

多元统计分析方法在辣椒品种耐盐性评价中的应用

李晓芬, 尚庆茂*, 张志刚, 王立浩, 张宝玺

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 农业部蔬菜遗传与生理重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 根据 NaCl 溶液处理下辣椒萌芽期和幼苗期农艺性状指标, 采用多元统计分析方法评价辣椒品种的耐盐性。结果表明: 辣椒不同品种间相对发芽势、相对胚根长、相对发芽指数、盐害指数、相对株高等 12 个性状指标表现出显著性差异; 采用因子分析将此 12 个性状指标用 4 个主因子表示, 保留了原始变量 95.35% 的信息量; 基于品种因子得分值进行聚类分析, 10 个辣椒品种分为 3 类: 中椒 4 号、中椒 8 号、中椒 7 号、中椒 12 号为盐敏感品种, 中椒 5 号、中椒 11 号为中度盐敏感品种, 中椒 6 号、中椒 13 号、中椒 16 号、中椒 10 号为盐不敏感品种。因此, 辣椒品种的耐盐性可通过测定萌芽期和幼苗期农艺性状指标, 采用多元统计分析方法予以快速鉴定。

关键词: 辣椒; 耐盐性; 多元统计分析

中图分类号: S 641.3 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2008) 03-0351-06

Evaluation of Salt Tolerance of Pepper Cultivars by Multiple Statistics Analysis

L I Xiao-fen, SHANG Qing-mao*, ZHANG Zhi-gang, WANG Li-hao, and ZHANG Bao-xi

(Key Laboratory of Vegetable Genetic and Physiology of Ministry of Agriculture, Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper was conducted to evaluate the salt tolerance of pepper cultivars by multiple statistics analysis according to agronomic character indexes at seed germination and seedling stage. The twelve character indexes from different pepper cultivars, such as relative trend of germination, relative radicle length, relative germination index, salt injury index and relative plant height etc. showed significant difference by using multiple variance analysis. Factor analysis indicated the twelve character indexes could be synthesized into four main factors, keeping 95.35% of information of primitive variables. Based on the score vectors of the factors, ten cultivars were classified into three categories by using cluster analysis. Zhongjiao 4, Zhongjiao 8, Zhongjiao 7 and Zhongjiao 12 were salt sensitive cultivars, whereas Zhongjiao 5 and Zhongjiao 11 were moderately salt sensitive cultivars, but Zhongjiao 6, Zhongjiao 13, Zhongjiao 16 and Zhongjiao 10 were salt tolerant cultivars. These results indicated the multiple statistics analysis could be used to early evaluate the salt tolerance of pepper cultivars by investigation of agronomic character indexes at seed germination stage and seedling stage.

Key words: pepper; salt tolerance; multiple statistics analysis

设施栽培条件下, 由于雨水冲淋少、复种指数高、肥料投入多、温度高、土壤水分蒸发快等, 以 NO_3^- 、 Ca^{2+} 为主的盐离子大量积累, 使耕作层土壤盐含量达到露地的 2~5 倍, 个别地方达到 10 倍 (房云波和孟春玲, 2006)。土壤盐渍化已成为设施蔬菜优质丰产高效栽培的主要障害。

辣椒是设施栽培的主要蔬菜, 选育耐盐性较强的辣椒品种是克服设施土壤盐渍化障害的经济有效

收稿日期: 2007-08-28; 修回日期: 2007-11-21

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD07B01)

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: shangqm@mail.caas.net.cn)

途径。因此,建立科学而高效的耐盐性评价方法是极为必要的。近年来,已有学者将隶属函数法(苏国兴和洪法水,2002)、层次分析法(刘振虎等,2002)、模糊综合评价法(张丽娟等,2000)等分别用于对桑树、草坪草、羊草等耐盐性的评价。本研究以10个辣椒栽培品种为试材,测定其萌芽期和幼苗期的农艺性状指标,采用多元统计分析对不同品种的耐盐性进行评价,以期辣椒品种的耐盐性评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试材为中椒系列10个品种(表1),由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供。

1.2 萌芽期 NaCl处理及性状指标测定

将辣椒种子用5% NaClO消毒5 min,蒸馏水冲淋5次,分别置于铺有两层滤纸的培养皿内,每个培养皿50粒,然后加入蒸馏水(对照)和 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl溶液各5 mL,室温26℃下进行发芽试验,重复3次。

以胚根长0.2 cm作为萌芽标志,每天记录发芽数,补充等量蒸馏水和NaCl溶液,计算第7天的发芽势和相对发芽势、第14天的发芽率和相对发芽率及发芽指数和相对发芽指数。同时,采用玻璃垂直板发芽法测定胚轴、胚根长和胚根鲜质量,计算活力指数(Abdul-Baki & Anderson, 1973)和相对活力指数。

1.3 幼苗期 NaCl处理及性状指标测定

于玻璃温室内进行幼苗期耐盐性相关性状指标测定。种子经消毒、浸种、催芽后,播种至装有蛭石、珍珠岩混合基质(体积比1:6)的50孔塑料穴盘中,子叶平展后开始灌施1/2 Hoagland营养液,四叶一心时开始盐处理。

具体方法是将一定量NaCl加入1/2 Hoagland营养液,用于灌施辣椒幼苗。起始NaCl浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,2 d后增至 $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。为保持NaCl作用浓度的相对恒定,每2 d灌施1次,每次灌施量是基质持水量的2倍。同时,设置灌施1/2 Hoagland营养液的对照。每2盘为1小区,重复3次,随机区组排列。盐处理20 d后测定幼苗株高、茎粗、茎叶鲜质量和干质量、根体积、根鲜质量和干质量、比叶重,计算盐害指数(张云起等,2003),测定叶绿素含量(张宪政,1986),测定质膜相对透性(李锦树等,1983)。

1.4 数据分析

利用Excel进行数据处理,计算平均值、标准偏差,采用SAS 8.0软件进行多元方差分析、因子分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 辣椒不同品种耐盐性相关性状指标

表1和表2列出了10个辣椒品种盐处理下萌芽期和幼苗期农艺性状指标(18个)与对照的百分比(除盐害指数)的平均值。其中,盐害指数(x_7)、相对比叶重(x_{16})和相对膜透性(x_{17})的值越小表明耐盐性越强,其他指标则相反,为了便于统计分析, x_7 、 x_{16} 和 x_{17} 的值取负数。从表1中可看出,中椒6号、中椒7号、中椒12号的相对发芽势超过了90%,中椒8号、中椒10号相对较低,中椒11号最低为15.18%;所有品种的相对发芽率都超过了90%;中椒6号、中椒13号、中椒16号的相对活力指数较高,中椒11号最低为7.25%;中椒6号、中椒10号、中椒13号的盐害指数小于0.3,中椒4号、中椒8号的盐害指数超过了0.5,中椒8号最高为0.5750。可见,很难用单一性状指标评价辣椒不同品种的耐盐性,需要将这些性状指标进行综合分析。

表 1 辣椒不同品种萌芽期耐盐性相关性状指标

Table 1 The character indexes related to salt tolerance in different pepper cultivars at germination stage /%

品种 Cultivar	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
中椒 4号 Zhongjiao 4	55.37	95.9	23.03	44.33	84.78	11.73
中椒 5号 Zhongjiao 5	87.11	98.00	23.02	57.22	86.00	9.70
中椒 6号 Zhongjiao 6	98.88	98.00	38.75	77.53	99.19	19.92
中椒 7号 Zhongjiao 7	91.18	98.63	24.25	50.85	87.16	8.68
中椒 8号 Zhongjiao 8	32.17	101.39	17.05	33.72	84.58	7.90
中椒 10号 Zhongjiao 10	32.73	92.02	28.40	56.65	80.14	10.20
中椒 11号 Zhongjiao 11	15.18	98.47	23.26	51.49	70.88	7.25
中椒 12号 Zhongjiao 12	100.71	99.33	25.09	72.68	87.08	11.02
中椒 13号 Zhongjiao 13	77.62	98.01	38.22	73.10	88.35	16.85
中椒 16号 Zhongjiao 16	54.15	92.04	42.07	83.95	90.48	16.25

注: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 分别表示相对发芽势、相对发芽率、相对胚根长、相对胚根鲜质量、相对发芽指数、相对活力指数。

Note: x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 and x_6 indicate relative trend of germination, relative percentage of germination, relative radicle length, relative fresh mass of radicle, relative germination index, relative vigor index, respectively.

表 2 辣椒不同品种幼苗期耐盐性相关性状指标

Table 2 The character indexes related to salt tolerance in different pepper cultivars at seedling stage

品种 Cultivar	x_7	x_8 /%	x_9 /%	x_{10} /%	x_{11} /%	x_{12} /%	x_{13} /%	x_{14} /%	x_{15} /%	x_{16} /%	x_{17} /%	x_{18} /%
中椒 4号 Zhongjiao 4	-0.5417	14.11	94.80	81.80	56.57	61.58	59.74	51.17	55.89	-136.14	-325.18	152.53
中椒 5号 Zhongjiao 5	-0.4333	17.46	91.81	88.30	63.83	70.43	62.12	68.31	68.01	-129.42	-413.81	147.40
中椒 6号 Zhongjiao 6	-0.3000	29.70	87.53	81.48	65.90	63.84	64.47	61.28	68.01	-99.63	-364.47	203.23
中椒 7号 Zhongjiao 7	-0.4583	16.67	89.42	77.07	68.69	67.76	46.91	48.50	47.28	-116.72	-397.78	150.03
中椒 8号 Zhongjiao 8	-0.5750	11.66	86.51	86.01	55.66	57.17	51.20	47.87	53.90	-139.50	-270.37	143.32
中椒 10号 Zhongjiao 10	-0.2917	20.39	88.65	79.13	57.09	66.85	55.48	53.45	51.09	-112.84	-203.84	164.11
中椒 11号 Zhongjiao 11	-0.3333	14.93	92.56	88.50	65.54	71.58	77.27	69.83	64.33	-112.11	-420.76	156.55
中椒 12号 Zhongjiao 12	-0.4750	16.87	86.59	79.66	57.10	57.52	48.57	43.64	50.04	-121.72	-426.54	145.48
中椒 13号 Zhongjiao 13	-0.2500	26.74	91.31	82.35	64.46	59.46	55.96	52.93	54.05	-104.38	-312.97	140.01
中椒 16号 Zhongjiao 16	-0.3083	25.30	100.00	79.42	68.63	67.09	62.05	51.77	60.14	-102.64	-330.65	145.36

注: x_7 、 x_8 、……、 x_{18} 分别表示盐害指数、相对株高、相对茎粗、相对展开叶数、相对茎叶鲜质量、相对茎叶干质量、相对根鲜质量、相对根干质量、相对根体积、相对比叶重、相对膜透性和相对叶绿素含量。

Note: x_7 , x_8 , …… x_{18} indicate salt injury index, relative plant height, relative stem diameter, relative number of expanding leaves, relative fresh mass of stem and leaves, relative dry mass of stem and leaves, relative fresh mass of root, relative dry mass of root, relative root volume, relative specific leaf mass, relative membrane permeability and relative content of chlorophyll, respectively.

2.2 多元方差分析

多元方差分析是基于一元、二元方差分析,存在多个自变量的方差分析。分析结果表明,盐胁迫下辣椒不同品种的性状指标在相对发芽势(x_1)、相对胚根长(x_3)、相对胚根鲜质量(x_4)、相对发芽指数(x_5)、相对活力指数(x_6)、盐害指数(x_7)、相对株高(x_8)、相对根鲜质量(x_{13})、相对根干质量(x_{14})、相对根体积(x_{15})、相对比叶重(x_{16})和相对膜透性(x_{17})上差异达到显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$);而相对发芽率(x_2)、相对茎粗(x_9)、相对展开叶数(x_{10})、相对茎叶鲜质量(x_{11})、相对茎叶干质量(x_{12})和相对叶绿素含量(x_{18})不存在显著性差异,因而不作为耐盐性评价的主要指标。

2.3 因子分析

对品种间存在显著性差异的12个耐盐性相关性状指标进行因子分析,其指标的前4个主因子的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率和初始因子载荷矩阵如表3。可以看出,前4个主因子的累计方差贡献率达95.35%,说明4个主因子所包含的要素信息量可以反映出12个性状指标原始特征参数的大部分信息,因此,取4个主因子,既可以保留原变量的绝大部分信息,又达到了降维的目的。

但是，只用因子法分析得到的因子与各变量之间相关性并不显著，也不易将因子命名。于是，采用方差极大正交旋转法旋转因子轴，获得因子载荷矩阵（表 4），方差极大正交旋转因子载荷矩阵与初始因子载荷矩阵（表 3）相比，主因子中重要变量的载荷值明显增大，说明方差极大正交旋转后的主因子生物学意义更加明显。

表 3 性状指标初始因子载荷矩阵
Table 3 Primary factor loading matrix of the character indexes

性状 Character	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
x_8	0.9806	- 0.0869	0.1108	0.0705
x_3	0.9567	- 0.0905	0.2006	0.0013
x_4	0.9097	- 0.1337	- 0.0722	0.2306
x_6	0.9075	- 0.2134	- 0.0102	0.2903
x_{16}	0.8813	0.1109	0.2356	- 0.3306
x_7	0.8050	0.2985	0.3930	- 0.2484
x_5	0.6220	- 0.5623	- 0.3418	0.3976
x_{13}	0.2629	0.9321	- 0.0160	0.0754
x_{14}	0.1967	0.9080	- 0.2252	0.0772
x_{15}	0.4008	0.7230	- 0.3884	0.3855
x_{17}	- 0.0574	- 0.2193	0.8367	0.4654
x_1	0.4214	- 0.5388	- 0.6759	- 0.1014
特征值 Eigen value	5.7888	3.0512	1.7431	0.8587
方差贡献率 / % Proportion rate	48.24	25.43	14.53	7.16
累计方差贡献率 / % Cumulative proportion rate	48.24	73.67	88.19	95.35

由表 4 可见，主因子 1 中起主要作用的指标是相对比叶重（ x_{16} ）、盐害指数（ x_7 ）、相对胚根长（ x_3 ）、相对株高（ x_8 ）、相对胚根鲜质量（ x_4 ）、相对活力指数（ x_6 ），这些指标与种子胚根、植株的生长状况有关，称其为生长因子；主因子 2 载荷值较大的是相对根体积（ x_{15} ）、相对根干质量（ x_{14} ）、相对根鲜质量（ x_{13} ），这些同植株的根系生长状况有关，可称其为根部因子；主因子 3 载荷值较大的是相对发芽势（ x_1 ）、相对发芽指数（ x_5 ），发芽势反映种子发芽的快慢和整齐度，发芽指数反映种子在整个萌芽期间的综合活力，可称为种子活力因子；主因子 4 中只有相对膜透性载荷值比较大，而膜透性反映膜受盐胁迫损伤的程度，可称为膜稳定性因子。

主因子间相关系数的大小能反映一个因子直接作用的性状与另一个因子直接作用的性状间的间接作用的大小。由表 5 可以看出，因子 2 与因子 3 的相关系数达显著水平（ $P < 0.05$ ），表明因子 2 与因子 3 的间接作用较大，这两个因子主要为根部因子、种子活力因子，而其余因子间的间接作用不明显。

表 4 方差极大正交旋转因子载荷矩阵

Table 4 The factor loading matrix of varimax rotation

性状 Character	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
x_{16}	0.9719	0.1043	0.0558	- 0.0828
x_7	0.9337	0.2537	- 0.1065	0.1244
x_3	0.8971	0.0646	0.3511	0.0839
x_8	0.8631	0.1366	0.4706	0.0966
x_4	0.8341	0.0117	0.3325	- 0.2380
x_6	0.6714	0.1019	0.6537	0.1080
x_{15}	0.1034	0.9540	0.2182	- 0.0940
x_{14}	0.0993	0.9345	- 0.1801	- 0.1228
x_{13}	0.2260	0.8800	- 0.3108	- 0.0498
x_1	0.2656	- 0.1228	0.9509	- 0.0210
x_5	0.1436	- 0.2231	0.7338	- 0.5331
x_{17}	0.0707	- 0.2381	- 0.0448	0.9673

表 5 方差极大正交旋转后因子相关矩阵

Table 5 The factor correlation matrix after varimax rotation

因子 Factor	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
因子 1 Factor 1	1.0000	- 0.2976	0.0595	- 0.0678
因子 2 Factor 2		1.0000	- 0.5862 *	- 0.2159
因子 3 Factor 3			1.0000	- 0.2974
因子 4 Factor 4				1.0000

注：* 表示差异达显著水平（ $P < 0.05$ ）。
Note: * indicates significant difference at $P < 0.05$ level

2.4 品种聚类分析

方差极大正交旋转因子载荷矩阵仍保持各主因子间的独立性, 每个主因子均属综合变量, 可以通过各供试品种主因子得分的差异, 对供试品种进行聚类。根据方差极大正交旋转后品种因子得分值(表 6) 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, 聚类结果见图 1。

从图 1 可知, 当阈值为 0.175 时, 10 个辣椒品种可分为 3 类: 中椒 4 号、中椒 8 号、中椒 7 号、中椒 12 号耐盐性较弱, 为盐敏感品种; 中椒 5 号、中椒 11 号耐盐性中等, 为盐中度敏感品种; 中椒 6 号、中椒 13 号、中椒 16 号、中椒 10 号耐盐性强, 为盐不敏感品种。

表 6 方差极大正交旋转后因子得分值

Table 6 The factor scores after varimax rotation

品种 Cultivar	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4
中椒 4 号 Zhongjiao 4	- 1.2535	- 0.2387	- 0.0496	0.2729
中椒 5 号 Zhongjiao 5	- 0.5481	1.3899	- 0.0062	- 0.8582
中椒 6 号 Zhongjiao 6	1.2303	1.0616	1.7340	- 0.2863
中椒 7 号 Zhongjiao 7	- 0.3291	- 1.2262	0.2741	- 0.7657
中椒 8 号 Zhongjiao 8	- 1.5329	- 0.6092	- 0.0478	0.9695
中椒 10 号 Zhongjiao 10	0.5738	- 0.4198	- 0.9985	2.0328
中椒 11 号 Zhongjiao 11	0.1791	1.4763	- 2.0844	- 0.8566
中椒 12 号 Zhongjiao 12	- 0.5458	- 1.2446	0.4084	- 1.1928
中椒 13 号 Zhongjiao 13	1.2126	- 0.3029	0.1523	0.5124
中椒 16 号 Zhongjiao 16	1.0136	0.1136	0.6178	0.1720

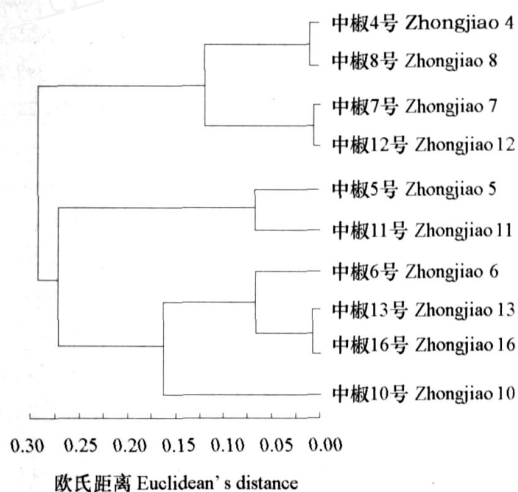


图 1 方差极大正交旋转后品种聚类图

Fig 1 Clustering of the cultivars after varimax rotation

3 讨论

近年来, 多元统计分析方法在农学上的应用范围逐渐扩大, 但主要还是用于作物品种分类和育种材料筛选 (李培富 等, 2006; 刘玉爱 等, 2006), 品质分析 (康立宁 等, 2004), 抗逆性评价 (Zeng et al, 2002; El-Hendawy et al, 2005; 朱进 等, 2006) 等。

本研究根据辣椒萌芽期和幼苗期 18 个耐盐性相关农艺性状指标, 利用多元方差分析选出具有显著性差异的 12 个性状指标, 也就是说 10 个辣椒品种只在这 12 个指标上表现显著的差异; 进一步因子分析的结果表明, 可用 4 个主因子来概括 12 个性状指标, 此 4 个主因子保留了原始变量 95.35% 的信息。经方差极大正交旋转法旋转因子轴, 使主因子的意义更加明确。按因子方差贡献大小排列主因子, 依次为生长因子、根部因子、种子活力因子、膜稳定性因子, 根部因子和种子活力因子间存在较大的间接作用, 初步说明在筛选辣椒耐盐性品种时可选择与生长因子、根部因子或种子活力因子、膜稳定性因子相关的指标作为耐盐性鉴定指标; 在因子分析的基础上, 再用因子得分代替原性状指标测定结果, 对各个品种的因子得分向量进行聚类分析, 把 10 个供试辣椒品种划分为 3 类: 盐敏感品种如中椒 4 号、中椒 8 号、中椒 7 号、中椒 12 号; 盐中度敏感品种如中椒 5 号、中椒 11 号; 盐不敏感品种如中椒 6 号、中椒 13 号、中椒 16 号、中椒 10 号。这一结果与育种者对上述品种多年的田间观测以及亲缘关系分析结果相一致。

本研究系统地提出了一套可应用于辣椒耐盐品种筛选的多元统计分析流程, 由于其主要基于萌芽

期和幼苗期性状指标, 因此可为辣椒耐盐品种或育种亲本材料耐盐性早期快速评价提供参考。

References

- Abdul-Baki A A, Anderson J D. 1973. Vigour determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13: 630 - 633.
- El-Hendawy S E, Hu Y, Yakout GM, Awad A M, Hafiz S E, Schmidhalter U. 2005. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters. *European Journal of Agronomy*, 22 (3): 243 - 253.
- Fang Yun-bo, Meng Chun-ling. 2006. The influence and strategy of secondary salinization on soil properties in greenhouse. *Liaoning Agricultural Sciences*, 6: 40 - 41. (in Chinese)
- 房云波, 孟春玲. 2006. 保护地内土壤次生盐渍化对土壤性状的影响及对策. *辽宁农业科学*, 6: 40 - 41.
- Kang Li-ning, Wei Yi-min, Ouyang Shao-hui, Zhang Guo-quan. 2004. Genotypical factor analysis on quality properties of wheat variety. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 24 (1): 120 - 124. (in Chinese)
- 康立宁, 魏益民, 欧阳韶晖, 张国权. 2004. 小麦品种品质性状的基因型因子分析. *西北植物学报*, 24 (1): 120 - 124.
- Li Jin-shu, Wang Hong-chun, Wang Wen-ying, Zhu Ya-fang. 1983. Effect of drought on the permeability and membrane lipid composition from maize leaves. *Acta Phytobiologica Sinica*, 9 (3): 223 - 229. (in Chinese)
- 李锦树, 王洪春, 王文英, 朱亚芳. 1983. 干旱对玉米叶片细胞透性及膜脂的影响. *植物生理学报*, 9 (3): 223 - 229.
- Li Pei-fu, Yang Shu-qin, Ma Hong-wei. 2006. Principal component and cluster analysis of main agronomic characters of rice in Ningxia. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22 (12): 162 - 166. (in Chinese)
- 李培富, 杨淑琴, 马宏伟. 2006. 宁夏水稻主要农艺性状的主成分及聚类分析. *中国农学通报*, 22 (12): 162 - 166.
- Liu Yu-ai, Hou Jian-hua, Gao Zhi-jun, Zhou Wei. 2006. Principal component analysis and cluster analysis of maize introduced varieties. *Journal of Maize Sciences*, 14 (2): 16 - 18. (in Chinese)
- 刘玉爱, 侯建华, 高志军, 周伟. 2006. 玉米引种材料的主成分分析和聚类分析. *玉米科学*, 14 (2): 16 - 18.
- Liu Zhen-hu, Lu Xin-shi, Ge Jun. 2002. The evaluation of salt tolerance of 9 turfgrass cultivars by the analytic hierarchy process. *Acta Agrestia Sinica*, 10 (3): 207 - 216. (in Chinese)
- 刘振虎, 卢欣石, 葛军. 2002. 利用层次分析法综合评价 9 个草坪品种的耐盐性. *草地学报*, 10 (3): 207 - 216.
- Su Guo-xing, Hong Fa-shui. 2002. Evaluation of salt tolerance for partial mulberry varieties with subordinate function. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 18 (1): 42 - 47. (in Chinese)
- 苏国兴, 洪法水. 2002. 桑品种耐盐性的隶属函数法之评价. *江苏农业学报*, 18 (1): 42 - 47.
- Zeng L, Shannon M C, Grieve C M. 2002. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Euphytica*, 127 (2): 235 - 245.
- Zhang Li-juan, Liu Hai-xue, Yu Xiu-ying, Gao Hong-xia, Cheng Jin-zhi, Hu He-ping, Li Xiu-hui. 2000. Fuzzy comprehensive evaluation of salt endurance on *Aneurolepidium* Chinese of different varieties. *Journal of Zhelmu Animal Husbandry College*, 10 (1): 1 - 5. (in Chinese)
- 张丽娟, 刘海学, 于秀英, 高洪霞, 程金枝, 胡和平, 李秀辉. 2000. 不同品种羊草耐盐性模糊综合评价. *哲里木畜牧学院学报*, 10 (1): 1 - 5.
- Zhang Xian-zheng. 1986. Plant chlorophyll determination-acetone ethanol mixture method. *Liaoning Agricultural Sciences*, 3: 26 - 28. (in Chinese)
- 张宪政. 1986. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法. *辽宁农业科学*, 3: 26 - 28.
- Zhang Yun-qi, Liu Shi-qi, Yang Feng-juan, Li Dong-fang. 2003. Study on the screening of salt-tolerant watermelon stock and mechanism of salt tolerance. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 12 (4): 105 - 108. (in Chinese)
- 张云起, 刘世琦, 杨凤娟, 李东方. 2003. 耐盐西瓜砧木筛选及其耐盐机理的研究. *西北农业学报*, 12 (4): 105 - 108.
- Zhu Jin, Bie Zhi-long, Li Ya-na. 2006. Evaluation of salt resistance of cucumber at seed germination and rootstock-seedling stages. *Scientia Agricultura Sinica*, 39 (4): 772 - 778. (in Chinese)
- 朱进, 别之龙, 李娅娜. 2006. 黄瓜种子萌芽期及嫁接砧木幼苗期耐盐力评价. *中国农业科学*, 39 (4): 772 - 778.