

水稻种质资源萌发期抗旱性综合鉴定

田又升¹, 谢宗铭¹, 吴向东², 王志军¹, 叶春秀¹, 张国丽¹

(1. 新疆农垦科学院分子农业技术育种中心, 作物种质创新与基因资源利用兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000;

2. 新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要: 为完成水稻种质资源萌发期的抗旱性评价并筛选出抗旱性评价指标, 利用 PEG-6000 高渗溶液模拟干旱条件, 对 33 份水稻材料在胁迫条件下的发芽势、发芽率、最大胚根长、胚芽长、胚芽鞘长、根冠比、物质转运速率等 11 个萌发性状指标进行测定。结果表明, 部分性状指标间的相关性达到显著水平, 其中物质转运速率与根干重间的相关性最高, 相关系数为 0.83, 根冠比与胚芽干重和胚芽长存在极显著负相关, 相关系数分别为 -0.51 和 -0.47; 主成分分析将 11 个生长指标归类为 4 大因子, 各因子中负荷量最大的指标为胚芽干重、发芽率、胚芽鞘长和根冠比, 相关系数分别为 0.4876、0.5266、0.6661、0.5988, 可作为水稻抗旱性鉴定的主要指标; 以各指标的隶属函数值进行模糊聚类分析, 根据抗旱性强弱分为 4 大类, 其中 XS-13-12 和 XS-13-9 为高度抗旱品种(系), XS-13-2、A218、XS-13-11 等 11 份水稻材料为抗旱品种(系), 稻花香、SN1204、XS-13-13、XS-13-3 等 14 份水稻材料为中等抗旱品种(系), 1043、SN9903、XS-13-4 等 6 份水稻材料为干旱敏感品种(系)。

关键词: 水稻; 种质; 抗旱性; 萌发期
中图分类号: S511.01 **文献标志码:** A

Identification of drought tolerance of rice germplasm during germination period

TIAN You-sheng¹, XIE Zong-ming¹, WU Xiang-dong², WANG Zhi-jun¹, YE Chun-xiu¹, ZHANG Guo-li¹

(1. Biotechnology Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science/Xinjiang Production & Construction Group Key Laboratory of Crop Germplasm Enhancement and Gene Resources Utilization, Shihezi, Xinjiang 832000, China;
2. First Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group, Alaer, Xinjiang 843300, China)

Abstract: The study aims to assess drought of 30 rice cultivars during germination period, using PEG-6000 hyper-tonic solution to simulate drought condition. Eleven traits germinating performance were investigated, such as germination force, germination values, root length, germ length, coleoptile length, ratio of root to shoot, biomass transport rate. The results showed significant correlations between biomass translocation rate and ratio of root to shoot (0.83) and the ratio of root/shoot and germ dry weight (-0.51) and length (-0.47). Principal component analysis showed that the 11 traits were classified as four major factors, and germ dry weight, germination rate, coleoptile length, and the ratio of root to shoot showed maximum load, with the correlation coefficients being 0.4876, 0.5266, 0.6661 and 0.5988, respectively. These factors have implications in the identification of drought resistance in rice. clustering analysis divided rice drought resistance into four categories, with XS-13-12 and XS-13-9 being highly drought resistant, XS-13-2, A218 and XS-13-11 resistant, Daohuaxiang, SN1204, XS-13-13 and XS-13-3 moderate resistant, while 1043, SN9903 and XS-13-4 drought sensitive.

Keywords: rice; germplasm; drought resistance; germination stage

水稻是我国主要的粮食作物, 传统的水稻栽培模式在其生活史的大部分时间要求田间持水量在 90% 以上^[1], 水资源贫乏是影响我国水稻生产的主要因素。在缺水条件下, 通过改进耕作栽培技术和水利设施, 能起到节水的作用, 新疆膜下滴灌水稻就是一种全新的节水种植模式, 即在旱田状态下整地, 直接播种, 播种后立刻灌出苗水, 水稻生育期内全部采用滴灌, 并随水施肥的一种节水栽培技术。该技术改变了“水稻水作”的传统种植方式, 实现了水稻全生育期田间无水层, 比新疆传统水稻种植节水

收稿日期: 2014-06-20
基金项目: 国家 863 计划项目(2011AA100508)
作者简介: 田又升(1987—), 女, 重庆人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为作物逆境生理与分子生物学。E-mail: tianyoushengzi@163.com.
通信作者: 谢宗铭, 研究员, 研究方向为作物育种。E-mail: xiezongming@163.com。

60.7%、节肥 10.4%^[2]。适应于该种植模式的水稻品种需具备较好增产潜力及抗旱性,因此,筛选和培育水稻抗旱新品种是水稻膜下滴灌种植的前提条件。前人对水稻抗旱性研究较多,主要通过苗期干旱存活率^[3]、抗旱生理生化指标^[4]、农艺性状指标^[5-6]、产量性状指标^[5]等进行抗旱性筛选。以上方法需要种植庞大群体,加上田间环境情况比较复杂,条件难以控制,带来筛选结果重复性较差,费工费时的缺点,因此也不能进行大批量的鉴定。王贺正^[7]、彭朝才^[8]等借用 Bouslama 等^[9]提出的高渗溶液模拟水分胁迫方法于水稻芽期进行抗旱性鉴定,取得较好的效果,但是他们所选用材料多为南方选育及推广的水稻品种(系),筛选出的抗旱品种(系)不一定能在新疆极端干旱环境下生长。因此本研究以在新疆本地环境下选育的水稻品系以及引进的抗旱水稻品种(系)为材料,根据参试材料种子在 PEG-6000 高渗溶液下的发芽势、发芽率、胚芽长度、主根长度、根冠比等萌发性状进行综合鉴定和分析,以期筛选出萌发期抗旱性较强的材料,为抗旱品种(系)的大批量筛选鉴定提供参考依据,为新疆水稻膜下滴灌种植模式提供适宜水稻品种(系),对我国水稻生产和节水农业研究具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 品种(系)材料

供试材料为引进或自育材料共 33 份,由新疆兵团第一师农业科学研究所和新疆天业农科所提供。供试材料具体情况见表 1。

1.2 试验设计

选取密封性较好的 16 cm×11 cm×10 cm 的发芽盒,盒内表面用 75% 酒精进行消毒,底部铺三层高压灭菌后烘干的滤纸待用。为了确定水稻萌发期抗旱性筛选的适宜 PEG 浓度,先设置 7 个浓度梯度(W/V)0%、5%、10%、15%、20%、25%、30% 的 PEG-6000 溶液进行预试验,在参试水稻品种(系)中选取 3 份材料种子(T-04、T-43、T-66),经 5% 次氯酸钠溶液消毒 10 min,灭菌蒸馏水冲洗数次后直接播种于加有 40 ml 处理液、排尽气泡的发芽盒内,置于昼/夜周期为 14 h/10 h 的人工气候箱 28℃ 下恒温培养。每个处理 3 次重复,每个重复 50 粒种子。于第 2、3、4、6、8 天记录种子发芽率,第 8 天每个重复随机取 5 株幼苗测定胚芽长度、胚根长度、胚芽鞘长,烘干后测定种子干重、胚芽干重、胚根干重,计算根冠比和物质转运率等生长情况,分析得到 15% PEG-6000 浓度胁迫下,各品系生长指标差异最明

显,因而被选定为水稻萌发期抗旱性鉴定的适宜浓度。以蒸馏水为对照,采用 15% PEG-6000 浓度对 33 份水稻品种(系)进行抗旱性鉴定,3 次重复,每个重复 30 粒种子,培养条件、测量指标同预试验。发芽以种子胚根达种子长,胚芽达种子长的 1/2 为标准。

发芽势(%) = 第 4 天发芽种子数/供试种子数 × 100

发芽率(%) = 第 8 天发芽种子数/供试种子数 × 100

根冠比(%) = 胚根干重/胚芽干重 × 100

物质转运速率(%) = (胚根干重 + 胚芽干重)/幼苗干重 × 100

萌发指数 = 1.00 × nd2 + 0.75 × nd4 + 0.5 × nd6 + 0.25 × nd8, 其中, nd2、nd4、nd6、nd8 分别表示第 2、4、6、8 天种子发芽率,1.00、0.75、0.5、0.25 分别为相应萌发天数的抗旱系数。

活力指数 = 发芽指数 × 胚根鲜重
各指标的相对值为 PEG-6000 胁迫处理下的值与对照值的百分比。

1.3 数据分析

用 Excel 进行数据整理并计算各处理性状的平均值,用 DPS 进行方差分析和相关性分析,根据反映品种(系)抗旱性的代表性指标,对品种(系)的抗旱性进行综合评价,并用 SPSS17.0 软件对 33 个品种(系)进行抗旱性聚类分析。

2 结果与分析

2.1 PEG 胁迫对不同水稻品种(系)萌发期的影响

在 15% PEG 胁迫下,33 个水稻品种(系)各性状的观测值与对照相比都发生了明显变化。为了消除试验材料本身间存在的差异,采用各指标的相对值(表 2)较各项指标的绝对值来说,能更好地反映不同水稻品种(系)的抗旱性。胁迫条件下,参试材料的发芽势相对值的变化范围为 64.00% ~ 129.41%,发芽率相对值的变化范围为 85.71% ~ 126.32%,最大胚根长相对值的变化范围为 38.60% ~ 151.71%,发芽指数相对值的变化范围为 67.74% ~ 123.64%,胚芽鞘长相对值的变化范围为 87.30% ~ 252.31%,胚芽长相对值的变化范围为 47.60% ~ 117.35%,活力指数相对值的变化范围为 20.99% ~ 128.31%,根冠比相对值的变化范围为 99.03% ~ 271.45%,芽干重相对值的变化范围为 39.58% ~ 83.11%,根干重相对值的变化范围为 66.52% ~ 170.92%,物质转运速率相对值的变化范围为 47.35% ~ 98.19%。

表 1 供试水稻品种(系)及编号

Table 1 Code of tested rice cultivars and its origins

编号 Code	品种(系) Cultivars (Lines)	来源 Origins	编号 Code	品种(系) Cultivars (Lines)	来源 Origins
1	XS-13-4	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	18	XS-13-9	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
2	XS-13-6	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	19	0524	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
3	XS-13-5	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	20	0934	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
4	XS-13-12	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	21	1043	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
5	XS-13-8	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	22	1032	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
6	0530	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	23	0953	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
7	XS-13-3	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	24	A-12	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
8	XS-13-2	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	25	稻花香 Daohuaxiang	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
9	XS-13-1	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	26	SN03-4	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
10	XS-13-7	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	27	SN9903	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
11	XS-13-10	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	28	SN09001	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
12	XS-13-13	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	29	SN1004	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
13	XS-13-14	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	30	SN9816	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
14	XS-13-11	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	31	SN1204	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group
15	新稻 11 Xindao 11	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	32	T-04	新疆天业集团农业科学研究所 Xinjiang Tianye Group Co. Institute of Agricul- tural Sciences
16	新-23 Xin-23	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group	33	T-66	新疆天业集团农业科学研究所 Xinjiang Tianye Group Co. Institute of Agricul- tural Sciences
17	A218	新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所 Fist Division Institute of Agricultural Sciences of Xinjiang Production & Construction Group			

表 2 PEG 胁迫下各性状的相对值/%
Table 2 Relative values of selected traits of rice under PEG stress

品种(系) Cultivars (Lines)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
1	100def	100bcde	82.74klm	83.33ghi	91.66b	72.85fghijklm	30.82no	160.12efghi	53.04efghijk	82.52ghijk	49.82jk
2	100def	100bcde	88.93ijkl	90.67defghi	100b	58.05nopq	41.18jklmn	244.94ab	41.91jk	100.75cdefghi	57.48fghijk
3	115.38bc	107.14bc	106.76cdefgh	87.61efghi	112.06b	78.84cdefghi	84.94cde	161.18efghi	63.18bcdefg	104.61cdefghi	68.15cdefghi
4	107.69cde	103.57bcd	101.32efghij	102.87bcd	111.66b	83.33bcdefg	109.20 b	222.42abcd	77.24ab	170.92a	90.60ab
5	90fghi	90ef	106.71cdefgh	85.29fghi	100b	71.25fghijklmn	47.17ijklmn	155.01efghij	71.23abcd	112.84bcdef	71.38cdefg
6	100def	100bcde	115.26cdef	95.53cdefg	107.14b	74.08defghijk	94.93bc	133.55ghij	74.61abc	98.36cdefghij	79.83bc
7	90fghi	96.66cdef	87.76jkl	67.74k	252.30a	62.02klmnop	34.01mno	187.41bcdefg	49.11ghijk	89.32fghijk	58.33fghijk
8	108cde	107.40bc	133.28b	94.79cdefgh	107.69b	117.34a	43.97jklmn	132.22ghij	83.10a	109.19cdefg	74.45cde
9	93.33fgh	93.33def	119.81c	88efghi	91.07b	80.07bcdefgh	60.17fghij	166.71defghi	67.83abcdef	119.32bcde	79.18bcd
10	96.66efg	100bcde	91.96hijkl	90.30defghi	106.89b	63.01jklmnop	70.06defg	211.19bcde	46.75hijk	93.86defghijk	55.01hijk
11	92.85fgh	96.55cdef	151.71a	79.42ij	87.30b	87.57bcd	76.37def	142.66fghij	63.12bcdefg	91.39efghijk	68.64cdefghi
12	93.33fgh	100bcde	38.60n	90.62defghi	115.38b	65.37ijklmno	56.54fghijkl	173.12cdefg	59.19cdefghi	103.59cdefghi	64.26defghij
13	100def	111.53b	94.58ghijk	87.24efghi	107.27b	59.46mnopq	58.34fghijk	129.98ghij	52.13fghijk	66.83k	51.52jk
14	85.18ghi	85.71f	95.68ghijk	80.57ij	104.34b	86.82bcde	88.82cd	230.24abc	74.05abc	170.58a	98.18a
15	92fgh	85.71f	103.04defghij	91.19defghi	142.59b	76.24defghij	111.00b	153.81efghij	57.14defghij	86.12fghijk	58.19fghijk
16	93.10fgh	96.55cdef	115.94cde	82.32ghi	132.75b	90.33bc	69.73defg	162.05efghi	73.27abc	121.63bcd	80.97bc
17	108.33cde	112.5b	94.08ghijk	104.37bc	129.33b	92.92b	128.30a	107.31ij	75.18abc	78.72ijk	70.09cdefgh
18	129.41a	126.31a	110cdefg	122.95a	96.61b	73.61efghijkl	72.80defg	176.17cdefg	71.64abcd	125.39bc	77.47 bcde
19	111.11cd	107.14bc	99.69fghij	94.24cdefgh	105.07b	51.08pq	55.99ghijkl	243.00ab	39.58k	90.39fghijk	47.42k
20	90fghi	96.66cdef	96.38ghijk	87.5efghi	96.15b	80.70bcdefg	49.09hijklmn	140.78fghij	67.31abcdef	94.08defghijk	68.17cdefghi
21	79.16ij	89.28ef	87.74jkl	85.71fghi	103.38b	66.95hijklmno	36.79lmno	161.28efghi	49.28ghijk	79.54ijk	54.47ijk
22	87.5fjhi	111.53b	118.62cd	94.66cdefgh	121.12b	90.36bc	67.08 efghi	155.79efghij	67.90abcdef	106.06cdefghi	69.05cdefghi
23	123.52ab	108.69bc	107.10cdefgh	123.63a	105.17b	59.94lmnopq	20.99o	243.51ab	44.66ijk	108.14cdefgh	56.36ghijk
24	116bc	107.40bc	101.80efghij	96.80cdef	96.82b	70.72ghijklmn	54.00ghijklm	149.17fghij	73.55abc	111bcdef	72.32cdef
25	64k	89.65ef	107.84cdefgh	69.76jk	112.19b	87.12bcde	54.80 ghijkl	163.94defghi	60.86cdefgh	103.68cdefghi	68.55cdefghi
26	83.33hi	96.66cdef	76.88lm	90defghi	111.11b	58.87nopq	46.86ijklmn	147.18fghij	54.85efghijk	81.25ghijk	55.66hijk
27	86.66fghi	96.66cdef	70.87m	85.93fghi	117.24b	47.60q	32.41no	178.07cdefg	49.22ghijk	81.57ghijk	52.21jk
28	100def	100bcde	93.06hijk	100bcde	113.20b	84.58bcdef	67.99efgh	99.03j	69.17abcde	66.51k	57.76fghijk
29	100def	96.66cdef	80.51klm	97.15cdef	95.38b	56.16opq	54.62ghijkl	197.20bcdef	41.62jk	80.11hijk	47.35k
30	100def	103.44bcd	95.24ghijk	95.16cdefg	108.33b	86.93bcde	38.7klmno	109.84hij	66.30bcdef	71.50jk	55.19hijk
31	96.66efg	96.66cdef	104.84cdefghi	85.29fghi	92.30b	66.66hijklmno	48.88hijklmn	171.12cdefgh	56.49defghij	98.08cdefghij	56.38ghijk
32	110.52cd	112.5b	116.09cde	110.07b	117.85b	73.06fghijklm	48.01hijklmn	174.13cdefg	54.03efghijk	92.41efghijk	63.27ghijk
33	70.37jk	100bcde	90.33ijkl	81.50hij	122.91b	66.18ijklmno	53.64ghijklm	271.44a	51.70fghijk	136.84b	71.21cdefg

注: X1: 相对发芽势; X2: 相对发芽率; X3: 相对胚根长; X4: 相对发芽指数; X5: 相对胚芽鞘长; X6: 相对胚芽长; X7: 相对活力指数; X8: 相对根冠比; X9: 相对芽干重; X10: 相对根干重; X11: 相对物质转运速率。同一列中相同字母表示在 5% 水平下差异不显著。下同。

Note: X1: Relative germination force; X2: Relative germination values; X3: Relative root length; X4: Relative germination index; X5: Relative coleoptile length; X6: Relative germ length; X7: Relative vigor index; X8: Relative root/shoot weight; X9: Relative germ dry weight; X10: Relative root dry weight; X11: Relative material transport rate. The same letters at the same column indicate no significance at 5% level. The same as below.

从表 2 可以看出,PEG 胁迫后,33 个水稻品种(系)中发芽势高于对照的材料有 9 份,发芽率高于对照的材料有 12 份,分别占参试材料的 27% 和 36%。PEG 胁迫对不同材料的胚根伸长影响不同,其中显著促进 8 号和 11 号材料胚根伸长,其相对值分别为 133.28% 和 151.71%,严重抑制 12 号材料的胚根伸长,相对值为 38.60%。除了 4 号、17 号、18 号、23 号和 32 号材料胁迫后发芽指数略高于对照,其他参试材料的发芽指数均低于对照。胁迫促进了大多数材料的胚芽鞘长度,只有 8 份材料胚芽鞘长度小于对照长度,占参试材料的 24%。除 8 号材料的胚芽长度高于对照,相对值为 117.35%,胁迫抑

制所有材料胚芽伸长、芽干重和物质转运速率。4 号、15 号、17 号材料的活力指数在胁迫下高于对照,相对值分别为 109.20%,111.00%,128.31%,其他材料活力指数均受抑制。根冠比是植物地下部分与地上部分干重的比值,它的大小反映了植物幼苗地下部分与地上部分的相关性。除了 28 号材料根冠比低于对照外,相对值为 99.03%,其他均高于对照,最高根冠比相对值 271.45%。胁迫对不同材料的根干重影响不同,4 号材料根干重相对值最大,为 170.92%,28 号材料根干重相对值最小,为 66.52%。

表 3 PEG 胁迫下水稻幼苗各生长指标的相关系数
Table 3 Correlation coefficients of growth parameters of rice seedlings under PEG

生长参数 Growth parameter	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1	1										
X2	0.73**	1									
X3	0.20	0.15	1								
X4	0.78**	0.69**	0.09	1							
X5	-0.17	-0.08	-0.16	-0.31	1						
X6	0.01	0.05	0.57**	-0.01	-0.06	1					
X7	0.12	0.05	0.21	0.13	0.01	0.39*	1				
X8	-0.03	-0.07	-0.17	0.02	0.03	-0.47**	-0.17	1			
X9	0.12	0.11	0.42*	0.10	-0.11	0.81**	0.50**	-0.51**	1		
X10	0.01	-0.05	0.19	0.04	-0.08	0.26	0.29	0.54**	0.42*	1	
X11	0	-0.03	0.39*	0.02	-0.06	0.59**	0.52**	0.04	0.79**	0.83**	1

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 的显著水平。
Note: * and ** indicate significance at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.3 PEG 胁迫下水稻品种(系)的模糊隶属函数抗旱性评价

采用模糊数学隶属函数法对水稻品种(系)PEG 胁迫下的抗旱性进行综合评价。隶属函数值 $X(\mu)$ $= (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, 式中 X 为指标测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为所有参试材料某一指标的最大值和最小值, 如果某一指标与水稻抗旱性呈负相关, 则可以通过反隶属函数计算其抗性隶属函数值, 公式为 $X(v) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})^{[10]}$ 。最后再将每一品种(系)各个指标的隶属值累加求平均值。隶属函数平均值越大, 表示品种(系)的抗旱性越强。通过对 33 个水稻品系的隶属函数平均值进行比较, 最终确定其抗旱性的强弱排序(表 4), 其中 4 号和 18 号水稻品种(系)抗旱性最强, 27 号和 21 号水稻品系抗旱性最弱。

2.4 水稻品种(系)抗旱性的主成分分析

化学计量学中的主成分分析和模糊聚类方法分析, 可以把离散的数据标准化处理, 以便对样品的相

2.2 PEG 胁迫下水稻幼苗各生长指标参数的相关性分析

对 PEG 胁迫下水稻品种(系)11 个性状的相对值进行了相关性分析, 部分性状间的相关性达到显著水平, 结果见表 3。物质转运速率与胚芽长、活力指数、芽干重和根干重存在极显著相关性, 与相对胚根长存在显著相关性; 芽干重与胚芽长度、活力指数存在极显著相关; 根冠比与胚芽干重和胚芽长存在极显著负相关; 发芽指数与发芽势和发芽率存在极显著相关性; 发芽势和发芽率存在极显著先关性; 胚芽长与胚根长也存在极显著相关性。

似性进行评价^[11]。对各品种(系)的所有指标的相对值进行主成分分析, 各主成分的特征值和贡献率见表 5, 前 4 个主成分贡献率分别为 32.923%、22.757%、16.149%、9.147%, 其累计贡献率为 80.976%, 其余贡献率较小可以忽略不计。这样就把原来的 11 个指标转换成 4 个新的相互独立的综合指标, 代表了原来 11 个单项指标的 80.976% 信息。这 4 个主成分与 11 个抗旱性状的相关系数(即因子负荷量)反映了他们之间的相关性(表 6)。

第Ⅰ主成分的特征根 $\lambda_1 = 3.6215$, 贡献率为 32.923%, 对应特征向量中, 数量较大的性状为活力指数、胚芽干重, 相关系数分别为 0.4876、0.5300, 说明在干旱胁迫下活力指数和胚芽干重可以作为评价水稻抗旱性的重要鉴定指标。

第Ⅱ主成分的特征根 $\lambda_2 = 2.5033$, 贡献率为 22.757%, 对应特征向量中, 数量较大的性状为发芽率、发芽指数, 相关系数分别为 0.5266、0.2088, 主要反映水稻的萌发状况。

表 4 PEG 胁迫下水稻幼苗各生长指标相对值的隶属值													
Table 4 Membership values of relative values of growth parameters of rice seedlings under PEG													
品种(系) Variety (Lines)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	隶属值 Membership value	排名 Rank
1	0.55	0.35	0.39	0.28	0.03	0.36	0.09	0.35	0.31	0.15	0.05	0.27	30
2	0.55	0.35	0.44	0.41	0.08	0.15	0.19	0.85	0.05	0.33	0.20	0.33	23
3	0.79	0.53	0.60	0.36	0.15	0.45	0.60	0.36	0.54	0.36	0.41	0.47	9
4	0.67	0.44	0.55	0.63	0.15	0.51	0.82	0.72	0.87	1.00	0.85	0.65	1
5	0.40	0.11	0.60	0.31	0.08	0.34	0.24	0.32	0.73	0.44	0.47	0.37	17
6	0.55	0.35	0.68	0.50	0.12	0.38	0.69	0.20	0.80	0.31	0.64	0.47	8
7	0.40	0.27	0.43	0.00	1.00	0.21	0.12	0.51	0.22	0.22	0.22	0.33	24
8	0.67	0.53	0.84	0.48	0.12	1.00	0.21	0.19	1.00	0.41	0.53	0.55	3
9	0.45	0.19	0.72	0.36	0.02	0.47	0.37	0.39	0.65	0.51	0.63	0.43	13
10	0.50	0.35	0.47	0.40	0.12	0.22	0.46	0.65	0.16	0.26	0.15	0.34	21
11	0.44	0.27	1.00	0.21	0.00	0.57	0.52	0.25	0.54	0.24	0.42	0.41	14
12	0.45	0.35	0.00	0.41	0.17	0.25	0.33	0.43	0.45	0.36	0.33	0.32	25
13	0.55	0.64	0.49	0.35	0.12	0.17	0.35	0.18	0.29	0.00	0.08	0.29	28
14	0.32	0.00	0.50	0.23	0.10	0.56	0.63	0.76	0.79	1.00	1.00	0.54	4
15	0.43	0.00	0.57	0.42	0.34	0.41	0.84	0.32	0.40	0.19	0.21	0.37	16
16	0.44	0.27	0.68	0.26	0.28	0.61	0.45	0.37	0.77	0.53	0.66	0.48	6
17	0.68	0.66	0.49	0.66	0.25	0.65	1.00	0.05	0.82	0.12	0.45	0.53	5
18	1.00	1.00	0.63	0.99	0.06	0.37	0.48	0.45	0.74	0.56	0.59	0.62	2
19	0.72	0.53	0.54	0.47	0.11	0.05	0.33	0.84	0.00	0.23	0.00	0.35	20
20	0.40	0.27	0.51	0.35	0.05	0.47	0.26	0.24	0.64	0.26	0.41	0.35	19
21	0.23	0.09	0.43	0.32	0.10	0.28	0.15	0.36	0.22	0.12	0.14	0.22	32
22	0.36	0.64	0.71	0.48	0.20	0.61	0.43	0.33	0.65	0.38	0.43	0.47	7
23	0.91	0.57	0.61	1.00	0.11	0.18	0.00	0.84	0.12	0.40	0.18	0.45	12
24	0.79	0.53	0.56	0.52	0.06	0.33	0.31	0.29	0.78	0.43	0.49	0.46	10
25	0.00	0.10	0.61	0.04	0.15	0.57	0.32	0.38	0.49	0.36	0.42	0.31	27
26	0.30	0.27	0.34	0.40	0.14	0.16	0.24	0.28	0.35	0.14	0.16	0.25	31
27	0.35	0.27	0.29	0.33	0.18	0.00	0.11	0.46	0.22	0.14	0.10	0.22	33
28	0.55	0.35	0.48	0.58	0.16	0.53	0.44	0.00	0.68	0.00	0.20	0.36	18
29	0.55	0.27	0.37	0.53	0.05	0.12	0.31	0.57	0.05	0.13	0.00	0.27	29
30	0.55	0.44	0.50	0.49	0.13	0.56	0.17	0.06	0.61	0.05	0.15	0.34	22
31	0.50	0.27	0.59	0.31	0.03	0.27	0.26	0.42	0.39	0.30	0.18	0.32	26
32	0.71	0.66	0.69	0.76	0.19	0.37	0.25	0.44	0.33	0.25	0.31	0.45	11
33	0.10	0.35	0.46	0.25	0.22	0.27	0.30	1.00	0.28	0.67	0.47	0.40	15

表 5 PEG 胁迫下水稻芽期抗旱性综合指标特征值及贡献			
Table 5 Characteristic values of drought resistance of rice seedlings under PEG			
主成分 Principal component	特征值 Eigen value	贡献率 Contribution/%	累计贡献率 Cumulative contribution/%
I	3.6215	32.923	32.923
II	2.5033	22.7573	55.6803
III	1.7764	16.1495	71.8298
IV	1.0062	9.147	80.9768

表 6 PEG 胁迫下水稻芽期抗旱性综合指标特征向量
Table 6 Characteristics vector of drought resistance of rice seedlings under PEG

主成分 Principal component	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
I	0.1491	0.5477	0.0649	0.1264	0.0612	0.0358	0.4876	-0.3484	0.5300	-0.1118	-0.0085
II	0.1286	0.5266	0.0067	0.2088	0.1689	-0.1715	-0.7525	-0.1828	-0.0654	0.008	-0.024
III	0.3239	0.0221	-0.1026	-0.2723	0.6661	0.5209	0.0737	-0.1019	-0.2616	0.103	0.0015
IV	0.1405	0.5453	0.1198	0.0003	-0.1553	-0.0427	0.2769	0.5988	-0.4536	0.0241	-0.0329

第Ⅲ主成分的特征根 $\lambda_3 = 1.7764$, 贡献率为 16.1495%, 对应特征向量中, 数量较大的性状为胚芽鞘长、胚芽长, 相关系数分别为 0.6661、0.5209, 主要反映水稻的叶部生长状况。

第Ⅳ主成分的特征根 $\lambda_4 = 1.0062$, 贡献率为 9.1470%, 对应特征向量中, 数量较大的性状为根冠比, 相关系数为 0.5988。

2.5 33 个水稻品种(系)的抗旱性聚类分析

将参试材料的平均隶属函数值经欧式距离平均连锁法用 SPSS17.0 统计软件进行聚类分析(见图 1), 参试材料的抗旱性根据欧式距离 > 5 可归为 4 个类群。

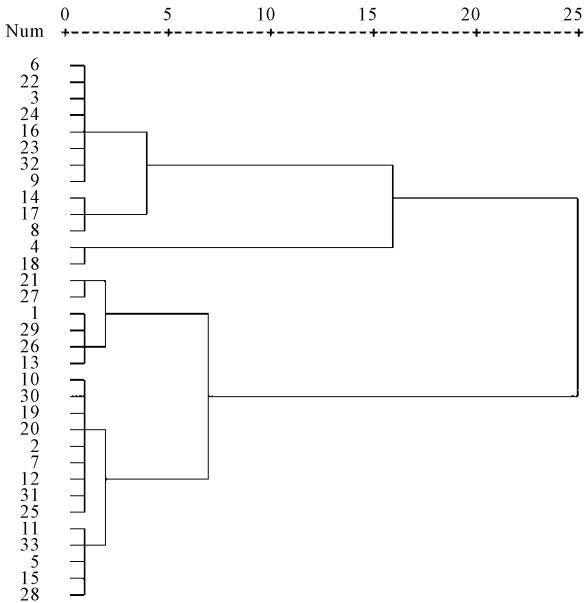


图 1 33 个水稻品种(系)的抗旱性聚类图
Fig.1 Dendrogram on drought tolerance of 33 rice varieties(Lines)

第一类群包括 4 号和 18 号 2 个品系, 占参试材料的 6%, 该类群抗旱性排序位于前 2 位, 各指标相对值均较高, 属于高度抗旱品系。

第二类群包括 8 号、17 号、14 号、9 号、32 号、23 号等 11 个品系, 占参试材料的 33%。该类群抗旱性排序位于 3~13 位, 各性状指标也比较大, 属于耐

旱品系。
第三类群包括 25 号、31 号、12 号、7 号、2 号、30 号、10 号等 14 个品系, 占参试材料的 42.4%, 该类群抗旱性排序位于 14~28 位, 各性状指标比较居中, 可认定该类群为中等抗旱品系。
第四类群包括 21 号、17 号、1 号、29 号、26 号和 13 号六个品系, 占参试材料的 18%, 这些品系的抗旱性排序位于后 6 位, 各指标的相对值较小, 属于干旱敏感品种(系)。

3 讨 论

采用 PEG-6000 高渗溶液模拟干旱胁迫条件, 通过分析高渗透液下种子的萌发特征来评价植物萌发期抗旱性是抗旱品种筛选的有效方法。前人选用 PEG-6000 高渗溶液模拟干旱条件对玉米^[12-13]、花生^[14]、水稻^[8]、苜蓿^[15]、番茄^[16]、油菜^[17]等作物进行抗旱鉴定, 并成功筛选出相应的抗旱品种。本试验以 PEG-6000 高渗透液模拟干旱胁迫, 针对水稻萌发期的特征进行水稻品种(系)的抗旱性评价并筛选出萌发期抗旱性评价指标。不同品种的萌发生长指标对 PEG-6000 胁迫的响应不同, 所有品种(系)芽干重和物质转运速率在 PEG 胁迫后都有所下降; 除了 8 号品种(系)的胚芽长在胁迫后与对照相比稍有升高外, 其他品种(系)都表现出不同程度的下降。根冠比能较好地反映干旱胁迫对植株地上部和地下部生物量相互关系的影响, 健壮幼苗具有合理的根冠比^[18]。干旱胁迫后, 除了 28 号材料的根冠比在 PEG 胁迫后降低外, 其他材料均升高, 说明干旱胁迫对地上部分的影响明显大于地下部分。PEG 胁迫抑制大多数品种(系)发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数和根干重, 部分材料有所上升, 说明在一定程度上干旱胁迫会促进部分品种(系)的某些生理过程, 从而表现出对干旱胁迫具有较强的适应性。

由于试验材料或者研究方法的不同, 作物抗旱指标的筛选也存在差异。王贺正等^[7]认为: 相对胚

根长、相对芽长、相对芽干重可作水稻芽期抗旱性鉴定指标,鞠乐等^[19]认为胚根长、胚芽长、胚芽干重、物质转运速率可以作为大麦种子萌发期快速、有效的抗旱性鉴定指标,张盼盼等^[20]认为相对发芽率、相对根长、相对芽干重、相对芽鞘长、相对芽长和相对根干重可作为糜子芽期抗旱性的鉴定指标。安永平等^[21]认为萌发胁迫指数和芽鞘长的反应指数可作为评价水稻苗期抗旱性的间接鉴定指标;本试验的结果与前人的研究有相似之处,但并不完全相同。在本试验中,通过主成分分析,将 11 个鉴定指标归类为 4 大因子,各因子中又以胚芽干重、发芽率、胚芽鞘长和根冠比为负荷量最大的指标,可作为水稻萌发期抗旱性鉴定的主要指标。

水稻的种植主要集中南方多水地区,随着灌溉技术发展和水稻抗旱品种的更新,水稻的种植范围北移,新疆天业集团的膜下滴灌设施让水稻在新疆种植成为可能。培育和筛选抗旱水稻品种是新疆滴灌水稻种植的关键。前人对水稻抗旱性筛选和鉴定研究较多,涉及品种多为南方地区主栽品种,由于南北地区气候差异,筛选出的抗旱品种(系)不一定适合在新疆种植;涉及生育期包括芽期、苗期、大田期、全生育期^[1,7,22],其中水稻芽期抗旱性鉴定因为其简便易行,易控制,效果佳,可用于大批量鉴定而被重视^[7]。本研究对育种中间材料和一些引进后在新疆种植的品种(系)于萌发期采用 PEG 胁迫的方法进行抗旱筛选和鉴定,为新疆膜下滴灌水稻的大面积推广种植提供候选品种(系),筛选的指标是易于操作和掌握的形态指标,为更大范围的水稻品种(系)抗旱性筛选提供借鉴。

4 结 论

本试验以 PEG-6000 高渗溶液模拟干旱胁迫,采用模糊隶属函数法对 33 个水稻品种(系)进行抗旱性鉴定并排序,以各指标的隶属函数值进行模糊聚类分析,可将 33 份水稻材料聚为 4 大类,其中材料 XS-13-12 和 XS-13-9 为抗旱性最强的品种(系),材料 1043、SN9903 为干旱敏感品种(系);PEG-6000 胁迫下的萌发生长指标胚芽干重、发芽率、胚芽鞘长和根冠比指标可用于大批量水稻品种(系)的抗旱性评价。

参 考 文 献:

[1] 李 艳,马 均,王贺正,等.水稻品种苗期抗旱性鉴定指标筛选及其综合评价[J].西南农业学报,2005,18(3):250-255.

[2] 陈 林,赵双玲,朱江艳,等.膜下滴灌水稻的农艺性状相关性和主成分分析[J].安徽农业科学,2012,40(22):11202-11204.

[3] 丁国华,马殿荣,马 巍,等.杂草稻幼苗期耐旱性的初步筛选与评价[J].北方水稻,2009,40(1):11-14.

[4] 王贺正,李 艳,马 均,等.水稻苗期抗旱性指标的筛选[J].作物学报,2007,33(9):1523-1529.

[5] 王 麒,冯延江,张小明,等.黑龙江省抗旱水稻品种(系)的筛选[J].黑龙江农业科学,2009,(4):26-29.

[6] 王秀萍,客绍英,鲁雪林,等.抗旱水稻品种的筛选及综合评价[J].中国农学通报,2006,22(8):242-245.

[7] 王贺正,马 均,李旭毅,等.水稻种质芽期抗旱性和抗旱性鉴定指标的筛选研究[J].西南农业学报,2004,17(5):594-599.

[8] 彭朝才,李云珍,杨秀全,等.不同水稻种子萌芽期抗旱性的初步筛选研究[J].种子,2012,31(12):80-84.

[9] M Bouslama, WT Schapaugh. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance[J]. Crop Science, 1984, 24:933-937.

[10] 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):572-57.

[11] 孙 璐,周宇飞,汪 澈,等.高粱品种萌发期耐盐性筛选与鉴定[J].中国农业科学,2012,45(9):1714-1722.

[12] 郝 楠,李月明,吴玉群,等.玉米种子萌芽期抗旱性的初步筛选[J].辽宁农业科学,2010,4:40-43.

[13] 任 君,卢成达.玉米抗旱种质资源的筛选[J].山西农业科学,2010,38(10):10-12.

[14] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生品种芽期抗旱性指标筛选与综合性评价[J].中国农业科技导报,2010,12(1):85-91.

[15] 伏兵哲,兰 剑,李小伟,等.PEG-6000 干旱胁迫对 16 个苜蓿品种种子萌发的影响[J].种子,2012,31(4):10-14.

[16] 彭玉梅,石国亮,崔辉梅.PEG-6000 模拟干旱胁迫下不同加工番茄种子萌发期抗旱性评价[J].种子,2013,32(7):44-49.

[17] 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.

[18] 李丰先,周宇飞,王艺陶,等.高粱品种萌发期碱性筛选与综合鉴定[J].中国农业科学,2013,46(9):1762-1771.

[19] 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.

[20] 张盼盼,冯佰利,王鹏科,等.糜子芽期抗旱性指标鉴定与利用研究[J].河北农业科学,2010,14(11):22-27.

[21] 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].植物遗传资源报,2006,7(4):421-426.

[22] 陈凤梅,程建峰,潘晓云,等.籼稻抗旱性状的筛选及其育种应用[J].江西农业大学学报,2000,22(2):169-173.