

人工海水胁迫下芦笋品种耐盐性评价的多元统计分析

谢启鑫, 尹玉玲, 张岳平, 周劲松, 汤泳萍, 罗绍春, 陈光宇

(江西省农业科学院蔬菜花卉研究所, 南昌 330200)

摘要: 利用浓度为 25% 的人工配制海水对 25 个芦笋品种进行了芽期和苗期的胁迫处理, 调查发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长、株高、茎数、茎粗、根鲜质量、根干质量以及根体积等 10 个农艺性状, 以各性状耐盐系数作为衡量耐盐性的指标, 利用多元统计分析方法对芦笋品种的耐盐性进行了综合评价。结果表明, 调查的 10 个性状指标在品种间差异显著, 因子分析将其集约于 3 个主因子上, 即种子活力因子、根部因子和生长因子, 主因子累计贡献率达 82.2%。基于品种因子得分值进行聚类分析, 25 个芦笋品种可分为 4 类, 即耐盐品种、较耐盐品种、中度耐盐品种和盐敏感品种。本研究建立的人工海水胁迫处理鉴定芦笋品种耐盐性的综合评价方法, 可为芦笋材料耐盐性鉴定和耐盐育种提供理论参考。

关键词: 芦笋; 人工海水; 苗期胁迫处理; 多元统计分析; 耐盐性评价

Multiple Statistics Analysis of Salt Stress Evaluation on Asparagus Varieties with Artificial Sea Water

XIE Qi-xin, YIN Yu-ling, ZHANG Yue-ping, ZHOU Jin-song, TANG Yong-ping, LUO Shao-chun, CHEN Guang-yu

(Institute of Vegetables and Flowers, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200)

Abstract: 25% of artificial sea water was applied to stress total of 25 asparagus varieties at the germination and seedling stage. The salt tolerance of asparagus varieties was evaluated comprehensively by means of multiple statistics analysis based on the salt resistant index of 10 agronomic characters including trend of germination, germination index, vigor index, radicle length, plant height, stem number, stem diameter, fresh mass of root, dry mass of root and root volume. The result showed that 10 agronomic characters differentiated greatly in different varieties, and they could be characterized into three main factors by factor analysis, namely seed vigor factor, root factor and growth factor with the accumulative contribution rate of 82.2%. Cluster analysis based on the score vectors of the factors showed that the 25 varieties could be classified into four categories, including 6 of the best salt tolerant varieties, 4 of the stronger salt tolerant varieties, 7 of the moderately salt sensitive varieties and 8 of the salt sensitive varieties. Consequently, a comprehensive evaluation method of salt stress on asparagus varieties with artificial sea water was established in this study, which could offer theory references for salt tolerance identification and breeding on asparagus.

Key words: asparagus; artificial sea water; stress at seedling stage; multiple statistics analysis; salt tolerance evaluation

我国广泛分布着大量的盐碱地, 并呈不断扩大的趋势。土壤盐渍化已成为作物高效栽培的主要障碍, 提高作物的耐盐性和盐渍地的综合利用能力是

我国农业的重大课题^[1]。盐渍化土壤中的很大一部分是滨海盐土, 其最大特点是土壤和地下水的盐分组成与海水一致。因而模拟海水胁迫, 探索复合

收稿日期: 2014-06-27 修回日期: 2014-07-23 网络出版日期: 2015-02-06

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150206.1633.005.html>

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201003074); 国家自然科学基金(31260352)

第一作者研究方向为芦笋育种与栽培技术。E-mail: biocrat@126.com

通信作者: 罗绍春, 研究方向为芦笋育种与栽培技术。E-mail: lsc200406@sina.com

盐对作物生长的影响,可为沿海滩涂盐碱地种植农作物提供理论依据^[2]。

芦笋(*Asparagus officinalis* L.),又名石刁柏,为百合科天门冬属多年生宿根草本植物,是一种营养保健型高档蔬菜,被誉为“蔬菜之王”^[3]。经过近20~30年的发展,中国已成为世界第一大芦笋生产和出口国,芦笋也已成为中国加工出口贸易额最大的单一蔬菜品种^[4]。芦笋起源于地中海沿岸和小亚细亚沙漠地区,根系发达,具粗壮肉质贮藏根,对土壤中的水分和养分利用效率高,生态适应强,具有较强的耐干旱、耐盐碱和耐贫瘠能力,是盐碱地治理的先锋植物之一^[5-7]。目前国内已有少量芦笋耐盐性的报道,但集中于盐胁迫条件的优化和若干耐盐性状的简单比较,以及耐盐品种的引种试种^[8-10]。由于缺乏有效的种质耐盐性鉴定综合评价方法,至今未见耐盐品种的选育报道。

近年来,黄瓜^[11]、辣椒^[12-13]、菜豆^[14]等蔬菜抗逆性的综合分析评价研究取得了很好的应用效果。多元统计分析是从经典统计学中发展起来的一个分支,能够在多个对象和多个指标互相关联的情况下

分析它们的统计规律,很适合农业科学研究的特点。本研究以25个芦笋品种为试材,测定其萌芽期和幼苗期的农艺性状指标,采用多元统计分析方法中的相关分析、因子分析和聚类分析对品种的耐盐性进行评价,旨在为芦笋耐盐种质资源的筛选、鉴定以及耐盐育种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为第4届国际芦笋品种试验中选择的25个代表性品种,其中国内品种9个、国外品种16个(表1)。国际芦笋品种试验是由国际园艺学会芦笋分会组织实施,旨在对各国新近育成的芦笋品种在世界各地的生长适应性进行评价,筛选适应性强的品种在全球推广。第4届国际芦笋品种试验是于2009年在秘鲁首都利马召开的第12届世界芦笋大会上发起的,由美国罗格斯大学 Chee-kok Chin 教授担任联络员,试验于2011年开始执行。本试验于2012-2013年在江西省农业科学院蔬菜花卉研究所生理实验室及温室进行。

表1 供试材料

Table 1 Origins of asparagus varieties

编号 Number	品种 Variety	来源 Origin	编号 Number	品种 Variety	来源 Origin
1	井冈红 JK purple	中国江西 Jiangxi, China	14	Jersey knight	美国 America
2	井冈 701 JK701	中国江西 Jiangxi, China	15	Early California	美国 America
3	井冈 111 JK111	中国江西 Jiangxi, China	16	Patron	美国 America
4	TX-7	中国江西 Jiangxi, China	17	Tallems	荷兰 Holland
5	BT-5	中国江西 Jiangxi, China	18	Fortems	荷兰 Holland
6	冠军 Guanjun	中国山东 Shandong, China	19	Backlim	荷兰 Holland
7	硕丰 Shuofeng	中国山东 Shandong, China	20	Thielim	荷兰 Holland
8	京绿芦 1 号 BJ98-2 F1	中国北京 Beijing, China	21	Pacific purple	新西兰 New Zealand
9	浙丰 03411 F1 Zhefeng 03411 F1	中国浙江 Zhejiang, China	22	Pacific challenger 1	新西兰 New Zealand
10	UC157	美国 America	23	Pacific endeavour	新西兰 New Zealand
11	Atlas	美国 America	24	Mill	加拿大 Canada
12	Apilho	美国 America	25	16523-B	日本 Japan
13	Purple passion	美国 America			

1.2 方法

1.2.1 人工海水胁迫处理芦笋种子及性状指标测定 以 M. Shi 等^[15]的人工海水配方(每 L 水含 NaCl 26.726 g、MgCl₂ 2.26 g、MgSO₄ 3.248 g、CaCl₂ 1.153 g、NaHCO₃ 0.198 g 和 KCl 0.721 g)配制浓度为 25% 的人工海水作为盐胁迫剂。先将芦笋种子用 3% 的 NaClO 消毒 10 min,蒸馏水冲洗 3 次,人工海水浸种 48 h 后滤起,置于铺有 2 层滤纸内径为 9 cm 的

培养皿内,每皿加入人工海水 10 mL,于 28 °C 下催芽,每天记录发芽数、清洗种子并更换人工海水,计算第 7 天的发芽势和第 18 天的发芽指数。同时,采用玻璃垂直板发芽法测定胚轴和胚根长,计算活力指数^[16]。试验以蒸馏水为对照,每个处理 100 粒种子,重复 3 次。

1.2.2 人工海水胁迫处理芦笋幼苗及性状指标测定 种子发芽后,播种于盛有泥炭和菜园土混合基质(体积比 1:1)的 50 孔塑料穴盘中,缓苗后施于 1/2

Hoagland 营养液,14 d 后开始盐胁迫处理。将浓度为 25% 的人工海水溶质溶于 1/2 Hoagland 营养液,配成人工海水营养液灌施幼苗,每 2 d 灌施 1 次,用量为基质持水量的 2 倍,以灌施 1/2 Hoagland 营养液为对照,每处理 2 盘幼苗,随机区组排列,重复 3 次。处理 20 d,分别从每个区组中随机选取 15 株,测定幼苗株高、茎数、茎粗、根鲜质量、根干质量和根体积。

1.2.3 数据分析 参照徐小万等^[17]的方法计算各单项指标的耐盐系数 α ($\alpha = \text{处理组测定值} / \text{对照组测定值} \times 100\%$),利用 Excel 软件进行数据整理,计算平均值和标准差,然后采用 SPSS 19.0 软件对各单项指标的耐盐系数进行相关分析、因子分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 芦笋品种耐盐性状的比较

人工海水胁迫下 25 个芦笋品种芽期和苗期农艺

性状的耐盐系数平均值见表 2。从表 2 中可以看出,与对照相比,胁迫处理后芦笋的农艺性状发生了明显变化。品种间各性状的耐盐系数存在较大差异,且同一品种不同单项指标的耐盐系数也缺乏一致性。如发芽势耐盐系数最大的是 Tallem,为 138.07,最小的是 Patron,为 45.81;茎数耐盐系数最大的是 TX-7,为 74.70,最小的是 Pacific challenger 1,为 40.64。可见,仅仅简单地以某一个或几个单项指标耐盐系数来评价芦笋品种耐盐性难于得出一致性结论。

2.2 芦笋品种耐盐系数的相关分析

10 个农艺性状耐盐系数相关分析的结果(表 3)表明,除活力指数(X_3)外,其他 9 个单项指标耐盐系数间均存在不同程度的相关性,使得它们所提供的信息发生高度重叠,用这些单项指标评价其耐盐性难于得到客观的结果,需借助因子分析法对这些单项指标进行综合分析。

表 2 芦笋品种耐盐性相关性状指标

Table 2 The character indexes related to salt tolerance in different asparagus varieties

编号 Number	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
1	96.70	93.19	17.14	46.46	36.17	63.54	67.22	56.12	59.68	60.29
2	93.49	68.49	14.18	40.47	30.69	48.41	60.25	50.55	48.08	51.47
3	93.68	89.15	25.22	38.77	37.23	55.74	58.5	61.06	62.25	59.14
4	97.83	94.58	19.84	42.23	41.48	74.70	70.42	69.92	65.08	66.22
5	75.15	61.56	15.64	29.55	26.35	47.99	49.93	47.93	45.28	51.27
6	72.68	81.16	10.76	21.28	31.37	50.73	42.31	65.48	69.54	66.81
7	90.51	85.35	10.28	38.27	24.7	56.23	65.58	63.75	60.42	61.19
8	94.80	88.22	17.77	36.55	36.51	57.52	43.68	68.71	71.06	65.64
9	90.25	87.04	14.63	43.19	34.56	53.24	54.83	52.14	54.01	56.22
10	85.26	75.50	10.44	36.70	28.1	56.12	41.2	55.94	61.28	59.84
11	79.16	72.82	22.30	26.64	24.86	52.65	40.41	54.48	57.41	56.07
12	76.78	80.73	25.44	24.92	36.32	45.30	32.22	70.63	63.07	62.15
13	105.15	99.90	21.38	53.58	38.2	58.92	71.01	68.37	66.26	65.67
14	61.75	75.31	18.66	19.51	40.33	53.12	29.8	49.76	48.82	50.75
15	51.87	69.03	16.69	25.16	29.45	53.21	44.9	53.26	51.29	53.37
16	45.81	56.61	7.22	15.54	38.57	55.42	29.74	58.90	58.67	57.40
17	138.07	125.26	15.38	57.3	33.45	60.45	76.28	67.53	64.58	68.15
18	87.18	79.70	9.47	34.32	28.88	48.99	55.5	45.54	49.48	49.50
19	80.51	70.28	7.15	22.70	32.05	42.45	31.36	60.95	65.82	61.99
20	82.43	71.91	11.72	27.88	43.63	51.07	48.36	54.81	57.58	56.11
21	88.62	84.93	13.13	37.26	37.93	60.75	63.08	62.83	62.24	57.59
22	84.13	86.35	8.22	30.55	27.61	40.64	35.24	54.88	60.50	58.45
23	91.17	83.42	13.97	44.62	47.86	59.52	68.09	50.85	48.29	53.19
24	86.61	81.42	16.95	33.91	48.26	56.62	42.69	44.97	50.15	50.20
25	73.51	64.65	12.59	25.32	39.37	50.12	27.86	47.30	45.76	47.96

$X_1 \sim X_{10}$ 分别表示发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长、株高、茎数、茎粗、根鲜质量、根干质量以及根体积的耐盐系数。下同

$X_1 \sim X_{10}$ indicate the salt resistant index of trend of germination, germination index, vigor index, radicle length, plant height, stem number, stem diameter, fresh mass of root, dry mass of root and root volume respectively. The same as below

表 3 芦笋品种 10 个性状耐盐系数相关分析

Table 3 Correlation matrix of salt resistant index of 10 traits in asparagus varieties

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
X ₁	1									
X ₂	0.858 **	1								
X ₃	0.205	0.305	1							
X ₄	0.892 **	0.796 **	0.250	1						
X ₅	0.057	0.119	0.209	0.107	1					
X ₆	0.385	0.491 *	0.311	0.548 **	0.413 *	1				
X ₇	0.743 **	0.679 **	0.202	0.882 **	0.079	0.643 **	1			
X ₈	0.349	0.526 **	0.274	0.243	-0.024	0.338	0.263	1		
X ₉	0.333	0.501 *	0.088	0.174	-0.084	0.232	0.137	0.896 **	1	
X ₁₀	0.467 *	0.632 **	0.141	0.345	-0.097	0.341	0.317	0.928 **	0.940 **	1

*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关

* and ** indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively

2.3 因子分析

采用方差极大正交旋转法对芦笋 10 个耐盐性相关性状指标进行因子分析,其指标的前 3 个主因子的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率和旋转因子载荷矩阵如表 4。从表 4 中可知其前 3 个主因子的累计方差贡献率达 82.202%,说明 3 个主因子所包含的信息量可以反映出全部 10 个性状指标原始特征参数的大部分信息。在主因子 1 中,胚根长的载荷值最大(0.963),其次为发芽指数、发芽势和活力指数,这些指标反映了种子发芽的速度、整齐度和综合活力,可称其为种子活力因子。主因子 2 中起主要作用的是根鲜质量、根干质量和根体积,这些指标与植株的根系生长状况有关,可称其为根部因子。主因子 3 包含株高、茎粗和茎数,这些指标与植株地上部的生长状况有关,可称其为生长因子。可见,在评价芦笋品种耐盐性时,影响最大的是种子活力因子,其次是根部因子,再次是生长因子。

2.4 聚类分析

根据方差极大正交旋转后各品种的主因子得分值(表 5)计算品种间的欧氏距离,用离差平方和法(Ward 氏法)进行系统聚类(图 1)。从图 1 中可知,以欧氏距离 2.694 为阈值,25 个芦笋品种可聚为 4 类:即耐盐品种井冈 111、Pacific purple、井冈红、TX-7、Purple passion、Tallems;较耐盐品种冠军、Backlim、京绿芦 1 号、Apllo;中度耐盐品种井冈 701、Fortems、BT-5、浙丰 03411 F1、硕丰、UC157、Pacific challenger 1;以及盐敏感品种 Pacific endeavour、Mill、Jersey knight、16523-B、Early California、Thielim、Atlas、Patron。

表 4 方差极大正交旋转因子载荷矩阵

Table 4 The factor loading matrix after varimax rotation

性状	因子 1	因子 2	因子 3
Character	Factor 1	Factor 2	Factor 3
X ₄	0.963	0.075	0.145
X ₂	0.906	0.058	0.173
X ₁	0.903	0.237	0.026
X ₃	0.789	0.442	0.172
X ₈	0.099	0.968	-0.004
X ₉	0.152	0.945	0.151
X ₁₀	0.280	0.945	0.016
X ₆	-0.013	-0.140	0.835
X ₇	0.490	0.182	0.643
X ₅	0.134	0.157	0.622
特征值 Eigen value	3.556	3.062	1.602
方差贡献率(%) Proportion rate	35.559	30.619	16.024
累计方差贡献率(%)	35.559	66.178	82.202
Cumulative proportion rate			

3 讨论

芦笋是多年生蔬菜,植株高大,具针状拟叶,茎表皮附蜡质层,地下部具庞大鳞茎盘,蒸腾作用小,光合效率高,对干旱、盐碱、贫瘠的适应性强,是治理非耕地的先锋植物^[6-7]。芦笋耐盐特性已在许多研究中得到证实,Y. Uno 等^[18]以芦笋为对照,评价海紫苑萌发和生长期的耐盐性,发现芦笋最大能耐受 100 mmol/L NaCl,并将其归于耐盐蔬菜。谭巍巍等^[19]比较分析

表 5 方差极大正交旋转后因子得分值

Table 5 The factor scores after varimax rotation

编号 Number	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	编号 Number	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
1	1.09	-0.06	0.52	14	-1.26	-0.86	1.07
2	0.67	-1.28	-0.85	15	-0.88	-0.53	-0.06
3	0.28	0.39	1.01	16	-1.97	0.29	0.26
4	0.72	1.10	1.89	17	2.59	0.99	-0.46
5	-0.16	-1.29	-0.93	18	0.60	-1.4	-1.33
6	-0.94	1.60	-0.71	19	-1.03	0.94	-1.41
7	0.76	0.49	-1.31	20	-0.50	-0.28	0.42
8	-0.18	1.57	0.45	21	0.37	0.26	0.42
9	0.69	-0.61	-0.25	22	-0.19	0.24	-1.93
10	0.01	0.25	-0.93	23	0.86	-1.36	1.24
11	-0.51	0.02	-0.30	24	-0.10	-1.38	1.49
12	-1.28	1.34	0.73	25	-0.89	-1.41	0.23
13	1.23	1.0	0.73				

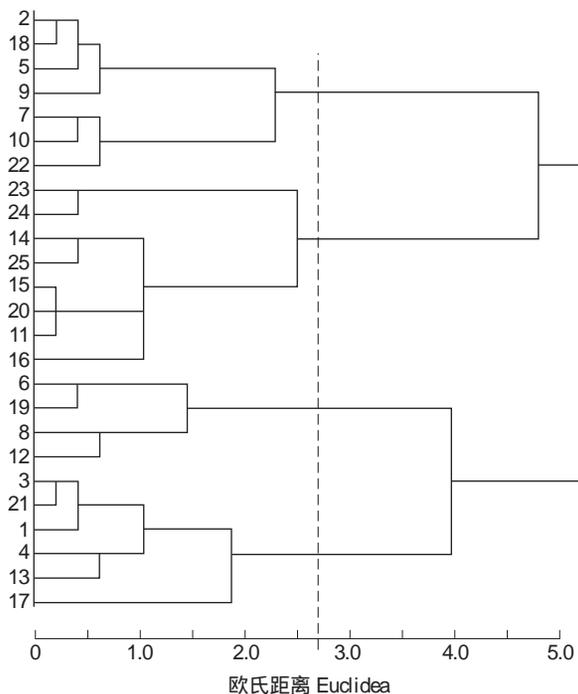


图 1 方差极大正交旋转后品种聚类图

Fig. 1 Clustering of the cultivars after varimax rotation

了 NaCl 和 Na₂CO₃ 对芦笋幼苗的胁迫效应,认为芦笋可通过增加渗透调节物质含量提高对盐碱的抵抗能力;胡淑明等^[8]发现多数芦笋品种能耐 0.3% 或更高浓度的 NaCl 胁迫,个别品种在 0.5% 盐浓度下仍能正常发芽。这些研究对芦笋的耐盐特性和机理进行了积极探索,具有重要价值。

芦笋原产于国外,国内种质资源比较匮乏,本研究以第 4 届国际芦笋品种试验为契机,选择 25 个代表性品种为试材。其中既有国外品种,也有近年来国内科研单位育成的品种,既有二倍体,也有四倍体,既有绿芦笋,也有紫芦笋,既有常规品种,也有全雄品种,代表性广。在研究方法上,前人^[8,19-20]大多用 NaCl 和 Na₂CO₃ 等钠盐进行胁迫处理,也有用盐碱土浸提液的^[9]。而我国的盐渍化土壤分布范围广,大部分是滨海盐土,其最大特点是土壤和地下水的盐分组成与海水一致。因此本研究用 25% 的人工配制海水模拟滨海盐土对芦笋种子萌发和幼苗生长的影响,应更切合实际。

本研究以 10 个农艺性状的耐盐系数作为芦笋芽期和苗期的耐盐性鉴定指标,结果显示,不同品种间各单项指标耐盐系数存在较大差异,且同一品种不同单项指标也缺乏一致性,这与方荣等^[13]对辣椒耐弱光性的研究结果相似。相关分析发现,除活力指数(X₃)外,其他 9 个单项指标耐盐系数间均存在不同程度的相关性,信息发生高度重叠,说明芦笋的耐盐性跟其他作物一样涉及多种代谢途径,采用单一指标评价其耐盐性存在片面性,应综合考虑多个指标,才能更真实地反映其综合耐盐能力。随后的因子分析结果表明,10 个农艺性状指标可归为 3 个主因子,分别为种子活力因子、根部因子和生长因子,它们保留了原始变量 82.202% 的信息。以因子

得分值代替原始性状指标测定结果,对各个品种的因子得分向量进行聚类,25个芦笋品种可划分为4类:即耐盐品种井冈111、Pacific purple、井冈红、TX-7、Purple passion、Tallems;较耐盐品种冠军、Backlim、京绿芦1号、Apllo;中度耐盐品种井冈701、Fortems、BT-5、浙丰03411 F1、硕丰、UC157、Pacific challenger 1以及盐敏感品种Pacific Endeavour、Mill、Jersey knight、16523-B、Early California、Thielim、Atlas、Patron。耐盐品种中包含1个具野生近缘种血缘的品种、2个全雄品种以及3个紫色四倍体品种。可见芦笋品种的耐盐能力差异明显,这与前人^[8]的研究结论类似。研究还发现,芦笋耐盐性水平跟品种的来源无必然联系,分析认为可能是国内外育种材料频繁交流造成后代间亲缘关系较近所致。

本研究首次采用多元统计分析方法对目前国际上的芦笋代表性品种进行了耐盐性综合评价,可为芦笋耐盐育种亲本材料筛选和耐盐品种鉴定提供理论依据。然而,作物田间生长状况与试验条件并非完全相同,因此,若要全面准确地鉴定芦笋的耐盐性,还需进一步在盐碱地上进行全生育期的耐盐性鉴定。

参考文献

- [1] Khan M A, Sheith K H. Effects of different levels of salinity on seed germination and growth of *Capsicum annuum* [J]. *Biologia*, 1996, 22: 15-16
- [2] 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
- [3] Kubota S, Konno I, Kanno A. Molecular phylogeny of the genus *Asparagus* (Asparagaceae) explains inter specific cross ability between the garden asparagus (*A. officinalis*) and other asparagus species [J]. *Theor Appl Genet*, 2012, 124: 345-354
- [4] Benson B L. 2009 update of the world's asparagus production areas, spear utilization and production periods [J]. *Acta Horti*, 2012, 950: 87-100
- [5] 陈光宇,罗绍春,占丰溪,等.南方风沙化土地种植芦笋对土壤肥力的影响[J]. *江西农业学报*, 2002, 14(2): 58-61
- [6] Daniel D, Darlene W L. Tillage alters root distribution in a mature asparagus planting [J]. *Sci Horti*, 2000, 83(3): 187-204
- [7] Hokuto N, Takahiro Y, Hirokazu T. Acquisition and diversification of cladodes; leaf-like organs in the genus *Asparagus* [J]. *Plant Cell*, 2012, 24: 929-940
- [8] 胡淑明,卮兰春,陈海媛,等.11份芦笋种质材料耐盐性评价[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(13): 167-170
- [9] 曹岩坡,戴鹏,田建华,等.盐胁迫对芦笋种子萌发的影响[J]. *河北农业科学*, 2012, 16(4): 39-41
- [10] 李凤玲,李鹏.耐盐芦笋引进品种筛选试验[J]. *中国种业*, 2005(6): 38-39
- [11] 曹齐卫,李利斌,孔素萍,等.我国设施黄瓜新育成品种芽期耐盐性评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(3): 98-104
- [12] 李晓芬,尚庆茂,张志刚,等.多元统计分析方法在辣椒品种耐盐性评价中应用[J]. *园艺学报*, 2008, 35(3): 351-356
- [13] 方荣,周坤华,陈学军,等.辣椒耐弱光性的多元统计分析[J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(1): 42-48
- [14] 李龙,王兰芬,武晶,等.普通菜豆种质资源芽期抗旱性鉴定[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(4): 21-27
- [15] Shi M, Xu J, Zhang S, et al. A mediator-free green-printed amperometric biosensor for screening of organophosphorus pesticides with flow-injection analysis(FIA) system [J]. *Talanta*, 2006, 68(4): 1089-1095
- [16] Abdul-Baki A A, Anderson J D. Vigour determination in soybean seed by multiple criteria [J]. *Crop Sci*, 1973, 13: 630-633
- [17] 徐小万,雷建军,罗少波,等.辣椒苗期耐热耐湿鉴定方法的研究[J]. *核农学报*, 2009, 23(5): 884-890
- [18] Uno Y, Kanechi M, Inagalu N, et al. The Evaluation of salt tolerance during germination and vegetative growth of asparagus, table beet and sea aster [J]. *Soc Hort Sci*, 1996, 65(3): 579-585
- [19] 谭巍巍,李凤山,张玉霞,等.氯化钠和碳酸钠对芦笋的胁迫效应比较[J]. *中国农学通报*, 2006, 22(7): 322-325
- [20] 张玉霞,谭巍巍,王艳树,等.盐碱胁迫对芦笋抗氧化酶活性的影响[J]. *内蒙古民族大学学报:自然科学版*, 2006, 21(2): 165-168