

# 盐胁迫对 3 种白刺种子萌发的影响及其耐盐性比较

史滢灏,杨静慧\*,左凤月,徐慧洁,刘 婷,龚无缺

(天津农学院 园艺园林学院,天津 300384)

**摘要:** 为了综合评价不同种类白刺的耐盐能力,比较了不同浓度 NaCl 胁迫对其萌发和生长的影响。结果表明:唐古特白刺绝对发芽率高于小果白刺和泡果白刺。唐古特白刺和泡果白刺在 10 g/L NaCl 下绝对发芽率最高,小果白刺在 5 g/L NaCl 下绝对发芽率最高。唐古特白刺相对发芽率最高,小果白刺最低。唐古特白刺活力指数最高,泡果白刺最低;小果白刺种子的活力指数在 5~15 g/L NaCl 下迅速下降,而唐古特白刺在 10~20 g/L NaCl 下迅速下降,泡果白刺的活力指数一直较低。高盐胁迫会使种子萌发更晚。通过隶属函数分析显示:萌发期 3 种白刺种子的耐盐性为唐古特白刺>小果白刺>泡果白刺。唐古特白刺和小果白刺的耐盐极限浓度为 2.71%、2.66%,泡果白刺为 2.54%。

**关键词:** 白刺; 盐胁迫; 发芽率; 耐盐性; 发芽指数; 活力指数

**中图分类号:** Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)09-0124-05

## Effects of Salt Stress on Germination of Three Species of *Nitraria* and Their Salt Tolerance Analysis

SHI Yan-yu, YANG Jing-hui\*, ZUO Feng-yue, XU Hui-jie, LIU Ting, GONG Wu-que

(College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** In order to understand salt tolerance of different species of *Nitraria*, the germination and growth of *Nitraria* were researched under salt stress with different concentrations of NaCl. The results showed that absolute germination rate of *Nitraria tangutorum* Bobr was higher than that of *Nitraria sibirica* Pall and *Nitraria roborowskii* Kom, the absolute germination rates of *Nitraria tangutorum* Bobr and *Nitraria roborowskii* Kom were the highest under salt stress with 10 g/L NaCl, and that of *Nitraria sibirica* Pall was the highest under salt stress with 5 g/L NaCl. Relative germination rate of *Nitraria tangutorum* Bobr was the highest, and that of *Nitraria sibirica* Pall was the lowest. The seed vigor index of *Nitraria tangutorum* Bobr was the highest, and that of *Nitraria roborowskii* Kom was the lowest; seed vigor index of *Nitraria sibirica* Pall reduced quickly under salt stress with 5 to 15 g/L NaCl, thus that of *Nitraria tangutorum* Bobr decreased quickly under salt stress with 10 to 20 g/L NaCl, that of *Nitraria roborowskii* Kom was the lowest under salt stress with all concentrations of NaCl. The salt stress with higher concentrations of NaCl delayed seed germination more. Comprehensive analysis result according to membership function showed that the salt tolerance order of three species of *Nitraria* in germination period was *Nitraria tangutorum* Bobr>*Nitraria sibirica* Pall>*Nitraria roborowskii* Kom. The maximum tolerance concentrations of NaCl for *Nitraria tangutorum* Bobr and *Nitraria sibirica* Pall were 2.71%, 2.66%, and that for *Nitraria roborowskii* Kom was 2.54%.

**Key words:** *Nitraria*; salt stress; germination rates; salt tolerance; germination index; vigor index

收稿日期:2014-04-20

基金项目:国家农业科技成果转化资金项目(2012GB2A100015);国家星火计划项目(2013GA610008);天津市科委重大科技专项(12ZCDZNC04800);天津农学院科学研究发展基金项目(2012N01)

作者简介:史滢灏(1976-),女,天津人,实验师,硕士,主要从事园艺与园林方面的研究。E-mail:syzzw@126.com

\*通讯作者:杨静慧(1961-),女,甘肃兰州人,教授,博士,主要从事园艺和生物技术方面的教学与研究。

E-mail:jinghuiyang2@aliyun.com

白刺为蒺藜科 (Zygophyllaceae) 白刺属 (*Nitraria* L.) 多年生低矮的匍匐性灌木, 全世界共有 12 种, 而中国有 8 种, 主要分布于我国的西北部和北部地区<sup>[1]</sup>。白刺具有极强的适应性和耐盐碱、耐干旱、耐瘠薄、耐寒、耐高温、抗风沙等特性<sup>[2]</sup>, 是用于盐碱地改良和防风固沙的优良植物<sup>[3]</sup>。但是, 白刺种间的抗性和繁殖等特性有较大的差异<sup>[4-7]</sup>。鉴于此, 研究唐古特白刺 (*Nitraria tangutorum* Borbr)、泡果白刺 (*Nitraria roborowskii* Kom) 和小果白刺 (*Nitraria sibirica* Pall) 在不同盐浓度下的生长差异, 以综合评价其耐盐性, 为白刺种质资源的开发和利用提供依据。

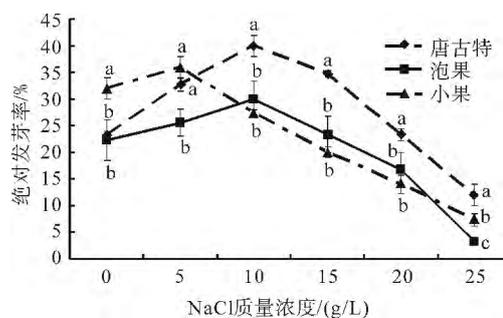
## 1 材料和方法

分别采用 0 (对照)、5、10、15、20、25 g/L 的 NaCl 溶液对唐古特、泡果、小果 3 种白刺种子进行处理, 观察盐对白刺种子萌发的影响。先去掉白刺果实的果肉, 取出种子, 用清水洗净, 再用 30% 的 NaClO 消毒 30 min, 蒸馏水冲洗 4~5 遍, 分层放到灭菌的湿沙中, 在 4 °C 的冰箱内沙藏 3 个月, 然后把种子取出洗净。分别放在洁净的培养皿 (11 cm × 11 cm) 中, 在每个培养皿内铺 2 层滤纸, 然后放上 50 粒种子, 加入不同浓度的 NaCl 溶液, 直至下层滤纸恰好全部湿透为止, 盖上培养皿盖, 每处理重复 3 次。放到 24 °C 培养箱中培养。试验期间统计种子萌发数。21 d 后, 把已经萌发的幼苗取出清洗干净, 用滤纸吸干后称质量。萌芽时期种子的绝对发芽率、相对发芽率、初始发芽天数、活力指数、发芽指数、耐盐隶属函数等的计算参照文献<sup>[8-9]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 NaCl 溶液对 3 种白刺种子绝对发芽率的影响

绝对发芽率是盐胁迫处理结束时供试材料种子萌发的数量占全部供试种子数的比率。它反映了植株萌芽期的耐盐性。由图 1 可知, 唐古特白刺和泡果白刺在 NaCl 10 g/L 时, 种子绝对发芽率达到最大值, 分别为 40% 和 30% (小果白刺为 27%), 小果白刺在 NaCl 5 g/L 时, 种子的绝对发芽率最高, 为 36%, 此后, 3 种白刺种子的绝对发芽率均随着盐浓度的增加而逐渐降低, 在 NaCl 25 g/L 时降至最低, 此时唐古特白刺的绝对发芽率最高, 为 12%, 小果白刺为 7.33%, 泡果白刺最低为 3.33%。总之, 根据白刺种子的绝对发芽率来分析, 唐古特白刺优于小果和泡果白刺。



同一盐浓度下不同小写字母表示 3 种白刺在 0.05 水平差异显著, 下同

图 1 NaCl 对 3 种白刺种子绝对发芽率的影响

### 2.2 不同浓度 NaCl 溶液对 3 种白刺相对发芽率的影响

相对发芽率是盐胁迫下的种子发芽率与同种植物对照组种子萌发率的比值。由图 2 可知, 在 NaCl 10 g/L 时, 唐古特白刺的相对发芽率达到最大值 (171%), 显著高于其他 2 种白刺, 泡果白刺居中, 小果白刺最低; 小果白刺的相对发芽率在 NaCl 5 g/L 时最大; 当 NaCl 质量浓度达到最大时 (25 g/L), 3 种白刺种子的相对发芽率都降到最低值, 其中唐古特白刺最高, 为 51%, 泡果白刺和小果白刺分别为 15% 和 23%。可见, 低浓度的 NaCl 溶液可以促进这 3 种白刺种子的萌发, 而高浓度的 NaCl 溶液则会对这 3 种白刺种子的萌发起抑制作用。3 种白刺种子的相对发芽率, 最高的是唐古特白刺, 其次是泡果白刺, 小果白刺最低。

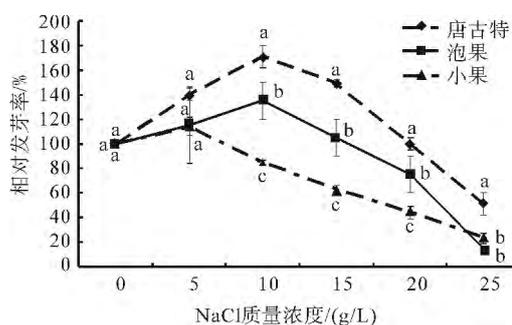


图 2 NaCl 对 3 种白刺种子相对发芽率的影响

### 2.3 不同浓度 NaCl 溶液对 3 种白刺发芽指数的影响

种子发芽指数既包含了种子的发芽数量, 也强调了发芽的速度和整齐度, 它与种子活力呈正相关, 其值越大, 种子活力越高<sup>[10-11]</sup>。由图 3 可知, 随着 NaCl 质量浓度的不断增加, 唐古特白刺和小果白刺的种子发芽指数呈先增加后降低的趋势, 而泡果白刺在较低盐浓度处理时变化不大, 在高盐浓度胁迫时迅速降低。在 NaCl 5 g/L 时, 小果白刺的发芽指数最大, 是其对照的 1.2 倍, 与唐古特白刺的发芽指

数差异不显著,但是显著高于泡果白刺;在 NaCl 10 g/L 时,唐古特白刺的发芽指数最大,是其对照的 1.2 倍,显著高于其他 2 种白刺,而小果白刺在此盐浓度下发芽指数迅速降低,仅为其对照的 69.3%;在 NaCl 15~20 g/L 时,唐古特白刺的发芽指数大幅降低,而小果白刺和泡果白刺则呈现缓慢下降的趋势,且两者差异不显著;当 NaCl 增加到 25 g/L 时,3 种白刺的发芽指数均降到最低,其中唐古特白刺和小果白刺均显著高于泡果白刺;唐古特白刺的发芽指数最小,仅为其对照的 23.2%,泡果白刺和小果白刺分别为其对照的 9.7% 和 19.0%。这说明低浓度的 NaCl 溶液对泡果白刺影响不大,但可以提高小果白刺和唐古特白刺的发芽指数。

总之,唐古特白刺和泡果白刺在 NaCl 15~25 g/L 时发芽指数迅速降低;而小果白刺在 NaCl 5~10 g/L 时迅速降低。在 NaCl 20 g/L 时,3 种白刺的发芽指数相近。比较 3 种白刺的发芽指数,在 NaCl 0~15 g/L 时,三者差异较大,唐古特白刺发芽指数最高、变化最小,其次是泡果白刺,小果白刺最差,发芽指数降低最快。

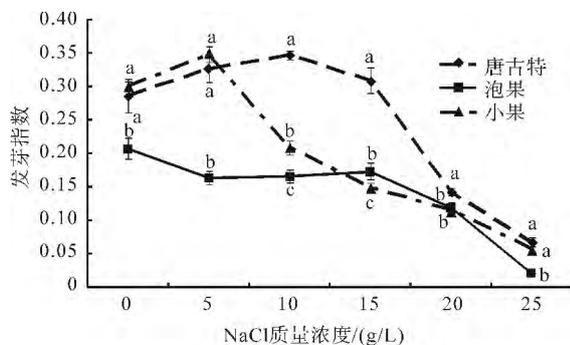


图 3 NaCl 对 3 种白刺种子发芽指数的影响

#### 2.4 不同浓度 NaCl 溶液对 3 种白刺活力指数的影响

活力指数是评价种子发芽十分重要的指标,反映了种子萌发后幼苗的健壮与否和生长潜力<sup>[12]</sup>。由图 4 可知,随着 NaCl 质量浓度的增加,3 种白刺种子的活力指数均呈先增加后降低的趋势。在 NaCl 5 g/L 时,小果白刺的种子活力指数达到最大值,是其对照的 1.5 倍;在 NaCl 10 g/L 时,唐古特白刺和泡果白刺的种子活力指数达到最大,分别为其对照的 2.0 倍和 1.6 倍。在 NaCl 10 g/L 时,唐古特白刺的活力指数最高、小果白刺居中、泡果白刺最低,差异显著。在 NaCl 15~20 g/L 时,唐古特白刺的活力指数显著高于小果白刺和泡果白刺。在 NaCl 25 g/L 时,3 种白刺种子活力指数均降到最低。说明 3 种白刺的耐盐性表现为唐古特白刺>小果白刺>泡果白刺,同时也说明低浓度 NaCl 溶液

有利于提高 3 种白刺种子的活力指数,而高浓度 NaCl 溶液则使活力指数降低。

总之,这 3 种白刺种子的活力指数为唐古特白刺>小果白刺>泡果白刺;在 NaCl 5~15 g/L 时小果白刺种子的活力指数迅速下降,在 NaCl 10~20 g/L 时,唐古特白刺种子的活力指数迅速下降,而泡果白刺种子的活力指数则一直较低。

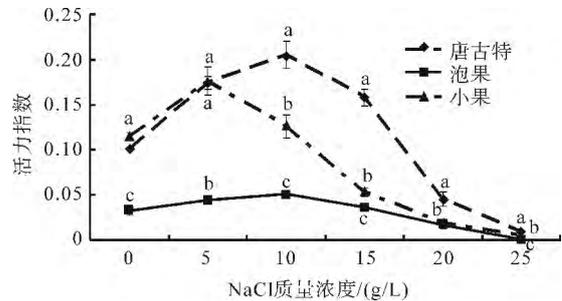


图 4 NaCl 对 3 种白刺种子活力指数的影响

#### 2.5 不同浓度 NaCl 溶液对 3 种白刺种子初始萌发天数的影响

初始萌发天数是指种子由试验开始到开始萌发的时间,以天(d)计,是反映种子萌发启动快慢的指标<sup>[13]</sup>。由图 5 可知,3 种白刺种子的初始萌发天数随着 NaCl 溶液浓度的增加而逐渐增加,但种间无显著差异。此外,盐胁迫对白刺种子的萌发有一定的抑制作用,NaCl 浓度越高,种子开始萌发的时间越晚;随着盐胁迫浓度的不断增大,种子萌发的时间推迟得也越多。

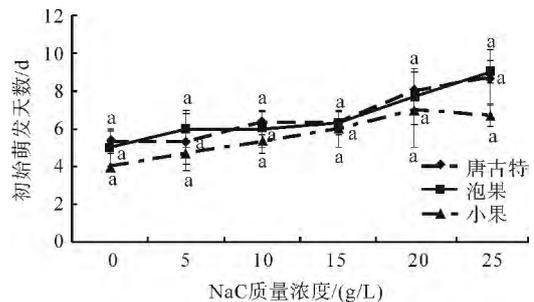


图 5 NaCl 对 3 种白刺种子初始萌发天数的影响

#### 2.6 3 种白刺种子萌发耐盐性综合分析

从表 1 可以看出,在 NaCl 5 g/L 时,小果白刺和唐古特白刺的隶属函数值相近,但都远远高于泡果白刺。由此可知,在该盐浓度下,唐古特白刺和小果白刺比泡果白刺更耐盐;在 NaCl 10~20 g/L 时,唐古特白刺的隶属函数值远远高于小果白刺和泡果白刺,而后 2 种白刺的隶属函数值相近。所以,在该盐浓度范围内唐古特白刺的耐盐性更强;在 NaCl 25 g/L 时,唐古特白刺和小果白刺的隶属函数值相近,但远远高于泡果白刺。因此在该盐浓度下,唐古特和小果白刺较泡果白刺更耐盐。

表 1 不同 NaCl 浓度下 3 种白刺种子萌发指标的隶属函数值和耐盐性

NaCl 质量浓度/(g/L)	品种	绝对发芽率	相对发芽率	发芽指数	活力指数	隶属函数值	耐盐性排序
5	唐古特白刺	0.681	1.000	0.886	0.986	0.888	1
	泡果白刺	0.000	0.091	0.000	0.000	0.023	2
	小果白刺	1.000	0.000	1.000	1.000	0.750	1
10	唐古特白刺	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
	泡果白刺	0.211	0.576	0.000	0.000	0.197	2
	小果白刺	0.000	0.000	0.231	0.484	0.179	2
15	唐古特白刺	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
	泡果白刺	0.227	0.494	0.154	0.000	0.219	2
	小果白刺	0.000	0.000	0.000	0.132	0.033	2
20	唐古特白刺	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
	泡果白刺	0.286	0.556	0.141	0.000	0.246	2
	小果白刺	0.000	0.000	0.000	0.060	0.015	2
25	唐古特白刺	1.000	1.000	1.000	0.143	0.786	1
	泡果白刺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2
	小果白刺	0.462	0.810	0.430	1.000	0.675	1

表 2 为 3 种白刺种子在不同浓度 NaCl 胁迫下萌发的各个生长指标隶属函数的平均值及耐盐性,即算出每种白刺的不同指标在不同浓度的盐胁迫下的隶属函数值的平均值,然后再对各指标的平均隶属函数值求平均数,并根据所求出的平均值大小对 3 种白刺种子的耐盐性进行排序。由表 2 可见,综合隶属函数值表现为唐古特白刺最大,小果白刺其次,泡果白刺最小;根据隶属函数的平均值来分析,这 3 种白刺种子在萌发期的耐盐性最强的为唐古特白刺,小果白刺次之,泡果白刺最差。

表 2 NaCl 胁迫下 3 种白刺种子萌发的综合隶属函数值和耐盐性

项目	唐古特白刺	泡果白刺	小果白刺
绝对发芽率	0.799	0.121	0.410
相对发芽率	1.000	0.343	0.043
发芽指数	0.951	0.049	0.507
活力指数	0.969	0.000	0.518
隶属函数值	0.930	0.128	0.370
耐盐性排序	1	3	2

表 3 是根据种子的相对发芽率所做出的回归方程,并根据相对发芽率计算了耐盐极限浓度。耐盐

表 3 3 种白刺种子相对发芽率的回归方程及耐盐程度

品种	回归方程	回归系数	相关系数	耐盐极限浓度/%
唐古特白刺	$y = -0.544 9x^2 + 1.141 8x + 1.007 1$	0.968 2	-0.473*	2.71
泡果白刺	$y = -0.410 7x^2 + 0.698 2x + 0.976 8$	0.981 7	-0.635**	2.54
小果白刺	$y = -0.095 2x^2 - 0.113 1x + 1.071 4$	0.950 8	-0.951**	2.66

注: \* 和 \*\* 分别表示在 5% 和 1% 水平显著相关。

极限浓度是指发芽率为对照发芽率 10% 时所对应的盐浓度值。植物的耐盐极限浓度越高,说明该植物的耐盐性越强。表 3 显示,耐盐极限浓度的顺序依次为唐古特白刺(2.71%)、小果白刺(2.66%)、泡果白刺(2.54%)。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 3 种白刺种子的发芽率

在 NaCl 0~5 g/L 时,3 种白刺种子的绝对发芽率表现为小果白刺>唐古特白刺>泡果白刺;在 NaCl 10~20 g/L 时,绝对发芽率表现为唐古特白

刺>泡果白刺>小果白刺;在 NaCl 25 g/L 时,绝对发芽率表现为唐古特白刺>小果白刺>泡果白刺。3 种白刺种子的相对发芽率表现为唐古特白刺>泡果白刺>小果白刺。

#### 3.2 3 种白刺种子的发芽指数与活力指数

3 种白刺种子的发芽指数与活力指数均表现为唐古特白刺>小果白刺>泡果白刺。3 种白刺种子的发芽率、活力指数随着 NaCl 浓度的增加均呈先增加再降低趋势;同时也说明低浓度 NaCl 溶液可以促进 3 种白刺种子的萌发,提高活力指数,而高浓度 NaCl 溶液则会抑制白刺种子的萌发,降低活力指数。

### 3.3 3 种白刺种子的初始萌发天数

3 种白刺种子的初始萌发天数随着 NaCl 溶液浓度的增加而逐渐增加,但种间无显著差异。盐胁迫对白刺种子的萌发有一定的抑制作用,盐浓度越高,种子开始萌发的时间越晚,随着盐胁迫浓度的不断增大,种子萌发的时间推迟得也越多。

### 3.4 3 种白刺种子的隶属函数值和耐盐性

利用 3 种白刺种子的绝对发芽率、相对发芽率、发芽指数、活力指数等单一评价指标比较耐盐性时,评价结果不能够准确地体现出白刺种子的耐盐性,在不同的盐浓度下 3 种白刺种子的耐盐性会有所不同。隶属函数法法是植物耐盐性评价中较为常用的一种综合评价方法,可以在多个指标测定的基础上,进行较为综合、全面的评价。根据隶属函数值分析,这 3 种白刺种子的耐盐性顺序为唐古特白刺>小果白刺>泡果白刺。

参考文献:

- [1] 李双福,张启昌,张起超,等.白刺属植物研究进展[J].北华大学学报:自然科学版,2005,6(1):78-81.
- [2] 杨静慧,孟娜,左凤月,等.野生白刺和碱蓬的叶水势、表皮解剖结构与耐盐性[J].天津农学院学报,2013,20

(3):5-8.

- [3] 王彦阁,杨晓晖,于春堂,等.白刺属植物现状、生态功能及保护策略[J].水土保持研究,2007,14(3):74-79.
- [4] 左凤月,郝秀芬,陈占峰,等.小果白刺和泡果白刺的耐盐性[J].天津农学院学报,2013,20(2):11-14.
- [5] 刘峰,杨静慧,左凤月,等.低温层积和预处理对白刺种子萌发的影响[J].北方园艺,2013(11):69-71.
- [6] Zhu J. Plant salt tolerance[J]. Trends in Plant Science, 2001,6(2):66-71.
- [7] Zhang J,Xing S,Sun Q. Study on cultural technologies and salt-resistance of *Nitraria sibirica* in coastal areas with serious salt-affected soil[J]. Chinese Forestry Science and Technology,2004,3(4):12-16.
- [8] 高永,杨静慧,李宏平,等.四种能源植物种子萌芽期的耐盐性研究[J].大豆科学,2010(6):1091-1092.
- [9] 刘太林,杨静慧,穆俊丽,等.不同大豆品种种子萌芽期的耐盐性[J].大豆科学,2009(5):837-841.
- [10] 王彦雕,张勇,陈年来,等.酸碱处理对不同条件贮藏的 2 种白刺种子萌发的影响[J].甘肃农业大学学报,2013,48(1):97-101.
- [11] 宋丽华,周月君.盐胁迫对臭椿种子发芽的影响[J].种子,2008,27(9):22-25.
- [12] 蔡春菊,彭镇华,高健,等.毛竹种子萌发特性研究[J].中国农学通报,2008,24(12):163-167.
- [13] 刘宝玉,张文辉,刘新成,等.沙枣和柠条种子萌发期耐盐性研究[J].植物研究,2007,27(6):721-728.

(上接第 123 页)

综上所述表明,14 d 4℃ 处理可以增大瓶插切花的花径,维持切花菊体内水分平衡,低温促进 Pro 积累,减少花瓣中 MDA 的产生,从而延缓衰老,为切花菊的贮藏运输提供了理论指导。本研究所选的切花菊品种比较单一,还需要在更多的品种中进行验证和探讨,同时在切花菊的贮藏生理机制方面还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 孙向丽,张启翔,潘会堂.菊花采后生理与技术研究进展[J].西北林学院学报,2006,21(6):84-89.
- [2] 夏宜平,陈声明,王直一.月季切花采后的微生物变化及杀菌剂的生理效应[J].园艺学报,1997,24(1):63-66.
- [3] 高俊平,金基石.我国鲜切花生产与采后流通现状浅析[J].保鲜与加工,2004,4(5):1-2.
- [4] 刘雅莉,王飞,丁勤,等.催花液对唐菖蒲切花水分生理及衰老的影响[J].西北植物学报,2000,20(5):790-795.
- [5] 郑文法.鲜切花主要种类及其保鲜技术研究综述[J].安徽农学通报,2012,18(15):68-71.
- [6] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [7] 于德.不同保鲜剂对非洲菊切花保鲜的研究[J].安徽农学通报,2009,15(9):168-170.
- [8] 李小玲,华智锐,杨文文.预处理结合低温贮藏对康乃

馨切花保鲜效果研究[J].河南农业科学,2012,41(7):131-133.

- [9] 李丽,关玥,刘克信,等.切花菊远距离运输中水势变化及预处理液研发[J].园艺学报,2013,40(11):2213-2221.
- [10] 刘建宁,赵美清,王运琦,等.水分胁迫对 2 种牧草幼苗脯氨酸及过氧化氢酶活性的影响[J].山西农业科学,2009,37(6):27-29.
- [11] 张述义,刘玲玲.水分胁迫对不同品种小麦幼芽抗氧化酶活性的影响[J].山西农业科学,2013,41(2):122-125.
- [12] 刘瑞香,杨劫,高丽.中国沙棘和俄罗斯沙棘在不同土壤水分条件下保护酶系统和丙二醛的变化[J].华北农学报,2006,21(2):87-90.
- [13] 无阿贵.干旱胁迫下红叶李与绿叶李抗旱生理特性比较[J].现代农业科技,2007(16):21-22.
- [14] 骆建霞,马莉,柴慈江,等.干旱胁迫对海姆维斯蒂枸子生长及丙二醛和脯氨酸含量的影响[J].山西农业科学,2009,15(1):1-4.
- [15] 许佳林.高温胁迫对山杏幼苗丙二醛和脯氨酸指标变化的影响[J].天津农业科学,2013,15(4):98-100.
- [16] 刘泽静,张玲.盐胁迫对非洲凤仙花实生苗细胞膜透性和丙二醛含量的影响[J].现代农业科技,2012(21):186,192.
- [17] 孙玉解,刘景安,寇洪超.持续亚低温对甜瓜幼苗丙二醛含量的影响[J].现代农业科技,2009(9):11,13.
- [18] 李翔,赵金萍.连续淹水对毛桃幼苗形态及部分生理指标的影响[J].现代农业科技,2010(15):129-130,133.