

张 朋,王康才,朱光明,等. 7 份杭白菊种质的耐盐性评价[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):234-238.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.08.078

7 份杭白菊种质的耐盐性评价

张 朋¹,王康才¹,朱光明²,赵秀梅¹,赵 杰¹,郭庆海³,成明超⁴,周雪松⁴

(1. 南京农业大学园艺学院,江苏南京 210095;2. 上海华宇药业有限公司,上海 200002;

3. 江苏省滨海县植保植检站,江苏滨海 224500;4. 江苏省滨海县农业科学研究所,江苏滨海 224500)

摘要:以 7 份杭白菊为试材,采用人工海水作为筛选渗透压,在测定一系列生长指标和水分生理指标的基础上,通过主成分分析、模糊数学隶属函数法、聚类分析和灰色关联等方法,对杭白菊种质的耐盐性进行综合评价,筛选出合适的评价指标。结果表明:生物量、膜透性、SOD(超氧化物歧化酶)、可溶性总糖、POD(过氧化物酶)、游离脯氨酸等指标可作为杭白菊耐盐性快速鉴定评价的指标;聚类分析法将 7 份杭白菊种质的耐盐性分为强、中、弱 3 类,耐盐性强的种质为单瓣 4 号,耐盐性中的种质为 NJK1、管花 2 号、NJK2、NJK3,耐盐性弱的种质为大花 4 号 and 红心 2 号;模糊数学隶属函数法评价杭白菊种质耐盐性由强到弱依次为单瓣 4 号 > NJK1 > NJK2 > 红心 2 号 > NJK3 > 管花 2 号 > 大花 4 号。主成分分析、隶属函数法和聚类分析对 7 份杭白菊种质的耐盐性评价结果相对较为一致,单瓣 4 号、NJK1、NJK2 可作为杭白菊耐盐育种的优良种质资源。

关键词:杭白菊;人工海水;主成分分析;综合评价;耐盐性;生长指标;生理指标

中图分类号:S682.1⁺10.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)08-0234-05

菊花为菊科植物菊(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)的干燥头状花序,是传统常用中药,具有散风清热、平肝明目、清热解毒的功能。近年来,随着国内外食品、医药和饮料加工业的迅猛发展,作为药食兼用的菊花用量激增。江苏省射阳县东临黄海,土地盐碱程度参差不齐,可开发沿海滩涂面积巨大。滨海盐土的最大特点是土壤和地下水盐组成与海水较为类似,模拟海水胁迫,探索海水对植物生长影响的机制,可为沿海滩涂盐碱地种植农作物提供理论依据^[1]。

收稿日期:2014-08-20

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:201407002);江苏省科技支撑计划(编号:BE2012353)。

作者简介:张 朋(1988—),男,河南南阳人,硕士,从事药用植物栽培与生理研究。E-mail:zjpzyy@163.com。

通信作者:王康才,教授。Tel:(025)84396081;E-mail:wangkc@njau.edu.cn。

[15]黄 峰,严安生,熊传喜,等. 黄颡鱼的含肉率及鱼肉营养评价[J]. 淡水渔业,1999,29(10):3-6.

[16]张宪中,戈贤平. 泰国笋壳鱼肌肉营养品质的评价[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2006,25(1):23-27,49.

[17]严安生,熊传喜,钱健旺,等. 鳊鱼含肉率及鱼肉营养价值的研究[J]. 华中农业大学学报,1995,14(1):80-84.

[18]张 明,陶其辉,肖秀兰,等. 鄱阳湖黄颡鱼含肉率及肌肉营养分析[J]. 江西农业学报,2001,13(3):39-42.

[19]陈定福,何学福,周启贵. 南方大口鲶和鲢鱼的含肉率及鱼肉的营养成分[J]. 动物学杂志,1990,25(1):7-9.

[20]严安生,熊传喜,周志军,等. 异育银鲫的含肉率及营养评价[J]. 水利渔业,1998,18(3):16-19.

[21]杨四秀,蒋艾青. 斑鳊的含肉率及肌肉营养成分分析[J]. 河北渔业,2007(12):10-12,35.

[22]陈永乐,刘毅辉,朱新平. 3 种塘鳢含肉率及肌肉营养成分分析

江苏省射阳县是我国杭白菊的主产区之一,筛选耐盐能力较强的杭白菊种质对其育种和生产具有十分重要的意义。目前,已有许多学者开展菊耐盐性及小麦等海水耐盐筛选研究^[2-7],但有关药用杭白菊的耐盐性评价研究鲜见报道^[8-9],采用数学统计方法进行耐盐性评价的就更少。为此,本试验采用人工海水胁迫处理的方法,综合运用主成分分析、模糊数学隶属函数法、聚类分析和灰色关联等对 7 份杭白菊种质材料的耐盐性进行综合评价,以期建立较为完善的人工海水胁迫条件下杭白菊耐盐性鉴定方法与评价指标,为杭白菊的耐盐性评价及耐盐品种的选育提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2013 年 3—6 月在南京农业大学中药材研究所实验室进行,以 NJK3、NJK2、大花 4 号、单瓣 4 号、管花 2 号、

与比较[J]. 湛江海洋大学学报,2005,25(6):10-13.

[23]刘建康. 东湖生态学研究[M]. 北京:科学出版社,1990:307-311.

[24]陈定福,何学福,周启贵. 长吻鲶与大鳍鲶的含肉率及鱼肉营养成分的比较研究[J]. 淡水渔业,1988(5):21-23,13.

[25]黄 钧,陈 琴,陈意明,等. 黄颡鱼的含肉率及肌肉营养价值研究[J]. 广西农业生物科学,2001,20(1):45-50.

[26]赵 军. 人工配合饲料养殖河川沙塘鳢试验[J]. 水产养殖,2013,34(2):9-11.

[27]张丽娟,祝 斐,尹绍武,等. 河川沙塘鳢(♀)×鸭绿沙塘鳢(♂)双亲及其杂交子代的核型分析[J]. 海洋渔业,2013,35(2):183-188.

[28]任 岗,章 群. 中国沙塘鳢属鱼类线粒体 12S rRNA 基因序列分析[J]. 水生生物学报,2007,31(4):473-478.

[29]郁建锋,韩晓霞,郭倩林,等. 太湖流域河川沙塘鳢线粒体 12S 和 16S rRNA 基因序列分析[J]. 江苏农业科学,2012,40(12):48-51.

NJK1、红心 2 号共 7 份优良杭白菊种质为试材。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 2013 年 3 月下旬,选取 7 份种质无病虫害、健壮枝条进行扦插;4 月下旬,选取根系良好、生长一致的扦插幼苗定植于放有穴盘、规格为 50 cm×34 cm×16 cm 的水培箱中,每个穴盘有 140 个小孔,幼苗采用“之”字形间隔种植,培养液为 1/2 Hoagland 营养液,pH 值控制在 5.5~7.0 之间,用空气压缩泵给水培箱营养液间歇通入空气,30 min/h;预培养 5 d,待植株恢复正常生长,以 40% 人工海水进行胁迫处理,以 1/2 Hoagland 营养液处理作为空白对照(CK),每处理重复 3 次。为避免盐冲击效应,初始采用浓度为 10% 的人工海水,后每天递增 15% 逐渐提高人工海水浓度,于第 3 天达到设定浓度后即维持不变。每隔 3 d 更换 1 次营养液。

1.2.2 相关性状及生理指标测定 试验处理前后,分别采用电子数显卡尺测定植株株高,采用分析天平称量植株的鲜质量;处理后 3 周,随机选取各杭白菊种质相同部位的叶片测定各个生理指标,可溶性总糖、可溶性蛋白、SOD(超氧化物歧化酶)活性、CAT(过氧化氢酶)活性、POD(过氧化物酶)活性、MDA(丙二醛)含量、游离脯氨酸(Pro)含量分别采用茚酮比色法、Folin 酚法、氮蓝四唑(NBT)法、高锰酸钾滴定法、愈创木酚法、硫代巴比妥酸(TBA)法、磺基水杨酸法测定,相对含水量、光合色素和超氧阴离子(O₂⁻)采用高俊凤等的方法^[10]测定,膜透性采用美国 EXTECH EC400 笔式电导率 TDS

盐度计测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 和统计软件 SPSS 19.0 进行数据标准化处理和主成分分析,利用隶属函数法和主成分赋予权重法分别求出耐盐性的综合评价值,并进行耐盐性排序;对 7 份杭白菊种质材料进行耐盐性聚类分析,采用 LSD 法检验各处理的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 人工海水胁迫对抗白菊叶片抗氧化酶活性、超氧阴离子、MDA 含量和膜透性的影响

由表 1 可见,40% 人工海水胁迫下,7 种杭白菊种质的 SOD、POD 和 CAT 活性及超氧阴离子、MDA 含量和膜透性均出现不同程度的增加,且各供试材料的差异达到显著水平;单瓣 4 号 SOD 活性增加最多,为对照的 2.50 倍,而 NJK3 的 SOD 活性仅为对照的 0.83 倍;单瓣 4 号 CAT 活性增加也最多,为对照的 2.99 倍,而管花 2 号增加最少,仅为对照的 1.32 倍;管花 2 号 POD 活性增加最多,为相应对照的 2.08 倍,而红心 2 号仅为对照的 1.15 倍;大花 4 号超氧阴离子含量最高,为 1 275.0 μg/g,单瓣 4 号相对最小,为 513.8 μg/g;NJK1 的 MDA 含量增加最为明显,为对照的 3.28 倍,而单瓣 4 号增加幅度相对最小,为对照的 1.78 倍;大花 4 号的膜透性增加最多,为对照的 2.22 倍,而 NJK3 仅为对照的 1.21 倍。

表 1 人工海水胁迫对抗白菊叶片抗氧化酶活性、超氧阴离子、MDA 含量和膜透性的影响

处理	种质名称	SOD 活性 (U/g)	CAT 活性 [U/(g·min)]	POD 活性 [U/(mg·min)]	超氧阴离子 (μg/g)	MDA 含量 (μmol/g)	膜透性(%)
CK	NJK3	190.4±4.87a	3.76±0.79c	455.9±15.84e	111.8±9.63d	4.00±0.260bcd	4.93±0.253a
	NJK2	152.0±9.13b	8.55±0.75a	1067.5±32.95a	375.8±4.08a	4.91±0.790a	2.23±0.130e
	大花 4 号	195.5±6.56a	5.91±0.01b	829.1±84.54b	315.9±13.38b	3.91±0.240d	2.16±0.017e
	单瓣 4 号	118.2±9.22c	6.27±1.21b	586.7±3.49d	68.5±6.72e	4.30±0.020abc	2.94±0.188d
	管花 2 号	132.4±10.80bc	9.45±0.36a	794.2±15.01bc	310.7±9.55bc	3.95±1.290cd	3.85±0.330bc
	NJK1	177.0±7.65a	5.14±0.42bc	386.9±19.61e	291.3±9.68c	3.80±0.330abc	4.14±0.545b
	红心 2 号	137.2±6.02bc	5.95±0.81b	714.3±37.04c	301.9±4.77bc	4.89±0.150ab	3.38±0.087cd
人工海水	NJK3	158.6±5.09c	10.96±1.16c	532.8±15.67e	636.1±2.67d	7.81±0.580c	5.97±1.057ab
	NJK2	277.1±3.38a	19.65±0.67a	1 909.9±52.85a	665.4±6.84d	9.72±0.610bc	2.98±0.103c
	大花 4 号	250.9±9.84ab	15.77±1.06b	937.8±17.13c	1275.0±32.76a	7.85±1.040c	4.80±0.530b
	单瓣 4 号	295.8±31.94a	18.72±1.21ab	805.5±24.16d	513.8±16.64e	7.64±0.600c	5.32±0.466b
	管花 2 号	231.8±14.70b	12.43±1.15c	1 649.7±37.18b	955.7±34.35b	9.26±0.580bc	6.97±0.282a
	NJK1	245.0±3.25ab	8.97±0.40c	764.7±12.28d	755.2±7.25c	12.48±1.260a	6.91±0.500a
	红心 2 号	256.4±11.61ab	12.09±2.60c	823.5±17.38d	656.7±28.67d	10.69±0.840ab	7.15±0.371a

注:同列数据后不同小写字母表示同一处理下种质间有显著性差异(P<0.05)。

2.2 人工海水胁迫对抗白菊叶片中光合色素含量的影响

由表 2 可见,40% 人工海水胁迫下,各供试材料叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和总叶绿素含量与对照相比,总体均呈降低趋势,且各材料间的差异达到显著水平;管花 2 号的叶绿素 a 含量降低最多,较对照降低了 51.81%,而 NJK1 降幅最小,较对照仅降低了 10.84%;NJK2 的叶绿素 b 含量降低最多,较对照降低了 37.25%,而红心 2 号降幅最小,较对照仅降低了 12.20%;管花 2 号的类胡萝卜素含量降低最多,较对照降低了 61.54%,而 NJK1、单瓣 4 号、NJK3 的类胡萝卜素含量却较对照有不同程度增加;管花 2 号的总叶绿素含量降低最多,较对照降低了 52.30%,红心 2 号降幅最小,较对照仅

降低了 13.42%;人工海水胁迫下,NJK2、单瓣 4 号、NJK3、红心 2 号的总叶绿素含量相对较高,分别为 1.65、1.45、1.35、1.29 mg/g。

2.3 人工海水胁迫对抗白菊生长和渗透调节物质的影响

由表 3 可见,40% 人工海水胁迫下,7 种供试材料的生长量、生物量、相对含水量较对照均有不同程度的下降,可溶性总糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量较对照均有不同程度的上升,且各材料间的差异达到显著水平;大花 4 号的生长量降低最多,较对照降低了 72.73%,单瓣 4 号降低最少,较对照仅降低了 38.46%;大花 4 号的生物量降低最多,较对照降低了 75.57%,红心 2 号降低最少,较对照仅降低了 39.39%;管花

表 2 人工海水胁迫对杭白菊叶片中光合色素含量的影响

种质名称	mg/g							
	叶绿素 a		叶绿素 b		类胡萝卜素		叶绿素(a+b)	
	CK	人工海水	CK	人工海水	CK	人工海水	CK	人工海水
NJK3	0.85 ± 0.015b	0.64 ± 0.019c	0.38 ± 0.012bc	0.23 ± 0.008cde	0.07 ± 0.009b	0.09 ± 0.001d	1.23 ± 0.017b	0.87 ± 0.048c
NJK2	1.10 ± 0.032a	0.78 ± 0.020b	0.51 ± 0.008a	0.32 ± 0.016ab	0.12 ± 0.006b	0.11 ± 0.001c	1.61 ± 0.056a	1.10 ± 0.036b
大花 4 号	0.70 ± 0.023b	0.37 ± 0.012d	0.27 ± 0.002d	0.18 ± 0.003e	0.10 ± 0.007b	0.04 ± 0.003e	0.97 ± 0.055c	0.55 ± 0.096d
单瓣 4 号	0.82 ± 0.009b	0.69 ± 0.010bc	0.36 ± 0.009bcd	0.29 ± 0.014bc	0.09 ± 0.010b	0.11 ± 0.002cd	1.18 ± 0.001bc	0.98 ± 0.004bc
管花 2 号	0.83 ± 0.020b	0.40 ± 0.012d	0.32 ± 0.042bcd	0.21 ± 0.001de	0.13 ± 0.020b	0.05 ± 0.002e	1.15 ± 0.152bc	0.61 ± 0.012d
NJK1	0.83 ± 0.053b	0.74 ± 0.011bc	0.29 ± 0.019cd	0.25 ± 0.009cd	0.12 ± 0.004b	0.13 ± 0.002b	1.12 ± 0.072bc	0.99 ± 0.110bc
红心 2 号	1.06 ± 0.032a	0.92 ± 0.006a	0.41 ± 0.016ab	0.36 ± 0.020a	0.20 ± 0.005a	0.14 ± 0.005a	1.47 ± 0.098a	1.28 ± 0.014a

注:同列数据后不同小写字母表示同一处理下种质间有显著性差异($P < 0.05$)。

2 号的相对含水量降低最多,较对照降低了 27.98%,单瓣 4 号降低最少,较对照仅降低了 12.63%;单瓣 4 号的可溶性总糖、可溶性蛋白增加最多,分别为对照的 3.93、3.33 倍,而管花 2 号仅分别为对照的 1.12、1.20 倍;管花 2 号的脯氨酸含量增加最多,为对照的 34.81 倍,而 NJK2 仅为对照的 6.51 倍;人工海水胁迫处理下,单瓣 4 号的可溶性总糖、NJK2 的可溶性蛋白及管花 2 号的脯氨酸含量最高,分别为 0.59 mg/g、0.14 mg/g、248.9 μg/g。

表 3 人工海水胁迫对杭白菊生长和渗透调节物质的影响

处理	种质名称	相对生长量	相对生物量	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性总糖含量 (mg/g)	脯氨酸含量 (μg/g)	相对含水量
CK	NJK3	0.69 ± 0.030a	0.77 ± 0.032d	0.05 ± 0.002ab	0.15 ± 0.02c	16.63 ± 2.51b	0.941 ± 0.039a
	NJK2	0.51 ± 0.012b	0.68 ± 0.015e	0.11 ± 0.011ab	0.23 ± 0.01b	22.84 ± 0.12a	0.864 ± 0.015a
	大花 4 号	0.77 ± 0.050a	1.31 ± 0.041b	0.08 ± 0.010ab	0.14 ± 0.01c	12.21 ± 0.77bc	0.908 ± 0.033a
	单瓣 4 号	0.52 ± 0.013b	0.82 ± 0.040cd	0.03 ± 0.006b	0.15 ± 0.01c	6.77 ± 0.72c	0.855 ± 0.032a
	管花 2 号	0.42 ± 0.008b	0.88 ± 0.015c	0.10 ± 0.006ab	0.22 ± 0.02b	7.15 ± 0.60c	0.915 ± 0.004a
	NJK1	0.69 ± 0.018a	1.42 ± 0.025a	0.08 ± 0.010ab	0.17 ± 0.04c	26.08 ± 6.04a	0.885 ± 0.053a
人工海水	红心 2 号	0.41 ± 0.011b	0.66 ± 0.014e	0.10 ± 0.010a	0.28 ± 0.01a	24.94 ± 0.10a	0.887 ± 0.027a
	NJK3	0.34 ± 0.004a	0.21 ± 0.011d	0.09 ± 0.003d	0.18 ± 0.03d	212.7 ± 4.86b	0.814 ± 0.010a
	NJK2	0.28 ± 0.010b	0.38 ± 0.021bc	0.14 ± 0.010a	0.27 ± 0.01c	148.7 ± 6.64d	0.739 ± 0.017b
	大花 4 号	0.21 ± 0.002c	0.32 ± 0.013c	0.11 ± 0.010cd	0.23 ± 0.01cd	239.2 ± 1.94a	0.669 ± 0.026cd
	单瓣 4 号	0.31 ± 0.010ab	0.41 ± 0.007b	0.10 ± 0.010cd	0.59 ± 0.05a	155.5 ± 6.82d	0.747 ± 0.018b
	管花 2 号	0.18 ± 0.006cd	0.22 ± 0.009d	0.12 ± 0.004bc	0.25 ± 0.01c	248.9 ± 0.48a	0.659 ± 0.013d
	NJK1	0.20 ± 0.004c	0.68 ± 0.009a	0.12 ± 0.020bc	0.23 ± 0.04c	247.1 ± 10.20a	0.731 ± 0.010bc
	红心 2 号	0.15 ± 0.009d	0.40 ± 0.007b	0.13 ± 0.004ab	0.36 ± 0.01b	219.7 ± 7.99b	0.712 ± 0.026bcd

注:同列数据后不同小写字母表示同一处理下种质间有显著性差异($P < 0.05$)。

2.4 耐盐性综合评价

2.4.1 主成分分析 试验测定的 16 个指标间部分存在显著或极显著差异,所提供的信息也发生重叠,直接利用这些指标对杭白菊幼苗进行耐盐性评价会产生较大偏差。主成分分析法充分考虑了各指标之间的重叠信息,将原来个数较多且彼此相关的指标,转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标,可较为全面地对不同品种的抗逆性进行评价。对人工海水胁迫处理的 7 个杭白菊种质资源 16 个指标的耐盐系数进行主成分分析,结果(表 4)表明,有 5 个主成分的累计贡献率达到 92.932%,可以较充分地概括原有指标的信息,确定提取这 5 个主成分进行分析,把原有的 16 个单项指标转化为 5 个相互独立的综合指标。

表 4 5 个主成分的特征值及贡献率

主成分编号	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
C1	3.902	24.390	24.390
C2	3.887	24.295	48.685
C3	2.633	16.454	65.139
C4	2.541	15.879	81.018
C5	1.906	11.914	92.932

根据各综合指标的贡献率大小,可以知道各指标的相对

重要性。根据 16 个指标在盐胁迫下平均值的标准化值及各综合指标的相关系数(表 5),求出每一种杭白菊种质资源的 5 个综合指标值(表 6),根据主成分分析综合得分公式,可以求得 7 种供试材料所对应的主成分综合得分。由表 7 可见,

表 5 各因子载荷矩阵

指标	C1	C2	C3	C4	C5
可溶性蛋白	0.908	0.253	0.010	-0.261	0.040
可溶性总糖	0.894	0.032	0.096	-0.249	0.212
超氧阴离子	0.822	0.435	-0.024	-0.077	-0.249
生物量	0.644	0.415	0.285	-0.052	-0.501
叶绿素 b	0.280	0.890	-0.081	-0.065	-0.137
相对含水量	0.284	0.880	0.039	-0.120	0.026
叶绿素 a	0.106	0.784	0.204	-0.082	0.555
脯氨酸	0.514	-0.689	-0.248	0.328	-0.103
生长量	0.277	0.621	0.373	-0.457	0.229
膜透性	-0.030	0.020	0.973	0.192	0.011
类胡萝卜素	-0.003	0.465	0.801	-0.063	0.326
SOD	0.631	-0.142	0.726	0.054	0.170
POD	-0.027	-0.031	0.152	0.955	-0.082
MDA	-0.291	-0.204	-0.096	0.784	0.392
CAT	0.435	0.343	-0.269	-0.685	-0.148
叶绿素总量	0.052	0.147	0.267	0.145	0.916

表 6 各评价指标的综合指标值、权重、隶属函数值

种质名称	综合评价值					隶属函数值				
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅
NJK3	-0.151	1.107	-1.436	-0.509	-0.822	0.209	1.000	0.000	0.245	0.185
NJK2	-0.523	0.738	1.307	0.227	-1.28	0.088	0.855	1.000	0.515	0.000
大花 4 号	-0.489	-1.403	-0.882	-1.174	0.135	0.099	0.015	0.202	0.000	0.571
单瓣 4 号	2.293	0.246	0.335	-0.399	0.360	1.000	0.662	0.645	0.285	0.663
管花 2 号	0.227	-1.44	-0.045	1.547	-0.625	0.331	0.000	0.507	1.000	0.264
NJK1	-0.563	0.76	-0.49	1.223	1.196	0.075	0.864	0.345	0.881	1.000
红心 2 号	-0.794	-0.008	1.212	-0.915	1.036	0.000	0.562	0.965	0.095	0.935
W _j						0.262 4	0.261 4	0.177 1	0.170 9	0.128 2

表 7 综合主成分值和隶属函数综合评价对 7 种杭白菊耐盐性评价

种质名称	主成分		隶属函数	
	综合得分	排名	综合评价值	排名
NJK3	-0.230 7	6	0.381 8	5
NJK2	0.150 6	3	0.511 8	3
大花 4 号	-0.775 7	7	0.138 8	7
单瓣 4 号	0.653 8	1	0.683 5	1
管花 2 号	-0.130 9	5	0.381 3	6
NJK1	0.303 3	2	0.585 3	2
红心 2 号	-0.018 2	4	0.454 1	4

单瓣 4 号、NJK1、NJK2 耐盐能力较强,而大花 4 号和 NJK3 对盐胁迫较为敏感。

2.4.2 模糊数学隶属函数评价 采用 16 个单指标评价 7 种供试材料的耐盐性强弱时,评价结果存在较大差异。为更好地全面反映杭白菊不同材料真实的耐盐能力,需对各项指标进行综合考虑,而隶属函数综合评价法提供了可行性,避免了各测试指标间信息的重叠性。隶属函数综合评价以主成分分析提取的 5 个主成分综合评价值为指标,计算每一材料各综合指标的隶属函数值,编号分别为 D₁、D₂、D₃、D₄、D₅,公式为: $\mu(x_j) = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})^{[10]}$,式中, x_j 代表各材料所对应的每一个综合评价值。根据综合指标贡献率的大小,计算各隶属函数值对应的权重^[11],公式为: W_j = P_j / P,式中, W_j 表示第 j 个综合评价值在 5 个主成分的贡献率之和。由表 6 可见,各隶属函数值所对应的权重分别为 0.262 4、0.261 4、0.177 1、0.170 9、0.128 2。从而进一步计算各材料的隶属函数综合评价值,公式为: D = Σ(μ_j × W_j)。由表 7 可见,单瓣 4 号、NJK1、NJK2 耐盐能力较强,而大花 4 号和管花 2 号对盐胁迫较为敏感。

2.4.3 聚类分析 聚类分析作为一种无管理模式的识别方法,试验结果很大程度上取决于方法所采用的距离、类间距等参数^[12]。以主成分分析提取的 5 个主成分综合评价值为指标,对数据进行标准化处理,以欧氏距离的平方为相似尺度,采用组间连接的方法进行系统聚类分析,将供试材料耐盐性分为强、中、弱 3 类。由图 1 可见,耐盐性强的种质为单瓣 4 号,耐盐性中的种质为 NJK1、管花 2 号、NJK2、NJK3,耐盐性弱的种质为大花 4 号和红心 2 号。

2.4.4 灰色关联分析 聚类分析、主成分分析和模糊数学隶属函数法分别对杭白菊供试材料的耐盐能力进行了分门别类和综合评价排序,但对杭白菊耐盐筛选的具体量化指标缺乏一个明确的定性,不能方便有效地用于杭白菊其他材料耐盐能力的快速判断,采用更为有效的方法对耐盐指标进行明确和简化很有必要。按照灰色系统理论,将 7 种供试材料的耐

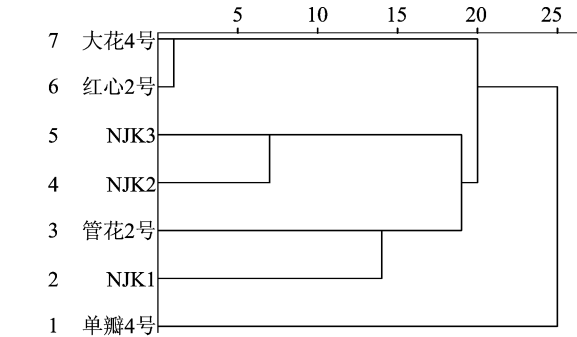


图1 7 份杭白菊种质耐盐性的聚类分析

盐综合评价值及 16 个指标视为一个整体,耐盐综合评价值为母序列,其他 16 个量化指标为子序列。利用 SPSS 19.0 对原始数值进行标准化处理,使其变成无量纲数值;利用关联系数和关联度求解公式,分别求得各子序列和母序列之间的关联系数和关联度并排序,结果表明,SOD、可溶性总糖、生物量、膜透性、POD、Pro、类胡萝卜素、超氧阴离子、CAT、叶绿素 b、MDA、生长量、叶绿素总量、可溶性蛋白、相对含水量、叶绿素 a 关联度系数由高到低分别为 0.99、0.77、0.76、0.73、0.69、0.69、0.68、0.67、0.64、0.63、0.60、0.60、0.59、0.57、0.57 和 0.56,SOD、可溶性总糖、生物量、膜透性、POD、Pro 等指标与杭白菊耐盐性评价有较好的关联度。

3 结论与讨论

盐胁迫是全球普遍存在的一种非生物胁迫,是盐碱地上限制植物生长和发育的主要环境因素。不同物种对盐渍环境的适应能力和适应机制均会存在明显的差异,同一物种的不同栽培类型的耐盐性也会有所不同。何先元等研究发现,大白菊和长瓣菊耐盐性较弱,红心菊和小白菊耐盐性较强;红心菊和小白菊适于在盐碱地种植^[8]。王康才等研究发现,在低浓度盐胁迫下,红心菊耐盐性高于黄菊,而在高盐胁迫下,黄菊耐盐性高于红心菊^[9]。本试验结果表明,7 份杭白菊种质在人工海水胁迫下,其耐盐性有较大差别,总体表现为抗氧化酶、可溶性总糖、Pro 等渗透调节物质及超氧阴离子、MDA、膜透性等指标均出现不同程度的增加,而光合色素含量、生长量、生物量及相对含水量等指标较对照存在不同程度的下降。当然也有例外,NJK1、单瓣 4 号、NJK3 在遭受胁迫时,类胡萝卜素含量与对照相比没有降低,反而有不同程度的增加,这说明一定程度的胁迫作用会促进部分材料的某些生理进程,并表现出对盐胁迫具有较强的适应性。基因决定表现型,杭白菊不同材料耐盐性不同,也许还与杭白菊本身基因高度杂合、染

色体数从 43 条到 55 条不等有关,这也说明了杭白菊的耐盐能力不能仅凭借几个简单的指标就可以评价。

植物耐盐性是由多因素相互作用而形成的一个十分复杂的生理生态响应过程,不同植物不同时期的耐盐性都会所不同,任何单一指标的测定与研究都不可能有效、准确地评价植物的耐盐性,而评价指标过多,不仅增加研究难度,也会造成资源的浪费。因此,找出那些起关键作用的指标,可以达到以较少指标准确评价植物耐盐性的目的,而综合利用形态生理和生化等指标,对植物的耐盐性进行综合评价是比较科学合理的。管志勇等运用主成分分析,提炼出叶片伤害率、叶绿素 a 含量、叶绿素总量、净光合速率、丙二醛含量 5 个关键筛选指标,对大岛野路菊等 5 种菊花的耐盐性进行了综合评价^[3];李丰先等通过模糊数学隶属函数法和主成分分析法,对各高粱品种进行耐碱性综合评定,筛选出根长、发芽指数、叶干重等指标用于大量高粱品种萌发期耐碱性的筛选,并对结果进行聚类分析,对高粱品种进行了耐碱性分类^[13];杨升等利用相关分析、主成分分析和隶属函数法,对 3 个树种的耐盐性进行综合评价,并通过灰色关联分析,最终筛选出株高、相对生长量、膜透性、脯氨酸、根茎叶中的 Na^+ 和 K^+ 含量等作为耐盐性评价的重要指标^[14]。本研究结合前人的研究成果,采用主成分分析、模糊数学隶属函数法、聚类分析、灰色关联分析方法,利用 16 个指标对 7 份杭白菊种质材料的耐盐性进行综合评价,结果发现,主成分分析和模糊数学隶属函数法对 NJK2、大花 4 号、单瓣 4 号、NJK1、红心 2 号的耐盐性评价较为一致,仅对 NJK3 和管花 2 号的评价稍有不同;将系统聚类分析与主成分分析、模糊数学隶属函数法得分排序的结果对比发现,除红心 2 号和 NJK3 外,其他供试材料 3 种评价方法结果较为一致,尤其盐能力较强杭白菊种质单瓣 4 号和对盐胁迫较为敏感的种质大花 4 号,3 种评价方法的结果完全一致。聚类分析法与主成分分析、模糊数学隶属函数法之所以存在耐盐性评价差异,这是由于聚类分析法是一种等权重的综合评价方法,而实际上不同指标在评价耐盐性上的权重是不相同的。

灰色关联分析结果显示,SOD、可溶性总糖、生物量、膜透性、POD、Pro 等指标与杭白菊耐盐性评价有较大的关联度,这些指标可反映植物在盐胁迫环境下的生长情况、膜系统稳定性、渗透调节能力和抗氧化酶膜透性的大小,相应反映了植物叶片的受损程度,膜透性越大,叶片受损越严重,必然导致叶绿素含量降低。Mohamed 等认为,膜透性可以作为植物耐盐能力评价的一个重要指标,而脯氨酸是植物在逆境环境条件下的一种重要渗透调节物质,在植物体内不仅作为渗透调节剂调节渗透压,还起着改善植物微环境、保证其他生化反应正常进行的作用^[15]。Wided 等研究发现,盐胁迫下叶片中的脯氨酸会显著积累,这可以作为一个耐盐的评价指标^[16];可溶性糖是很多非盐生植物的主要渗透调节剂^[17-18],它也是合成其他有机溶质的碳架和能量来源^[19],对细胞膜和原生质胶体有稳定作用,还可在细胞内无机离子浓度高时起保护酶类的作用;SOD、POD 是膜系统的抗氧化酶,可以减轻膜系统的氧化损伤;脯氨酸、可溶性糖、MDA 含量、SOD、POD 活性可以作为鉴定番茄幼苗耐盐性的生理指标^[7]。本试验将灰色关联分析通过与主成分分析中因子载荷矩阵进行对比发现,可溶性总糖、POD、Pro 与主成分高度相关,因子载荷矩阵虽然不能

直接反映相关指标对耐盐性的影响,但却可以通过影响主成分并最终对杭白菊耐盐性产生重大影响。因此,利用 SOD、可溶性总糖、生物量、膜透性、POD、Pro 这 6 个指标对杭白菊耐盐性的快速评价较为合适。同时,综合评价认为,杭白菊种质单瓣 4 号、NJK1、NJK2 耐盐能力较强,可以作为杭白菊耐盐育种的优良种质资源。

需说明的是,本研究是在模拟海水的盐分条件下在室内所做的水培试验,与实际滨海盐碱地条件还有一定差别,自然条件下盐碱地植物会受到各种因素的影响,各种逆境条件相互作用、相互影响,植物在不同时期、不同环境下对盐胁迫的反应会不尽相同;因此,大田试验和不同生育期对比试验将是下一步的研究方向。

参考文献:

- [1]唐奇志,刘兆普,陈铭达,等. 海水处理对向日葵幼苗生长及叶片一些生理特性的影响[J]. 植物学通报,2004,21(6):667-672.
- [2]刘爱荣,张远兵,方园园,等. 盐胁迫对金盏菊生长、抗氧化能力和盐胁迫蛋白的影响[J]. 草业学报,2011,20(6):52-59.
- [3]管志勇,陈发棣,滕年军,等. 5 种菊花近缘种属植物的耐盐性比较[J]. 中国农业科学,2010,43(4):787-794.
- [4]管志勇,陈素梅,陈发棣,等. 32 个菊花近缘种属植物耐盐性筛选[J]. 中国农业科学,2010,43(19):4063-4071.
- [5]薛建平,张爱民,高翔,等. 安徽药菊耐盐突变体的筛选[J]. 中国中药杂志,2004,29(9):834-837.
- [6]刘妍妍,吴纪中,许璋阳,等. 人工海水胁迫下小麦芽期和苗期的耐盐性鉴定方法[J]. 植物生理学报,2014,50(2):214-222.
- [7]费伟,陈火英,曹忠,等. 盐胁迫对番茄幼苗生理特性的影响[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2005,23(1):5-9,30.
- [8]何先元,郭巧生,罗庆云,等. 药用白菊花苗期耐盐性鉴定[J]. 中国中药杂志,2003,28(6):499-503.
- [9]王康才,黄莺,汤兴利,等. 药用杭白菊和黄菊及其杂交 F_1 代耐盐特性研究[J]. 中国中药杂志,2011,36(17):2321-2324.
- [10]高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [11]张耿,高洪文,王赞,等. 偃麦草属植物苗期耐盐性指标筛选及综合评价[J]. 草业学报,2007,16(4):55-61.
- [12]宋江峰,李大婧,刘春泉,等. 甜糯玉米罐罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析[J]. 中国农业科学,2010,43(10):2122-2131.
- [13]李丰先,周宇飞,王艺陶,等. 高粱品种萌发期耐碱性筛选与综合鉴定[J]. 中国农业科学,2013,46(9):1762-1771.
- [14]杨升,刘正祥,张华新,等. 3 个树种苗期耐盐性综合评价及指标筛选[J]. 林业科学,2013,49(1):91-98.
- [15]Mohamed M F M, Karima H A S. Cellular basis of salinity tolerance in plants[J]. Environmental and Experimental Botany, 2004, 52(2):113-122.
- [16]Wided M, Nader B A, Ahmed D, et al. Salt tolerance of the annual halophyte *Cakile maritima* as affected by the provenance and the developmental stage[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2007, 29(4):375-384.
- [17]赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993.
- [18]刘祖祺,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:369.
- [19]张海燕,赵可夫. 盐分和水分胁迫对盐地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报:英文版,1998,40(1):61-66.