

盐胁迫下不同来源粳稻选育品种的主要农艺性状鉴定分析

付 华^{1,2}, 张启星³, 曹桂兰², 王兴盛¹, 韩龙植²

(¹宁夏大学农学院, 银川 750021; ²中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程/农业部作物种质资源与生物技术重点开放实验室, 北京 100081;

³河北省农林科学院滨海农业研究所, 唐海 063200)

摘要: 选自 30 个国家的 402 份粳稻选育品种作为试验材料, 分析了自然条件和盐胁迫下不同来源粳稻选育品种主要农艺性状的表型差异和聚类特点。结果表明, 盐胁迫下各个国家品种的主要农艺性状有明显的差异, 主要表现在抽穗期明显推迟, 秆长和穗长明显缩短, 穗粒数和有效穗数明显减少, 结实率和千粒重明显降低。在盐胁迫下共筛选出了 18 份具有较强的耐盐性的材料。对主要农艺性状和聚类结果的分析表明, 各个国家间粳稻选育品种耐盐性和聚类结果与各国所处地理位置、纬度和气候条件有一定的相关性。

关键词: 粳稻选育品种; 耐盐性; 盐胁迫; 聚类分析

Main Agronomic Traits for Improved *Japonica* Rice Varieties under Salt Stress

FU Hua^{1,2}, ZHANG Qi-xing³, CAO Gui-lan², WANG Xing-sheng¹, HAN Long-zhi²

(¹Ningxia University, College of Agriculture, Yinchuan 750021; ²Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/The National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement/Key Laboratory of Crop Germplasm Resources and Biotechnology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

³Coastal Agricultural Research Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry, Tanghai 063200)

Abstract: In this paper, We chose 402 *japonica* varieties from 30 countries as experimental materials, analyzed the phenotypic differences and clustering features of the main agronomic traits of *Japonica* varieties under natural condition and salt stress. The result indicated that there were significant differences in the main agronomic traits of *japonica* varieties from different countries under salt stress, including significant delay of the heading days, shorter culms length, and panicle length, less number of effective heads and grains per head, reduction of setting rate, and dry-weight of seed. 18 *japonica* varieties show a strong resistance to salt stress. By analyzation of the main agronomic traits and clustering, we found that salt tolerance and clustering result of *japonica* varieties had a certain correlation with geographic location, latitude, and climate conditions in different countries.

Key words: Improved *japonica* rice; salt tolerance; salt stress; cluster analysis

水稻是世界最大的粮食作物之一, 对全球粮食安全和社会稳定发展做出了重要贡献。我国是

世界上最大的水稻生产国和消费国, 全国水稻产量约占粮食作物总产量的 40%, 水稻种植面积约

收稿日期: 2011-12-22 修回日期: 2012-09-17

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAD13B01); 973 项目(2004CB117201); 作物种质资源保护项目[NB10-2130135(25-30)-01]; 国家科技基础条件平台项目(2005DKA21001-01)

作者简介: 付华, 硕士研究生, 主要从事水稻抗逆性研究。E-mail: fhfh515151@163.com

通信作者: 韩龙植, 研究员, E-mail: lzhan58@yahoo.com.cn. 王兴盛, 研究员, E-mail: wxs1954@163.com.

占全国粮食作物总面积的 28%，为我国粮食安全提供了有力保障。而随着全球环境的不断恶化，土壤盐碱化问题已日益威胁着人类赖以生存的有限的土壤资源^[1]。据不完全统计，全世界至少有 20% 的耕地盐渍化^[2]，而盐碱害是全世界水稻生产中最不利的限制因素之一^[3-6]，严重影响了粮食生产的稳定发展。为了减少盐碱危害对水稻产量的严重影响，近 10 年来通过水稻耐盐性育种，使水稻品种的耐盐性提高到较高的水平，但耐盐性仍然是当前水稻育种的重要目标。因此，积极开展水稻种质资源的耐盐性鉴定评价研究，从中筛选出强耐盐性水稻种质并用于耐盐育种至关重要。有关水稻耐盐种质资源鉴定筛选已有许多研究报道。自 20 世纪 70 年代以来，国际水稻研究所鉴定评价了近 9000 份水稻种质资源的耐盐性，并筛选出一些优良的耐盐资源^[7]；吴荣生等^[8]对太湖流域地方粳稻资源进行耐盐性鉴定，筛选出韭菜青、红芒香粳等耐盐性较强的种质资源；蒋荷等^[9]对 2057 份国内外稻种资源进行了耐盐性评价；张尧忠等^[10]对来自亚洲 4 个国家的 306 个水稻品种进行了芽期耐盐性鉴定。几年来，通过引进国际先进农业科学技术计划，5 大作物集中引进与利用 9000 多份品种资源和育种材料，创制出 50 多万份新的育种材料。这些品种和育种材料具有广泛的遗传多样性，表现出高产、优质、抗病虫害、抗旱、水肥效率高和适应性广的特点，为未来 10~20 年我国各生态区主要作物新品种的培育奠定了雄厚的材料基础，所以对育种材料的研究是非常有意义的。然而，以往的耐盐研究所涉及的试验材料多数为地方品种或国外种质资源，而对新近选育和推广的品种耐盐性鉴定评价报道较少，并至今鉴定筛选出的耐盐资源尚不能满足耐盐水稻育种的迫切需求。本研究对来自 30 个国家的粳稻选育品种进行耐盐性鉴定，旨在为耐盐水稻育种的亲本选配提供有效的参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验采用的 402 份试验材料来自 30 个国家，其中不少国家试验材料只有 1~2 个。为了便于数据分析，将 402 份试验材料分为 5 个洲和 9 个国家或地区，分别为非洲 5 份（科特迪瓦、塞内加尔、埃及、加纳）、美洲 8 份（智利、巴西、波多黎各、美国）、大洋洲 5 份（所罗门群岛、澳大利亚）、欧洲

25 份（阿尔巴尼亚、南斯拉夫、法国、意大利、保加利亚、匈牙利、前苏联、罗马尼亚）、南亚 11 份（土耳其、泰国、马来西亚、印尼、菲律宾、巴基斯坦、印度、缅甸）、韩国 40 份、日本 56 份、朝鲜 7 份以及中国华北地区 75 份（北京、天津、山西、河北、山东、河南）、中国东北地区 98 份（辽宁、吉林、黑龙江）、中国西北地区 11 份（陕西、宁夏）、中国华中地区 25 份（上海、江苏、安徽、江西、湖南）、中国西南地区 23 份（云南、贵州）、中国华南地区 13 份（广西、台湾）。

1.2 试验设计及调查项目

1.2.1 自然鉴定 试验地选在河北省农林科学院滨海农业研究所实验基地（唐海县），2008 年 4 月 14 日播种，5 月 29 日插秧，行株距 24 cm × 15 cm，设 5 行区，每行栽 15 穴，单本移栽，2 次重复。调查抽穗日期，并计算抽穗天数（播种日至抽穗所需要的天数）。在成熟期调查秆长、主穗长、主穗粒数、有效穗数、结实率、千粒重等农艺性状，每份材料调查 5 株，以其平均值作为统计单元。

1.2.2 耐盐鉴定 试验地选在唐海县四农场，属滨海盐碱地，土壤质地为粘壤土，土壤含盐量 0.51%，pH 值 7.64（入冻前测土）；地下水埋深 1.0 m，水矿化度 12~15 g/l，前茬作物为水稻。2008 年 4 月 14 日播种，5 月 29 日插秧，行株距 24 cm × 15 cm，设 3 行区，每行栽 15 穴，单本移栽，2 次重复。调查日期及项目、样本数等同 1.2.1。在水稻生长期 7 月 12 日测定田间水样盐碱结果，其含盐量为 0.34%，pH 值为 7.18。

1.3 统计分析

以唐海县四农场盐胁迫和自然条件下调查的各农艺性状数据为基础数据，以洲和国家或地区为单位，利用 SAS8.0 软件计算有关耐盐性状的平均值，并对平均值进行标准化处理，采用欧氏距离的类平均法（UPGMA）进行聚类分析，并绘制树状聚类图。为了便于分析，品种份数较少的国家，以非洲、美洲、大洋洲、欧洲等单位分析；品种份数较多的国家，以一个国家为单位分析；品种份数多的中国，以行政区为单位分析。盐胁迫反应指数计算公式如下：

$$\text{相对值}(\%) = (\text{盐胁迫下处理区性状表型值} - \text{自然条件下性状表型值}) / \text{自然条件下性状表型值} \times 100\%$$

相对值越大，说明该性状对盐的反应越敏感，反之亦然。

2 结果与分析

2.1 自然条件下和盐胁迫下不同来源粳稻选育品种的主要农艺性状差异

从横向分析,华中地区在抽穗天数,穗粒数以及千粒重上相对值较小,盐胁迫对这3个农艺性状上的影响并不大。其次,朝鲜和日本在秆长和结实率上的相对值较小,说明其对盐胁迫的反应较迟钝。

中国的东北和西北地区穗粒数的相对值也较小,它们对盐胁迫的反应较迟钝。美洲和欧洲在穗粒数性状上的相对值较大,说明穗粒数对盐胁迫反应较敏感。非洲和美洲在结实率和千粒重的相对值较大,说明非洲和美洲的品种在这两个性状上对盐胁迫的反应比较敏感。中国的华中,华北,东北,西南和华南地区在有效穗数的相对值较大,说明其对盐胁迫比较敏感(表1)。

表1 不同洲、国家或地区粳稻选育品种的主要农艺性状的差异

Table 1 Difference of main agronomic traits among improved japonica rice varieties from different country or regions under natural condition and salt stress

来源 Origin	抽穗天数(d)Heading Days			秆长(cm)Culm length			穗长(cm)Panicle length		
	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值
			(%)			(%)			(%)
			Relative values			Relative values			Relative values
非洲 Africa	116.0(10.3)	125.0(9.0)	8	102.4(10.4)	78.2(16.8)	24	23.6(12.3)	15.5(21.2)	34
美洲 America	117.1(10.2)	126.7(6.7)	8	86.9(19.6)	81.0(6.5)	7	24.9(14.5)	15.3(4.6)	39
大洋洲 Oceania	118.4(6.6)	128.0(6.2)	8	92.5(15.0)	68.9(17.4)	26	22.5(9.3)	14.7(9.5)	35
欧洲 Europe	106.4(10.2)	113.7(9.5)	7	88.0(19.9)	71.8(19.5)	18	20.6(12.6)	13.5(11.8)	34
南亚 South Asia	117.7(8.1)	127.7(8.9)	8	108.0(15.3)	90.0(20.2)	17	24.5(12.7)	16.0(16.3)	35
韩国 Korea	122.5(6.9)	130.8(6.7)	7	78.2(17.4)	65.7(17.0)	16	20.2(8.4)	13.3(11.3)	34
日本 Japan	113.5(8.4)	121.5(7.4)	7	72.8(10.4)	66.3(11.6)	9	19.3(5.7)	13.2(8.3)	31
朝鲜 DPRK	110.8(8.1)	123.1(11.5)	11	74.2(8.1)	69.3(8.4)	7	19.3(11.9)	12.5(9.6)	35
中国华北地区 North	122.5(8.1)	129.0(5.7)	5	82.2(13.6)	68.8(16.6)	16	19.1(14.7)	13.3(13.5)	30
中国东北地区 Northwest	102.3(11.3)	110.5(10.9)	8	73.8(13.4)	59.5(20.7)	19	18.5(13.0)	12.3(15.4)	34
中国西北地区 Northwest	99.4(7.6)	110.7(6.7)	11	71.4(14.6)	66.7(13.5)	7	20.1(8.0)	13.2(10.6)	34
中国华中地区 Central	132.4(9.1)	133.8(9.9)	1	90.4(23.5)	65.4(22.2)	28	18.8(22.3)	12.7(20.4)	32
中国西南地区 Southwest	118.6(7.7)	125.8(7.2)	6	109.0(27.3)	82.2(22.3)	25	22.9(15.7)	15.2(13.2)	34
中国华南地区 South China	114.7(7.0)	123.2(6.2)	7	84.6(19.6)	72.7(15.8)	14	22.4(9.4)	14.6(8.2)	35

表中括号内的数据表示对应的变异系数 CV(%);Data in bracket representation corresponding to the coefficient of variation DPRK:Democratic People's Republic of Korea

续表1 不同洲、国家或地区粳稻选育品种的主要农艺性状的差异

Continued Table 1 Difference of main agronomic traits among improved japonica rice varieties from different country or regions under natural condition and salt stress

来源 Origin	穗粒数(粒)Grains per panicle			有效穗数(穗)Effective panicles			结实率(%)Seed setting rate			千粒重(g)TGW		
	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值	自然条件 Natural	盐胁迫 Salt stress	相对值
			(%)			(%)			(%)			(%)
			Relative values			Relative values			Relative values			Relative values
非洲 Africa	140.9(17.2)	117.6(34.9)	17	7.3(16.4)	6.5(32.3)	11	85.5(4.4)	55.8(25.4)	35	31.59.5	23.7(25.7)	25
美洲 America	165.3(21.1)	98.1(33.2)	41	6.8(32.4)	6.3(34.9)	7	82.6(11.4)	59.5(24.4)	28	29.8(19.5)	22.5(7.6)	24
大洋洲 Oceania	163.1(18.1)	113.4(32.0)	30	7.3(15.1)	5.2(13.5)	29	81.9(6.8)	62.9(18.8)	23	29.0(23.1)	23.4(25.2)	19
欧洲 Europe	123.9(23.2)	73.7(35.4)	41	9.2(25.0)	5.8(25.9)	37	86.3(2.8)	68.9(8.3)	20	31.2(15.4)	27.4(16.1)	12
南亚 South Asia	122.8(12.9)	90.4(36.4)	26	9.5(35.8)	6.5(44.6)	32	85.9(11.6)	68.4(15.4)	20	28.7(15.7)	25.5(16.9)	11
韩国 Korea	126.8(26.4)	84.1(32.9)	34	11.0(18.2)	8.2(30.5)	25	85.4(3.0)	71.1(5.8)	17	26.5(5.7)	22.6(13.7)	15
日本 Japan	111.3(22.0)	76.9(22.1)	31	11.4(21.1)	6.9(30.4)	39	86.0(3.4)	72.6(6.1)	16	27.8(7.2)	23.6(9.7)	15
朝鲜 DPRK	127.4(29.4)	75.3(36.9)	41	10.7(13.1)	8.3(26.5)	22	84.8(2.7)	71.7(6.0)	15	26.2(5.3)	22.9(7.9)	13

表 1(续)

来源 Origin	穗粒数(粒) Grains per panicle			有效穗数(穗) Effective panicles			结实率(%) Seed setting rate			千粒重(g) TGW		
	自然条件		相对值	自然条件		相对值	自然条件		相对值	自然条件		相对值
	Natural	Salt stress	(%) Relative values	Natural	Salt stress	(%) Relative values	Natural	Salt stress	(%) Relative values	Natural	Salt stress	(%) Relative values
中国华北地区 North	133.2(26.1)	107.3(27.9)	19	9.8(22.4)	5.7(31.6)	42	85.0(7.3)	67.7(17.0)	20	27.7(9.7)	24.2(10.3)	13
中国东北地区 North-west	110.5(35.8)	92.4(46.5)	16	9.9(24.2)	5.2(30.8)	47	84.2(6.9)	68.4(9.2)	19	25.7(8.2)	23.5(8.5)	9
中国西北地区 North-west	126.6(20.1)	98.0(32.4)	23	9.1(25.3)	6.6(40.9)	27	85.7(5.5)	70.8(4.5)	17	25.4(6.7)	21.9(8.7)	14
中国华中地区 Central	112.2(25.4)	106.7(32.6)	5	11.0(21.8)	6.3(27.0)	43	82.5(6.7)	62.5(23.0)	24	25.7(12.5)	22.5(12.9)	12
中国西南地区 South-west	132.3(32.0)	109.5(28.4)	17	11.1(36.9)	6.6(30.3)	41	83.1(9.9)	65.6(17.4)	21	28.3(10.2)	24.1(11.6)	15
中国华南地区 South-China	136.5(22.6)	109.4(34.9)	19	9.8(21.4)	6.6(36.4)	33	81.9(17.0)	64.5(20.8)	21	26.0(18.5)	22.6(17.7)	13

从纵向分析,穗长,有效穗数和结实率这 3 个性状在盐胁迫下受到的影响很大。抽穗天数,秆长和千粒重受盐胁迫的影响相对较小。各个国家或地区在穗粒数性状上受盐胁迫的影响差异较大。

抽穗天数。与自然条件相比,盐胁迫下各国家品种抽穗天数明显增加,且各国家品种间有明显的差异。盐胁迫下,韩国和中国华中地区品种的抽穗天数较长,分别为 130.8 d 和 133.8 d,而欧洲品种的抽穗天数较短为 113.7 d,其他国家品种的抽穗天数变幅在 121.5 ~ 129.0 d。各国家品种的抽穗天数变异系数变幅在 5.7% ~ 11.5%。各国家品种抽穗天数的相对值的变幅在 1% ~ 11%,其中中国西北地区和朝鲜品种的相对值最大为 11%,其盐胁迫反应较敏感。而中国华中地区品种的相对值较小,为 1%,其盐胁迫反应较迟钝。

秆长。与自然条件相比,盐胁迫下各个国家品种的秆长明显降低,盐胁迫下南亚品种的秆长较长为 90.0 cm。而中国东北地区品种的秆长较短,为 59.5 cm,其他各个国家品种的秆长变幅在 65.4 cm ~ 82.2 cm。各国家品种秆长的变异系数变幅在 6.5% ~ 22.3%。非洲、大洋洲、中国西南地区和中国华中地区品种的相对值较高,变异在 24% ~ 28%,说明这些国家品种的秆长对盐胁迫反应较敏感,而中国西北地区、朝鲜和美洲品种的相对值较小,均为 7%,说明盐胁迫反应相对迟钝,其余国家品种的相对值变幅在 14% ~ 19%。

穗长。与自然条件相比,盐胁迫下各国家品种的穗长明显缩短,穗长变幅在 12.3 ~ 16.0 cm,南亚、非洲、美洲和中国西南地区品种的穗长较长,为 15.2 ~ 16.0 cm,其余国家品种的穗长较小均在

14.7 cm 以下。美洲品种的穗长变异系数相对较小为 4.6%,而中国华中地区品种的穗长变异系数相对较大为 20.4%,其他各国家品种的穗长变异系数变幅在 8.2% ~ 16.3%。各个国家品种穗长的相对值的变幅在 30% ~ 39%,其中美洲品种的穗长的相对值较大为 39%,说明盐胁迫反应较敏感,而中国华北地区品种穗长的相对值较小,为 30%,说明盐胁迫反应较迟钝。

穗粒数。与自然条件相比,盐胁迫下各国家品种的穗粒数明显减少,且各国家品种间的差异较大。盐胁迫下,非洲和大洋洲品种的穗粒数最多,为 117.6 粒和 113.4 粒,欧洲、日本、朝鲜品种最少,为 73.7 ~ 76.9 粒,其余各国家品种的穗粒数变幅在 84.1 ~ 109.5 粒。各国家品种穗粒数变异系数变幅在 22.1% ~ 46.5%。各国家品种间的相对值差异较大,变幅在 5% ~ 41%。其中,中国华中地区品种穗粒数的相对值较小,为 5%,说明盐胁迫反应迟钝,而美洲、欧洲和朝鲜品种穗粒数的相对值较大,均为 41%,说明盐胁迫反应较敏感。

有效穗数。与自然条件相比,盐胁迫下各个国家品种的有效穗数明显减少,且各国家品种间的有效穗数差异明显。盐胁迫下韩国、朝鲜品种的有效穗数较多,每穴分别为 8.2 穗和 8.3 穗,而大洋洲和中国东北地区品种的有效穗数较少,每穴均为 5.2 穗,其他各国家品种的每穴的有效穗数变幅在 5.7 ~ 6.9 穗。各个国家品种的有效穗数变异系数较大,为 13.5% ~ 44.6%。其中,非洲和美洲品种有效穗数的相对值较小,分别为 11% 和 7%,说明它们盐胁迫反应较迟钝,而中国东北地区、华北地区、西南地区和华中地区品种有效穗数的相对值较大,分别为 47%、42%、41% 和

43%,说明盐胁迫反应较敏感。其余国家品种有效穗数的相对值变幅在11%~39%。

结实率。与自然条件相比,盐胁迫下各国家品种的结实率明显降低,且各国家品种间差异显著。其中,韩国、日本、朝鲜和中国西北地区品种的结实率较高,为70.8%~72.6%,而非洲和美洲品种的结实率较低,分别为55.8%和59.5%。非洲、美洲和中国华中地区品种的结实率变异系数较大,分别为25.4%、24.4%和23.0%,而韩国、日本和朝鲜品种的结实率变异系数较小,分别为5.8%、6.1%和6.0%,其他国家品种的结实率变异系数变幅在8.3%~20.8%。各国家品种的结实率相对值变幅在15%~35%,其中日本和朝鲜品种结实率的相对值较小,分别为16%和15%,说明盐胁迫反应较迟钝,而非洲和美洲品种结实率的相对值较大,分别为35%和28%,说明盐胁迫反应较敏感。

千粒重。与自然条件相比,盐胁迫下各国家品种的千粒重有所下降,各国家品种的千粒重变幅在21.9 g~25.5 g,千粒重变异系数变幅在7.6%~25.7%。各国家品种的千粒重的相对值差异较大,其中非洲和美洲品种的千粒重相对值较大,分别为25%和24%,说明盐胁迫反应较敏感,而中国东北地区品种的千粒重相对值较小,为9%,说明盐胁迫

反应较迟钝。

从分析发现,盐胁迫下筛选出了18份材料具有较强的耐盐性(表2),包括广西粳稻种质4份,为阿诺塔马岩、轮回422、02428、早沙粳;北京粳稻种质2份,为中作522和中作9843;辽宁粳稻种质4份,分别沈农0606、辽河12号、金珠1号、盘锦782;黑龙江粳稻种质1份,为牡丹江28;安徽粳稻种质1份,为京虎B;云南粳稻种质3份,分别为三七十箩、靖粳7号和YZ21;上海粳稻种质1份,为木樨球;吉林粳稻种质1份,为吉粳81;前苏联粳稻种质1份,为乌兹罗斯2。

2.2 不同来源粳稻选育品种的聚类分析

2.2.1 自然条件下各洲、国家或地区粳稻选育品种的聚类分析

自然条件下聚类结果如图1所示。以欧氏距离1.0为阈值,可将14个洲、国家和地区(以下统一简称为国家)品种分为3大类群。纬度约介于0°N~40°N的美洲和大洋洲品种归为第Ⅰ大类群;纬度小于30°N的非洲、南亚和中国西南地区品种归为第Ⅲ大类群;而其余国家归为第Ⅱ大类群。从第Ⅱ类群可见,欧洲、朝鲜、中国西北地区、日本和中国东北地区聚为第一个小类群,韩国、中国华北地区和华南地区聚为一个小类群和第一小类群聚为同一类群,然后和中国华中地区品种聚到一起,这些国

表2 在盐胁迫下筛选出各国家或地区水稻耐盐性较强的粳稻品种的农艺性状

Table 2 screened each country or region of rice salt tolerance varieties of agronomic traits under salt stress

名称 Name	来源 Origin	抽穗天数(d) Heading Days			秆长(cm) Culm length			穗长(cm) Panicle length			穗粒数 Grains per panicle		
		自然条件	盐胁迫	相对值(%)	自然条件	盐胁迫	相对值(%)	自然条件	盐胁迫	相对值(%)	自然条件	盐胁迫	相对值(%)
		Natura	Salt stress	Relative values	Natura	Salt stress	Relative values	Natura	Salt stress	Relative values	Natura	Salt stress	Relative values
阿诺塔马岩	广西	114	119	4	81.6	84.6	4	22.9	12.8	44	152.2	71.2	53
中作522	北京	117	123	5	83.6	72.0	14	18.2	15.2	16	111.7	182.8	64
中作9843	北京	139	129	7	76.6	64.8	15	15.1	13.76	9	124.5	91.0	27
牡丹江28	黑龙江	125	93	25	70.6	42.3	40	13.6	9.92	27	168.8	32.2	81
吉粳81	吉林	86	114	32	60.0	61.2	2	17.3	13.28	23	87.5	85.4	2
沈农0606	辽宁	93	124	33	73.8	63.9	13	20.5	13.6	34	89.6	138.4	54
辽河12号	辽宁	99	127	28	67.6	59.4	12	20.1	11.68	41	115.2	98.8	14
金珠1号	辽宁	103	124	20	76.6	68.4	11	21.0	14.56	31	96.7	96.8	0
京虎B	安徽	114	127	11	69.6	60.3	13	17.1	13.92	19	63.3	102.8	62
三七十箩	云南	104	146	40	165.6	101.7	39	31.5	16.16	49	53.1	114.0	115
靖粳7号	云南	117	124	5	92.3	81.9	11	20.2	12.16	40	162.7	83.8	48
YZ21	云南	124	130	4	130.6	73.8	43	21.0	15.36	27	165.8	126.0	24
轮回422	广西	117	126	8	79.3	72.9	8	21.4	15.36	28	112.9	136.8	21
02428	广西	119	131	10	143.3	66.6	54	26.7	15.84	41	78.6	163.0	107
早沙粳	广西	127	123	3	86.0	79.2	8	22.9	12.32	46	148.4	57.8	61
木樨球	上海	121	121	0	108.3	82.8	24	22.2	13.92	37	111.5	99.2	11
盘锦782	辽宁	95	118	24	62.4	63.9	2	16.6	12.8	23	90.6	115.2	27
乌兹罗斯2	苏联	93	119	28	76.4	74.7	2	19.0	12.64	33	88.3	95.8	8

续表 2 在盐胁迫下筛选出各国家或地区水稻耐盐性较强的品种的农艺性状

Continued Table 2 screened each country or region of rice salt tolerance varieties of agronomic traits under salt stress

名称 Name	来源 Origin	有效穗数(穗)			结实率(%)			千粒重(g)		
		自然条件	盐胁迫	相对值(%)	自然条件	盐胁迫	相对值(%)	自然条件	盐胁迫	相对值(%)
		Natura	Salt stress	Relative values	Natura	Salt stress	Relative values	Natura	Salt stress	Relative values
阿诺塔马岩	广西	8.6	3.5	60	91.5	69.7	24	27.4	27.2	1
中作 522	北京	11.3	3.7	67	75.2	69.5	8	26.0	25.4	2
中作 9843	北京	10.6	5.3	50	71	73.7	4	23.0	25.1	9
牡丹江 28	黑龙江	10	6.7	33	81.6	73.5	10	24.0	24.0	0
吉粳 81	吉林	11.6	7.7	33	78.6	73.1	7	25.2	24.5	3
沈农 0606	辽宁	7.8	4.3	45	81.2	75.1	7	24.0	22.2	8
辽河 12 号	辽宁	11.8	4.5	62	78.8	71.6	9	26.6	25.4	5
金珠 1 号	辽宁	15.3	5.9	62	76.2	72.6	5	25.6	23.6	8
京虎 B	安徽	13	7.5	43	80.2	77.4	4	28.0	25.4	9
三七十箩	云南	11.7	4.0	66	77.8	73.7	5	27.2	26.2	4
靖粳 7 号	云南	10.6	4.5	57	82.8	77.7	6	28.0	25.8	8
YZ21	云南	10.6	5.9	45	84.6	71.4	16	23.6	24.2	3
轮回 422	广西	10.3	6.4	38	84.2	65.7	22	23.0	24.5	7
02428	广西	12	4.5	62	92.7	67.0	28	25.0	23.3	7
早沙粳	广西	8	10.9	37	74.4	72.2	3	23.2	25.3	9
木樨球	上海	11.6	6.1	47	78.1	76.6	2	26.4	28.4	8
盘锦 782	辽宁	10.2	4.5	56	78.2	71.8	8	26.0	25.0	4
乌兹罗斯 2	苏联	7.2	6.9	4	80.5	72.7	10	27.4	31.2	14

家中除中国华南地区的纬度在 $15 \sim 30^{\circ}\text{N}$ 外,其余都大于 30°N 。中国华南地区与纬度高的国家聚为同一类群,这可能由于中国华南地区虽然纬度较低,

但粳稻区海拔较高,气候条件比较冷凉所致。从小类群的形成到大类群的形成都与各国家所处的地理位置尤其是纬度有着一定的关系。

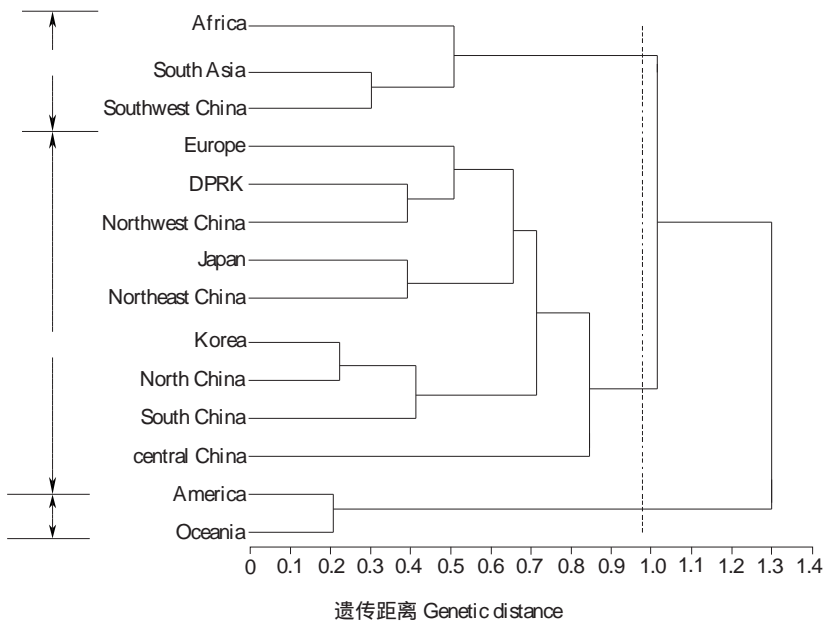


图 1 自然条件下不同来源粳稻选育品种的聚类分析(横坐标表示阈值)

Fig.1 Dendrogram of improved japonica rices from different origin under natural condition(Horizontal coordinates threshold)

2.2.2 盐胁迫条件下各洲、国家或地区粳稻选育品种的聚类分析 在盐胁迫下聚类结果如图 2 所示,以欧氏距离 1.0 为阈值,可将 14 个国家品种分为三大类群。中国西北地区 and 东北地区、韩国、日本、朝鲜和欧洲品种归为第 I 大类群。此类群中,日本与朝鲜首先聚在一起,然后欧洲和韩国依次与它们聚为同一小类群;中国东北地区和中国西北聚为同一小类群。这些国家品种聚到一起,可能是由于它们的地理位置较近,纬度都大于 30°N ,且它们都是温带大陆性气候。南亚气候条件比较复杂,它为热带沙漠气候或地中海气候。所以单独归为第 II 类群;

其余国家品种归为第 III 大类群。在第 III 大类群中,大洋洲和中国华南地区首先聚在一起,然后中国华北地区和中国华中地区依次和它们聚为同一次小类群;美洲和中国西南地区聚为一起,然后美洲和南亚与前一小类群依次形成同一小类群。这些国家中除非洲属于热带大陆性气候外,其余都是亚热带季风性气候(本文大洋洲品种主要是澳大利亚品种)。非洲与亚热带季风性气候的国家聚为同一类群,这可能是由于非洲气候条件比较复杂所致。从总体上看,水稻耐盐性与各国家所处的地理位置、纬度和气候条件有着一定的关系。

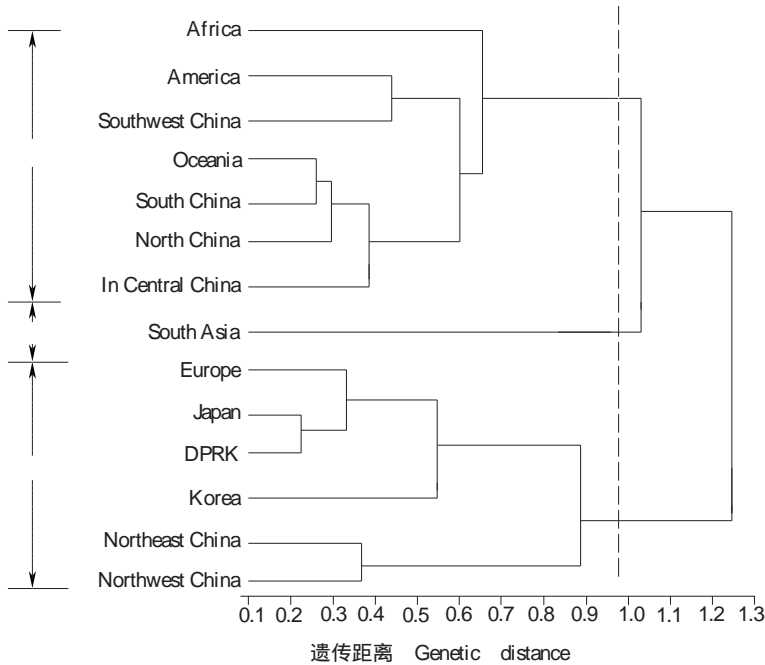


图 2 盐胁迫下不同来源粳稻选育品种的聚类分析(横坐标表示阈值)

Fig. 2 Dendrogram of improved japonica rices from different origin under salt stress(Horizontal coordinates threshold)

3 讨论

3.1 不同地理来源粳稻选育品种的盐胁迫反应

土壤盐/碱化是盐/碱稻作区水稻生产稳定发展的主要限制因素^[11-12]。盐碱胁迫对水稻的伤害主要表现为延迟种子发芽时间、降低发芽率、抑制生育进程、阻碍幼穗分化、推迟分蘖时间、减少分蘖数、降低产量和品质^[13]。郭望模等^[14]研究指出,水稻品种间耐盐碱性差异明显,不同品种对盐碱成分的敏感程度明显不同。Shannon 等^[6]对加利福尼亚 11 个主要水稻品种的耐盐性鉴定表明,盐渍环境下不同水稻品种的生长速率存在明显差异,但相对耐盐性差异不大。Marassi^[15]研究指出,株高和穗长与土壤盐碱浓度有较大的相关性。Flower^[16]研究表明,

成熟期的株高或秆长受盐碱胁迫而明显缩短。在 1986 - 1990 年期间,前人对中国 13029 份水稻种质进行了苗期耐盐碱性鉴定,认为这些水稻种质的耐盐性差异很大^[17]。赵守仁^[18]研究发现,水稻在种子芽期是耐盐碱的,而幼苗期变得十分敏感,分蘖后的营养生长期耐盐碱性增强,到开花期又变得敏感,在成熟期耐盐碱性又增强。盐胁迫会造成水稻发育迟缓,抑制水稻组织和器官的生长和分化。在 NaCl 胁迫下,随着浓度升高,水稻叶片的生长发育受到明显抑制,叶片逐渐变短、变小,绿色也随之变浅^[19];植株高度与干重都受到明显的抑制^[20]。水稻幼苗生长受到抑制,表现为植株矮化,心叶卷曲,但不同品种对胁迫的反应不尽相同^[21]。梁正伟等^[22]研究表明,在盐碱胁迫下,水稻的分蘖高峰期会明显推迟

或不出现,并且抽穗期延长;不耐盐碱的早熟品种比耐盐碱的中熟品种抽穗晚。Girdhar^[23]研究表明,盐分可延迟水稻种子的萌芽和出苗;程广有等^[24]研究发现,水稻品种间耐盐性存在显著差异,水稻株高、分蘖数和单茎绿叶数均受到盐害的抑制,它们的抑制率可作为鉴定标准。佟立纯等^[25]也报道,水稻种子在萌发阶段受到盐碱胁迫,常会导致种子发芽不齐,发芽势降低,发芽率下降。在盐碱胁迫下,分蘖高峰明显推迟或不出现分蘖高峰,抽穗期延长,不耐盐碱的早熟品种比耐盐碱的中熟品种抽穗晚^[22];Kban 等^[26]研究发现,水稻幼穗分化期受到外界盐碱胁迫时,水稻花粉活力下降,花粉粒的萌发受到抑制。水稻株高降低,单茎绿叶数和有效分蘖数减少^[27]。Lee 等^[28]研究表明,水稻受盐碱胁迫后,叶片在分蘖期受害最严重,茎秆和花序的长度在孕穗期严重缩短,有效穗数、千粒重和分蘖数等产量构成指标明显减少。而且,盐碱敏感的水稻品种淀粉合成酶活力受到抑制,幼穗分化严重受阻,结实率显著降低。张瑞珍等^[29]研究发现,盐碱胁迫严重影响幼穗正常分化和小穗形成,从而空秕率增加,主要是由于盐碱胁迫会显著缩短幼穗长度,减少小穗的第1枝梗数、小穗数,降低着粒密度、谷粒的长度、厚度、宽度、千粒重及小穗重量,而且还会导致稻草和谷粒产量的下降以及稻米品质的降低。张家泉等^[30]研究发现,受盐碱危害后,耐盐和不耐盐水稻品种的有效穗数、每穗粒数、千粒重都会下降,但不耐盐水稻品种的有效穗数、每穗粒数、千粒重下降更为明显,耐盐品种威优46减产1/3,而不耐盐品种晚粳丙9147减产达3/5,受盐碱危害时间越长,产量越低,直至绝收。

本研究表明,盐胁迫下各国家粳稻选育品种的耐盐性差异较明显。盐胁迫下各国家品种的抽穗天数均明显增加,秆长明显缩短,穗长也明显缩短,穗粒数也明显减少,有效穗数明显减少,结实率明显降低,千粒重明显降低。从以上分析,盐胁迫下筛选出了18份材料具有较强的耐盐性。所以,在今后的耐盐种质筛选中,加强对这18种种质的耐盐鉴定评价,以便筛选出强耐盐性粳稻品种。

3.2 自然条件与盐胁迫下聚类结果比较

杨志奇等^[31]对中国20个省份或地区间粳稻地方品种的聚类分析表明,地理位置相近的省份或地区品种基本划分在同一类群;张媛媛等^[32]对中国14个省份或地区间籼稻地方品种的聚类分析指出,地理位置相邻的省份或地区间品种的亲缘关系较

近,而地理位置相隔较远的省份或地区间品种的亲缘关系较远,按经度和纬度划分的品种间遗传距离较按省份划分更具有规律性;Nybom^[33]研究表明,抽样群体间地理位置越远,则群体间的遗传差异越大;张立娜等^[34]研究表明,在粳型早稻地方品种中,地理位置相近的省份或地区聚在同一类群,与地理位置密切相关;顾少华等^[35]研究指出,地理位置越远,则基因频率的差异和遗传距离越大,而地理位置越近,则基因频率的差异和遗传距离越小;Alpert 等^[36]对 *Frogaria chiloensis* 种群分化的研究表明,遗传距离与种群的空间距离呈高度相关;束爱萍等^[37]研究表明,粳稻品种的遗传相似性与纬度和地理位置有密切联系。Kiang 等^[38]研究报道,遗传距离与纬度和物候有着密切的关系。杨志奇等^[39]对中国18个省的329份粳稻地方品种进行了研究,结果表明,各省粳稻地方品种的聚类结果与各省品种的地理位置及其耐冷性有密切的联系。但有的学者研究表明,品种间亲缘关系与地理位置不存在显著的相关性。李军等^[40]对野生大豆种群内分化的研究表明,样本的生化遗传结构与环境和地理距离不存在显著的相关性;黄启强等^[41]研究报道,遗传距离与空间距离并无明显的内在联系;郎萍等^[42]对栗属的研究表明,群体间的遗传距离与地理位置没有相关性。

本研究结果倾向于前一种观点。地理位置相近,位于相同纬度范围内的各国家品种聚为同一类群,表现较相近的相似性,各国家粳稻选育品种的耐盐性与各国家品种所处的地理位置、纬度高低有一定的关系。这可能是由于同纬度的太阳辐射能量、日照长度、温度、降雨量、土壤等比较相似,故在同纬度范围培育的水稻品种在形态、生理、遗传等方面形成较类似的环境的适应性。本研究所采用的试验材料包括30个国家,覆盖面广,但本研究只按洲、国家或地区对水稻品种进行了耐盐性比较分析,而对国家或地区内水稻品种未进行细致分析。本研究中中国6个稻区的粳稻品种就有236份,有必要按省或纬度逐个进行耐盐性比较分析,今后应补充整理。另外,本研究所采用的各国家水稻品种数目不一致,有些国家的水稻品种数量少于5份,因此这会影响准确地揭示各国家品种的耐盐性,尚需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 325-344.
- [2] Zhu JK. Plant salt tolerance[J]. *Trend Plant Sci*, 2001, 6(2): 66-71

- [3] 郭岩,陈少麟,张耕耘,等.应用细胞工程获得受主效基因控制的水稻耐盐突变系[J].遗传学报,1997,24(2):122-126
- [4] Zeng L H, Michael C, Shannon. Effects of salinity on grain yield components of rice at different seeding densities [J]. Agron J, 2000, 92:418-423
- [5] Zeng L H, Michael C S. Salinity effects on seedling growth and yield components of rice [J]. Crop Sci, 2000, 40:996-1003
- [6] Shannon M C, Rhoades J D, Draper J H, et al. assessment of salt tolerance of rice varieties in California [J]. Crop Sci, 1998, 38: 394-398
- [7] Khan M S A, Hamid A, Karim M A. Effect of sodium chloride on germination and seedling characters of different types of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. J Agron Crop Sci, 1997, 179:163-169
- [8] 吴荣生,汤邦根,王月芳,等.从水稻种子愈伤组织胚性细胞系筛选耐盐突变体[J].江苏农业学报,1990,6(S):1-10
- [9] 蒋荷,孙加祥,汤陵华.水稻种质资源耐盐性鉴定与评价[J].江苏农业科学,1995(4):15-16.
- [10] 张尧忠, ID A, 飞田哲,等.从分类和地理差异看亚洲栽培稻的耐盐性[J].西南农业学报,2000,13(3):6-11
- [11] 顾兴友,梅曼彤,严小龙.水稻耐盐性数量性状位点的初步检测[J].中国水稻科学,2000,1(2):65-70
- [12] 祁栋灵,韩龙植,张三元.水稻耐盐/碱性鉴定评价方法[J].植物遗传资源学报,2005,6(2):226-231
- [13] 祁栋灵,郭桂珍,李明哲,曹桂兰,张俊国,周庆阳,张三元,徐锡哲,韩龙植,.水稻耐盐碱性生理和遗传研究进展[J].植物遗传资源学报,2007,8(4):486-493
- [14] 郭望模,应存山,李金珠,等.水稻耐盐品种在新垦海涂上的适应性评价[J].作物品种资源,1993(2):19-20.
- [15] Marassi J E. Alkali, salt, normal soil and climatic factors, under the conditions their interaction of the performance of selected rice genotypes[J]. IRRN 1989,14(6):10-11
- [16] Flower T J. Improving crop salt tolerance [J]. J Exp Bot, 2004, 55(39):307-319
- [17] 应存山.中国稻种资源[M].北京:中国农业科技出版社,1993:77-81
- [18] 赵守仁.耐盐水稻80-85的选育及其栽培要点[J].江苏农业科学,1985(3):10-20.
- [19] 李常健,林清华,张楚富,等. NaCl 对水稻谷氨酰胺合成酶活性及同工酶的影响[J].武汉大学学报:自然科学版,1999,45(4):497-500.
- [20] 张逸帆,倪沙,邓双丽,等.超级杂交稻国稻6号盐胁迫下的农艺生理变化[J].中国稻米,2009(3):7-9
- [21] 李姝晋,朱建清,叶小英,等.干旱和盐胁迫下水稻品种的双重耐性差异[J].西南农业学报,2005,182:128-132.
- [22] 梁正伟,杨富,王志春,等.盐碱胁迫对水稻主要生育性状的影响[J].生态环境,2004,13(1):43-46.
- [23] Girdhar IK. Effect of sodic water irrigating on the growth development product and chemistry system of rice on the salt soil [J]. Salt-alkaline Soil Use, 1992(1):45-50.
- [24] 程广有,许文会,黄永秀,等.植物耐盐碱性的研究(一)水稻耐盐性与耐碱性相关分析[J].吉林林学院学报,1996,12(4):214-217.
- [25] 佟立纯,谷音.盐碱对水稻生产的危害及防治对策[J].垦殖与稻作,2006(2):45-46.
- [26] Kb an M A, Abdu llah Z. Salinity-Sod laity induced changes in rep productive physiology of rice under dense soil cond it ions [J]. Environ Exp Bot, 2003, 49(2):145-147.
- [27] 符秀梅,朱红林,李靖,等.盐胁迫对水稻幼苗生长及生理生化的影响[J].广东农业科学,2010,37(4):19-21.
- [28] Lee C K, Yoon Y H, Shin J, et al. Growth and yield of rice as affected by saline water treatment at different growth stages [J]. Korean J Crop Sci, 2002, 47(6):402-408.
- [29] 张瑞珍,邵玺文,童淑媛,等.盐碱胁迫对水稻源库与产量的影响[J].中国水稻科学,2006,20(1):116-118.
- [30] 张家泉,彭建新,杨淑顺.杂交水稻协优46耐盐能力的初步研究[J].植物营养与肥料学报,1999,5(2):183-185.
- [31] 杨志奇,曹桂兰,韩龙植.中国粳稻地方品种孕穗期耐冷性鉴定及遗传多样性分析[D].北京:中国农业科学院,2008:1-63.
- [32] 张媛媛,曹桂兰,韩龙植.中国不同地理来源粳稻地方品种的亲缘关系研究[J].作物学报,2007,33(5):757-762.
- [33] Nybom H. Comparison of different nuclear DNA markers for estimating intraspecific genetic diversity in plants [J]. Mol Ecol, 2004, 13:1143-1155.
- [34] 张立娜,曹桂兰,韩龙植.中国不同地理来源早稻地方品种的遗传相似性研究[J].中国农业科学,2010,43(17):3481-3488
- [35] 顾少华,孔原,朱定良,等.华东地区黑果蝇自然群体同工酶遗传多态性的研究[J].遗传学报,1992,19(3):228-235.
- [36] Alpert P, Lumaret R, Giusto F D. Population structure inferred from allozyme analysis in the clonal herb *Fragaria obiloensis* (Rosaceae) [J]. Am J Bot, 1993, 80(9):1002-1006.
- [37] 束爱萍,金钟焕,张三元,等.世界不同来源粳稻品种的遗传相似性研究[J].中国农业科学,2008,41(7):1879-1886.
- [38] Kiang Y T, Chiang Y C. Comparing differentiation of wild soy bean (*Glycine soja* Sieb & Zucc.) population based on isozymes and quantitative traits [J]. Bot Bull Acad Sinica, 1990, 31: 129-142.
- [39] 杨志奇,杨春刚,汤翠凤,郭桂珍,余腾琼,张俊国,曹桂兰,阿新祥,徐福荣,张三元,戴陆园,韩龙植.中国粳稻地方品种孕穗期耐冷性评价及聚类分析[J].植物遗传资源学报,2008,9(4):485-491
- [40] 李军,陶芸,郑师章,等.同工酶水平上野生大豆种群内分化的研究[J].植物学报,1995,37(9):669-676.
- [41] 黄启强,张彦雄,廖明,等.马尾松同工酶基因位点间连锁关系及遗传连锁图[J].贵州林业科技,1997,25(1):1-7.
- [42] 郎萍,黄宏文.栗属中国特有居群的遗传多样性及地域差异[J].植物学报,1999,41(6):651-657.