

外源 NO 供体硝普钠对 NaCl 胁迫下夏枯草种子萌发的影响

常青山¹, 张利霞², 黄青哲¹, 周姗姗¹, 葛淑慧¹, 黄 玥¹

(1. 河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471003; 2. 河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要:以夏枯草种子为试材, 采用 $0.01\sim 0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SNP 溶液对夏枯草种子进行浸种处理, 研究了以上浓度对 $120\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 模拟盐胁迫下夏枯草种子萌发与幼苗生长的影响。结果表明: NaCl 胁迫显著抑制了夏枯草种子萌发, 不同浓度 SNP 溶液浸种对夏枯草种子萌发有不同程度的促进作用, 其中 $0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SNP 处理比盐胁迫对照组夏枯草的种子发芽率和发芽势分别提高 68.06% 和 130.56% , 发芽指数与活力指数分别提高 78.71% 和 325.93% , 胚根长、胚芽长及根芽比分别提高 165.63% 、 43.43% 与 74.49% , 鲜重提高 57.66% 。综合评定表明, 在不同的 SNP 浸种处理中, $0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SNP 处理总体效果最佳。

关键词:夏枯草; NO; 硝普钠; NaCl 胁迫; 种子萌发

中图分类号:S 688.404⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)11-0155-06

夏枯草(*Prunella vulgaris* L.)是唇形科中园艺价值较高的一种草本植物, 常用于春季园林景观^[1]。同时夏枯草还有一定的药用价值, 夏枯草的干燥果穗可用做中药材^[2], 其味苦辛, 性寒, 含有三萜和甾醇及其苷类、黄酮等成分, 可以降低血压与血糖, 同时对病毒与癌症有较好疗效^[3], 现已成为多种药方与饮品的主要成分。在我国, 有 $6.67\times 10^6\text{ hm}^2$ 盐渍化耕地, 约占可耕地面积的 25% , 加之自然与人为原因使得土壤盐渍化的面积越来越大^[4], 农作物的生长因此而受到严重影响, 发掘盐渍土地的利用价值日益受到重视。通常情况下, 盐分最容易对植物种子萌发产生严重的不良影响, 土壤中盐分通过渗透与离子效应等途径影响种子的萌发, 并导致植物幼苗生长不良^[5-6]。作为主要采用种子繁殖的夏枯草, 播种生产中盐胁迫常常会抑制其萌发, 影响幼苗的成活

率。因此, 增加夏枯草种子的抗盐能力, 提高种子萌发率, 是提高幼苗成活率与壮苗率的关键。

SNP, 为外源 NO 供体, 全称外源 NO 供体硝普钠(sodium nitroprusside, SNP)。一氧化氮(NO)是植物体内一种重要的信号分子, 具有调节气孔运动、延缓衰老、促进防御相关基因的表达等功能, 可以促进种子萌发和提高植物幼苗抗逆能力, 在亚麻^[7]、水飞蓟^[8]、黑麦草^[9]、棉花^[10]等农作物上得到证实。近年来在夏枯草的化学成分与药理^[11-12]、栽培繁育^[13]、种子质量标准^[14]、种子萌发特性^[15]等方面多有研究。然而, NO 对盐胁迫下夏枯草的种子萌发作用研究尚鲜见报道。该研究以夏枯草种子为材料, 通过 NaCl 模拟盐害环境, 研究不同浓度的外源 NO 供体硝普钠(SNP)对 NaCl 胁迫下夏枯草种子萌发和幼苗生长的影响, 探讨 NO 对盐胁迫下夏枯草种子萌发的影响作用, 以期对盐渍地推广应用夏枯草提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料夏枯草种子采于南京。一氧化氮供体硝普钠(亚硝基铁氰化钠, SNP), 纯度 99% , 购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司, 其它为国产分析纯试剂。

1.2 试验方法

根据表 1 设计 SNP 处理浓度。选取相对大小一致的夏枯草种子, 先在 0.1% 氯化汞溶液中消毒 $10\sim 12\text{ min}$, 后用蒸馏水反复冲洗至少 $4\sim 5$ 次, 将种子表面水分用

第一作者简介:常青山(1979-), 男, 河南安阳人, 博士, 讲师, 现主要从事植物逆境生理等研究工作。E-mail: hkdqcs@126.com.

责任作者:张利霞(1982-), 女, 河南濮阳人, 博士, 讲师, 现主要从事药用植物学等研究工作。E-mail: hkdzlx@126.com.

基金项目:河南省科技攻关计划资助项目(162102110095); 河南省高等学校重点科研资助项目(15A180037, 16A220005); 河南科技大学高级别项目培育基金资助项目(2015GJB029); 河南科技大学青年基金资助项目(4024-13350066, 4026-13350041); 河南科技大学博士科研启动基金资助项目(4024-13480054, 4026-13480038); 河南科技大学大学生研究训练计划(SRTP)资助项目(2014254, 2014281, 2015152)。

收稿日期:2015-12-22

消过毒的滤纸吸干备用。将吸干水分的夏枯草种子分别放入表 1 的蒸馏水中或不同浓度的 SNP 溶液中浸泡 12 h,再漂洗 2~3 次,稍晾干后放到预置 2 层滤纸的培养皿中,加入 7 mL 蒸馏水或 NaCl 溶液,整齐摆放 50 粒种子,3 次重复。最后将培养皿放入温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光照度为 33%、光照黑暗各 12 h 的光照培养箱(GXZ 280 型光照培养箱,宁波江南仪器制造厂生产)内进行发芽试验。每天称重补水以保持盐胁迫浓度不变,每隔 24 h 统计种子萌发情况,第 15 天统计幼苗的胚根长、胚芽长及鲜重,重复测定 10 株以上。

表 1 夏枯草种子的不同处理组合

Table 1 Different treatments of *Prunella vulgaris* seeds

处理 Treatment	NaCl /(mmol · L ⁻¹)	SNP /(mmol · L ⁻¹)
CK1	0	0.00
CK2	120	0.00
T1	120	0.01
T2	120	0.05
T3	120	0.10
T4	120	0.25
T5	120	0.50

1.3 项目测定

每天统计并记录夏枯草种子萌发情况,种子萌发的各项指标计算公式如下:发芽率(GP,%)= n/N ,其中, n 为第 15 天时每皿种子发芽数量, N 为供试种子总数;发芽势(GE,%)=种子发芽达高峰时的发芽数/供试种子数;发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$,其中, Gt 为第 t 天的种

子发芽数, Dt 为对应 Gt 的发芽天数;活力指数 $VI=GI \times S$,其中, GI 代表发芽指数, S 为夏枯草全株总长度;根芽比(R/P)=胚根长度/胚芽长度。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 与 SPSS 16.0 统计分析软件对种子萌发过程中获得的数据进行处理,用 Duncan 新复极差法对数据进行差异显著性检验及分析,采用主成分分析与隶属函数进行综合评价^[16-17]。隶属函数公式: $R(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$,式中, X_i 为指标测定值, X_{min} 与 X_{max} 为某一指标的最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 SNP 对 NaCl 胁迫下夏枯草种子萌发的影响

2.1.1 对发芽率和发芽势的影响 由图 1 可以看出,夏枯草种子的发芽率与发芽势在 120 mmol · L⁻¹ NaCl 胁迫下显著降低($P<0.05$),与 CK1 相比,CK2 处理的夏枯草种子发芽率和发芽势分别降低 41.94%与 68.70%。采用不同浓度的 SNP 浸种处理后,夏枯草种子的发芽率和发芽势均得到不同程度地提高,T2、T3、T4 处理的发芽率分别比 CK2 上升 41.67%、68.06%、33.33%,且与 CK2 相比均达差异显著水平;T1、T2、T3、T4 处理的发芽势分别比 CK2 上升 79.17%、91.67%、130.56%、91.67%,且与 CK2 相比均达差异显著水平。不同浓度 SNP 处理中,T3 处理的发芽率和发芽势与其它处理相比均达差异显著水平,其缓解作用最佳。

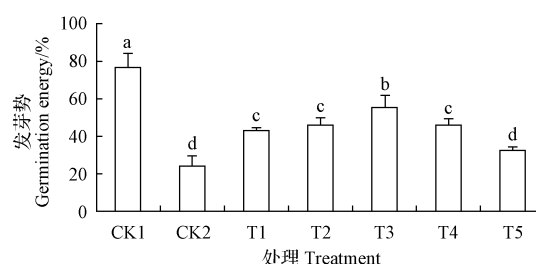
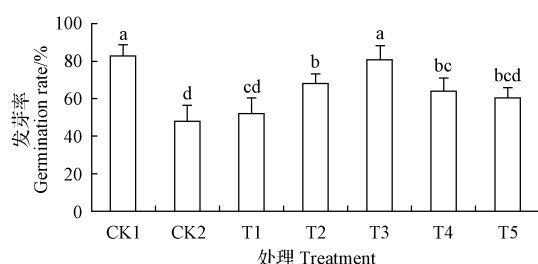


图 1 不同浓度 SNP 处理对盐胁迫下夏枯草种子发芽率与发芽势的影响

Fig. 1 Effect of SNP at different concentrations on seed germination rate and germination energy of *Prunella vulgaris* under NaCl stress

2.1.2 对发芽指数和活力指数的影响 由图 2 可以看出,夏枯草的发芽指数与活力指数在盐胁迫下显著降低,分别比 CK1 降低了 60.59%与 94.93%。不同 SNP 浓度处理下夏枯草种子的发芽指数和活力指数均高于 CK2,但低于 CK1 处理。T2~T5 处理下的发芽指数和活力指数与 CK2 相比均达显著水平,其中 T2、T3、T4 处理的发芽指数分别比 CK2 增加 51.95%、78.71%、46.14%;活力指数分别比 CK2 增加 168.72%、325.93%、223.92%。T2 与 T4 处理的发芽指数与活力指数彼此间差异不显著,T3 处理的缓解作用最好,且显著高于其它 SNP 处理。

2.1.3 对胚根长、胚芽长与根芽比的影响 从图 3 可以看出,盐胁迫下夏枯草的胚根长与胚芽长均受到了显著抑制,胚根长受到的抑制作用最大,比 CK1 处理降低了 89.52%,胚芽长则下降了 49.07%,根芽比降低了 78.59%。SNP 浸种处理提高了盐胁迫下的夏枯草的胚根与胚芽长度。从胚根长来看,T1~T5 处理夏枯草的胚根长与 CK2 相比均达差异显著水平,其中 T2、T3、T4 处理胚根长分别比 CK2 增加 95.05%、165.63%、155.22%。从胚芽长可以看出,仅有 T3 处理下的胚芽长与 CK2 相比达差异显著水平,其中 T2、T3 和 T4 处理的胚芽长分别比 CK2 增加 21.21%、43.43%、17.40%。

从根芽比可知,仅 T4 处理下的根芽比显著高于 CK2,其中 T2、T3 和 T4 处理的根芽比分别比 CK2 提高 57.88%、74.49%、112.90%。T3 处理对 NaCl 胁迫下夏

枯草幼苗的胚根长与胚芽长的提高效果最好,根芽比的提高效果则以 T4 处理为最佳。

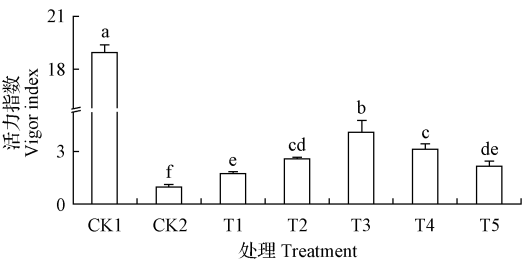
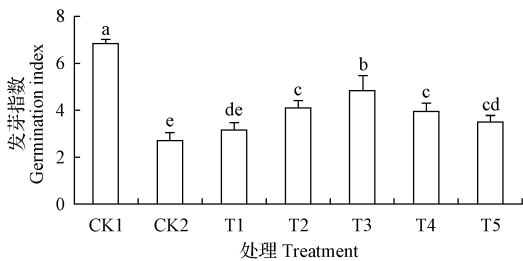


图 2 不同浓度 SNP 处理对盐胁迫下夏枯草种子发芽指数与活力指数的影响

Fig. 2 Effect of SNP at different concentrations on germination index and vigor index of *Prunella vulgaris* under NaCl stress

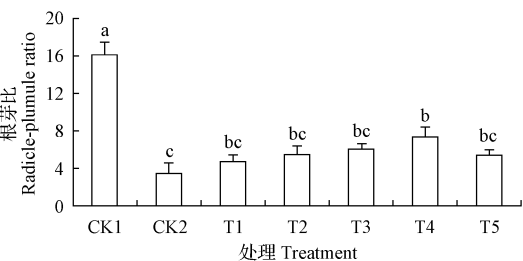
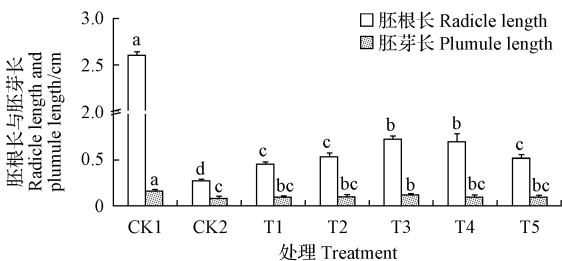


图 3 不同浓度 SNP 处理对盐胁迫下夏枯草胚根长、胚芽长与根芽比的影响

Fig. 3 Effect of SNP at different concentrations on radicle length, plumule length and radicle-plumule ratio of *Prunella vulgaris* under NaCl stress

2.1.4 对鲜重的影响 盐胁迫抑制夏枯草的生长,最终严重影响其鲜重指标。由图 4 可知,CK2 处理下,夏枯草鲜重比 CK1 处理下降 54.01%,达差异显著水平。在不同浓度的 SNP 浸种处理后,夏枯草幼苗鲜重均得到升高。与 CK2 相比,T2、T3 与 T4 处理鲜重分别增加 37.55%、57.66%、33.33%,但是仅有 T3 处理与 CK2 相比达差异显著水平,表明 0.10 mmol · L⁻¹ SNP 对 NaCl 胁迫下夏枯草幼苗的鲜重促进效果最好。

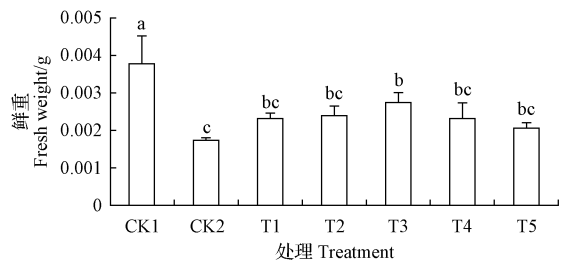


图 4 不同浓度 SNP 处理对盐胁迫下夏枯草幼苗鲜重的影响

Fig. 4 Effect of SNP at different concentrations on fresh weight of *Prunella vulgaris* seedling under NaCl stress

2.2 SNP 缓解 NaCl 胁迫下夏枯草种子萌发的综合评定

由表 2 可知,在第 1 主成分中,特征根是 7.389,累积贡献率达到 92.369%,根据公因子特征值大于 1,方差

贡献率累计大于 80%~85%的原则^[18],可以认为第 1 主成分足以反映原始变量大部分信息,故采用第 1 主成分来代替原来的 8 个变量。

表 2 主成分分析结果

Table 2 The results of principal components analysis

主成分 Component	特征根 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution/%
1	7.389	92.369	92.369
2	0.471	5.887	98.256
3	0.093	1.166	99.421
4	0.039	0.486	99.907
5	0.005	0.068	99.975
6	0.002	0.025	100.000
7	2.19×10 ⁻¹⁶	2.744×10 ⁻¹⁵	100.000
8	3.68×10 ⁻¹⁷	4.601×10 ⁻¹⁶	100.000

经主成分分析发现,第 1 主成分中,发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、胚根长、胚芽长、根芽比、鲜重对应的载荷值分别为 0.852、0.961、0.991、0.964、0.968、0.991、0.963、0.991,发芽指数、胚芽长、鲜重在 8 个指标中数值较大,说明这些指标比较典型并且贡献值高。通过计算,获得主成分表达式为:

$$F_1 = 0.314X_1 + 0.354X_2 + 0.365X_3 + 0.355X_4 + 0.356X_5 + 0.365X_6 + 0.354X_7 + 0.364X_8。$$

根据主成分表达式各指标权重值的大小,可以得出各指标在外源 NO 浸种对盐胁迫下夏枯草种子萌发

特性影响大小的重要性,各指标重要性由大到小依次为:发芽指数、胚芽长、鲜重、胚根长、活力指数、根苗比、发芽势、发芽率。根据主成分表达式计算出各 SNP 溶液浸种处理效果的得分。由表 3 可知,不同浓度硝酸普钠溶液浸种处理影响盐胁迫的能力由强到弱依次为 $0.10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SNP 处理。

由于隶属函数可以克服单一指标的片面性,具有依据多个指标进行全面而准确分析的优点,在抗逆评价中得到广泛应用^[16,19]。故隶属函数分析方法常用于综合评定。根据各指标的隶属函数值,按照主成分表达式计算综合评定值,综合评定值越大,则说明该处理缓解效果越好。从表 4 可知,根据缓解效果 SNP 的处理浓度依次为 $0.10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。分析结果表明,隶属函数的分析结果与主成分分析结果相一致,说明研究结果科学可靠。在综合评定中,CK1 排名第 1,说明在无

表 4 不同浓度 SNP 对 NaCl 胁迫下夏枯草种子萌发影响的隶属函数值

Table 4 Effect of SNP at different concentrations on the seed germination of *Prunella vulgaris* under NaCl stress

处理 Treatment	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination energy	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	胚根长 Radicle length	胚芽长 Plumule length	根芽比 Radicle-plumule ratio	鲜重 Fresh weight	综合评定 Comprehensive evaluation value	排名 Ranking
CK1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	2.827	1
CK2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7
T1	0.115	0.361	0.109	0.043	0.077	0.182	0.097	0.284	0.450	6
T2	0.577	0.418	0.338	0.090	0.111	0.220	0.158	0.320	0.776	4
T3	0.942	0.595	0.512	0.174	0.194	0.451	0.203	0.491	1.239	2
T4	0.462	0.418	0.300	0.120	0.182	0.181	0.308	0.284	0.788	3
T5	0.361	0.161	0.191	0.066	0.105	0.185	0.153	0.155	0.479	5

3 讨论

该研究中,在 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下,夏枯草种子的发芽率、发芽势、活力指数、发芽指数等指标显著降低,较高的 NaCl 浓度胁迫可以明显抑制夏枯草种子的萌发,与张利霞等^[20]、张贤秀等^[21]的研究类似。NO 是一种信号分子,广泛参与植物多种生理过程的调节,因其在对植物逆境如盐胁迫、渗透胁迫与冷害等方面起着重要作用而得到重视^[8-10]。在该研究中,SNP 可以提高 $120 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下夏枯草种子的发芽率、发芽势等萌发指标,原因可能在于 NO 可以作用于细胞壁组分,使细胞壁松弛,提高种子的通透性,增加胁迫下植物种子的吸胀能力,同时提高淀粉酶同工酶的活性^[22-23],从而使得种子发芽能力得以提高。

NO 对 NaCl 胁迫下夏枯草种子的活力指数提高最大, $0.10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SNP 浸种处理下的活力指数比 CK2 提高了 325.93%;其次是胚根长与发芽势,分别比 CK2 提高了 165.63%与 130.56%;对鲜重与胚芽长的影响最小,只比 CK2 分别增加了 57.66%与 43.43%,说明经 SNP 处理后夏枯草的发芽率得以提高,在提高发芽率

胁迫的蒸馏水环境中夏枯草的萌发效果最好;CK2 排名最后,说明盐胁迫显著抑制了夏枯草种子的萌发。而各 SNP 处理位于二者之间,SNP 处理浓度太低或太高均降低其缓解能力, $0.10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SNP 浓度是缓解盐胁迫下夏枯草种子萌发的适宜浓度。

表 3 外源 NO 浸种对盐胁迫下夏枯草种子萌发特性的影响能力得分

Table 3 The scores of effect of seeds soaking in SNP solution on seed germination characteristics of *Prunella vulgaris* under NaCl stress

SNP 浓度 SNP concentration/($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	得分 Score	排序 Order
CK1	5.623	1
CK2	-2.792	7
T1	-1.418	6
T2	-0.476	4
T3	0.853	2
T4	-0.450	3
T5	-1.341	5

的同时幼苗质量也明显优于盐胁迫对照。NaCl 胁迫显著抑制了夏枯草种子的胚根与胚芽生长,且根芽比下降显著,说明 NaCl 对胚根的抑制作用强于对胚芽的抑制,与景艳霞等^[24]的研究相一致。马引利等^[25]在 NO 对翅果油树的种子萌发中发现,NO 对翅果油树幼苗地上部分生长的影响强于对根的影响。在该研究中,SNP 对夏枯草胚根长的提高效果强于对胚芽长的提高效果,SNP 处理可以提高夏枯草的根芽比充分说明了这一点。其原因可能与植物的生长特性有关,相对于胚芽来讲,夏枯草胚根对胁迫及调节物质比较敏感,在 NaCl 环境中受盐胁迫抑制影响而生长速率显著下降;而在 SNP 处理后,夏枯草的胚根的抗盐能力得以增强而生长快于胚芽,在高羊茅^[17]、苜蓿^[6]等植物上也表现为类似的结果。

NO 对盐胁迫下植物的缓解表现为低促高抑的特点,并且其适宜浓度由于植物种类、胁迫类型及处理方法等不尽相同而存在差异^[26-27]。如采用 NO 供体硝酸普钠浸种能够促进玉米种子的萌发,以 $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SNP 处理综合效果最佳^[28]; $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SNP 在提高干旱胁迫下白花蛇舌草种子萌发上效果最好^[29]。在该

研究中,低浓度的 SNP($0.01\sim0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)可以促进盐胁迫下夏枯草种子的萌发, $0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SNP 处理下夏枯草种子在盐胁迫下的萌发得到较好缓解,而在高浓度($0.25\sim0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)其缓解效果下降,该研究结果与张少颖等^[28]、刘文瑜等^[30]和贾海凤等^[31]的研究结果一致。原因可能是由于当 NO 的浓度较高时,过量 NO 可以与活性氧形成过氧亚硝酸,NO 与过氧亚硝酸和植物体内的超氧阴离子(O_2^-)产生作用,导致膜渗漏并作用于相关的酶类,影响种子的萌发,使种子的萌发能力下降^[32-33]。

SNP 对盐胁迫下夏枯草种子萌发的缓解能力受到多指标的影响,因此,避免采用单个指标评价时所引起的不确定性和片面性,采用主成分分析法与隶属函数法可以客观而合理的对 SNP 的缓解能力进行评价,使结果具有科学性和可靠性^[16,34]。主成分与隶属函数分析表明,在该研究条件下 $0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SNP 浸种处理效果最佳。

(该文作者还有吕凤娟和艾培炎,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 张彦妮,陈立新,付艳丽.夏枯草(*Prunella vulgaris*)组织培养和快速繁殖[J].分子植物育种,2007,5(3):384-388.
- [2] 刘悦,宋少江,徐绥绪.夏枯草的化学成分及生物活性研究进展[J].沈阳药科大学学报,2003,20(1):55-59.
- [3] 顾晓洁,钱士辉,李友宾,等.夏枯草的化学成分及药理作用研究进展[J].中国野生植物资源,2007,26(2):5-7.
- [4] 樊怀福,郭世荣,焦彦生,等.外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长、活性氧代谢和光合特性的影响[J].生态学报,2007,27(2):546-553.
- [5] 鱼小军,徐长林,景媛媛,等.外源 NO 对 NaCl 胁迫下扁蓿豆种子萌发和幼苗生长的影响[J].草原与草坪,2014,34(2):68-71.
- [6] 常青山,张利霞,刘龙昌,等.壳聚糖浸种对盐胁迫苜蓿种子萌发受阻的缓解作用[J].贵州农业科学,2015(5):69-71.
- [7] 吴文荣,牛瑞明,苑莹,等.外源 NO 对模拟干旱胁迫下亚麻种子发芽及幼苗生长的影响[J].作物杂志,2015(1):143-147.
- [8] 张晓倩,王康才,张彦南,等.外源 NO 对 NaCl 胁迫下水飞蓟种子萌发和幼苗生长生理的影响[J].中草药,2013,44(22):3216-3222.
- [9] 刘建新,王金成,王瑞娟,等.外源一氧化氮对渗透胁迫下黑麦草幼苗光合和生物发光特性的影响[J].草业学报,2013,23(1):210-216.
- [10] 杨美森,王雅芳,于秀霞,等.外源一氧化氮对冷害胁迫下棉花幼苗生长、抗氧化系统和光合特性的影响[J].中国农业科学,2012,45(15):3058-3067.
- [11] 李晔,籍保平,郑杰,等.夏枯草提取物对链脲菌素致糖尿病 ICR 小鼠血糖及血脂影响[J].食品科学,2006,27(6):212-215.
- [12] 王激光.夏枯草合剂的保肝作用[J].中草药,2001,32(7):625-627.
- [13] 杨伟.夏枯草的繁殖及生长特性研究[D].南京:南京农业大学,2013.
- [14] 张贤秀.夏枯草种子质量标准及种子活力初步研究[D].南京:南京农业大学,2008.
- [15] 郭巧生,刘丽,赵荣梅,等.夏枯草种子萌发特性的研究[J].中国中药杂志,2006,31(13):1045-1047.
- [16] 田如男,张培东,程澄.模拟酸雨胁迫对 4 种草坪草种子萌发的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(5):5-10.
- [17] 常青山,张利霞,万涛,等.模拟酸雨胁迫下钙离子对高羊茅种子发芽的影响[J].草业科学,2012,29(12):1903-1909.
- [18] 朱仁海,杨琪瑜,沈文瑛.统计分析方法[M].北京:中国林业出版社,1990.
- [19] 孙艳茹,石屹,陈国军,等.PEG 模拟干旱胁迫下 8 种绿肥作物萌发特性与抗旱性评价[J].草业学报,2015,24(3):89-98.
- [20] 张利霞,常青山,侯小改,等.不同钠盐胁迫对夏枯草种子萌发特性的影响[J].草业学报,2015,24(3):177-186.
- [21] 张贤秀,郭巧生,沈雪莲.种子引发对夏枯草种子耐盐性的影响[J].中国中药杂志,2009,34(8):944-977.
- [22] 张华,孙永刚,张帆,等.外源一氧化氮供体对渗透胁迫下小麦种子萌发和水解酶活性的影响[J].植物生理与分子生物学报,2005,31(3):241-246.
- [23] LESHEM Y Y, HARAMATY E. The characterization and contrasting effects of the nitric oxide free radical in vegetative stress and senescence of *Pisum sativum* Linn. foliage[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 148(3-4): 258-263.
- [24] 景艳霞,袁庆华.不同钠盐胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J].种子,2010,29(2):69-72.
- [25] 马引利,闫桂琴,陈洁.外源一氧化氮供体浸种对翅果油树种子萌发和幼苗生长的影响[J].西北林学院学报,2007,22(1):5-7.
- [26] 时振振,李胜,杨柯,等.盐胁迫下豌豆幼苗对内外源 NO 的生理生化响应[J].草业学报,2014,23(5):193-200.
- [27] 苏桐,龙瑞军,魏小红,等.外源 NO 对 NaCl 胁迫下燕麦幼苗氧化损伤的保护作用[J].草业学报,2008,17(5):48-53.
- [28] 张少颖,任小林,程顺昌,等.外源一氧化氮供体浸种对玉米种子萌发和幼苗生长的影响[J].植物生理学通讯,2004,40(3):309-310.
- [29] 朱再标,宁梓君,郭巧生,等.外源一氧化氮对干旱胁迫下白花蛇舌草种子萌发的影响[J].中草药,2014,45(6):840-843.
- [30] 刘文瑜,杨宏伟,魏小红,等.外源 NO 调控盐胁迫下菝葜苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究[J].草业学报,2015,24(2):85-95.
- [31] 贾海凤,张海艳.外源 NO 对 NaCl 胁迫下板蓝根种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].中草药,2014,45(1):118-124.
- [32] 何奕昆,张飞雄,刘彦卓,等.一氧化氮:植物体内一种新的生长调控因子(英文)[J].植物生理与分子生物学报,2002,28(5):325-332.
- [33] MUNNS R, TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59: 651-681.
- [34] 刘钟,薛英利,杨圆满,等.人工遮阴条件下 3 个马铃薯品种耐阴性研究[J].云南农业大学学报,2015,30(4):566-574.

Effect of Exogenous NO on *Prunella vulgaris* Seed Germination Under NaCl Stress

CHANG Qingshan¹, ZHANG Lixia², HUANG Qingzhe¹, ZHOU Shanshan¹, GE Shuhui¹, HUANG Yue¹, LYU Fengjuan¹, AI Peiyan¹

(1. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003; 2. College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003)

DOI:10.11937/bfyy.201611042

氮素用量对叶用枸杞氮磷钾养分积累及产量的影响

王 蓉¹, 王 伟¹, 王 娅 丽¹, 王 金 涛¹, 司 光 义²

(1. 国家林业局枸杞工程技术研究中心, 宁夏 银川 750004; 2. 贺兰林业局, 宁夏 银川 750200)

摘 要:以枸杞“叶用1号”为试材,采用田间试验与测试分析方法,在宁夏银川金凤区森森现代林业科技园进行了叶用枸杞肥料试验,研究了春季氮素用量对叶用枸杞植株氮磷钾养分积累和产量的影响。结果表明:适量的增施氮肥能够促进叶用枸杞对氮磷钾素的积累;100 kg 叶芽所需氮(N) 0.35~0.58 kg、所需磷(P_2O_5) 0.08~0.13 kg、所需钾(K_2O) 0.15~0.24 kg,其三要素(N : P_2O_5 : K_2O) 平均比例为 1 : 0.24 : 0.44;当每 667 m² 施氮量为 2.18 kg 时,叶用枸杞每 667 m² 生物产量最高值为 313.89 kg;当每 667 m² 施氮量为 2.45 kg 时,每 667 m² 叶芽产量最高值为 88.41 kg;当最佳经济效益每 667 m² 施氮量为 2.40 kg 时,每 667 m² 最佳经济产量为 88.40 kg。

关键词:叶用枸杞;氮磷钾;产量

中图分类号:S 143.1;S 565.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)11-0160-04

枸杞的嫩叶或嫩芽在《本草纲目》中称作天精草,其营养丰富,性味苦甘凉,能清火明目,药用保健功能可与枸杞果实媲美,具有预防心脏疾病及心血管疾病发生、延缓衰老和促进机体免疫等作用^[1-4]。

目前枸杞以传统的果用枸杞种植为主,叶用枸杞仅有零星栽培,且大多不是叶用枸杞专用品种^[5-6]。枸杞“叶用1号”是国家林业局枸杞工程技术研究中心采用倍性育种方法选育出的三倍体枸杞新品系。该品种具有生长量大、生长势强、栽培性能好、适应性强、叶芽鲜嫩、风味良好、营养丰富的特点。而目前鲜见关于叶用

枸杞施肥方面的研究^[7-11],随着叶用枸杞新品种的问世,急需解决其栽培技术、施肥等一系列的相关技术问题。该试验通过氮肥用量对叶用枸杞氮磷钾养分及产量影响的研究,以探明在砂土壤条件下叶用枸杞氮肥用量的最佳配比,以期为叶用枸杞精准施肥提供理论支撑。这对于大面积推广叶用枸杞施肥技术、提高肥料利用率、降低生产成本具有十分重要的参考价值。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在宁夏银川金凤区森森现代林业科技园进行。该地区四季分明,春迟夏短,秋早冬长,昼夜温差大,雨雪稀少,蒸发强烈,气候干燥,风大沙多等。年平均气温 8.5℃左右,年平均日照时数 2 800~3 000 h,是中国太阳辐射和日照时数最多的地区之一。土壤肥力水平低下,是典型的砂质土壤,其主要土壤理化性质见表 1。

第一作者简介:王蓉(1988-),女,宁夏固原人,硕士,研究实习员,现主要从事植物营养与作物施肥等研究工作。E-mail:951821322@qq.com。

基金项目:国家林业局枸杞工程技术研究中心实验室研究专项资助项目(2015-GQZX-3)。

收稿日期:2015-12-16

Abstract: Taking seed of *Prunella vulgaris* as test material, using 120 mmol · L⁻¹ NaCl to imitate salt stress, the effects of sodium nitroprusside (SNP) at different concentrations (0.01—0.50 mmol · L⁻¹) on seed germination and seedling growth under NaCl stress were investigated. The results showed that seed germination of *Prunella vulgaris* was significantly inhibited by NaCl stress, SNP treatments could relieve the inhibition of seed germination under NaCl stress in different degree. 0.10 mmol · L⁻¹ SNP increased the seed germination rate and germination energy by 68.06% and 130.56%, germination index and vigor index by 78.71% and 325.93%, radicle length and plumule length by 165.63% and 43.43%, radicle-plumule ratio by 74.49%, and fresh weight by 57.66%. The comprehensive evaluation indicated that the concentration of SNP at 0.10 mmol · L⁻¹ was the best relieving effect in all the treatments.

Keywords: *Prunella vulgaris*; NO; sodium nitroprusside; NaCl stress; seed germination