

有色大麦种质芽期耐盐性鉴定

张 毅, 侯维海, 冯西博, 韩玉娥, 马跃峰, 负民政, 王建林

(西藏农牧学院植物科学学院, 林芝 860000)

摘要:以 44 份有色大麦种质为试材, 通过测定发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数结合两个颜色指标 YU (颜色亮度和浓度) 进行芽期的耐盐性鉴定, 并运用相关性分析、主成分分析、聚类分析等方法对有色大麦材料进行多指标耐盐性综合评价。结果表明, 发芽率和发芽指数对盐胁迫响应最为敏感, 芽长和根长对盐胁迫响应较为迟钝; 粒色亮度与耐盐性综合评价 F 值呈显著负相关; 粒色浓度与耐盐性综合评价 F 值呈显著正相关; 综合指标 F 值相关分析表明, 颜色越深, 耐盐性越强; 用综合指标 F 值, 可将 44 份有色大麦分为 4 类, 其中强耐盐材料包括 XZDM-1401、XZDM-1404、XZDM-1543、XZDM-1546 等 4 份, 中等耐盐性包括 XZDM-926、XZDM-957、XZDM-972 等 16 份, 弱耐盐性包括 XZDM-815、XZDM-1606、XZDM-1030 等 12 份, 敏盐性包括 XZDM-973、XZDM-1042、XZDM-1318 等 12 份。

关键词: 有色大麦; 发芽指标; 耐盐胁迫

Evaluation of Salt Tolerance of Colored Barley Germplasm during Germination

ZHANG Yi, HOU Wei-hai, FENG Xi-bo, HAN Yu-e, MA Yue-feng, YUN Min-zheng, WANG Jian-lin

(Plant Sciences College, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Linzhi 860000)

Abstract: In this paper, 44 colored barley germplasms were used as test materials to comprehensively evaluate the multi-index salt tolerance of colored barley germplasm. The germination potential, germination rate, germination index and germination vigor index of the experimental seeds were determined by combining the two color indicators YU (color brightness and concentration) to identify the salt tolerance of the bud stage, and correlation analysis and principal component analysis were used, cluster analysis and other methods to carry out this test. The results showed that the germination rate and germination index were the most sensitive to salt stress response, and germination length and root length are slower to respond to salt stress, and the color brightness and comprehensive index F value were negatively correlated. The color concentration and comprehensive index F value were significantly positively correlated. Correlation analysis using F value shows that a positive correlation between the grain color and the salt tolerance, the deeper the color, the stronger the salt tolerance; 44 kinds of colored barley can be divided into 4 categories by comprehensive index F value: (i) four accessions, such as XZDM-1401, XZDM-1404, XZDM-1543, XZDM-1546, which showed strong salt-tolerant; (ii) 16 accessions, such as XZDM-926, XZDM-957, XZDM-972, that showed moderate salt tolerant; (iii) 12 accessions, such as XZDM-815, XZDM-1606 and XZDM-1030, that showed weak salt tolerant; (iv) 12 accessions, such as XZDM-973, XZDM-1042 and XZDM-1318, that showed highly salt sensitive.

Key words: colored barley; germination index; salt stress

收稿日期: 2018-08-15 修回日期: 2018-10-12 网络出版日期: 2019-01-16

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20190115.1609.001.html>

第一作者研究方向为高原作物栽培生理与生态, E-mail: zhangyivvip@126.com

通信作者: 王建林, 研究方向为作物多样性研究, E-mail: xzwangjl@126.com

基金项目: 国家自然科学基金 (31560312); 西藏农牧学院研究生创新计划资助项目 (YJS2018-17)

Foundation project: The National Natural Science Foundation of China (31560312), Graduate Innovation Program Funding Project of Tibet Agriculture & Animal Husbandry University (YJS2018-17)

土壤是人类生活的基础。由于受气候、地形、地貌、水位地质、地层盐性、植被等条件影响,致使土壤盐碱化、潜盐渍化土壤面积进一步扩大,同时,在农业生产快速发展的今天,一些不合理的农事操作,导致盐渍土壤地区环境条件不断恶化,盐渍化程度不断加重^[1]。我国盐碱地总面积约 $1016.82 \times 10^4 \text{ hm}^2$,有潜在盐渍土约 $17.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占世界盐渍土壤资源 10%,我国每年因盐渍化而废弃的土地约 $0.25 \times 10^4 \text{ hm}^2$,直接造成作物减产 25%~75%^[2-4]。与此同时,我国人口一直处于增长趋势,而耕地面积却一直在减少,且我国后备耕地资源少^[5-6]。开发利用现存的盐碱地,具有非常重要的现实意义。筛选耐盐植物品种资源,是开发利用盐碱地最经济、最有效的方法之一^[7-8],自 20 世纪 80 年代以来我国对各种种质资源的耐盐性鉴定开展了大量的研究,并在实际生产中有所应用^[9]。如齐国昌等^[10]通过耐盐性鉴定,筛选出耐盐性较好的大麦材料 8 份。沈会权等^[11]把分散在不同群体的大麦耐盐的 124 个 QTL 整理到参考图谱 BinMap 上。申玉香等^[12]通过耐盐筛选,选育出适合盐碱地种植的耐盐大麦品种。大麦是一种公认的耐盐先锋作物,其抗逆性强、生育期短^[13]。有色大麦是一类珍贵的大麦种质资源,富含天然色素、人体必需氨基

酸、维生素和钙、硒等矿质元素。研究认为,有色大麦的抗赤霉病、白粉病的能力要强于普通大麦,同时具有高抗倒伏、耐旱、抗干热风、抗条纹病等特点^[14-16],但有关有色大麦耐盐性研究还并不多,研究有色大麦的耐盐性,筛选和培育耐盐的有色大麦品种(系),对于有色大麦的耐盐性育种和生产具有重要意义。

本试验以从西藏、甘肃和四川 3 个省(区)收集的 44 份有色大麦为材料(表 1),对芽期多项指标进行耐盐性综合评价,旨在筛选耐盐性强的有色大麦,同时明确粒色与耐盐性的关系,为有色大麦的耐盐性研究提供新的基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本研究的试验材料为 44 份有色大麦农家种,分别来自青藏高原的西藏、甘肃和四川 3 个省(区),均由青藏高原作物种质资源数据平台(WWW.TCGRIS.CN)提供。44 份有色大麦中,皮大麦 1 份(XZDM-1266),其余全为裸大麦。按籽粒颜色划分,则包括蓝色大麦 1 份、黑色大麦 26 份、紫色大麦 17 份(表 1),本试验于 2018 年 5 月在西藏农牧学院高原植物栽培实验室进行。

表 1 44 份有色大麦种质材料地理来源及编号
Table 1 Geographical origin and code of tested accessions of colored barley

编号 Code	来源 Origin	颜色 Colored	编号 Code	来源 Origin	颜色 Colored	编号 Code	来源 Origin	颜色 Colored
XZDM-701	西藏自治区曲水县	黑	XZDM-996	西藏自治区八宿县	紫	XZDM-1386	四川省阿坝州	黑
XZDM-754	西藏自治区仁布县	黑	XZDM-1027	西藏自治区普兰县	紫	XZDM-1395	西藏自治区类乌齐县	黑
XZDM-788	西藏自治区噶尔县	紫	XZDM-1028	西藏自治区昂仁县	紫	XZDM-1401	西藏自治区察隅县	黑
XZDM-812	西藏自治区尼木县	紫	XZDM-1029	西藏自治区加查县	黑	XZDM-1404	西藏自治区洛隆县	黑
XZDM-815	西藏自治区乃东县	黑	XZDM-1030	西藏自治区贡嘎县	黑	XZDM-1405	西藏自治区丁青县	蓝
XZDM-818	西藏自治区琼结县	紫	XZDM-1042	西藏自治区浪卡孜县	紫	XZDM-1411	西藏自治区莎迦县	黑
XZDM-819	西藏自治区隆子县	紫	XZDM-1044	西藏自治区谢通门县	紫	XZDM-1430	西藏自治区左贡县	黑
XZDM-854	西藏自治区江孜县	紫	XZDM-1046	西藏自治区白朗县	黑	XZDM-1431	西藏自治区洛扎县	黑
XZDM-860	西藏自治区扎郎县	紫	XZDM-1147	西藏自治区南木林县	黑	XZDM-1521	西藏自治区索县	紫
XZDM-917	西藏自治区措美县	黑	XZDM-1266	西藏自治区康马县	黑	XZDM-1543	甘肃省康乐县	黑
XZDM-926	西藏自治区朗县	紫	XZDM-1318	西藏自治区丁青县	黑	XZDM-1545	西藏自治区拉孜县	黑
XZDM-957	西藏自治区曲松县	紫	XZDM-1332	西藏自治区堆龙德庆县	黑	XZDM-1546	西藏自治区比如县	黑
XZDM-972	西藏自治区日喀则市	黑	XZDM-1345	西藏自治区察雅县	黑	XZDM-1559	西藏自治区吉隆县	黑
XZDM-973	西藏自治区波密县	紫	XZDM-1353	西藏自治区芒康县	黑	XZDM-1606	西藏自治区聂拉木县	紫
XZDM-990	西藏自治区洛扎县	紫	XZDM-1378	西藏自治区类乌齐县	黑			

1.2 芽期耐盐性鉴定方法

本试验利用人工气候培养箱对有色大麦进行芽期耐盐性鉴定,采用发芽盒双层纸上发芽法,共设 1 个处理,1 个对照,3 次重复。每次重复每份材料挑选均匀一致的种子 50 粒,处理组采用 1.5% NaCl 进行盐胁迫,对照组加入蒸馏水。首先用紫光 M1 扫描仪对种子进行扫描,用 photo shop cs 6 对种子的 RGB (红、绿、蓝) 值进行读取,每粒种子取 5 个位点求平均值,共识别 5 粒种子的 RGB 值计算其平均值,然后用 3% H₂O₂ 消毒 8 min,用蒸馏水冲洗 6 次,用滤纸吸干种子表面的浮水,然后放入发芽盒进行置床,每天定时补充相应浓度的溶液,以种子周围不出现水膜为标准,每 2 天更换新发芽纸,人工气候培养箱设置恒温 25 ℃,湿度 60%~75%,每天光照 12 h。每天调查发芽数,以胚芽长度超过种子长度 1/3 或胚根长度超过种子长度 1/2 为发芽标准,共调查 7 d,并计算发芽势 (GE)、发芽率 (GP)。培养 10 d 后结束试验。每次重复随机取 10 株幼苗,测量芽长 (CL)、根长 (RL),并计算发芽指数 (GI) 和萌发活力指数 (GVI),参照杨书华等^[17]的方法计算各指标的相对耐盐系数 (ω)。

发芽势 (GE) = 培养第 4 天发芽数 / 50 × 100%

发芽率 (GP) = 培养第 7 天发芽数 / 50 × 100%

发芽指数 (GI) = $\sum (Gt/Dt)$

其中 Gt 为发芽日数, Dt 为与 Gt 相对应的每天发芽种子数。

萌发活力指数 (GVI) = $\sum (Gt/Dt) \times$ 幼苗平均芽长 (长度单位: cm)

耐盐系数 (ω) = NaCl 处理下测定的平均值 / 对照测定平均值 × 100%

1.3 RGB 颜色的转换

红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 3 种颜色构成一个三维

的 RGB 矢量空间,通过 RGB 值相加即可产生各材料的颜色量化值,用 YU 值来描述颜色的灰度和色差,即表示颜色的亮度和浓度。Y 表示颜色灰度 (亮度),即 Y 值越大,则越亮 (白),Y 值越小,则越灰 (黑);U 表示颜色的色差 (浓度)。这样就能把不同的颜色统一化,即用亮度和浓度来表示,参照冯永超等^[18]的方法,将 RGB 值转换为 YU 值,其计算方法如下:

$$Y=0.257R+0.504G+0.098B+16$$

$$U=-0.148R-0.291G+0.439B+128$$

1.4 有色大麦种质芽期耐盐性综合评价

有色大麦种质芽期耐盐性综合评价公式如下:

$$F=\alpha_1Z_1+\alpha_2Z_2+\cdots+\alpha_nZ_n$$

式中: F 为综合评价值; $\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_n$ 为第 1、第 2、 \cdots 、第 n 主成分的贡献率; Z_1, Z_2, \cdots, Z_n 为第 1、第 2、 \cdots 、第 n 主成分标准化后的线性组合。

1.5 数据处理与计算

用 Microsoft Excel 2013 进行数据整理,用 SPSS Statistics 22.0 进行数据统计、相关性分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 44 份有色大麦种质材料在盐胁迫和正常条件下的种子萌发和幼苗生长情况

从表 2 可以看出,44 份有色大麦在 1.5% 的 NaCl 胁迫条件下与种子萌发相关的各指标均有较大变化,各供试材料的发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数、芽长、根长与对照相比均有不同程度的下降,平均值分别降低了 75.26%、80.01%、78.10%、92.37%、85.87% 和 81.04%。说明 1.5%NaCl 对有色大麦各项指标均有一定的抑制作用。其中活力指数受抑制程度最大,芽长受抑制程度相对较小。

表 2 44 份有色大麦种质材料在盐胁迫和正常条件下的种子和幼苗生长情况

Table 2 Seed germination and seedling growth of 44 colored barley accessions under salt and distilled water

编号 Code	对照 (蒸馏水)						盐胁迫 (1.5%NaCl)						YU 值	
	Control (Distilledwater)						Saltstress						YU value	
	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽 指数	萌发活 力指数	根长 (cm)	芽长 (cm)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽 指数	萌发活 力指数	芽长 (cm)	根长 (cm)	颜色 亮度	颜色 浓度
	GE	GP	GI	GVI	RL	GL	GE	GP	GI	GVI	GL	RL	Y	U
XZDM-701	60.00	71.33	13.15	60.20	4.58	14.07	0	0	0	0	0	0	66.69	127.25
XZDM-754	76.67	82.67	16.81	129.63	7.71	15.88	24.67	24.67	6.10	22.64	3.71	1.90	84.31	124.52
XZDM-788	31.33	57.33	8.91	41.08	4.61	12.82	0	0	0	0	0	0	100.76	127.35
XZDM-812	50.67	70.67	12.22	88.81	7.27	21.44	28.67	29.33	5.71	16.86	2.96	1.01	74.97	124.10
XZDM-815	34.00	52.00	7.60	29.64	3.90	16.96	9.33	9.33	1.39	2.24	1.61	12.48	62.52	127.44
XZDM-818	52.00	64.00	11.96	68.41	5.72	13.66	6.67	8.67	1.76	3.32	1.89	0.94	83.75	117.34

表 2(续)

编号 Code	对照 (蒸馏水)						盐胁迫 (1.5%NaCl)						YU 值	
	Control (Distilledwater)						Saltstress						YU value	
	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽 指数	萌发活 力指数	根长 (cm)	芽长 (cm)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽 指数	萌发活 力指数	芽长 (cm)	根长 (cm)	颜色 亮度	颜色 浓度
	GE	GP	GI	GVI	RL	GL	GE	GP	GI	GVI	GL	RL	Y	U
XZDM-819	51.33	60.00	9.31	52.25	5.61	16.23	5.33	5.33	0.86	1.99	2.31	1.23	59.27	127.62
XZDM-854	44.00	60.67	10.01	64.73	6.47	11.82	7.33	7.33	1.42	3.18	2.24	1.59	54.15	126.12
XZDM-860	24.00	38.00	6.03	43.46	7.21	8.97	0	0	0	0	0	0	87.99	119.56
XZDM-917	38.67	41.33	6.69	33.67	5.03	15.53	9.33	9.33	1.86	4.47	2.40	1.16	84.87	121.39
XZDM-926	56.00	70.67	12.30	66.13	5.38	12.82	22.00	22.00	3.58	10.07	2.81	1.04	50.80	126.36
XZDM-957	64.00	86.00	16.65	98.21	5.90	14.31	40.00	40.00	8.44	7.69	0.91	0.49	58.55	125.26
XZDM-972	76.00	83.33	17.22	140.27	8.14	11.66	28.67	28.67	5.69	20.56	3.61	1.59	67.98	127.25
XZDM-973	81.33	84.00	20.24	154.31	7.62	8.88	0	0	0	0	3.70	1.41	86.14	122.49
XZDM-990	68.67	75.33	12.73	86.73	6.81	16.47	9.33	9.33	1.86	7.74	4.16	0.86	64.67	122.23
XZDM-996	60.00	66.00	11.93	60.99	5.11	9.14	2.67	3.33	0.47	1.39	2.93	1.41	62.88	124.35
XZDM-1027	48.00	68.00	10.60	62.09	5.86	9.29	3.33	4.00	0.62	1.23	1.98	1.25	88.13	123.87
XZDM-1028	29.33	60.00	9.23	42.04	4.56	7.84	5.33	5.33	1.19	2.67	2.24	1.49	67.12	127.16
XZDM-1029	74.67	79.33	16.66	124.03	7.44	10.28	23.33	23.33	4.78	19.85	4.16	1.96	57.64	124.30
XZDM-1030	51.33	70.00	11.87	73.84	6.22	15.57	10.67	10.67	2.00	0	0	1.20	71.14	125.04
XZDM-1042	25.33	48.67	6.72	144.28	21.48	10.88	4.67	4.67	0.69	1.36	1.96	1.28	73.75	122.94
XZDM-1044	64.67	74.67	13.47	76.34	5.67	9.10	14.67	14.67	3.17	6.05	1.91	1.16	81.37	121.52
XZDM-1046	68.00	74.00	14.10	67.86	4.81	13.89	0	0	0	0	0	0	161.33	80.02
XZDM-1147	60.00	77.33	13.40	97.93	7.31	15.27	0	0	0	0	0	0	83.06	123.32
XZDM-1266	61.33	72.00	14.02	90.96	6.49	12.02	10.67	11.33	2.12	4.22	1.99	1.20	66.60	125.57
XZDM-1318	55.33	69.33	9.92	114.75	11.57	13.13	0	0	0.11	0.23	2.05	1.25	25.98	125.22
XZDM-1332	79.33	82.67	16.93	96.33	5.69	15.54	28.00	28.67	5.86	28.07	4.79	1.61	64.84	125.40
XZDM-1345	62.00	74.67	15.79	103.35	6.54	14.14	0	0	0	0	0	0	128.33	106.92
XZDM-1353	37.33	60.00	9.92	89.03	8.98	17.56	0	0	0	0	0	0	60.38	124.31
XZDM-1378	59.33	65.33	12.53	60.97	4.87	12.33	13.33	13.33	2.78	6.67	2.40	1.43	69.92	124.06
XZDM-1386	54.67	74.67	13.02	115.16	8.84	12.52	8.00	8.67	1.62	1.59	0.98	1.89	120.25	109.79
XZDM-1395	39.33	58.67	10.70	72.77	6.80	15.43	0	0	0	0	0	0	70.37	124.89
XZDM-1401	68.00	82.00	16.68	93.44	5.60	18.52	31.33	31.33	6.81	21.10	3.10	1.78	46.51	124.38
XZDM-1404	61.33	92.00	17.49	99.48	5.69	15.86	41.33	41.33	8.83	18.45	2.09	1.56	47.74	125.35
XZDM-1405	70.00	80.00	17.07	147.02	8.61	10.16	30.00	30.00	5.25	16.33	3.11	1.79	91.61	121.85
XZDM-1411	58.00	68.00	13.98	133.63	9.56	10.19	13.33	14.00	2.48	3.31	1.33	1.50	69.21	124.57
XZDM-1430	60.00	79.33	15.47	202.62	13.10	14.76	31.33	31.33	6.22	17.08	2.74	1.54	92.21	121.01
XZDM-1431	66.67	92.67	17.68	209.59	11.86	16.48	31.33	31.33	6.50	32.28	4.97	2.23	72.29	124.87
XZDM-1521	62.00	78.00	13.45	130.32	9.69	17.38	0	0	0	0	1.89	1.19	72.76	127.08
XZDM-1543	50.67	80.67	14.03	103.81	7.40	11.17	34.00	34.00	7.64	12.65	1.66	1.14	61.75	122.92
XZDM-1545	58.67	68.67	13.52	119.45	8.83	15.98	26.00	26.00	5.11	5.17	1.01	0.94	61.20	128.39
XZDM-1546	63.33	65.33	13.79	82.77	6.00	15.39	28.67	28.67	6.72	7.69	1.14	1.53	75.21	123.68
XZDM-1559	50.67	66.67	12.89	91.54	7.10	6.36	17.33	18.00	3.65	4.50	1.23	1.21	75.63	123.64
XZDM-1606	56.67	68.67	11.98	78.28	6.53	26.99	9.33	10.67	1.84	3.05	1.66	1.40	51.53	128.32
最小值 Min.	24.00	38.00	6.03	29.64	3.90	6.36	0	0	0	0	0	0	25.98	80.02
最大值 Max.	81.33	92.67	20.24	209.59	21.48	26.99	41.33	41.33	8.83	32.28	4.97	12.48	161.33	128.39
平均值 Mean	56.02	70.33	12.97	94.14	7.28	13.80	13.86	14.06	2.84	7.18	1.95	1.38	72.97	122.75
标准差 SD	14.12	11.94	3.29	40.25	2.97	3.76	12.87	12.84	2.72	8.62	1.38	1.82	22.54	7.77
变异系数 (%) CV	25.22	16.98	25.36	42.76	40.87	27.25	92.83	91.32	95.78	120.10	70.78	132.17	30.89	6.33

GE: Germination energy, GP: Germination percentage, GI: Germination index, GVI: Germination vigor index, RL: Root length, GL: Germination length, Y: Brightness value, U: chrominance value, the same as below

在种子的颜色亮度和浓度中,颜色亮度变异系数最大,颜色浓度变异系数最小。说明 44 份有色大麦种子在亮度上差异较大,而在颜色的浓度上差异较小,表明 44 份有色大麦颜色的差异较大。

2.2 有色大麦种质材料的耐盐特性差异

从表 3 可以看出,不同的有色大麦其耐盐系数不同。发芽势耐盐系数在平均值以上的有 28 份,发芽率耐盐系数在平均值以上的有 24 份,发芽指数耐盐系数在平均值以上的有 33 份,萌发活力指数耐盐系数在平均值以上的有 19 份,根长耐

盐系数在平均值以上的有 35 份,芽长耐盐系数在平均值以上的有 22 份,其中,发芽势最大的材料是 XZDM-1404,发芽率最大的材料是 XZDM-957,发芽指数最大的材料是 XZDM-1543,萌发活力指数最大的材料是 XZDM-1332,芽长最大的材料是 XZDM-973,根长最大的材料是 XZDM-1028。因此,以发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数、芽长、根长为依据的耐盐性排序就不一致了,以其中的某一指标并不能全面有效地评价有色大麦种质材料的耐盐性,综合评价这些指标是有必要的。

表 3 不同鉴定指标的耐盐系数
Table 3 Salt tolerance coefficient of different identification indicators

指标 Index	发芽势 GE	发芽率 GP	发芽指数 GI	萌发活力指数 GVI	芽长 GL	根长 RL
最小值 Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最大值 Max.	67.39	46.51	54.46	29.14	41.68	32.65
平均值 Mean	23.45	18.82	20.09	7.10	15.33	16.16
标准差 SD	20.14	15.51	16.78	7.19	11.29	9.59
变异系数(%) CV	116.45	121.36	119.69	98.73	135.73	168.46

2.3 芽期各单项指标耐盐系数及与 YU 的相关性

从表 4 可以看出,各发芽指标耐盐系数除芽长与发芽势、发芽指数未达到显著相关关系外,其余各指标间呈显著或极显著正相关关系;各耐盐系数与颜色亮度呈负相关,但未达到显著水平,各

耐盐系数与颜色浓度呈正相关,其中根长与颜色浓度达显著水平;两个颜色指标中,颜色亮度与颜色浓度呈极显著负相关;这使得各指标间提供的信息发生重叠,因此,需要进行其他多元统计分析。

表 4 芽期耐盐系数及 YU 各指标间的相关关系
Table 4 Correlation coefficients among salt tolerance indices and YU during germinate

指标 Index	发芽势 GE	发芽率 GP	发芽指数 GI	萌发活力 指数 GVI	芽长 GL	根长 RL	颜色亮度 Y	颜色浓度 U
发芽率 GP	0.975**							
发芽指数 GI	0.979**	0.987**						
萌发活力指数 GIV	0.729**	0.777**	0.773**					
芽长 GL	0.261	0.305*	0.271	0.497**				
根长 RL	0.423**	0.477**	0.475**	0.598**	0.783**			
颜色亮度 Y	-0.239	-0.225	-0.228	-0.252	-0.182	-0.286		
颜色浓度 U	0.230	0.235	0.226	0.211	0.240	0.307*	-0.849**	
综合评价指标 F	0.890**	0.918**	0.926**	0.818**	0.483**	0.771**	-0.298*	0.306*

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著
*, ** indicated significant at 0.05 and 0.01 level, respectively

2.4 主成分分析

采用最大方差旋转法进行主成分分析。由表 5 可知,前 3 个主成分的贡献率分别为 43.931%、

23.474% 和 23.104%, 累计贡献率达 90.509%, 基本涵盖了各种质材料各指标的绝大部分信息。这样就把原来的 8 个单项指标转换为 3 个相互独立的综

合指标,这 3 个综合指标代表了原来 8 个单项指标 90.509% 的信息。其中第 1 主成分中发芽势、发芽率、发芽指数和萌发活力指数的耐盐系数特征向量较高,表明第 1 主成分中发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数 4 个指标占主要因子;第 2 主成分中颜色亮度和颜色浓度的特征向量较高,表明第 2 主成分中颜色占主要因子;第 3 主成分中芽长和根长的特征向量相对较高,表明第 3 主成分中芽长和根长占主要因子。

表 5 耐盐系数及 YU 值主成分分析
Table 5 Principal Component Analysis of Salt Tolerance and YU Value

主成分 Principal component	各指标特征向量 Eigenvector of different indexes								特征值 Characteristic values	贡献率(%) Contribution	累计贡献率 (%) Cumulative contribution
	发芽势 GE	发芽率 GP	发芽指数 GI	萌发活力指数 GVI	芽长 GL	根长 RL	颜色亮度 Y	颜色浓度 U			
1	0.968	0.967	0.974	0.743	0.111	0.324	-0.122	0.101	4.425	43.931	43.931
2	0.118	0.105	0.105	0.090	0.087	0.180	-0.949	0.945	1.662	23.474	67.405
3	0.120	0.184	0.160	0.484	0.919	0.815	-0.098	0.145	1.153	23.104	90.509

2.5 有色大麦种质芽期耐盐性综合评价

从表 5 可以看出,第 1、第 2 和第 3 主成分已经基本保留了所有指标的原有信息,可以用 3 个变量 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 代替原来的 8 个指标,得出线性组合(其中 $X_1\sim X_8$ 均为标准化后的变量)分别为:
 $Z_1=0.52X_1+0.52X_2+0.52X_3+0.4X_4+0.06X_5+0.17X_6-0.07X_7+0.05X_8$;
 $Z_2=0.09X_1+0.08X_2+0.08X_3+0.07X_4+$

$0.06X_5+0.13X_6-0.69X_7+0.69X_8$;
 $Z_3=0.09X_1+0.13X_2+0.12X_3+0.35X_4+0.68X_5+0.6X_6-0.07X_7+0.11X_8$ 。

以所选取的第 1、第 2 和第 3 主成分的贡献率 α_1 、 α_2 和 α_3 作为权数,构建综合评价模型: $F=\alpha_1Z_1+\alpha_2Z_2+\alpha_3Z_3$,即 $F=0.43931Z_1+0.23474Z_2+0.23104Z_3$ 。其中: F 为综合评价指标,分别代入,得出综合评价值 F (表 6)。

表 6 44 份有色大麦耐盐性综合评价量及 F 值
Table 6 Comprehensive evaluation of salt tolerance and F value of 44 colored barley

编号 Code	主成分 1 Principle component 1	排名 Ranking	主成分 2 Principle component 2	排名 Ranking	主成分 3 Principle component 3	排名 Ranking	综合评价(F) Comprehensive evaluation	综合排名 Comprehensive ranking
XZDM-701	-64.64	38	-0.07	29	-101.40	38	-51.84	38
XZDM-754	51.91	10	0.24	23	53.52	9	35.23	6
XZDM-788	-64.59	37	0.35	22	-101.35	37	-51.71	37
XZDM-812	85.22	5	0.52	17	-13.05	29	34.54	7
XZDM-815	-5.52	20	0.73	14	7.69	24	-0.48	24
XZDM-818	-17.52	26	-0.93	40	1.71	26	-7.52	30
XZDM-819	-34.51	31	0.73	15	35.72	12	-6.74	29
XZDM-854	-18.81	27	0.89	11	52.13	10	3.99	21
XZDM-860	-64.75	42	-1.40	41	-101.57	42	-52.24	42
XZDM-917	24.69	17	-0.28	33	42.31	11	20.56	15
XZDM-926	29.70	14	1.33	3	21.20	19	18.26	16
XZDM-957	97.49	3	0.98	9	-48.47	35	31.86	8
XZDM-972	41.98	12	0.96	10	22.28	18	23.82	11
XZDM-973	-64.18	35	-0.62	38	15.42	22	-24.78	33
XZDM-990	-17.42	25	0.13	26	-21.28	30	-12.54	31

表 6(续)

编号 Code	主成分 1 Principle component 1	排名 Ranking	主成分 2 Principle component 2	排名 Ranking	主成分 3 Principle component 3	排名 Ranking	综合评价 (F) Comprehensive evaluation	综合排名 Comprehensive ranking
XZDM-996	-51.22	33	0.42	20	71.39	5	-5.91	28
XZDM-10277	-45.43	32	-0.52	37	31.97	14	-12.69	32
XZDM-1028	-22.41	28	0.75	13	102.66	1	14.05	18
XZDM-1029	28.23	15	1.09	6	64.58	7	27.58	10
XZDM-1030	-10.69	22	0.11	27	18.18	20	-0.47	23
XZDM-1042	-31.37	30	-0.30	34	-63.28	36	-28.47	34
XZDM-1044	10.81	18	-0.26	32	26.52	17	10.82	20
XZDM-1046	-65.23	44	-7.16	44	-102.36	44	-53.99	44
XZDM-1147	-64.71	41	-0.92	39	-101.50	41	-52.09	41
XZDM-1266	-15.75	24	0.39	21	14.38	23	-3.51	25
XZDM-1318	-60.74	34	1.23	4	-33.51	33	-34.14	36
XZDM-1332	47.71	11	1.14	5	77.23	4	39.07	5
XZDM-1345	-64.96	43	-3.76	43	-101.88	43	-52.96	43
XZDM-1353	-64.64	39	-0.14	30	-101.42	39	-51.86	39
XZDM-1378	7.01	19	0.46	19	82.62	3	22.28	12
XZDM-1386	-24.77	29	-2.73	42	31.04	15	-4.35	27
XZDM-1395	-64.66	40	-0.39	35	-101.44	40	-51.93	40
XZDM-1401	67.07	6	1.62	2	97.54	2	52.38	3
XZDM-1404	97.90	2	1.72	1	70.15	6	59.62	1
XZDM-1405	34.72	13	-0.24	31	29.81	16	22.08	13
XZDM-1411	-7.47	21	0.21	24	-3.09	27	-3.95	26
XZDM-1430	64.24	7	-0.44	36	-26.42	32	22.01	14
XZDM-1431	53.77	9	0.66	16	18.13	21	27.97	9
XZDM-1521	-64.38	36	-0.05	28	-24.90	31	-34.05	35
XZDM-1543	109.49	1	0.87	12	-3.45	28	47.51	4
XZDM-1545	56.24	8	0.99	8	-33.96	34	17.09	17
XZDM-1546	91.05	4	0.48	18	58.25	8	53.57	2
XZDM-1559	26.13	16	0.14	25	5.92	25	12.88	19
XZDM-1606	-14.98	23	1.07	7	31.99	13	1.06	22

F 值与芽期各鉴定指标呈显著或极显著相关关系,说明 F 值可以用来评价芽期有色大麦耐盐性的强弱(表 4),以综合评价 F 值为依据,采用系统聚类进行聚类分析,以欧氏距离为品种间距离,以组之间的连接法为聚类方法,以 10 为截断距离,将 44 份有色大麦种质聚为 4 个类群(图 1)。XZDM-1401、XZDM-1404、XZDM-1543、XZDM-1546 等 4 份材料

为第 I 类,属于强耐盐性;XZDM-926、XZDM-957、XZDM-972 等 16 份材料为第 II 类,属于中等耐盐性;XZDM-815、XZDM-1030、XZDM-1606 等 12 份材料为第 III 类,属于弱耐盐性;XZDM-973、XZDM-1042、XZDM-1318 等 12 份材料为第 IV 类,属于敏盐性。

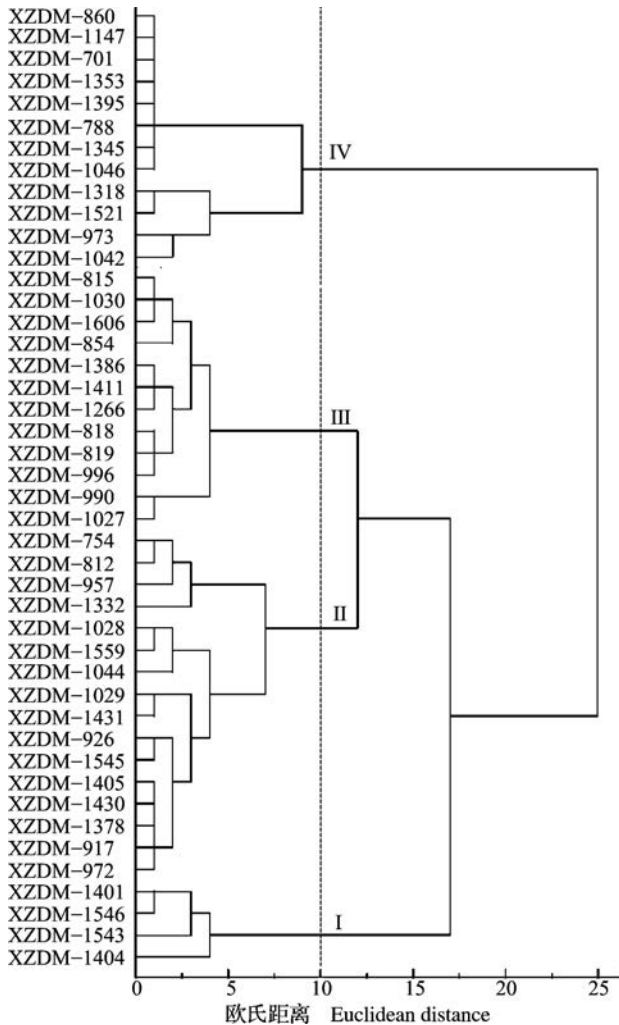


图1 44份有色大麦材料聚类树状图

Fig.1 The dendrogram of cluster 44 colored barley

3 讨论

大麦是青藏高原地区高寒农区的标志性作物,青藏高原也是大麦的起源中心之一^[19-20]。且大麦种质资源非常丰富,蕴藏着多种现代农业所急需的抗旱、抗寒、高品质基因资源。同时,这里又是我国重要的裸大麦(青稞)种植区^[21-22]。筛选耐盐性强的有色大麦种质资源,对有色大麦的开发利用具有重要的意义。

目前对于有色大麦的研究,主要集中在对营养物质组成成分及主要成分功能的研究^[23],此外,国内外学者还从生理生化、分子标记等方面对有色大麦进行了研究^[24],尽管分子标记在植物种质资源的鉴定和分类研究中广泛应用,但种子本身的物理性状描述仍然是不可或缺的重要方法。目前,关于种子活力与颜色的关系研究并不多,大多通过目测的方法对种子颜色进行定性分析,对其颜色没有定量

化分析。鉴于此,本研究对大麦的粒色结合图像识别技术进行量化分析,结合芽期耐盐指标,对有色大麦的耐盐性进行综合评价。

研究表明,芽期是研究作物耐盐强弱重要时期之一^[25-26],且其鉴定结果与大田鉴定有一定的一致性^[27]。鉴于此,本研究以芽期各指标结合粒色对44份有色大麦种质进行耐盐性鉴定。结果表明,不同的材料对NaCl胁迫响应程度不同,这与前人研究的大麦、小麦结果一致^[28-29]。部分耐盐性较差的材料在1.5%的NaCl胁迫条件下,已出现致死情况。发芽率和发芽指数与有色大麦芽期的耐盐性关系最为密切(表4),与李磊等^[28]在大麦上的研究结果一致。李剑峰等^[30]对小麦的研究发现,根长对盐胁迫响应最为敏感,而本研究表明,有色大麦的根长对盐胁迫响应较为迟钝(表4)。这可能是在萌发期间,有色大麦种子中的色素物质溶入水中,对根系伸长有一定的促进作用,也可能是不同物种对盐胁迫的响应机制不同。本研究结果发现有色大麦的耐盐性与种子的颜色有关。种子亮度与耐盐性呈显著负相关(表4)。同时,主成分分析结果表明颜色对种子的耐盐性贡献率达23.474%,颜色浓度与耐盐性呈显著正相关(表5)。有关种子颜色与重要农艺性状的相关性研究已有一些报道。Atak等^[31]研究发现干豌豆的深色种子活力高于浅色种子;吴兆苏^[32]、裴自友等^[33]研究表明,小麦皮色愈深,穗发芽率越低;但齐雪峰等^[34]试验发现乌拉尔甘草种子随颜色的加深,种子活力明显下降;邹吉祥等^[35]同样发现羊草种子活力随着种子颜色的加深而降低。但关于有色大麦种子颜色与耐盐性相关的研究尚未见报道,机理也不清楚,有待进一步研究。所有材料的耐盐系数变化幅度各不相同,用任何个性状指标的耐盐系数都难以准确评价种质材料的耐盐性,必须利用多指标进行综合评价。利用主成分分析把原来的6个萌发期的萌发指标耐盐系数和2个颜色指标转换为3个新的独立彼此不相关的综合指标,再根据贡献率对其加权,计算综合评价值 F 。 F 值与各耐盐系数高度相关,说明 F 值可以综合评价其耐盐性。主成分分析(表5)表明,发芽势、发芽率、发芽指数、萌发活力指数所载荷的萌发期间耐盐信息最多,其原因可能是主要与种子本身的遗传因素有关,其次是颜色指标。根长和芽长所载荷的耐盐信息最少,可能是种子中的色素对根系的伸长有促进作用。通过耐盐性综合评价,筛选出4份强耐盐性材料和16份中耐盐性材料。这些耐盐材料对

于耐盐性有色大麦新品种的培育和大麦耐盐机制研究都有重要价值。

参考文献

- [1] 张洪萍. 盐渍土的工程性质及防治. 北京: 国防工业出版社, 2012: 1-8
Zhang H P. Engineering properties and prevention of saline soil. Beijing: National Defense Industry Press, 2012: 1-8
- [2] 王遵亲, 祝寿泉, 愈仁培. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993: 251-253
Wang Z Q, Zhu S Q, Yu R P. Saline soil in China. Beijing: Science Press, 1993: 251-253
- [3] 张建锋, 张旭东, 周金星, 刘国华, 李冬雪. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施. 水土保持研究, 2005(6): 32-34, 111
Zhang J F, Zhang X D, Zhou J X, Liu G H, Li D X. World resources of saline soil and main amelioration measures. Research of Soil and Water Conservation, 2005(6): 32-34, 111
- [4] 孙英杰, 宋菁, 赵由才. 土壤污染退化与防治: 粮食安全, 民之大幸. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 74-87
Sun Y J, Song J, Zhao Y C. Degradation and prevention of soil pollution: food safety and the great happiness of the people. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011: 74-87
- [5] 邹小钢. 国土资源与房屋管理工作研究: 下卷. 北京: 经济日报出版社, 2015: 727-730
Zou X G. Research on land and resources and housing management: Volume II. Beijing: Economic Daily Press, 2015: 727-730
- [6] 向春玲. 中国城市化发展与反思. 昆明: 云南教育出版社, 2013: 108-120
Xiang C L. Development and reflection of urbanization in China. Kunming: Yunnan Education Publishing House, 2013: 108-120
- [7] 罗以筛. 盐碱地改良利用技术研究. 农业灾害研究, 2011, 1(2): 89-91
Luo Y S. Research on the improvement and utilization of saline alkali soil. Journal of Agricultural Catastrophology, 2011, 1(2): 89-91
- [8] 姜奇彦, 胡正, 张辉, 王萌萌, 唐俊源, 倪志勇, 姜锋. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 726-732
Jiang Q Y, Hu Z, Zhang H, Wang M M, Tang J Y, Ni Z Y, Jiang F. Evaluation for salt tolerance in soybean cultivars (*Glycine max* L. Merrill). Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(5): 726-732
- [9] 丁耀录. 甘南州青稞高产稳产新品种(系)筛选试验. 中国种业, 2012(1): 50-52
Ding Y L. Screening test on new varieties (lines) of high and stable yield of highland barley in Gannan. China Seed Industry, 2012(1): 50-52
- [10] 齐国昌, 余春磊, 罗小娇, 张鹏飞, 冯宗云. 不同青稞品种(系)芽期耐盐性鉴定. 干旱地区农业研究, 2014, 32(3): 50-55, 75
Qi G C, She C L, Luo X J, Zhang K F, Feng Z Y. Evaluation of salt tolerance of hulless barley cultivars during germination. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(3): 50-55, 75
- [11] 沈会权, 张英虎, 乔海龙, 臧慧, 陶红, 栾海业, 陈健, 陈和. 基于 BinMap 的大麦耐盐 QTL 整合. 江苏农业学报, 2014, 30(4): 918-920
Sheng H Q, Zhang Y H, Qiao H L, Zang H, Tao H, Luan H Y, Chen J, Chen H. Integration of salt-tolerant QTLs in barley based on BinMap. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2014, 30(4): 918-920
- [12] 申玉香, 乔海龙, 陈和, 陈建, 沈会权, 傅伟. 几个大麦品种(系)的耐盐性评价. 核农学报, 2009, 23(5): 752-757
Shen Y X, Q H L, Chen H, Chen J, Shen H Q, Fu W. Salt tolerance evaluation of barley cultivars. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2009, 23(5): 752-757
- [13] 王建林. 西藏高原作物栽培学. 北京: 中国农业出版社, 2012: 133-171
Wang J L. Tibet Plateau crop cultivation. Beijing: China Agricultural Press, 2012: 133-171
- [14] Choo T M, Vigier B, Ho K M, Ceccarelli S, Grando S, Franckowiak J D. Comparison of black, purple and yellow barleys. Genet Resour Crop Evolution, 2005, 52: 121-126
- [15] 张想平, 雷耀湖, 何庆祥, 毋玲玲. 黑糯大麦的品种特性及营养品质分析. 种子, 2011, 30(9): 85-86
Zhang X P, Lei Y H, He Q X, Wu L L. Analysis on characteristic and nutrition quality of black and waxy barley. Seed, 2011, 30(9): 85-86
- [16] 李忠娴, 张思文, 谢建坤. 特种黑大麦新品种资源的开发与利用. 大麦科学, 1996(3): 4-7
Li Z X, Zhang S W, Xie J K. Development and utilization of special black barley variety resources. Barley Science, 1996(3): 4-7
- [17] 杨书华, 张春宵, 朴明鑫, 赵泽双, 杨德光, 李万军, 刘文国, 李晓辉. 69 份玉米自交系的苗期耐盐碱性分析. 种子, 2011, 30(3): 1-6
Li S H, Zhang C X, Pu M X, Zhao Z S, Yang D G, Li W J, Liu W G, Li X H. Analysis on salt and alkaline tolerance of sixty-nine maize inbred lines at seedling stage. Seed, 2011, 30(3): 1-6
- [18] 冯永超, 罗敏, 贺贵明. 一种快速 YUV-RGB 彩色空间变换方法. 微型机与应用, 2002(7): 59-60
Feng Y C, Luo M, He G M. A fast YUV-RGB color space transformation method. Information Technology and Network Security, 2002(7): 59-60
- [19] 郭本兆. 青海经济作物志. 西宁: 青海人民出版社, 1987: 701
Guo B Z. Economic crop records of Qinghai. Xining: Qinghai People's Publishing House, 1987: 701
- [20] Dai F, Nevo E, Wu D Z, Comadran J, Zhou M X, Qiu L, Chen Z H, Beiles A, Chen G X, Zhang G P. Tibet is one of the centers of domestication of cultivated barley. PNAS Early Edition, 2012, 9: 1-5
- [21] 孟凡磊, 强小林, 余奎军, 唐亚伟, 胡银岗. 西藏主要农区青稞品种的遗传多样性分析. 作物学报, 2007, 33(11): 1910-1914
Meng F L, Qiang X L, She K J, Tang Y W, Hu Y G. Genetic diversity of highland barley varieties in main agricultural areas of Tibet. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(11): 1910-1914
- [22] 潘志芬, 邹弈星, 邓光兵, 翟旭光, 吴芳, 余懋群. 青藏高原栽培青稞 SSR 标记遗传多样性研究. 中山大学学报: 自然科学版, 2007(2): 82-86
Pan Z F, Zou Y X, Deng G B, Zhai X G, Wu F, Yu M Q. Genetic diversity of cultivated highland barley in Qinghai Tibet

- Plateau based on SSR markers. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007 (2): 82-86
- [23] 华为, 朱靖环, 尚毅, 贾巧君, 汪军妹, 杨建明. 有色大麦研究进展. *植物遗传资源学报*, 2013, 14 (6): 1020-1024
Hua W, Zhu J H, Shang Y, Jia Q J, Wang J M, Yang J M. Research advances in colored barley. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14 (6): 1020-1024
- [24] 张帅. 彩色青稞的功能成分分析及粒色基因的分子标记. 西宁: 青海大学, 2017
Zhang S. Function component is analyzed and color gene molecular of the seed is marked in different grain color of hulless barleys. Xining: Qinghai University, 2017
- [25] 牛远, 杨修艳, 戴存凤, 王博文, 任高磊, 吴静磊, 王飞兵, 陈新红. 大豆芽期和苗期耐盐性评价指标筛选. *大豆科学*, 2018, 37 (2): 215-223
Niu Y, Yang X Y, Dai C F, Wang B W, Ren G L, Wu J L, Wang F B, Chen X H. Related indices selection of soybean salt tolerance at germination and seedling stages. *Soybean Science*, 2018, 37 (2): 215-223
- [26] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王晓军, 王幸. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选. *植物遗传资源学报*, 2017, 18 (6): 1079-1087
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X J, Wang X. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant tcessions of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18 (6): 1079-1087
- [27] 彭智, 李龙, 柳玉平, 刘惠民, 景蕊莲. 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价. *植物遗传资源学报*, 2017, 18 (4): 638-645
Peng Z, Li L, Liu Y P, Liu H M, Jing R L. Evaluation of salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) genotypes at germination and seedling stages. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18 (4): 638-645
- [28] 李磊, 赵檀方, 胡延吉. 大麦芽期耐盐性鉴定指标初探. *莱阳农学院学报*, 2000 (1): 29-31
Li L, Zhao T F, Hu Y J. Preliminary study on identification indexes of salt tolerance in barley stage. *Journal of Laiyang Agricultural College*, 2000 (1): 29-31
- [29] 米海莉, 许兴, 马雅琴, 李树华, 杨德光, 翁跃进. 小麦品种耐盐性的研究. *干旱地区农业研究*, 2003 (1): 134-138
Mi H L, Xu X, Ma Y Q, Li S H, Yang D G, Weng Y J. Study on salt-tolerance of wheat varieties. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003 (1): 134-138
- [30] 李剑峰, 樊哲儒, 张跃强, 王重, 张宏芝. 春小麦种质芽期和苗期耐盐性鉴定. *新疆农业科学*, 2014, 51 (9): 1583-1590
Li J F, Fan Z R, Zhang Y Q, Wang C, Zhang H Z. Screening for salt-resistance at germination and seedling stages of spring wheat germplasm. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51 (9): 1583-1590
- [31] Atak M, Kaya M, Kaya G, Kaya M, Khawar K. Dark green colored seeds increase the seed vigor and germination ability in dry green pea (*pisum sativum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 2008, 40 (6): 2345-2354
- [32] 吴兆苏. 小麦育种学. 北京: 农业出版社, 1991: 299-304
Wu Z S. Wheat breeding. Beijing: Agricultural Press, 1991: 299-304
- [33] 裴自友, 孙善澄, 孙玉. 黑粒小麦 76 号的遗传分析. *华北农学报*, 1997, 12 (Z): 54-56
Bei Z Y, Sun S C, Sun Y. Genetic analysis of black grain wheat 76. *Acta Agriculturae Boreali-sinica*, 1997, 12 (Z): 54-56
- [34] 齐雪峰, 孙群, 杨力钢, 王建华, 孙宝启. 种皮颜色对乌拉尔甘草种子质量的影响. *种子*, 2007, 26 (7): 31-33
Qi X F, Sun Q, Yang L G, Wang J H, Sun B Q. Effect to seed-coat color on seed quality of *glycyrrhiza ura lensis* Fisc. *Seed*, 2007, 26 (7): 31-33
- [35] 邹吉祥, 金华, 朴仁哲, 刘磊, 姜国斌, 王颖, 王艳丽. 不同颜色羊草种子对其发芽率及愈伤组织诱导的影响研究. *安徽农业科学*, 2012, 40 (3): 1501-1503
Zou J X, Jin H, Pu R Z, Liu L, Jiang G B, Wang Y, Wang Y L. Seed germination and callus induction in *Leymus chinensis* of different seed colors. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40 (3): 1501-1503