势,第 7 天调查种子发芽率。

发芽势(%) = 3 天后正常发芽的种子数/供试种子数 × 100;

发芽率(%) = 7 天后正常发芽的种子数/供试种子数 × 100;

发芽指数 = $1.00nd_2 + 0.75nd_4 + 0.50nd_6 + 0.25nd_8$,其中, nd_2 、 nd_4 、 nd_6 、 nd_8 分别为 2、4、6、8 d 的发芽率;

降低幅度(%) = (对照 - 处理)/对照 × 100。

1.3.2 PEG 胁迫下种子根芽形态指标测定 萌发后第 8 天,随机选取发芽植株 10 株,统计萌发胚根数、胚芽长、最长胚根长、胚芽鞘长度。

1.3.3 抗旱性综合评价

(1) 抗旱系数的计算

参照贾寿山^[11]的方法计算:

某一性状的相对值 = PEG 胁迫处理的测定值(T)/对照的测定值(CK) × 100%

综合抗旱系数 = (n 个性状指标的相对值之和)/n

(2) 隶属函数的计算

用模糊数学隶属函数法,对各小麦品种测定指标的隶属函数值计算加权平均值,以评价各品种抗旱性的差异。参照杨进文^[12]的方法,用于分析的隶属函数值 $U(x_j)$ 计算方法为:

$$U(x_j) = \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$U(x_j) = 1 - \frac{x_j - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad j = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [U(x_j) \frac{|r_j|}{\sum_{j=1}^n |r_j|}] \quad j = 1, 2, 3 \quad (3)$$

其中, x_j 为第 j 个指标抗旱系数的测定值; $x_{j\max}$ 为第 j 个指标抗旱系数的最大值; $x_{j\min}$ 为第 j 个指标抗旱系数的最小值。若所测指标与植物的抗旱性呈正相

关,则采用(1)式计算隶属函数值,反之则用(2)式。公式(3)中, $U(x_j)$ 为第 j 个指标的隶属函数值, r_j 为第 j 个指标与综合抗旱系数间的相关系数, $|r_j|/\sum_{j=1}^n |r_j|$ 为指标权数,表示第 j 个指标在所有指标中的重要程度。式(3)中, D 为各个品种在 PEG 胁迫下各指标评价所得到的抗旱性度量值,根据 D 值的大小可以对品种进行抗旱性鉴定,即 $D > 0.80$ 为 1 级抗旱型(强抗), $0.50 < D < 0.80$ 为 2 级抗旱型(中抗), $0.30 < D < 0.5$ 为 3 级抗旱型(弱抗), $D < 0.30$ 为 4 级抗旱型(不抗)。

(3) 系统聚类法

将各测定指标的抗旱系数(T/CK),按欧氏距离、最长距离法进行系统聚类。

1.4 数据统计分析

利用 Excel 2010 和 DPS v7.05 软件对数据进行统计分析和系统聚类。

2 结果与分析

2.1 PEG 胁迫对不同小麦品种发芽势、发芽率和发芽指数的影响

从表 2 可见,PEG 胁迫下,供试种子的发芽势、发芽率和发芽指数的变动范围分别为 11.7% ~ 68.3%、55.0% ~ 91.7%、0.258 ~ 0.588;降低幅度分别为 10.9% ~ 85.4%、3.7% ~ 44.1%、22.5% ~ 72.4%;平均降低幅度分别为 59.1%、17.1%、51.7%;具体品种的下降低幅度因其抗旱性强弱的不同而不同。就发芽势而言,V1 的降低幅度最小,仅 10.9%;V15、V9、V11 的降低幅度较大,在 76% 以上;就发芽率而言,V1、V17、V3、V8、V5、V2 的降低幅度较小,均在 10% 以下,V15、V18 降低幅度较大,在 40% 以上;从发芽指数来看,V1 的降低幅度最小,为 22.5%;V15、V18、V16 的降低幅度较大,在 66% 以上。

2.2 PEG 胁迫对不同小麦品种胚根长、胚根数的影响

从表 3 可见,PEG 胁迫下,不同小麦品种的胚根长、根数的变动范围分别为 3.36 ~ 6.32 cm 和 3.04 ~ 5.68 条·株⁻¹;降低幅度的变化范围分别为 41.6% ~ 69.6%、1.4% ~ 41.7%;平均降低幅度分别为 51.4%、18.5%。从降低幅度来看,胚根长降低幅度最小的为 V4、V3、V5,在 42% 左右;胚根数降低幅度较小的品种为 V8、V6、V12,在 5% 以下;胚根长降低幅度较大的为 V9、V6、V18,在 57% 以上;胚根数降低幅度较大为 V9、V2、V16,在 28% 以上。

表2 PEG胁迫对不同小麦种子发芽势、发芽率、发芽指数的影响

Table 2 Effects of PEG stress on germination potential, germination rate and germination index of different wheat seeds

品种编号 Number of variety	发芽势 Germination potential/%		降低幅度 Decreasing rate/%	发芽率 Germination rate/%		降低幅度 Decreasing rate/%	发芽指数 Germination index		降低幅度 Decreasing rate/%
	CK	T		CK	T		CK	T	
	V1	76.7ab	68.3a	10.9	90.0ab	86.7abcd	3.7	0.758de	0.588a
V2	80.0ab	31.7cdef	60.4	90.0ab	81.7abcde	9.3	0.783de	0.450cdef	42.6
V3	81.7ab	53.3ab	34.7	96.7a	91.7ab	5.2	0.929abc	0.563ab	39.5
V4	86.7ab	31.7cdef	63.5	95.0a	80.0bcde	15.8	0.908abc	0.371fgh	59.2
V5	78.3ab	33.3cdef	57.4	96.7a	88.3abc	8.6	0.883bc	0.463cdef	47.6
V6	83.3ab	35.0bcdef	58.0	96.7a	86.7abcd	10.3	0.933abc	0.471bcde	49.6
V7	76.7ab	25.0defg	67.4	90.0ab	75.0de	16.7	0.850cd	0.396efgh	53.4
V8	78.3ab	33.3cdef	57.4	98.3a	90.0ab	8.5	0.933abc	0.496abcd	46.9
V9	80.0ab	18.3efg	77.1	98.3a	76.7cde	22.0	0.938abc	0.338hi	64.0
V10	88.3ab	48.3bc	45.3	100.0a	83.3abcd	16.7	0.970ab	0.521abc	46.4
V11	71.7b	16.7fg	76.7	78.3b	70.0ef	10.6	0.696e	0.342ghi	50.9
V12	90.0ab	23.3defg	74.1	100.0a	83.3abcd	16.7	0.975ab	0.438cdefg	55.1
V13	86.7ab	40.0bcd	53.8	95.0a	81.7abcde	14.0	0.925abc	0.408defgh	55.9
V14	75.0ab	30.0cdefg	60.0	96.7a	86.7abcd	10.3	0.913abc	0.483bcde	47.0
V15	80.0ab	11.7g	85.4	98.3a	55.0g	44.1	0.938abc	0.258i	72.4
V16	76.7ab	20.0efg	73.9	100.0a	61.7fg	38.3	0.942abc	0.317hi	66.4
V17	80.0ab	36.7bcde	54.2	98.3a	93.3a	5.1	0.938abc	0.521abc	44.4
V18	91.7a	23.3defg	74.5	100.0a	60.0fg	40.0	0.983a	0.321hi	67.4
V19	83.3ab	45.0bc	46.0	100.0a	76.7cde	23.3	0.958ab	0.463cdef	51.7
V20	86.7ab	41.7bcd	51.9	98.3a	75.0de	23.7	0.950ab	0.458cdef	51.8
平均值 Average	81.6	33.3	59.1	95.8	79.2	17.1	0.905	0.433	51.7

注:同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平($P < 0.05$),下同。

Note: Values with different letters within the same column show significant difference at 5% level, and hereinafter.

表3 PEG胁迫对不同小麦种子胚根长、胚根数的影响

Table 3 Effects of PEG stress on radicle length and radical number of different wheat seeds

品种编号 Number of variety	胚根长 Radicle long/cm		降低幅度/% Decreasing rate	根数 Radicle number/条·株 ⁻¹		降低幅度/% Decreasing rate
	CK	T		CK	T	
V1	11.8abcd	5.5abc	53.1	5.2bcde	4.7bc	9.2
V2	10.3cde	5.0abc	51.4	5.7ab	4.0efg	28.8
V3	10.6bcde	6.2ab	41.7	5.1cde	4.1defg	18.5
V4	10.7bcde	6.3ab	41.6	5.1cde	4.1defg	19.5
V5	10.0e	5.7abc	43.2	5.8a	4.2cdef	26.7
V6	11.2abcde	4.7bcd	58.2	5.9a	5.7a	3.6
V7	10.4bcde	5.2abc	50.2	5.5abcd	4.9b	10.4
V8	10.7bcde	5.3abc	50.3	5.1cde	5.0b	1.4
V9	10.5bcde	4.5cd	57.3	5.1cde	3.7g	28.3
V10	11.7abcd	5.7abc	51.6	4.9e	3.9efg	22.2
V11	12.0ab	5.4abc	55.3	5.1cde	4.3cdef	16.1
V12	11.1abcde	5.8abc	47.6	5.0de	4.8bc	3.7
V13	11.9abc	5.7abc	52.5	5.1cde	4.4cde	13.9
V14	11.5abcde	6.0abc	47.6	5.9a	5.0b	16.0
V15	11.7abcd	5.2abc	55.9	5.2bcde	3.8fg	26.7
V16	10.3cde	4.6bcd	55.0	5.8a	3.6g	37.5
V17	11.9abc	5.9abc	50.9	5.1cde	4.7bc	8.3
V18	11.0abcde	3.4d	69.6	5.2bcde	3.0h	41.7
V19	10.2de	5.5abc	46.0	5.1cde	4.1efg	20.6
V20	12.5a	6.3a	49.4	5.6abc	4.6bcd	17.3
平均值 Average	11.1	5.4	51.4	5.3	4.3	18.5

2.3 PEG 胁迫对不同小麦品种胚芽鞘长度、胚芽长的影响

从表 4 可见,PEG 胁迫下,不同品种的胚芽鞘长度、胚芽长的变动范围分别为 1.4~2.6 cm 和 1.4~4.4 cm;降低幅度的变化范围分别为 1.2%~46.7%、60.2%~87.2%;平均降低幅度分别为

19.6%、71.1%。从降低幅度来看,胚芽鞘长度降低幅度较小的为 V4、V17,在 10%以下,胚芽长降低幅度较小的为 V7、V1、V17,在 66.0%以下;胚芽鞘长度降低幅度较大的为 V16、V18,在 40%以上,胚芽长降低幅度较大的为 V16、V18,在 80%以上。

表 4 PEG 胁迫对不同小麦种子胚芽鞘长度、胚芽长的影响

Table 4 Effects of PEG stress on coleoptiles length and germ length of different wheat seeds

品种编号 Number of variety	胚芽鞘长度 Coleoptile length/cm		降低幅度/% Decreasing rate	胚芽长 Germ length/cm		降低幅度/% Decreasing rate
	CK	T		CK	T	
V1	3.1a	2.6a	15.9	11.8abc	4.0ab	66.0
V2	2.4cde	1.8ghi	24.4	9.6f	2.3efg	76.6
V3	2.4bcde	2.0cdefgh	16.1	10.2ef	2.9cde	71.6
V4	2.3de	2.3abcdef	1.2	10.0ef	3.2bcde	67.7
V5	2.7abcd	2.1bcdefgh	20.1	10.5ef	2.4def	76.7
V6	2.4cde	2.0defgh	17.3	10.0ef	2.9cde	70.6
V7	2.7abcd	2.1bcdefgh	23.4	11.0cde	4.4a	60.2
V8	2.8abc	2.3abcde	16.5	10.2ef	3.3abcd	67.2
V9	2.3e	1.7hij	22.0	10.6def	2.9cdef	73.0
V10	2.6bcde	2.2abcdefg	13.9	11.6bcd	3.6abc	69.3
V11	2.6bcde	2.0efgh	24.4	10.9cde	3.3bcd	69.5
V12	2.8abc	2.4abcd	13.1	11.0cde	3.5abc	68.3
V13	2.4cde	2.1bcdefgh	11.4	10.9cde	3.5abc	67.8
V14	2.8ab	2.5abc	13.4	12.7a	3.8abc	70.3
V15	2.6bcde	1.9fghi	26.4	12.1ab	3.5abc	70.6
V16	2.6bcde	1.6ij	40.2	10.6def	1.8fg	82.8
V17	2.7abcde	2.5ab	7.3	10.5ef	3.6abc	66.0
V18	2.6bcde	1.4j	46.7	10.7de	1.4g	87.2
V19	2.7abc	2.2abcdefg	20.8	10.8cde	3.4abcd	68.2
V20	2.5bcde	2.1bcdefgh	18.2	10.1ef	2.8cdef	72.3
平均值 Average	2.6	2.1	19.6	10.8	3.1	71.1

2.4 采用隶属函数法对小麦种子萌发期抗旱性综合评价

作物性状的隶属函数值能反映作物所受 PEG 胁迫影响大小,隶属函数值越大说明 PEG 胁迫造成的影响越小。对供试品种的相对发芽势、相对发芽率、相对发芽指数、相对胚根长、相对胚根数、相对胚芽鞘长度、相对胚芽长进行隶属函数值计算,通过加权隶属函数法得出不同小麦品种在萌发期的抗旱隶属函数值 - D 值,根据 D 值判断抗旱性。由表 5 可见,20 个品种的 D 值在 0.054~0.849 之间,抗旱性处于 1 级(强抗)的为 V1,3 级(弱抗)的为 V9,4 级(不抗)的包括 V15、V16、V18,其他品种抗旱性为 2 级(中抗)。

2.5 采用系统聚类法对小麦种子萌发期抗旱性综合评价

对 20 个小麦品种抗旱系数进行聚类分析,按欧氏距离、最长距离法进行聚类,聚类结果(图 1)表明,可将地理来源不同的小麦品种聚为 4 类,第 1 类有 2 个小麦品种,分别为 V1、V3;第 2 类有 14 个小麦品种,分别为 V2、V5、V10、V19、V20、V6、V8、V17、V13、V14、V4、V7、V12、V11;第 3 类有 2 个小麦品种,分别为 V9、V15;第 4 类有 2 个小麦材料,分别为 V16、V18。

2.6 隶属函数法综合评价与聚类结果比对

从表 6 可见,运用隶属函数法和聚类分析法两种评价方法对 20 个小麦品种进行抗旱性评价,其评价结果基本一致。从这两种评价方法的比对结果来

看,这两种方法可共同筛选出 V1 为强抗旱型品种, V12、V11 为中间抗旱型品种, V9 为弱抗旱型品种, V2、V5、V10、V19、V20、V6、V8、V17、V13、V14、V4、V7、 V16、V18 为不抗旱型品种。

表 5 不同小麦品种抗旱性的综合评价

Table 5 Comprehensive drought resistance evaluations on different wheat varieties under PEG stress

品种编号 Number of variety	综合抗旱系数 Comprehensive drought resistance coefficient	隶属函数值 Subordinative function value							D 值 D value	位次 Rank	抗旱性评价 Drought resistance evaluation
		相对胚根长 Relative radical length	相对胚根数 Relative radical number	相对胚芽鞘长度 Relative coleoptile length	相对胚芽长 Relative germ length	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽率 Relative germination rate	发芽抗旱指数 Relative germination index			
V1	0.741	0.59	0.81	0.68	0.78	1.00	1.00	1.00	0.849	1	1
V2	0.581	0.65	0.32	0.49	0.39	0.34	0.86	0.60	0.528	15	2
V3	0.675	1.00	0.57	0.67	0.58	0.68	0.96	0.66	0.731	3	2
V4	0.616	1.00	0.55	1.00	0.72	0.29	0.70	0.27	0.633	6	2
V5	0.599	0.94	0.37	0.58	0.39	0.38	0.88	0.50	0.574	12	2
V6	0.618	0.41	0.94	0.65	0.61	0.37	0.84	0.46	0.617	7	2
V7	0.598	0.69	0.78	0.51	1.00	0.24	0.68	0.38	0.601	11	2
V8	0.646	0.69	1.00	0.66	0.74	0.38	0.88	0.51	0.694	4	2
V9	0.509	0.44	0.33	0.54	0.53	0.11	0.55	0.17	0.378	17	3
V10	0.621	0.64	0.48	0.72	0.66	0.54	0.68	0.52	0.606	10	2
V11	0.566	0.51	0.64	0.49	0.66	0.12	0.83	0.43	0.527	16	2
V12	0.602	0.79	0.94	0.74	0.70	0.15	0.68	0.35	0.611	8	2
V13	0.615	0.61	0.69	0.77	0.72	0.42	0.74	0.33	0.610	9	2
V14	0.622	0.79	0.64	0.73	0.62	0.34	0.84	0.51	0.636	5	2
V15	0.455	0.49	0.37	0.45	0.61	0.00	0.00	0.00	0.254	18	4
V16	0.437	0.52	0.10	0.14	0.16	0.15	0.14	0.12	0.182	19	4
V17	0.663	0.67	0.83	0.87	0.78	0.42	0.97	0.56	0.731	2	2
V18	0.390	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.10	0.10	0.054	20	4
V19	0.605	0.84	0.52	0.57	0.70	0.53	0.51	0.41	0.572	13	2
V20	0.593	0.72	0.60	0.63	0.55	0.45	0.50	0.41	0.545	14	2
指标权数 Index weights		0.116	0.140	0.147	0.131	0.143	0.164	0.160	—	—	—

表 6 隶属函数法综合评价与聚类结果比对

Table 6 Comparisons of the results between the membership function method and cluster analysis

抗旱类型 Drought resistancetype	品种 Varieties	
	隶属函数法综合评价 Membership function method	聚类分析法 Cluster analysis
强抗旱型 Strong drought resistance	V1	V1、V3
中间抗旱型 Middle drought resistance	V2、V3、V4、V5、V6、V7、V8、V10、V11、V12、V13、V14、V17、V19、V20	V2、V5、V10、V19、V20、V6、V8、V17、V13、V14、V4、V7、V12、V11
弱抗旱型 Weak drought resistance	V9	V9、V15
不抗旱型 No drought resistance	V15、V16、V18	V16、V18

2.7 相关性分析

对各指标的抗旱系数和 D 值进行相关性分析(表 7),结果表明,体现作物萌发期的抗旱能力大小

的 D 值与相对根长、相对根数、相对胚芽鞘长度、相对芽长、相对发芽势、相对发芽率、萌发抗旱指数呈极显著正相关,相关系数分别为 0.66、0.80、0.83、

0.76、0.71、0.90、0.83。其中,相对发芽率与 D 值的相关系数最大,可将其作为快速鉴定不同小麦品种

萌发期抗旱性的指标。

表 7 各指标的抗旱系数与 D 值的相关性分析

Table 7 Correlation analyses of the index of drought resistance coefficients and D values

相关系数 Correlation index	D 值 D value	相对胚根长 Relative radical length	相对根数 Relative radical number	相对胚芽鞘长度 Relative coleoptile length	相对胚芽长 Relative germ length	相对发芽势 Relative germination potential	相对发芽率 Relative germination rate	相对发芽指数 Relative germination index
D 值 D value	1	0.66**	0.80**	0.83**	0.76**	0.71**	0.90**	0.83**
相对胚根长 Relative radical length		1	0.35	0.69**	0.47*	0.36	0.51*	0.39
相对根数 Relative radical number			1	0.69**	0.81**	0.34	0.66**	0.51*
相对胚芽鞘长度 Relative coleoptile length				1	0.74**	0.40	0.68**	0.45*
相对胚芽长 Relative germ length					1	0.31	0.52*	0.40
相对发芽势 Relative germination potential						1	0.59**	0.86**
相对发芽率 Relative germination rate							1	0.84**
相对发芽指数 Relative germination index								1

注:*,** 分别表示 0.05 和 0.01 显著水平。

Note: *, ** mean the significant at 0.05 and 0.01 level respectively.

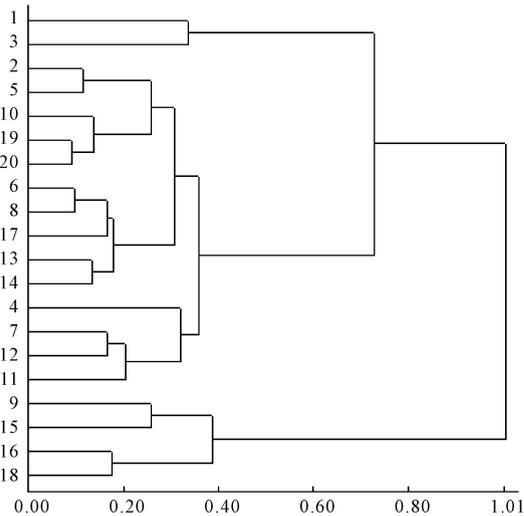


图 1 系统聚类分析

Fig.1 System cluster analysis

3 讨论与结论

前人研究表明,种子的发芽率、发芽势受到种子本身特性的影响,也与外界水分环境密切相关^[13]。PEG 胁迫下,发芽势、发芽率降低,说明 PEG 胁迫抑制了种子的发芽速度、发芽数量,最终降低了种子的

发芽指数。发芽指数是种子萌发期抗旱性鉴定的重要指标之一,抗旱性强的品种其发芽指数的降低幅度较小^[14]。本试验结果表明,PEG 胁迫下各品种发芽率、发芽势、发芽指数均显著降低,但不同品种降低幅度不一致。在正常条件下发芽势、发芽率、发芽指数高的品种在 PEG 胁迫下不一定高。如 V16、V18、V19 在正常条件下的发芽率均达到 100%,在 PEG 胁迫下却为 61.7%、60.0% 和 76.7%,而 V1 在正常条件下的发芽率为 90%,PEG 胁迫下为 86.7%,降低幅度仅为 3.7%,因此,用降低幅度能反映品种的抗旱性,而发芽率、发芽势和发芽指数是最为直接的评判指标。

胚芽鞘的长短与伸长速率影响作物初期的生长状况,胚芽鞘较长,能有效地提高出苗率和整齐度^[15]。种子在萌发过程中,主要通过胚根从外界吸收水分,胚根长和胚根数能够反映根系的生长状况,根系发达的作物具有较强吸收水分的能力,可以增强幼苗的抗旱能力^[16]。本试验结果表明,PEG 胁迫下胚根长、胚根数、胚芽鞘长度、胚芽长的降低幅度分别为 41.6% ~ 69.6%、1.4% ~ 41.7%、1.2% ~ 46.7% 和 60.2% ~ 87.2%,可见胚根长和胚芽长降低幅度均较大,而胚根数和胚芽鞘长度不同品种间

差异较大,胚根数降低幅度较小的品种为 V8、V6、V12、V17 和 V1,降低幅度在 10% 以下,而 V9、V2、V16 和 V18 降低幅度均在 28% 以上。胚芽鞘长降低幅度较小的为 V4、V17,在 10% 以下,V15、V16 和 V18 降低幅度较大,在 25% 以上。可见,胚根数和胚芽鞘长度间品种的一致性差,同时,用胚根数和胚芽鞘长度筛选出的抗旱性品种,与用发芽率、发芽势、发芽指数筛选出来的也存在很大差异,正如前人所言,运用单一指标难以全面客观地反映植物抗旱性的强弱^[17]。

用单一指标难以全面、有效地评价品种间抗旱性差异,对抗旱性的综合性评价就显得很有必要。目前,关于作物抗旱性的评价方法主要有抗旱系数法^[18]、抗旱指数法^[19]、灰联度分析法^[20]、聚类分析法^[21]、隶属函数法^[22]。每种评价方法均有一定的利弊,大多数学者认为模糊隶属函数法是综合评价植物抗旱性的有效手段之一^[23-25]。本研究采用隶属函数法和聚类分析法共同筛选 1 个强抗旱性小麦品种(蜀万 8 号)、2 个不抗旱型品种(川麦 42 和川麦 55)和 1 个弱抗旱型品种(绵麦 1403),为后续深入研究品种抗旱性差异的生理生化机制奠定了基础。同时,本次研究通过对 *D* 值与各指标的抗旱系数进行相关分析,得出相对发芽率与 *D* 值呈极显著正相关关系,且相关系数最大,推荐在鉴定小麦品种抗旱性时,可以将相对发芽率作为评价鉴定的参考指标,来快速评价材料的抗旱性。

参考文献:

[1] Taregh G, Mostafa V, Reza S, et al. Effect of PEG stress on germination indices and seedling growth of 12 bread wheat genotypes[J]. *Advances in Environmental Biology*, 2011, 5(6): 1034-1039.

[2] 刘学文,钟秋波.四川省粮食生产现状和增产潜力分析[J]. *农村经济*, 2010, 29, (12): 63-66.

[3] 赵广才,常旭虹,王德梅,等.中国小麦生产发展潜力研究报告[J]. *作物杂志*, 2012, 28(3): 1-5.

[4] 樊高琼,杨文钰,任万军,等.不同带宽对套作小麦产量及边际效应的影响[J]. *四川农业大学学报*, 2009, 27(2): 133-136.

[5] 赵燮京,张建华,庞良玉,等.四川丘陵坡耕地综合治理的主要配套技术研究[J]. *水土保持研究*, 1999, 6(2): 121-125.

[6] 郜俊红.水分胁迫对不同基因型小麦种子萌发及幼苗生理生化特性的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.

[7] Tobe K, Li X, Omasa K. Seedgermination and radicle growth of a halophyte, *kalidiumcaspicum* (Chenopodiaceae) [J]. *Annals of Botany*, 2000, 85(3): 391-396.

[8] 鞠乐,齐军仓,贺雪,等.大麦种子萌发期对渗透胁迫的响应及抗旱性鉴定指标的筛选[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(1): 172-176.

[9] DoddGL, Donovan LA. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs[J]. *American Journal of Botany*, 1999, 86(8): 1146-1153.

[10] 李培英,孙宗玖,阿不来提. PEG 胁迫下 29 份偃麦草种质种子萌发期抗旱性评价[J]. *中国草地学报*, 2010, 32(1): 32-39.

[11] 贾寿山,朱俊刚,王曙光,等.山西小麦地方品种萌发期的抗旱性[J]. *华北农学报*, 2011, 26(2): 213-217.

[12] 杨进文,朱俊刚,王曙光,等.用 GGE 双标图及隶属函数综合分析山西小麦地方品种抗旱性[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(4): 1031-1038.

[13] 刘佳,徐昌旭,曹卫东,等. PEG 胁迫下 15 份紫云英种质材料萌发期的抗旱性鉴定[J]. *中国草地学报*, 2012, 34(6): 18-25.

[14] 冷益丰,张彪,赵久然,等.转基因玉米种子萌发期抗旱性鉴定[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(1): 177-182.

[15] 陈爱国,陈进红.胚芽鞘的伸长机理和生理生态响应[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 33(4): 438-441, 447.

[16] 石贵玉,廖文雪,秦丽凤,等. PEG 模拟水分胁迫对香椿种子萌发的生理生化指标影响[J]. *福建林业科技*, 2009, 36(4): 142-145.

[17] 张美俊,杨武德,乔治军,等.不同糜子品种萌发期对 PEG 胁迫的响应及抗旱性评价[J]. *草地学报*, 2013, 21(2): 302-307.

[18] Chorfi A, TaibiK, Biochemical screening for osmotic adjustment of wheat genotypes under PEG stress[J]. *Tropicult*, 2011, 29(4): 82-87.

[19] 张霞,谢小玉. PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究[J]. *西北农业学报*, 2012, 21(2): 72-77.

[20] 种培芳,苏世平,李毅. 4 个地理种群红砂的抗旱性综合评价[J]. *草业学报*, 2011, 20(5): 26-33.

[21] 马文广,崔华威,李永平,等. 20 个烟草品种 PEG 胁迫下发芽和苗期生理特性及耐旱性评价[J]. *种子*, 2012, 31(2): 25-30.

[22] 李志博,林海荣,魏亦农,等.北疆主栽棉花抗旱性生育期差异评价及鉴定体系的初步建立[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(3): 84-90.

[23] 王赞,李源,吴欣明,等. PEG 渗透胁迫下鸭茅种子萌发特性及抗旱性鉴定[J]. *中国草地学报*, 2008, 30(1): 50-55.

[24] 杜雅楠,陈宏新,赵继新,等.小麦-华山新麦草衍生后代抗旱性分析[J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(4): 670-675.

[25] 张国芳,孟林,毛培春.偃麦草和中间偃麦草种质材料苗期抗旱性鉴定研究[J]. *华北农学报*, 2007, 22(3): 54-59.