

水培条件下水稻全生育期耐盐筛选鉴定

张 瑞, 王 洋, Shahid Hussain, 刘永昊, 邵星宇, 杨 硕, 陈英龙, 韦还和, 戴其根

(江苏省作物遗传生理重点实验室 / 江苏省作物栽培生理重点实验室 / 江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心 /

扬州大学水稻产业工程技术研究院, 扬州 225009)

摘要: 通过分析水稻在盐胁迫和对照情况下的农艺性状表型差异, 筛选出耐盐性强的水稻, 为盐碱地的开发利用提供优良种质资源。本研究是水稻全生育期水培耐盐筛选, 主要是对国内 120 份水稻品种进行耐盐性筛选, 设置 0、1.5‰、3‰、4.5‰ 和 6‰ 5 个盐浓度梯度, 在成熟期时分别测定各个水稻品种的株高、主茎茎粗、根长、倒 1 叶长、倒 1 叶宽、倒 2 叶长、倒 2 叶宽、绿叶数、主茎穗长、茎干重、叶干重、穗干重、根干重、地上部干重、根冠比、穗数、穗粒数、千粒重、结实率和理论产量。首先利用四分位差法确定本研究的最佳筛选盐浓度; 其次对最佳筛选盐浓度下的各个耐盐系数进行主成分分析, 在主成分分析基础上通过模糊函数法得到隶属函数值和综合评价值(D 值), 用 D 值和各个品种的耐盐系数值进行逐步回归分析和相关分析, 最后对各个水稻品种的 D 值用欧式距离和 ward 法进行系统聚类分析。结果表明 6‰ 盐浓度是最佳筛选盐浓度, 系统聚类分析结果表明在欧式距离为 3.5 处分类得到 11 个耐盐性极强的水稻品种, 19 个耐盐性强的水稻品种, 24 个耐盐性中等的水稻品种, 45 个耐盐性弱的水稻品种, 21 个耐盐性极弱的水稻品种。通过测定盐浓度为 6‰ 时水稻成熟期倒 1 叶长、倒 1 叶宽、主茎穗长、地上部干重和主茎茎粗, 利用回归方程可快速鉴定水稻的耐盐性大小。通过筛选得到的高耐盐水稻种质资源可以为进一步挖掘耐盐基因和培育水稻耐盐新品种奠定基础。

关键词: 水培; 盐胁迫; 水稻; 全生育期; 筛选

Identification of Salt-tolerant Rice Cultivars in the Growth Period under Hydroponic Conditions

ZHANG Rui, WANG Yang, SHAHID Hussain, LIU Yong-hao, SHAO Xing-yu,
YANG Shuo, CHEN Ying-long, WEI Huan-he, DAI Qi-gen

(Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Key Laboratory of Crop Cultivation and Physiology/
Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops/Research Institute of Rice Industrial Engineering
Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009)

Abstract: Through analyzing the phenotypic differences at agronomic traits under salt stress and control growth conditions, the rice cultivars showing salt-tolerant have been obtained valuable in breeding for new rice varieties adapting to the saline-alkali fields. In this study, we conducted a screening for salt-tolerant elite rice genotypes using 120 rice genotypes in China. This experiment was performed using hydroponic culture using five treatments (salt concentration: 0, 1.5‰, 3‰, 4.5‰ and 6‰) in the whole growth period. Dozens of phenotypic traits (Plant height, main stem thickness, root length, the length of top first leaf, the width of top first leaf, the length of top second leaf, the width of top second leaf, green leaf number, spike length of the main stem, stem dry weight, leaf dry weight, panicle dry weight, root dry weight, ground dry weight, root shoot ratio, spike

收稿日期: 2021-04-02 修回日期: 2021-05-25 网络出版日期: 2021-06-07

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210402001>

第一作者研究方向为作物环境与营养生态, E-mail: rui20201020@yeah.net

通信作者: 戴其根, 研究方向为作物高产高效栽培技术与理论, E-mail: qgdai2000@126.com

基金项目: 江苏省农业科技自主创新项目 (CX(21)3111); 江苏省重点研发计划项目 (BE2019343); 国家自然科学基金 (32101817); 国家科技支撑计划 (2015BAD01B03)

Foundation projects: Jiangsu Agriculture Science and Technology Innovation Fund (CX(21)3111), Jiangsu Province Key Research and Development Program (BE2019343), National Natural Science Foundation of China (32101817), National Science and Technology Support Program (2015BAD01B03)

number, spike grain number, thousands seeds weight, seed setting rate and theoretical yield of each rice variety) were quantified at the maturity stage. Firstly, the optimal salt concentration was determined by the quartile difference method. Secondly, principal component analysis was carried out for each salt-tolerant coefficient under the optimal screening salt concentration. Based on the principal component analysis, membership function value and comprehensive evaluation value (D value) was obtained by using fuzzy function method. Stepwise regression analysis and correlation analysis were carried out with D value and salt-tolerant coefficient value of each variety. Finally, the D values of each rice variety were systematically analyzed by the Euclidean distance and Ward method. The results showed that 6‰ salt concentration was the best salt concentration for screening, the results of systematic cluster analysis showed that 11 rice varieties with highly salt-tolerant, 19 salt-tolerant, 24 medium salt-tolerant, 45 salt-sensitive, and 21 highly salt-sensitive were classified (Euclidean distance 3.5). The optimal salt concentration was 6‰ during the whole growth period of hydroponics. The salt-tolerant of rice could be quickly identified by using the regression equation by measuring the length of top first leaf, the width of top first leaf, main stem spike length, ground dry weight and main stem thickness of rice at maturity. Collectively, this study identified highly salt-tolerant rice germplasm resource which laid a foundation for future exploring salt-tolerant genes and breeding for rice varieties.

Key words: hydroponic; salt stress; rice; the whole growth period; screening

据不完全统计,全球盐碱地面积 9.54 亿 hm^2 ,中国盐碱地面积总量占全球盐碱地总量的 10.4%^[1],主要分布在中国的东北平原,西北干旱、半干旱地区,黄淮海平原及东部沿海地区^[2]。中国盐渍化土壤面积占全国可利用土地面积的 5%,其中,陕、甘、宁、蒙和新盐碱地面积占全国盐渍化土壤面积的 70% 以上^[3],沿海滩涂合理利用后将会解决中国土地资源紧缺的问题^[4],它们都是中国重要的土地后备资源。土地盐碱化影响了 1/3 的灌溉土地,限制了农作物的产量潜力的发挥^[5]。

盐胁迫是由岩石风化、大量盐水灌溉、海水进入淡水地区、水资源管理不善、高蒸发和定期使用化肥造成的^[6]。水稻是盐敏感作物,盐胁迫主要通过破坏细胞的离子和渗透平衡来发挥其危害作用^[7-8],土壤中高浓度的盐分使植物难以吸收水分,而细胞中的盐分,特别是钠离子和氯离子对植物代谢有毒害作用^[9]。提高水稻耐盐性将会增加盐碱地的开发潜力^[10]。

目前应对盐碱危害的主要策略包括作物新品种的选育、潜在作物现有种质的筛选和选择、转基因作物的生产和渗透保护剂的外用等^[11]。目前国内盐碱地的研究主要是运用水稻栽培、绿化、造林等关键技术改良盐碱地;针对盐碱地的土壤成分进行分析,并提出改良方法;解决沿海盐碱地治理,种植棉花改良盐碱地 3 个方面^[12]。盐碱胁迫会降低稻米产量及品质,但是水稻各品种之间的耐盐差异性大,因此筛选出耐盐的品种显得尤为重要。其中申吴燕等^[13]

通过测定萌发期发芽数、根长、芽长对 12 种植物进行耐盐性筛选。韩冉等^[14]和孙现军等^[15]先通过芽期试验确定最适耐盐筛选浓度,后对小麦种质进行全生育期的耐盐筛选、鉴定与评价。Wu 等^[16]对 549 个油菜种质资源进行芽期耐盐性评价,先随机用少量品种确定筛选耐盐浓度,后用该盐浓度对大量油菜种质资源进行耐盐性鉴定。耿雷跃等^[17]通过分蘖期对水稻进行耐盐性鉴定并进行种质筛选。韩晓丽等^[18]待 252 份水稻长至三叶一心时进行盐胁迫处理并进行苗期耐盐种质资源的筛选;Pandian 等^[19]介绍了不同形式的耐盐筛选,如纸质筛选、溶液筛选、微型小区筛选、小区筛选和大田筛选。

鉴于土壤盐碱含量和肥力分布的均匀性,芽期、苗期和分蘖期耐盐不一定代表全生育期特别是抽穗开花后仍具有高耐盐性,考虑到水稻生长介质的均一性和水稻各个生育时期的耐盐性的综合性,本研究设计为水培全生育期试验。将来自各个地方的水稻品种按耐盐性大小分类,可为水稻育种和水稻耐盐机理的研究提供耐盐性不同的种质资源,为沿海滩涂和盐碱地的开发利用提供耐盐性强的水稻种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为各个地方耐盐较为良好的水稻品种,共筛选品种 206 份,编号为 1~206(表 1)。2020 年虽遇灌浆期高温,但有 135 份籼稻品种未受影响,

其中 9 份由袁隆平院士提供(编号 5~13), 10 份由湖南农业大学提供(编号 31~32, 70~77), 6 份由广东海洋大学提供(编号 53~58), 29 份由湖南杂交水稻研究中心提供(编号 90~91, 180~206), 12 份来源地为广东湛江(编号 78~89), 4 份来源地为浙

江宁波(编号 1~4), 65 份来源地为湖南长沙(编号 39~52, 129~179)。135 份材料中 15 份品种因为南种北移, 温光条件不足, 不能抽穗成熟, 故而不进行耐盐性评价, 仅 120 份品种进行耐盐性分级筛选评价。

表 1 本研究中水稻参试品种

Table 1 The tested varieties of rice in this study

编号 No.	名称 Name	编号 No.	名称 Name	编号 No.	名称 Name	编号 No.	名称 Name
1	甬优 1662	54	海优 6 号	135	湘陵 628S/R43-02	165	创 5S/R1080
2	甬优 1540	58	海优 1 号	136	科 BX58-2S/R1053	166	科 WBX-2S/R2257
3	甬优 4949	70	1146S/ 香粤农	137	科 4362A/R2292	167	桃农 1A/R1089
4	甬优 2640	71	1146S/R161	138	创源 A/R2257	168	科 4363A/R43-02
5	胜 A × SQ114A1	72	1146S/R2803	139	创 5S/R2292	169	隆科 638S/R1064
6	深两优红 3	73	1146S/R391	140	科 4363A/R2292	170	舒源 A/R2257
7	固广油占	74	1146S/R751	141	桃农 1A/R2292	171	科 4364A/R2291
8	广晶美占	75	1146S/R313	142	203A/R1044	172	203A/R43-02
9	抗 3A × 广红 3 号	76	1146S/R889	143	天香 A/R43-02	173	科 WBX-2S/R2292
10	广晶油占	77	1146S/5W01	144	珞红 4A/R43-02	174	深 95A/R1044
11	胜优 1002	78	NY83	145	科 4364A/R1038	175	203A/R1040
12	抗 3A × 金美占	79	NY8	146	科 BX58-2S/R1033	176	科 4363A/R2257
13	和两优红 3	80	NY26	147	科 WBX-2S/R1053	178	桃农 1A/R1033
31	扬稻 6 号	81	NY24	148	创 5S/R1038	179	创 5S/R1078
32	丰优香占	82	NY28	149	科 115A/R43-02	180	20H041
39	C815S/9 海 28	83	NY86	150	科 BX58-2S/R1080	181	20H025
40	416S/9 海 55	84	NY64	151	L8704A/R1044	183	20H036
41	神农 A/ 海品 12	85	NY12	152	BX58-2S/R1064	185	20H023
42	木取香 A/ 海品 21	86	NY36	153	湘陵 628S/R1089	186	20H039
43	神农 A/ 海品 21	87	NY51	154	桃农 1A/R1040	188	20H037
44	C815S/9 海 30	88	NY35	155	科 BX58-2S/R1078	189	20H022
45	甜 A/ 海品 12	89	NY18	156	科 WBX-2S/R1038	192	20H026
46	C815S/9 海 69	90	盛两优 358	157	科 4362A/R2257	198	20H040
47	416S/9 海 28	91	菁两优 252	158	科 4362A/R1078	200	20H035
48	C815S/ 重 08	129	科 4364A/R2292	159	隆科 638S/R1078	201	8 优 9 号
49	抗旱 5A/ 海品 21	130	1037A/R1044	160	103A/R2257	202	6 优 9 号
50	甜 A/ 海品 21	131	瑞象 A/R2257	161	科 4364A/R2257	203	两优 139
51	C815/9 海 55	132	科 20A/R1044	162	科 WBX-2S/R1078	204	3 优 9 号
52	木取香 / 海品 12	133	深 95A/R2257	163	隆科 638S/R1038	205	5 优 9 号
53	海优 7 号	134	桃农 1A/R2257	164	75A/R43-02	206	湘两优 900

1.2 试验设计

试验于 2020 年在扬州大学农学院的水培试验基地进行,水培池长 580 cm,宽 142 cm,深 45 cm。每个板子 14 个定植孔,孔径 4 cm,孔间距 10 cm,2 个板之间的孔间距为 16 cm。大田育秧,5 月 16 日播种,6 月 16 日移栽,移栽时选取大小一致的苗,每穴移栽 2 株,每个品种栽插 5 穴。该试验共设 5 个盐浓度处理(0、1.5‰、3‰、4.5‰、6‰,该比例为质量比),试验用盐为工业用盐。水培池全营养液由 Epsino 营养液与 Arnon 微量元素营养液混合而成。移栽时为全营养液,移栽后 20 d 为 1/2 全营养液,抽穗后为 1/4 全营养液。水池顶部有遮雨棚,全生育期避雨。每日用稀硫酸调节 pH 值,使其保持在 5.5 左右。用泵增氧以保持营养液的不间断流动,从而使各个水培池部位的养分浓度、盐浓度及 pH 等保持一致,适期进行病虫害防治^[20]。

1.3 测量指标

成熟期时分别测定水稻株高、主茎茎粗、根长、倒 1 叶长、倒 1 叶宽、倒 2 叶长、倒 2 叶宽、绿叶数、穗长、茎干重、叶干重、穗干重、根干重、地上部干重、根冠比、穗数、穗粒数、千粒重、结实率和理论产量,每个指标测定 2 个生物学重复。

株高的测定:使用直尺测量植株的绝对高度^[21];主茎茎粗的测定:使用电子游标卡尺测定水稻基部 5 cm 处的宽度;根长的测定:将水稻植株从水培池中取出,用吸水纸吸干根部水分,测定水稻植株最长根根长;倒 1 叶长、宽的测定:使用直尺测定水稻剑叶的叶长、叶宽(最宽处);倒 2 叶长、宽的测定:使用直尺测定水稻剑叶下面的 1 片叶子的叶长、叶宽;绿叶数的测定:成熟期时水稻植株保留的绿色叶片的数量;穗长的测定:测定水稻主茎穗子茎基部到穗顶部(不连芒)的距离;茎、叶、穗、根干重的测定:成熟期取样后,按器官分类,后将分装好的植株样品在 105 ℃下杀青 30 min,80 ℃下烘干 48 h,烘干至恒重后分别称重;地上部干重的测定:地上部干重 = 茎干重 + 叶干重 + 穗干重;根冠比的测定:根冠比 = 水稻地下部干重 / 地上部干重;穗数、穗粒数、千粒重、结实率和理论产量的测定:穗数为水培池每孔的水稻穗数;穗粒数为每个水稻穗子的粒数;千粒重为 1000 粒饱满水稻种子的重量;结实率 = 实粒数 / (实粒数 + 瘪粒数);理论产量为每 667 m² 的水稻重量,单位为 kg/667 m²,其中,实粒数和瘪粒数皆通过水漂法确定;耐盐系数计算:耐盐系数(STI, saline tolerance index) = 盐处理平

均值 / 对照平均值。

1.4 最适筛选盐浓度的确定

最适筛选盐浓度采用四分位差法来确定^[22],偏度和峰度用来判断数据是否是正态分布,偏度和峰度越趋近于 0,表示该浓度下的各个品种间的各个耐盐系数值越趋近于正态分布。四分位差反映了中间 50% 数据的离散程度,四分位差越小,说明中间数据越集中;四分位差越大,说明中间数据越分散。

1.5 统计分析

首先用公式将各个盐浓度下调查指标转换为耐盐系数。以各个性状的耐盐胁迫指数为指标评价各性状对盐胁迫的响应。利用中位数评估数据总体情况,四分位差评估数据变异程度,峰度和偏度评估数据是否正态分布^[22]。不同品种水稻各综合指标的隶属函数值和权重,及不同品种水稻的综合耐盐能力大小计算公式如下:

$$\mu(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min});$$

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_i) \times W_j], i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n。$$

其中 X_i 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^[21]。 W_j 表示第 j 个综合指标的权重; P_j 代表经主成分分析所得各个水稻品种的第 j 个综合指标的贡献率^[23]。 D 值为各个水稻品种在盐胁迫条件下由综合指标评价所得的耐盐性综合评价值。

用 Excel 2019 整理数据,各个水稻品种农艺性状参数的耐盐系数经过主成分分析,得到隶属函数值,最后利用隶属函数值和权重得到水稻耐盐性综合评价值(D 值)。将 D 值作为因变量,各个水稻品种的农艺性状参数的耐盐系数值作为自变量,通过进行逐步回归分析,可得到对水稻耐盐能力影响较大的几个参数指标和数学模型方程,利用该方程和这些参数指标可以快速便捷地判定水稻耐盐性的大小^[22]。利用 SPSS 26 进行主成分分析、隶属函数分析、多元逐步回归分析及聚类分析等多元分析。

2 结果与分析

2.1 耐盐筛选最佳盐浓度的确定

由图 1 可知,随着盐浓度的增加,水稻的株高和生物量明显降低。从表 2 可知,大部分参数的耐盐系数的中位数随着盐浓度的增加而降低,说明随着

盐浓度的增加,对植株生长发育的抑制影响越大。在 4 个盐浓度胁迫处理下,20 个参数指标的耐盐系数均呈偏态分布。在 1.5‰盐浓度下,根干重、穗粒数和理论产量 3 个农艺性状指标的耐盐系数的四分位差最大;在 3‰盐浓度下,主茎茎粗、根长、绿叶数、穗干重和穗粒数(和 1.5‰盐浓度的四分位差值相同)5 个农艺性状指标的耐盐系数的四分位差值达到最大;在 4.5‰盐浓度下,株高、倒 1 叶长、倒 1

叶宽、倒 2 叶宽和绿叶数 5 个农艺性状指标的耐盐系数的四分位差值达到最大;在 6‰盐浓度下,主茎茎粗、倒 2 叶长、茎干重、叶干重、地上部干重、根冠比、穗数、千粒重和结实率 9 个农艺性状品种间的耐盐系数的四分位差达到最大。穗长在各个盐浓度下四分位差相同,皆为 0.12。由此可知,在 6‰盐浓度下各个水稻品种间的中间 50% 的耐盐系数差异较大,该浓度可作为耐盐筛选的最佳浓度。

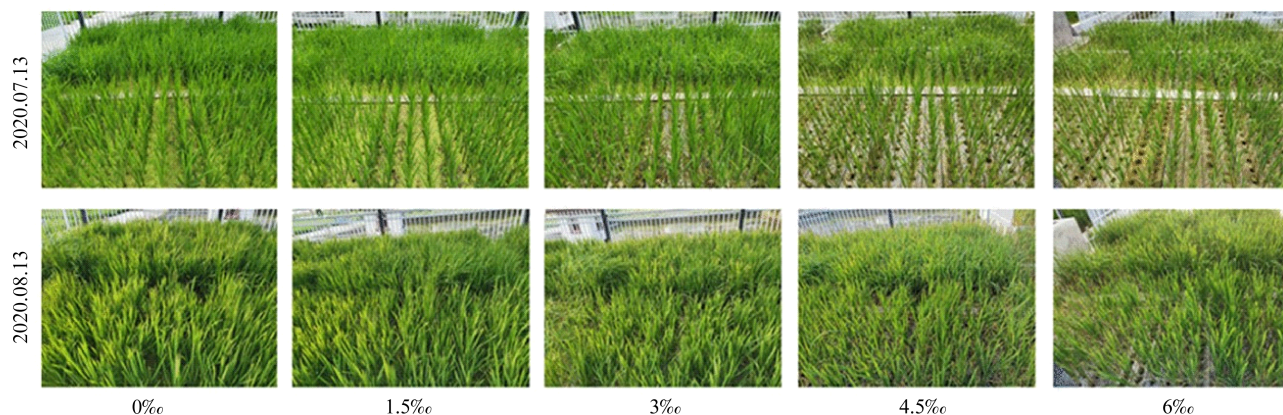


图 1 水稻各个盐处理对比图

Fig.1 Comparison of different salt treatments in rice

2.2 主成分分析

各主成分特征值、载荷向量及对表型的贡献率如表 3 所示,通过对 6‰盐浓度下各个水稻种质资源的 20 个农艺性状的耐盐系数进行主成分分析,根据累积贡献率大于 85% 的标准,主成分分析将盐胁迫处理下水稻成熟期的 20 个农艺性状的耐盐系数降维成 10 个彼此独立的主成分。从表 3 可知,地上部干重、根干重、穗干重、茎干重和叶干重对主成分 1 的贡献率最大;倒 2 叶长、倒 1 叶长、穗长、倒 2 叶宽和倒 1 叶宽对主成分 2 的贡献率最大;穗粒数、千粒重、理论产量和绿叶数对主成分 3 的贡献率最大。

2.3 隶属函数分析

参与试验且成熟的 120 份水稻品种的主成分值如表 4 所示,利用模糊函数法得到相对应的隶属函数值,从表 3 可知,10 个主成分的权重分别为 33.898%、16.825%、8.793%、8.408%、6.524%、6.442%、5.501%、5.072%、4.857% 和 3.681%,进而运用权重和隶属函数值得到各个水稻品种的成熟期耐盐性综合评价值(D 值)。表 4 为根据耐盐的能力值 D 值大小进行耐盐性强弱排列,D 值越大,耐盐性越强,D 值越小,耐盐性越弱,该方法较为客

观地反应了各个参与试验的水稻品种的耐盐性大小。其中,203A/R1044 的耐盐性最强,203A/R43-02 和甜 A/海品 21 的耐盐能力次之;1146S/香粳农的耐盐性最弱,木取香/海品 12 和深 95A/R2257 次之。

2.4 回归分析

本研究将 D 值作为因变量,将 6‰盐浓度下 20 个农艺性状的耐盐系数作为自变量进行逐步回归分析,建立了最优回归方程: $D \text{ 值} = 0.152 + 0.004LT1 + 0.005GDW + 0.007SL - 0.027MST + 0.047WT1$ 。表 5 对回归方程的估计精度进行评价,60.83% 的水稻品种预测精度在 90% 以上,30.83% 的水稻品种预测精度在 80%~90% 之间,7.50% 的水稻品种预测精度在 70%~80% 之间,203A/R1044 的预测精度为 69.987%,是所有水稻品种中的预测最低值。

由回归方程可知,相比其他单项参数而言,倒 1 叶宽对盐胁迫的反应最为敏感,其次为穗长、地上部干重和倒 1 叶长。这些单项参数指标值越大,D 值越大,该水稻品种的耐盐性越强,利用这几个指标可以快速且便捷地判断水稻品种的耐盐性,该数学模型方程可用于水稻成熟期耐盐性的快速评价。

表 2 不同盐浓度下 20 个农艺性状耐盐系数描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of the saline tolerance index of twenty agronomic characters under different salinity

统计量 Statistics	盐浓度 (‰) Salinity	株高 PH	主茎 茎粗 MST	根长 RL	倒 1 叶长 LT1	倒 1 叶宽 WT1	倒 2 叶长 LT2	倒 2 叶宽 WT2	绿叶数 GLN	穗长 SL	茎干重 SDW	叶干重 LDW	穗干重 SDW	根干重 RDW	地上部 干重 GDW	根冠比 RSR	穗数 SN	穗粒数 SGN	千粒重 TSW	结实率 SSR	理论 产量 TY
中位数 Median	1.5	0.95	0.90	0.96	0.92	0.92	0.95	0.95	0.89	0.96	0.99	0.83	0.79	1.05	0.87	1.20	1.00	0.84	0.89	0.98	0.68
	3.0	0.94	0.82	0.92	0.93	0.88	0.92	0.88	0.78	0.96	0.83	0.75	0.74	0.93	0.78	1.13	1.00	0.75	0.87	0.90	0.57
	4.5	0.88	0.77	0.86	0.88	0.80	0.86	0.78	0.39	0.96	0.74	0.78	0.59	0.75	0.66	1.09	1.00	0.63	0.81	0.83	0.45
	6.0	0.85	0.81	0.84	0.79	0.71	0.82	0.71	0.25	0.96	0.80	0.86	0.47	0.80	0.63	1.19	0.89	0.54	0.79	0.71	0.32
四分位差 Interquartile range	1.5	0.07	0.17	0.19	0.24	0.13	0.18	0.14	0.47	0.12	0.58	0.42	0.48	0.73	0.41	0.48	0.42	0.55	0.08	0.28	0.43
	3.0	0.11	0.19	0.20	0.25	0.16	0.21	0.16	0.54	0.12	0.51	0.50	0.54	0.61	0.48	0.43	0.43	0.55	0.09	0.28	0.42
	4.5	0.13	0.14	0.16	0.29	0.17	0.22	0.19	0.54	0.12	0.45	0.42	0.43	0.66	0.42	0.45	0.53	0.52	0.10	0.37	0.28
	6.0	0.08	0.19	0.15	0.28	0.15	0.26	0.18	0.32	0.12	0.68	0.61	0.45	0.70	0.50	0.56	0.57	0.51	0.12	0.40	0.33
偏度 Skewness	1.5	-1.37	0.27	0.64	0.29	-0.90	0.15	2.72	4.89	-3.21	1.07	0.95	1.87	1.10	0.94	2.22	1.51	2.34	-2.68	0.30	0.56
	3.0	0.49	0.43	0.55	0.33	-0.42	0.60	1.46	2.45	-3.21	4.36	9.70	1.16	5.66	4.37	0.86	0.99	0.93	-0.65	0.68	1.28
	4.5	0.27	0.70	0.47	0.96	-0.62	0.09	1.16	2.45	-3.21	1.85	1.56	1.74	1.25	1.21	3.64	0.80	2.28	3.89	1.13	1.54
	6.0	-0.68	0.60	0.93	0.00	-0.62	0.06	0.16	6.06	-3.21	1.54	2.11	1.83	1.26	1.04	1.14	1.65	3.53	0.65	0.16	1.66
峰度 Kurtosis	1.5	6.00	-0.32	1.35	-0.08	9.86	-0.28	17.61	30.33	23.50	2.05	0.96	6.17	0.84	1.24	9.03	4.03	10.48	18.92	1.62	-0.06
	3.0	2.26	-0.13	2.91	-0.14	5.60	0.97	8.76	12.53	23.50	29.87	101.29	1.85	44.69	32.37	2.48	1.01	1.23	11.11	1.71	3.39
	4.5	-0.21	1.69	0.48	1.74	4.16	0.73	6.56	9.63	23.50	6.37	2.93	5.24	1.95	2.56	23.70	0.69	6.89	34.67	4.19	4.65
	6.0	3.43	-0.07	3.47	-0.74	2.09	0.04	1.16	50.97	23.50	4.16	8.00	5.46	2.25	1.40	3.52	4.30	15.73	2.42	0.28	5.15

PH: Plant height, MST: Main stem thickness, RL: Root length, LT1: The length of top 1st leaf, WT1: The width of top 1st leaf, LT2: The length of top 2nd leaf, WT2: The width of top 2nd leaf, GLN: Green leaf number, SL: Spike number, SDW: Stem dry weight, LDW: Leaf dry weight, SDW: Spike dry weight, RDW: Root dry weight, GDW: Ground dry weight, RSR: Root shoot ratio, SN: Spike number, SGN: Spike grain number, TSW: Thousands seeds weight, SSR: Seed setting rate, TY: Theoretical yield. The same as below

表 3 主成分特征向量矩阵、特征值、方差和累积贡献率

Table 3 Principal component eigenvector matrix, eigenvalue, variance and cumulative contribution rate

性状 Traits	主成分 Comprehensive indexes									
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
株高 PH	0.591	0.226	0.032	0.146	0.212	-0.201	-0.206	-0.102	-0.286	0.073
主茎茎粗 MST	0.538	0.140	0.160	0.156	0.165	0.313	-0.212	-0.469	-0.159	0.269
根长 RL	0.566	0.123	0.189	-0.173	-0.100	0.046	0.204	-0.385	0.221	-0.517
倒 1 叶长 LT1	0.281	0.712	0.035	0.160	0.347	-0.066	-0.086	0.234	-0.037	-0.040
倒 1 叶宽 WT1	0.557	0.366	0.255	0.241	-0.324	0.147	-0.073	-0.062	-0.182	-0.014
倒 2 叶长 LT2	0.229	0.775	-0.084	0.114	0.156	-0.033	0.123	0.315	0.031	0.002
倒 2 叶宽 WT1	0.400	0.405	0.221	0.180	-0.547	0.021	0.258	-0.045	-0.016	0.143
绿叶数 GLN	0.548	-0.034	0.340	-0.122	-0.345	-0.220	0.120	0.305	0.219	0.248
穗长 SL	0.312	0.618	-0.077	0.148	0.255	0.218	0.076	0.007	0.434	-0.072
茎干重 SDW	0.801	-0.257	-0.110	-0.217	0.113	-0.210	-0.001	0.104	-0.009	-0.055
叶干重 LDW	0.747	-0.219	-0.116	-0.101	0.112	-0.138	0.026	0.106	-0.130	-0.058
穗干重 SDW	0.822	-0.144	-0.104	0.086	0.028	-0.008	0.070	-0.092	-0.037	0.010
根干重 RDW	0.849	-0.149	0.035	-0.432	0.045	0.086	0.011	0.069	-0.020	0.060
地上部干重 GDW	0.920	-0.251	-0.126	-0.094	0.075	-0.155	0.025	0.019	-0.053	-0.022
根冠比 RSR	-0.021	0.126	0.290	-0.713	0.136	0.517	-0.105	0.086	0.104	0.174
穗数 SN	0.445	-0.353	-0.380	0.288	-0.028	0.065	-0.196	-0.089	0.521	0.172
穗粒数 SGN	-0.290	-0.043	0.676	-0.055	0.386	-0.359	0.264	-0.181	0.069	0.061
千粒重 TSW	0.129	-0.220	0.535	0.171	-0.108	0.031	-0.639	0.253	0.077	-0.285
结实率 SSR	0.218	-0.447	0.015	0.281	0.095	0.577	0.359	0.280	-0.245	-0.149
理论产量 TY	0.126	-0.614	0.405	0.476	0.268	0.065	0.170	0.073	0.156	0.119
特征值 Eigen value	5.766	2.862	1.496	1.430	1.110	1.096	0.936	0.863	0.826	0.626
权重 (%) Weight	33.898	16.825	8.793	8.408	6.524	6.442	5.501	5.072	4.857	3.681
方差贡献率 (%) Variance contributive ratio	28.832	14.311	7.479	7.151	5.549	5.479	4.679	4.314	4.131	3.131
累积方差贡献率 (%) Cumulative variance contributive ratio	28.832	43.143	50.622	57.773	63.323	68.802	73.481	77.794	81.925	85.055

表 4 各个水稻品种的主成分值、隶属函数值和 D 值

Table 4 Principal component value, membership function value and D value of each rice variety

编号 No.	主成分值 Principal component value										隶属函数值 Membership function value										D 值 D-value
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	μ_{10}	
142	2.95	-0.38	3.41	-0.46	-2.92	-1.94	-0.44	2.25	2.96	3.45	0.96	0.45	0.97	0.45	0.00	0.04	0.50	0.95	1.00	1.00	0.69
172	2.04	2.04	0.93	-0.61	-0.38	0.39	0.62	-3.25	1.37	-2.26	0.78	0.91	0.49	0.42	0.47	0.45	0.67	0.00	0.74	0.00	0.63
50	2.23	1.15	0.72	-1.68	-2.08	0.05	1.35	0.86	-0.32	2.06	0.82	0.74	0.45	0.21	0.16	0.39	0.79	0.71	0.47	0.76	0.63
180	1.15	2.35	-0.99	0.85	2.42	-0.33	-1.11	-1.37	0.98	0.83	0.60	0.97	0.12	0.72	0.99	0.33	0.39	0.32	0.68	0.54	0.62
157	2.58	-0.45	-0.81	0.12	1.22	-0.68	0.32	0.70	0.16	-0.22	0.89	0.43	0.16	0.57	0.76	0.27	0.62	0.68	0.55	0.36	0.61
188	3.13	-0.81	-0.29	-1.55	0.11	0.11	0.48	0.64	-0.30	-1.30	1.00	0.36	0.26	0.23	0.56	0.40	0.65	0.67	0.47	0.17	0.60
72	2.50	-0.26	-0.81	-0.52	2.09	-0.49	-0.99	0.42	-1.31	-0.14	0.87	0.47	0.16	0.44	0.92	0.30	0.41	0.63	0.31	0.37	0.59
4	1.19	0.55	2.26	1.18	-0.47	-1.98	0.33	1.07	0.24	-0.43	0.61	0.63	0.74	0.79	0.45	0.04	0.63	0.74	0.56	0.32	0.59

表 4(续)

编号	主成分值 Principal component value										隶属函数值 Membership function value										D 值
No.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	μ_{10}	D-value
1	1.96	0.43	1.02	-1.31	-0.91	0.25	-0.31	1.16	0.08	-1.70	0.77	0.60	0.51	0.28	0.37	0.43	0.52	0.76	0.53	0.10	0.58
163	1.93	-0.47	0.02	1.46	0.90	0.07	-0.66	-1.38	-0.33	-0.19	0.76	0.43	0.32	0.84	0.70	0.40	0.46	0.32	0.47	0.36	0.58
87	0.69	0.56	0.23	1.75	-0.63	0.95	0.75	0.03	1.19	1.14	0.51	0.63	0.36	0.90	0.42	0.55	0.69	0.56	0.71	0.59	0.57
204	1.52	-0.41	0.30	0.35	0.38	0.68	0.11	0.06	-0.30	-0.04	0.68	0.44	0.37	0.62	0.61	0.51	0.59	0.57	0.47	0.39	0.56
171	0.97	0.71	0.60	-0.34	-0.28	2.01	0.81	1.21	-1.46	-1.81	0.57	0.66	0.43	0.48	0.49	0.74	0.70	0.77	0.28	0.08	0.55
86	0.72	0.51	-1.37	1.68	0.73	0.75	-0.22	0.98	0.93	0.55	0.52	0.62	0.05	0.89	0.67	0.52	0.54	0.73	0.67	0.49	0.55
90	0.09	0.39	-0.03	1.80	0.68	1.60	1.97	1.97	-0.71	-1.02	0.39	0.60	0.31	0.91	0.66	0.67	0.89	0.90	0.41	0.22	0.55
161	0.87	0.82	0.26	-0.14	1.09	-0.12	0.11	0.43	-0.23	-0.69	0.55	0.68	0.36	0.52	0.74	0.36	0.59	0.63	0.48	0.27	0.55
43	1.86	-0.63	-0.76	-0.83	0.65	-1.17	0.24	2.57	0.25	-1.27	0.75	0.40	0.17	0.38	0.66	0.18	0.61	1.00	0.56	0.17	0.54
11	1.09	0.24	1.05	-0.14	0.24	0.97	-0.50	-0.24	-1.38	-0.40	0.59	0.57	0.51	0.52	0.58	0.55	0.49	0.52	0.30	0.33	0.54
58	-0.04	0.31	0.88	1.94	1.44	0.27	0.35	0.36	-1.23	2.19	0.37	0.58	0.48	0.94	0.80	0.43	0.63	0.62	0.32	0.78	0.53
3	0.31	0.81	1.68	1.95	-0.09	0.41	-3.03	1.17	0.16	-1.66	0.44	0.68	0.63	0.94	0.52	0.46	0.08	0.76	0.55	0.10	0.53
41	0.27	1.81	-1.33	1.17	0.45	0.10	-0.14	-0.73	-0.19	0.58	0.43	0.87	0.06	0.78	0.62	0.40	0.55	0.43	0.49	0.50	0.52
85	1.29	-0.87	-0.01	1.19	-0.67	1.22	-0.97	-1.17	0.53	0.01	0.63	0.35	0.31	0.79	0.41	0.60	0.41	0.36	0.61	0.40	0.52
134	0.21	1.24	0.40	0.41	-0.16	0.26	0.18	0.21	0.21	-1.31	0.42	0.76	0.39	0.63	0.51	0.43	0.60	0.59	0.55	0.17	0.51
82	0.35	1.03	1.21	0.60	0.23	0.50	-0.69	-1.50	-2.22	0.55	0.44	0.72	0.54	0.67	0.58	0.47	0.46	0.30	0.16	0.49	0.51
76	1.03	0.23	-0.23	-0.02	0.14	-0.12	0.46	-1.86	1.38	-1.39	0.58	0.56	0.27	0.54	0.56	0.36	0.65	0.24	0.74	0.15	0.51
202	1.07	-0.62	-0.61	0.39	2.21	0.53	-1.25	-0.07	-1.15	0.01	0.59	0.40	0.19	0.63	0.95	0.48	0.37	0.55	0.33	0.40	0.51
44	1.00	0.52	-1.13	-0.83	0.21	-0.86	0.59	0.20	-0.28	1.62	0.58	0.62	0.09	0.38	0.58	0.23	0.67	0.59	0.48	0.68	0.51
77	0.62	0.95	-0.02	1.05	-0.67	-1.07	-0.89	0.67	-1.19	-0.01	0.50	0.70	0.31	0.76	0.41	0.20	0.43	0.67	0.33	0.39	0.51
189	0.28	0.60	-0.03	1.88	-2.02	-0.10	1.34	0.24	-0.27	0.14	0.43	0.64	0.31	0.93	0.16	0.37	0.79	0.60	0.48	0.42	0.50
145	0.45	0.47	-0.01	0.42	-0.33	1.32	1.09	-1.42	0.67	-1.71	0.46	0.61	0.31	0.63	0.48	0.62	0.75	0.31	0.63	0.10	0.50
137	0.00	2.49	-1.13	0.43	-0.04	-1.52	0.63	-0.93	-1.11	1.48	0.38	1.00	0.09	0.63	0.53	0.12	0.67	0.40	0.34	0.65	0.50
47	1.01	-0.20	-0.89	-0.80	-0.28	0.62	0.41	-0.26	0.68	0.89	0.58	0.48	0.14	0.39	0.49	0.49	0.64	0.51	0.63	0.55	0.50
183	-0.10	1.01	0.38	-0.68	0.09	0.85	0.12	1.00	0.73	-0.33	0.36	0.72	0.38	0.41	0.55	0.53	0.59	0.73	0.64	0.34	0.49
84	0.65	0.31	-0.42	0.36	0.27	0.29	-0.42	-0.42	-1.59	0.63	0.50	0.58	0.23	0.62	0.59	0.44	0.50	0.49	0.26	0.51	0.49
205	0.06	-0.46	-0.09	0.10	1.55	2.31	0.17	0.14	-0.18	0.70	0.39	0.43	0.29	0.57	0.82	0.79	0.60	0.58	0.49	0.52	0.49
201	-0.08	-0.68	0.22	2.24	-1.16	1.61	0.61	0.00	2.03	-0.30	0.36	0.39	0.35	1.00	0.32	0.67	0.67	0.56	0.85	0.34	0.49
42	0.94	0.12	1.39	-0.73	0.49	-1.26	-1.78	0.24	-0.83	-1.86	0.56	0.54	0.58	0.40	0.63	0.16	0.28	0.60	0.39	0.07	0.49
12	0.65	-0.89	-0.63	0.15	0.37	0.15	1.43	0.67	0.65	-0.05	0.50	0.35	0.19	0.58	0.61	0.41	0.80	0.67	0.63	0.39	0.48
2	0.35	-0.64	-0.16	0.54	-0.12	0.38	1.57	2.35	-0.51	-1.89	0.45	0.40	0.28	0.66	0.52	0.45	0.83	0.96	0.44	0.06	0.48
73	0.60	-0.83	1.37	-0.04	0.75	-0.23	0.10	-1.90	-0.80	1.37	0.50	0.36	0.57	0.54	0.68	0.34	0.59	0.23	0.39	0.63	0.48
40	0.60	0.11	-1.15	0.23	0.31	0.00	0.78	-0.34	0.26	-1.47	0.49	0.54	0.09	0.59	0.60	0.39	0.70	0.50	0.56	0.14	0.48
143	-0.99	-1.61	3.36	1.92	2.46	-0.61	2.61	-0.13	1.16	0.50	0.18	0.21	0.96	0.94	0.99	0.28	1.00	0.54	0.71	0.48	0.47
129	-0.21	1.49	-0.45	-0.18	-0.11	0.52	-0.18	-0.35	-0.75	1.43	0.33	0.81	0.23	0.51	0.52	0.48	0.54	0.50	0.40	0.65	0.47
153	0.50	-0.07	-1.25	0.02	0.18	-0.51	1.57	-0.12	-0.79	1.46	0.48	0.51	0.07	0.55	0.57	0.30	0.83	0.54	0.39	0.65	0.47
132	-0.10	0.80	-0.16	-0.63	0.96	1.16	-0.41	0.00	-0.40	-0.06	0.35	0.67	0.28	0.42	0.72	0.59	0.51	0.56	0.46	0.38	0.47
46	-0.73	1.61	-1.35	0.81	0.50	-0.27	0.66	1.53	-0.10	0.11	0.23	0.83	0.05	0.71	0.63	0.34	0.68	0.82	0.51	0.41	0.46

表 4(续)

编号	主成分值 Principal component value										隶属函数值 Membership function value										D 值
No.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6	μ_7	μ_8	μ_9	μ_{10}	D-value
74	-0.38	0.78	0.11	0.94	0.46	-1.37	-0.45	0.73	0.59	-0.01	0.30	0.67	0.33	0.74	0.62	0.14	0.50	0.68	0.62	0.39	0.46
179	-0.97	1.76	-0.41	-1.15	2.09	0.12	0.82	0.62	0.70	0.71	0.18	0.86	0.23	0.31	0.93	0.41	0.71	0.66	0.63	0.52	0.46
91	0.66	-0.32	-0.46	0.20	0.23	-0.13	-0.34	0.03	-1.44	-0.60	0.51	0.46	0.22	0.59	0.58	0.36	0.52	0.56	0.29	0.29	0.46
176	-0.03	0.18	0.80	1.30	-0.40	0.72	-0.89	-1.27	-1.77	0.50	0.37	0.56	0.47	0.81	0.46	0.51	0.43	0.34	0.23	0.48	0.46
151	0.31	-1.32	0.76	0.66	0.63	-0.05	0.93	0.26	-0.80	-0.23	0.44	0.27	0.46	0.68	0.65	0.38	0.72	0.60	0.39	0.35	0.46
144	-0.25	1.47	-1.25	-0.88	0.48	-0.49	-0.26	1.19	0.75	0.13	0.33	0.80	0.07	0.37	0.63	0.30	0.53	0.76	0.64	0.42	0.46
181	0.25	-0.29	0.11	-0.29	-0.64	1.18	-0.08	-0.52	-0.54	1.35	0.42	0.46	0.33	0.49	0.42	0.59	0.56	0.47	0.43	0.63	0.46
9	0.50	-1.07	-0.08	0.20	-0.12	-0.15	-0.06	-0.20	0.91	0.95	0.47	0.31	0.30	0.59	0.52	0.36	0.56	0.52	0.67	0.56	0.46
39	-0.89	0.78	1.38	-0.51	0.85	0.30	1.27	-0.44	0.79	-0.64	0.20	0.67	0.58	0.44	0.69	0.44	0.78	0.48	0.65	0.28	0.45
140	0.26	0.15	-0.68	0.73	-1.33	-0.99	0.56	-0.10	-0.11	-0.21	0.43	0.55	0.18	0.70	0.29	0.21	0.66	0.54	0.50	0.36	0.45
162	-1.04	1.61	2.50	-2.16	1.74	-1.91	2.63	-2.37	1.24	-0.28	0.17	0.83	0.79	0.11	0.86	0.05	1.00	0.15	0.72	0.35	0.45
83	0.27	0.92	0.55	-0.16	-1.83	-0.69	-1.19	-1.48	-0.72	-0.41	0.43	0.70	0.42	0.51	0.20	0.26	0.38	0.30	0.40	0.32	0.44
75	-0.27	-0.19	0.11	0.55	-0.27	-0.09	0.22	0.18	0.88	-0.24	0.32	0.48	0.33	0.66	0.49	0.37	0.61	0.59	0.66	0.35	0.44
131	-0.25	0.24	0.01	0.27	-0.61	0.68	-0.02	0.40	-0.36	-0.98	0.33	0.57	0.31	0.60	0.43	0.50	0.57	0.63	0.46	0.22	0.44
138	-0.03	-0.24	0.11	-0.34	-0.76	0.91	0.30	0.01	0.35	-0.48	0.37	0.47	0.33	0.48	0.40	0.54	0.62	0.56	0.58	0.31	0.44
200	0.47	-0.32	-0.86	-1.83	-0.14	0.65	-0.86	0.03	1.39	0.43	0.47	0.46	0.15	0.18	0.51	0.50	0.43	0.56	0.75	0.47	0.43
13	-0.45	0.46	0.26	0.52	0.25	0.23	-0.65	-0.36	0.02	-1.43	0.28	0.61	0.36	0.65	0.58	0.43	0.47	0.50	0.52	0.14	0.43
185	-0.13	-0.05	-0.73	-0.65	-1.11	1.93	1.53	-0.98	-0.65	1.43	0.35	0.51	0.17	0.42	0.33	0.72	0.82	0.39	0.42	0.64	0.43
203	-0.54	0.25	0.30	-2.71	0.94	2.82	-0.85	0.52	0.94	0.88	0.27	0.57	0.37	0.00	0.71	0.88	0.43	0.65	0.67	0.55	0.43
53	0.14	-0.25	0.42	-1.06	-1.72	1.12	-0.36	0.20	0.43	-0.26	0.40	0.47	0.39	0.33	0.22	0.58	0.51	0.59	0.59	0.35	0.43
170	-0.85	1.03	0.79	0.89	-0.15	-0.34	-0.28	-1.37	-1.09	0.88	0.21	0.72	0.46	0.73	0.51	0.33	0.53	0.32	0.35	0.55	0.43
160	-0.67	-0.07	3.58	-0.73	1.92	-2.19	-1.25	-1.15	0.46	0.02	0.24	0.51	1.00	0.40	0.89	0.00	0.37	0.36	0.60	0.40	0.43
32	-1.22	-0.03	0.86	0.81	0.45	0.37	0.66	1.14	0.67	0.91	0.13	0.51	0.48	0.71	0.62	0.45	0.68	0.75	0.63	0.55	0.43
136	0.74	-1.12	-1.62	0.31	0.50	-1.46	-0.82	-0.48	0.81	0.71	0.52	0.30	0.00	0.61	0.63	0.13	0.44	0.48	0.65	0.52	0.43
148	-0.16	0.10	-0.73	-0.27	-0.42	-0.06	-0.47	0.77	0.87	0.09	0.34	0.54	0.17	0.49	0.46	0.37	0.50	0.69	0.66	0.41	0.43
54	-1.09	-0.42	1.41	-1.32	1.52	3.50	-0.18	0.67	-0.50	1.13	0.16	0.44	0.58	0.28	0.82	1.00	0.54	0.67	0.44	0.59	0.43
155	-0.64	0.68	-1.30	1.53	-0.44	-0.84	-1.46	0.78	0.75	1.81	0.25	0.65	0.06	0.86	0.46	0.24	0.33	0.69	0.64	0.71	0.43
81	0.48	-2.60	-0.88	1.47	0.66	0.72	-1.32	-1.62	2.89	0.83	0.47	0.02	0.14	0.85	0.66	0.51	0.36	0.28	0.99	0.54	0.42
164	-0.94	1.46	0.59	-0.78	0.28	-0.15	-2.00	1.18	-0.18	0.50	0.19	0.80	0.42	0.39	0.59	0.36	0.25	0.76	0.49	0.48	0.42
6	-0.59	0.08	-0.74	0.04	0.02	1.11	0.51	0.55	-0.14	-0.43	0.26	0.54	0.17	0.55	0.54	0.58	0.65	0.65	0.50	0.32	0.42
149	-0.52	-0.74	-0.16	0.09	0.25	0.72	-0.04	0.48	0.53	1.24	0.27	0.38	0.28	0.57	0.59	0.51	0.57	0.64	0.61	0.61	0.41
165	-0.24	0.28	-0.52	-0.67	-1.22	-0.67	0.90	0.49	0.14	0.35	0.33	0.58	0.21	0.41	0.31	0.27	0.72	0.64	0.54	0.46	0.41
49	0.70	-1.09	-0.30	-2.17	-0.55	-0.50	1.02	0.43	-1.57	1.02	0.51	0.31	0.25	0.11	0.44	0.30	0.74	0.63	0.27	0.57	0.41
167	-0.28	-1.58	0.51	1.08	0.12	0.31	0.60	0.15	-0.34	-0.35	0.32	0.22	0.41	0.77	0.56	0.44	0.67	0.58	0.47	0.33	0.41
31	-0.78	1.13	-1.05	0.61	-0.39	-0.68	0.43	-0.02	0.45	-1.29	0.22	0.74	0.11	0.67	0.47	0.27	0.64	0.56	0.59	0.17	0.41
141	-0.69	-0.44	0.02	0.72	0.94	-0.74	0.25	0.75	-0.34	0.31	0.24	0.44	0.32	0.69	0.71	0.26	0.61	0.69	0.47	0.45	0.41
135	-0.73	-0.16	0.92	0.88	-2.23	1.47	0.24	-0.66	-0.91	0.32	0.23	0.49	0.49	0.73	0.13	0.64	0.61	0.44	0.37	0.45	0.40
48	-0.52	0.72	-1.22	0.06	0.17	-1.04	0.75	-0.16	-0.42	-0.53	0.27	0.66	0.08	0.56	0.57	0.20	0.69	0.53	0.45	0.30	0.40

表 4(续)

编号	主成分值 Principal component value										隶属函数值 Membership function value										D 值
No.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	μ1	μ2	μ3	μ4	μ5	μ6	μ7	μ8	μ9	μ10	D-value
8	-1.02	-0.15	0.41	0.49	1.21	0.64	-0.98	0.96	-0.09	-0.81	0.17	0.49	0.39	0.65	0.76	0.50	0.41	0.72	0.51	0.25	0.40
146	-0.34	-0.01	-1.02	1.11	-0.71	-1.15	-0.85	-0.83	1.28	0.23	0.31	0.52	0.12	0.77	0.41	0.18	0.43	0.42	0.73	0.44	0.40
10	-1.06	0.76	-0.56	-0.47	1.04	-1.10	0.50	2.12	-0.21	-0.55	0.16	0.67	0.20	0.45	0.73	0.19	0.65	0.92	0.49	0.30	0.40
71	-0.02	-0.45	-0.72	-0.73	-0.63	-0.33	0.81	0.30	-0.48	-0.36	0.37	0.43	0.17	0.40	0.42	0.33	0.70	0.61	0.44	0.33	0.40
178	-0.39	0.20	-0.15	-0.86	-0.25	0.67	-0.23	-1.57	-1.10	0.93	0.30	0.56	0.28	0.37	0.49	0.50	0.53	0.29	0.34	0.56	0.40
139	0.03	-1.50	-0.51	0.05	0.25	0.07	-0.13	-1.35	0.83	0.59	0.38	0.23	0.21	0.56	0.58	0.40	0.55	0.33	0.66	0.50	0.39
173	-1.21	0.07	1.91	-1.10	-0.22	-0.05	0.91	-0.25	0.44	0.86	0.13	0.53	0.68	0.32	0.50	0.38	0.72	0.52	0.59	0.55	0.39
166	-1.01	0.39	-0.77	-1.80	2.50	0.02	-0.71	0.44	1.99	0.11	0.17	0.60	0.16	0.18	1.00	0.39	0.46	0.63	0.84	0.41	0.39
130	-1.07	1.13	-0.03	0.53	-1.26	0.16	-1.50	0.29	-1.12	0.25	0.16	0.74	0.31	0.65	0.31	0.41	0.33	0.61	0.34	0.44	0.39
159	-0.49	-0.22	-0.92	-0.06	-0.21	-0.06	2.52	-1.98	-0.15	-0.75	0.28	0.48	0.13	0.54	0.50	0.37	0.98	0.22	0.50	0.26	0.39
45	-0.71	-0.05	0.86	-0.12	-0.10	-0.93	-1.77	0.58	0.17	-0.40	0.23	0.51	0.48	0.52	0.52	0.22	0.28	0.66	0.55	0.33	0.39
198	-1.12	0.10	0.80	0.22	-1.53	0.49	0.14	-0.05	0.85	-0.63	0.15	0.54	0.46	0.59	0.26	0.47	0.59	0.55	0.66	0.28	0.38
79	0.21	-2.35	-1.08	0.07	-0.24	-0.11	-0.26	-0.61	1.74	1.51	0.42	0.07	0.10	0.56	0.49	0.37	0.53	0.45	0.80	0.66	0.38
158	-1.44	0.80	-0.01	0.82	-0.32	-0.87	0.36	0.16	-0.54	0.24	0.09	0.68	0.31	0.71	0.48	0.23	0.63	0.59	0.43	0.44	0.38
169	-0.75	0.40	-1.55	-0.53	-0.36	0.01	-0.21	-0.43	1.97	-0.58	0.23	0.60	0.01	0.44	0.47	0.39	0.54	0.49	0.84	0.29	0.38
168	-0.45	-0.26	0.03	-0.27	-0.77	-1.13	0.17	-0.54	-0.38	-1.12	0.29	0.47	0.32	0.49	0.40	0.19	0.60	0.46	0.46	0.20	0.37
7	-0.60	0.28	-0.53	-0.48	-0.50	-2.04	-0.17	0.65	0.02	-1.10	0.26	0.57	0.21	0.45	0.45	0.03	0.54	0.67	0.52	0.20	0.37
174	0.20	-1.16	-0.98	-1.01	-0.41	-0.07	-0.36	-0.69	-1.00	-0.09	0.42	0.30	0.12	0.34	0.46	0.37	0.51	0.44	0.36	0.38	0.37
147	-0.61	-0.03	-0.90	-0.45	-0.76	-0.16	-1.61	-0.75	0.66	0.73	0.25	0.51	0.14	0.46	0.40	0.36	0.31	0.43	0.63	0.52	0.36
89	-1.03	-0.96	0.08	1.49	-0.78	1.15	-0.68	-0.01	-0.75	-0.98	0.17	0.33	0.33	0.85	0.39	0.59	0.46	0.56	0.40	0.22	0.36
192	-1.56	0.46	-0.54	-0.80	-1.49	1.00	1.30	1.13	1.70	-0.69	0.06	0.61	0.21	0.39	0.26	0.56	0.78	0.75	0.80	0.27	0.36
51	-1.08	-0.58	0.24	-1.42	0.66	0.06	0.64	0.45	-0.12	0.64	0.16	0.41	0.36	0.26	0.66	0.40	0.68	0.64	0.50	0.51	0.36
88	-1.06	-0.27	-0.33	0.19	-0.36	-0.60	-0.72	0.16	-0.87	0.90	0.16	0.47	0.25	0.59	0.47	0.28	0.45	0.59	0.38	0.55	0.35
206	-1.08	-0.83	0.09	-0.06	-0.60	0.96	-1.28	1.00	-0.25	-0.12	0.16	0.36	0.33	0.54	0.43	0.55	0.36	0.73	0.48	0.37	0.35
78	-0.68	-0.77	-0.15	-0.42	-0.66	0.36	-0.25	-1.17	-0.17	-0.64	0.24	0.37	0.28	0.46	0.42	0.45	0.53	0.36	0.49	0.28	0.35
156	-1.71	1.08	-1.05	-0.32	-0.60	-0.61	-0.11	0.19	-0.85	1.30	0.03	0.73	0.11	0.48	0.43	0.28	0.55	0.59	0.38	0.62	0.33
150	-0.48	-1.99	0.79	-1.34	-0.31	0.41	-0.44	0.17	-0.38	-1.06	0.28	0.14	0.46	0.28	0.48	0.46	0.50	0.59	0.46	0.21	0.33
175	-0.86	-0.34	-0.22	-0.24	-1.42	-0.70	0.70	-1.61	-0.52	-1.20	0.20	0.45	0.27	0.50	0.28	0.26	0.69	0.28	0.44	0.19	0.33
154	-1.33	0.17	-0.38	-0.15	-0.59	-1.35	0.25	-0.53	-0.05	-0.73	0.11	0.55	0.24	0.52	0.43	0.15	0.61	0.47	0.51	0.27	0.32
80	-0.41	-1.61	-1.04	-1.45	0.91	-0.71	0.41	-0.27	-1.28	0.37	0.29	0.21	0.11	0.25	0.71	0.26	0.64	0.51	0.31	0.46	0.32
152	-0.98	-2.01	0.64	0.03	0.51	-0.92	0.49	-0.56	-1.55	0.09	0.18	0.13	0.43	0.55	0.63	0.22	0.65	0.46	0.27	0.41	0.31
5	-0.09	-1.99	-1.28	-0.50	0.66	-1.01	-1.68	-1.38	0.57	-1.72	0.36	0.14	0.07	0.45	0.66	0.21	0.30	0.32	0.61	0.09	0.31
186	-1.60	0.31	0.90	-1.58	-0.83	0.71	-3.51	0.38	0.55	-0.60	0.06	0.58	0.48	0.23	0.39	0.51	0.00	0.62	0.61	0.29	0.31
133	-1.14	-0.83	-0.66	-0.89	-1.31	-0.89	0.21	-0.44	1.01	-1.10	0.15	0.36	0.18	0.37	0.30	0.23	0.61	0.48	0.68	0.20	0.29
52	-0.22	-2.26	0.00	-1.32	-1.16	-1.59	-0.12	0.36	-3.22	0.68	0.33	0.09	0.31	0.28	0.32	0.11	0.55	0.62	0.00	0.51	0.29
70	-1.88	-2.70	-0.05	1.65	0.64	-1.68	0.56	1.63	-0.05	-0.55	0.00	0.00	0.30	0.88	0.66	0.09	0.66	0.84	0.51	0.30	0.26

表中编号同表 1, 下同

The number in table are same as in table 1, the same as below

表 5 回归方程的估计精度分析

Table 5 Analysis of evaluation accuracy of equation

编号 No.	预测值 Predicted value	原始值 Primary value	预测差值 Difference	预测精度(%) Evaluation accuracy	编号 No.	预测值 Predicted value	原始值 Primary value	预测差值 Difference	预测精度(%) Evaluation accuracy
1	0.483	0.578	0.096	83.475	70	0.305	0.264	-0.041	86.691
2	0.392	0.479	0.086	81.963	71	0.435	0.400	-0.035	91.955
3	0.476	0.534	0.057	89.255	72	0.464	0.589	0.125	78.833
4	0.530	0.587	0.057	90.288	73	0.381	0.477	0.097	79.769
5	0.364	0.310	-0.055	84.966	74	0.462	0.462	0.000	99.993
6	0.490	0.417	-0.073	85.122	75	0.412	0.439	0.027	93.872
7	0.450	0.368	-0.082	81.680	76	0.488	0.510	0.023	95.559
8	0.409	0.405	-0.004	98.987	77	0.501	0.506	0.005	98.968
9	0.426	0.456	0.030	93.430	78	0.332	0.345	0.013	96.196
10	0.418	0.401	-0.017	95.910	79	0.375	0.380	0.006	98.513
11	0.492	0.538	0.046	91.400	80	0.303	0.322	0.018	94.307
12	0.444	0.484	0.040	91.786	81	0.357	0.424	0.068	84.082
13	0.434	0.433	-0.001	99.749	82	0.447	0.511	0.064	87.456
31	0.417	0.411	-0.006	98.473	83	0.556	0.441	-0.115	79.276
32	0.437	0.429	-0.009	98.015	84	0.440	0.491	0.051	89.570
39	0.401	0.451	0.049	89.035	85	0.493	0.517	0.025	95.248
40	0.430	0.477	0.046	90.243	86	0.461	0.553	0.092	83.386
41	0.449	0.523	0.074	85.779	87	0.494	0.573	0.079	86.161
42	0.438	0.486	0.048	90.107	88	0.359	0.348	-0.011	96.805
43	0.476	0.539	0.063	88.238	89	0.376	0.358	-0.018	95.198
44	0.455	0.507	0.052	89.675	90	0.464	0.546	0.081	85.121
45	0.451	0.386	-0.065	85.686	91	0.456	0.461	0.005	98.982
46	0.467	0.464	-0.004	99.180	129	0.479	0.474	-0.005	98.969
47	0.421	0.497	0.076	84.688	130	0.346	0.390	0.044	88.824
48	0.398	0.405	0.007	98.279	131	0.433	0.438	0.005	98.927
49	0.345	0.412	0.068	83.591	132	0.387	0.471	0.084	82.256
50	0.485	0.626	0.141	77.491	133	0.386	0.290	-0.096	75.209
51	0.375	0.357	-0.019	95.071	134	0.471	0.514	0.043	91.591
52	0.406	0.287	-0.120	70.522	135	0.411	0.405	-0.006	98.569
53	0.491	0.431	-0.061	87.621	136	0.413	0.428	0.015	96.579
54	0.422	0.427	0.005	98.861	137	0.434	0.498	0.064	87.134
58	0.507	0.534	0.027	94.859	138	0.474	0.437	-0.037	92.236

表 5(续)

编号 No.	预测值 Predicted value	原始值 Primary value	预测差值 Difference	预测精度(%) Evaluation accuracy	编号 No.	预测值 Predicted value	原始值 Primary value	预测差值 Difference	预测精度(%) Evaluation accuracy
139	0.356	0.394	0.038	90.335	167	0.414	0.411	-0.003	99.360
140	0.402	0.446	0.044	90.190	168	0.422	0.369	-0.053	87.526
141	0.396	0.410	0.015	96.440	169	0.480	0.377	-0.103	78.474
142	0.482	0.689	0.207	69.987	170	0.406	0.429	0.023	94.627
143	0.396	0.475	0.079	83.320	171	0.472	0.555	0.082	85.170
144	0.393	0.458	0.064	85.977	172	0.527	0.631	0.103	83.631
145	0.474	0.503	0.029	94.149	173	0.359	0.394	0.035	91.089
146	0.447	0.401	-0.045	89.827	174	0.389	0.366	-0.023	94.143
147	0.436	0.361	-0.075	82.776	175	0.398	0.326	-0.073	81.784
148	0.452	0.427	-0.024	94.663	176	0.376	0.461	0.085	81.627
149	0.431	0.415	-0.016	96.376	178	0.386	0.397	0.011	97.219
150	0.344	0.330	-0.014	95.961	179	0.432	0.462	0.031	93.380
151	0.439	0.460	0.021	95.450	180	0.484	0.616	0.132	78.596
152	0.330	0.312	-0.019	94.346	181	0.504	0.457	-0.048	90.560
153	0.487	0.471	-0.016	96.660	183	0.481	0.493	0.012	97.480
154	0.419	0.324	-0.095	77.420	185	0.442	0.432	-0.011	97.594
155	0.416	0.427	0.011	97.329	186	0.270	0.308	0.038	87.736
156	0.351	0.332	-0.019	94.616	188	0.547	0.604	0.057	90.582
157	0.564	0.612	0.047	92.250	189	0.540	0.505	-0.035	93.453
158	0.415	0.378	-0.036	91.203	192	0.366	0.358	-0.008	97.761
159	0.363	0.387	0.024	93.815	198	0.388	0.383	-0.005	98.809
160	0.391	0.429	0.038	91.179	200	0.482	0.435	-0.047	90.245
161	0.514	0.545	0.031	94.251	201	0.461	0.486	0.025	94.767
162	0.410	0.445	0.035	92.070	202	0.510	0.508	-0.002	99.671
163	0.507	0.578	0.071	87.718	203	0.459	0.432	-0.027	94.114
164	0.439	0.424	-0.015	96.663	204	0.582	0.560	-0.022	96.150
165	0.481	0.414	-0.067	86.052	205	0.494	0.488	-0.007	98.678
166	0.367	0.392	0.025	93.584	206	0.413	0.346	-0.067	83.870

2.5 系统聚类分析

利用 D 值,根据欧式距离,采用 ward 法进行系统聚类分析,在欧式距离 3.5 处,将 120 个水稻品种分为 5 个类群(图 2),将各个水稻品种的耐盐性划分为极强、强、中、弱、极弱 5 个类群。第Ⅰ类群为极耐盐品种,累计共 11 个水稻品种,占比 9.17%;

第Ⅱ类群为耐盐品种,累计共 19 个水稻品种,占比 15.83%;第Ⅲ类群为中等耐盐品种,累计共 24 个水稻品种,占比 20.00%;第Ⅳ类群为敏盐品种,累计共 45 个水稻品种,占比 37.50%;第Ⅴ类群为极敏盐品种,累计共 21 个水稻品种,占比 17.50%。

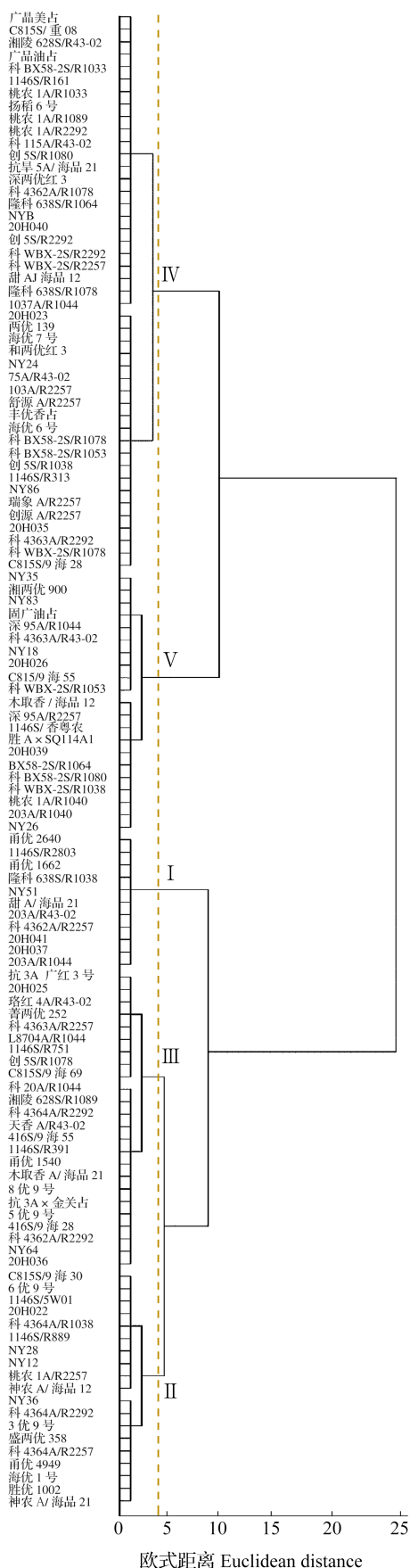


图2 基于D值的聚类分析结果

Fig.2 Cluster dendrogram according D-value

3 讨论

关于水稻全生育期耐盐性鉴定的最适浓度的确定,不同学者持不同看法。Wu等^[16]利用水稻芽期参数指标达到50%抑制时的盐浓度来确认芽期试验中的最佳筛选浓度;耿雷跃等^[22]利用四分位差法判断全生育期的最佳筛选盐浓度;Wu等^[16]先随机挑选了15个品种进行盐胁迫试验,进而确定最佳耐盐胁迫浓度,最后对564个种质资源进行耐盐性评价;而耿雷跃等^[22]对19个品种进行盐胁迫试验,进而确定最适盐胁迫浓度,最后对19个种质资源进行耐盐性评价。二者皆是先确定最适盐胁迫,继而进行耐盐性评价。当进行大量种质资源耐盐筛选时,Wu等^[16]的研究方法因为省时省力,故更加适合对大量种质资源进行筛选;而耿雷跃等^[22]的研究方法,因为是对所有参试种质资源进行最适浓度判定,因此其结果更具可靠性,但更加适合于少量种质资源的耐盐性筛选评价。本研究亦是采用四分位差法,将不同盐浓度下的四分位差都逐一表示,之后确定有最大四分位差值最多的盐浓度为最佳筛选盐浓度,继而对120个水稻品种进行耐盐性综合评价。

不同学者确立的最佳筛选盐浓度不同,耿雷跃等^[22]认为3‰盐浓度胁迫是水稻全生育期耐盐性鉴定的最适浓度;潘晓飏等^[24]用0.5%浓度海水进行全生育期灌溉筛选;本研究是全生育期水培环境下生长,按目前的盐浓度分析最佳耐盐筛选盐浓度是6‰,不足之处是没有设定高于6‰的盐浓度,若是设有更高盐浓度,盐浓度的确定将更有说服力。本研究认为最佳的耐盐筛选盐浓度的大小一方面可能与参与试验的品种有关,参试品种中有大量耐盐性弱的品种时,最后确立的筛选浓度会偏低;反之,参试品种中耐盐性强比例大时,最后确立的筛选浓度会偏高。另一方面可能与模拟盐胁迫的盐有关系,耿雷跃等^[22]是用NaCl盐水灌溉来达到盐胁迫的目的,NaCl单盐胁迫会造成单盐离子毒害,因此该试验的水稻全生育期最佳盐胁迫筛选浓度为3‰;潘晓飏等^[24]、吴其褒等^[25]利用海水来达到盐胁迫的目的,海水的离子种类和含量丰富,可以抵消离子毒害的困扰。而本研究是利用工业用盐来达到盐胁迫的目的,工业用盐中除了氯化钠,还有钙镁离子、硫酸根离子、铁离子等成分,也可以一定程度上抵消单盐毒害。

不同农艺性状的耐盐系数与耐盐综合评价值D

值之间的相关性不同,耿雷跃等^[22]认为穗长、穗粒数和总干物重对水稻耐盐性的影响显著,由此建立数学模型方程用于快速判断水稻的耐盐性。本研究认为倒 1 叶长、地上部干重、穗长、主茎茎粗和倒 1 叶宽与水稻耐盐能力大小的相关性较强,可以通过测定这 5 个性状简便快速鉴定水稻耐盐性。其中,耿雷跃等^[22]的研究结果和本研究结果类似,认为穗长和总干物重对水稻耐盐性的影响较大,这 2 个性状同水稻耐盐性呈正相关关系。

在之前的水稻全生育期耐盐性评价筛选试验中,多是以土壤^[22, 26-28]为基质,试验多在田间环境下进行,土壤的异质性难以保证田间各个地方的盐浓度。有些学者利用其他介质代替土壤来进行耐盐筛选,如 Sen 等^[29]利用水培方法,进行水稻苗期耐盐性筛选试验。Kakar 等^[30]利用砂作为生长介质来避免土壤的异质性,进行水稻盆栽幼苗筛选。但是水稻苗期耐盐性与水稻成熟期耐盐性有一定差异性,苗期耐盐的水稻在成熟期不一定耐盐。本研究是水培条件下水稻全生育期耐盐筛选试验,利用水循环系统控制营养液浓度和盐浓度来确保浓度的均一性。该试验首先确立了水培条件下水稻全生育期耐盐性鉴定的最佳筛选盐浓度,继而确认水稻的耐盐性大小,以便为今后水培条件下水稻全生育期耐盐性鉴定与研究提供理论和实践依据。

4 结论

本研究认为在水培条件下水稻的全生育期综合耐盐筛选的最适盐浓度为 6‰,首先利用主成分分析得到隶属函数分析,接着利用权重和隶属函数值得到综合耐盐评价 D 值, D 值可反映水稻种质耐盐性大小。从 20 个农艺性状中筛选出理论产量、倒 1 叶长、倒 1 叶宽、根干重、穗长、穗粒数、倒 2 叶宽、主茎茎粗 8 个性状,利用数学模型方程 $D = 0.152 + 0.004LT1 + 0.005GDW + 0.007SL - 0.027MST + 0.047WT1$, 该方程可用于籼稻种质全生育期耐盐性的快速鉴定。利用系统聚类分析方法,将水稻划分为 5 个类群: 11 个耐盐性极强的水稻品种, 19 个耐盐性强的水稻品种, 24 个耐盐性中等的水稻品种, 45 个耐盐性弱的水稻品种, 21 个耐盐性极弱的水稻品种。其中, 203A/R1044 为本试验中耐盐性最强的水稻品种, 1146S/ 香粳农为耐盐性最弱的品种。该类群划分方法可为籼稻种质资源筛选与鉴定, 耐盐品种的选育、推广提供理论与实践依据。

参考文献

- [1] 胡一, 韩霁昌, 张扬. 盐碱地改良技术研究综述. 陕西农业科学, 2015, 61(2): 67-71
Hu Y, Han J C, Zhang Y. Review of research on saline-alkali land improvement technology. Shaanxi Agricultural Sciences, 2015, 61(2): 67-71
- [2] 张翼夫, 李问盈, 胡红, 陈婉芝, 王宪良. 盐碱地改良研究现状及展望. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 7-10
Zhang Y F, Li W Y, Hu H, Chen W Z, Wang X L. Present situation and prospect of research on saline-alkali land improvement. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(18): 7-10
- [3] 范王涛. 土壤盐碱化危害及改良方法研究. 农业与技术, 2020, 40(23): 114-116
Fan W T. Hazard of soil salinization and improvement method. Agriculture and Technology, 2020, 40(23): 114-116
- [4] Long X H, Liu L P, Shao T Y, Shao H B, Liu Z P. Developing and sustainably utilize the coastal mudflat areas in China. Science of the Total Environment, 2016(569-570): 1077-1086
- [5] Vibhuti, Shahi C, Bargali K, Bargali S S. Assessment of salt stress tolerance in three varieties of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Progressive Agriculture, 2015, 6(1): 50-56
- [6] Kumari R. Recent trends in tropical plant research. New Delhi: AkiNik Publications, 2019: 1-12
- [7] Mahajan S, Tuteja N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2005, 444(2): 139-158
- [8] Zelm E V, Zhang Y X, Testerink C. Salt tolerance mechanisms of plants. Annual Review of Plant Biology, 2020(71): 403-433
- [9] Tester M, Roy S. Sustainable food production. New York: Springer-Verlag, 2013: 986-1002
- [10] Qin H, Li Y X, Huang R F. Advances and challenges in the breeding of salt-tolerant rice. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(21): 8385
- [11] Ashraf M, Athar H. Salinity and water stress: improving crop efficiency. Switzerland: Springer, 2009: 1-18
- [12] 孙伟, 陈晓玲. 国内盐碱地研究热点分析. 北方农业学报, 2020, 48(5): 130-134
Sun W, Chen X L. Analysis of research hotspots in saline-alkali land in China. Journal of Northern Agriculture, 2020, 48(5): 130-134
- [13] 申吴燕, 吐尔逊娜依·热依木, 雪热提江·麦提努日, 邓婷婷, 黄长福, 王梦, 马伊王利, 麻浩. 12 种植物萌发期耐盐性筛选. 新疆农业科学, 2020, 57(10): 1912-1920
Shen W Y, Tuerxunnayi R Y M, Xueretijiang M T N R, Deng T T, Huang C F, Wang M, Ma Y W L, Ma H. Selection of salt tolerance of 12 forage species in Xinjiang during germination period. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(10): 1912-1920
- [14] 韩冉, 解树斌, 李欣, 郭宪峰, 宫文萍, 汪晓璐, 刘爱峰, 李豪圣, 刘成, 刘建军. 耐盐小麦种质筛选、鉴定与评价. 山东农业科学, 2020, 52(9): 12-18
Han R, Xie S B, Li X, Guo X F, Gong W P, Wang X L, Liu A F, Li H S, Liu C, Liu J J. Screening identification and evaluation of salt-tolerant wheat germplasms. Shandong Agricultural Sciences, 2020, 52(9): 12-18
- [15] 孙现军, 姜奇彦, 胡正, 张惠媛, 徐长兵, 邸一桓, 韩龙植, 张

- 辉. 水稻资源全生育期耐盐性鉴定筛选. 作物学报, 2019, 45 (11): 1656-1663
- Sun X J, Jiang Q Y, Hu Z, Zhang H Y, Xu C B, Di Y H, Han L Z, Zhang H. Screening and identification of salt-tolerant rice germplasm in whole growth period. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45 (11): 1656-1663
- [16] Wu H, Guo J R, Wang C F, Li K L, Zhang X W, Yang Z, Li M T, Wang B S. An effective screening method and a reliable screening trait for salt tolerance of *Brassica napus* at the germination stage. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 530
- [17] 耿雷跃, 张薇, 马小定, 崔迪, 韩冰, 张启星, 韩龙植. 水稻分蘖期耐盐性鉴定评价方法确立及种质筛选. 植物遗传资源学报, 2020, 21 (3): 588-596
- Geng L Y, Zhang W, Ma X D, Cui D, Han B, Zhang Q X, Han L Z. Establishment of an updated assay for testing salt tolerance at the tillering stage of rice and germplasm screening. Journal of Plant Genetic Resources, 2020, 21 (3): 588-596
- [18] 韩晓丽, 蒋医蔚, 陈志军, 李三和, 阚雯俊, 游艾青, 周雷. 水稻苗期耐盐种质资源初步筛选. 湖北农业科学, 2019, 58 (S2): 110-112, 121
- Han X L, Jiang Y W, Chen Z J, Li S H, Zha W J, You A Q, Zhou L. Preliminary screening of rice salt-tolerant germplasm resources at seedling stage. Hubei Agricultural Sciences, 2019, 58 (S2): 110-112, 121
- [19] Pandian K, Arunachalam P. Evaluation of crops and varieties for salt tolerance. New Delhi: Today & Tomorrow's Printer and Publisher, 2020: 215-240
- [20] 董桂春, 王熠, 于小凤, 周娟, 彭斌, 李进前, 田昊, 张燕, 袁秋梅, 王余龙. 不同生育期水稻品种氮素吸收利用的差异. 中国农业科学, 2011, 44 (22): 4570-4582
- Dong G C, Wang Y, Yu X F, Zhou J, Peng B, Li J Q, Tian H, Zhang Y, Yuan Q M, Wang Y L. Differences of nitrogen uptake and utilization of conventional rice varieties with different growth duration. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44 (22): 4570-4582
- [21] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 杨秀娟. 紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析. 草地学报, 2006, 14 (2): 142-146
- Han R H, Lu X S, Gao G J, Yang X J. Analysis of the principal components and the subordinate function of alfalfa drought resistance. Acta Agrestia Sinica, 2006, 14 (2): 142-146
- [22] 耿雷跃, 马小定, 崔迪, 张启星, 韩冰, 韩龙植. 水稻全生育期耐盐性鉴定评价方法研究. 植物遗传资源学报, 2019, 20 (2): 267-275
- Geng L Y, Ma X D, Cui D, Zhang Q X, Han B, Han L Z. Identification and evaluation method for saline tolerance in rice during the whole growth stage. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20 (2): 267-275
- [23] 戴海芳, 武辉, 阿曼古丽·买买提阿力, 王立红, 麦麦提·阿皮孜, 张巨松. 不同基因型棉花苗期耐盐性分析及其鉴定指标筛选. 中国农业科学, 2014, 47 (7): 1290-1300
- Dai H F, Wu H, Amanguli M M T A L, Wang L H, Maimaiti A P Z, Zhang J S. Analysis of salt-tolerance and determination of salt-tolerant evaluation indicators in cotton seedlings of different genotypes. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47 (7): 1290-1300
- [24] 潘晓飏, 黄善军, 陈凯, 孟丽君, 徐建龙. 大田全生育期盐渍灌溉胁迫筛选水稻耐盐恢复系. 中国水稻科学, 2012, 26 (1): 49-54
- Pan X B, Huang S J, Chen K, Meng L J, Xu J L. Selection of rice restorer lines with salinity tolerance through salt solution irrigation over whole growth stage under field conditions. China Journal of Rice Science, 2012, 26 (1): 49-54
- [25] 吴其褒, 胡国成, 柯登寿, 栾维江, 杨巍, 孙宗修, 陈惠哲. 俄罗斯水稻种质资源的苗期耐盐鉴定. 植物遗传资源学报, 2008, 9 (1): 32-35
- Wu Q B, Hu G C, Ke D S, Luan W J, Yang W, Sun Z X, Chen H Z. Evaluation of Russian rice germplasm in salt tolerance at seedling stage. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9 (1): 32-35
- [26] 张所兵, 张云辉, 林静, 方先文. 水稻全生育期耐盐资源的初步筛选. 中国农学通报, 2013, 29 (36): 63-68
- Zhang S B, Zhang Y H, Lin J, Fang X W. Primary screening of salt-tolerant rice germplasm in entire growth period. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29 (36): 63-68
- [27] 朱孔志, 卢俊, 陈锦珠, 杜希宽, 戴乾翔, 王玲玲, 方先文. 适合江苏盐渍化中低产田种植的水稻品种 (系) 筛选. 江苏农业科学, 2019, 47 (24): 40-43
- Zhu K Z, Lu J, Chen J Z, Du X K, Dai Q X, Wang L L, Fang X W. Screening of rice varieties (lines) suitable for planting salinized medium and low yield fields in Jiangsu Province. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47 (24): 40-43
- [28] 张鑫, 李景鹏, 陈艳辉, 李美宏, 杨福. 水稻农艺性状的耐盐碱鉴定及比较分析. 土壤与作物, 2020, 9 (3): 260-270
- Zhang X, Li J P, Chen Y H, Li X H, Yang F. Identification and analysis of saline-alkali tolerance in rice agronomic traits. Soils and Crops, 2020, 9 (3): 260-270
- [29] Sen T T H, Nhi P T H, Sen T T. Salinity effect at seedling and flowering stages of some rice lines and varieties (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Science and Technology A and B & Hue University Journal of Science, 2017, 7 (10): 32-39
- [30] Kakar N, Jumaa S H, Redoña E D, Warburton M L, Reddy K R. Evaluating rice for salinity using pot-culture provides a systematic tolerance assessment at the seedling stage. Rice, 2019, 12 (1): 57