



烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆生长及其根系生理特性的影响

刘丽琴¹, 张永清^{1,2}, 李鑫¹, 王姣¹

(1 山西师范大学 生命科学学院, 山西临汾 041004; 2 山西师范大学 地理科学学院, 山西临汾 041004)

摘要:以‘京农8号’红小豆为试验材料,通过盆栽试验方法,采用不同浓度(0、10、20、40和80 mg·L⁻¹)烯效唑浸种,测定不同水分环境(重度干旱、中度干旱和正常水分)下烯效唑浸种对红小豆生长及根系生理指标,明确干旱环境下红小豆高产优质的最佳烯效唑浸种浓度。结果显示:(1)与正常水分条件相比,干旱胁迫降低了红小豆幼苗叶片叶绿素含量、PSⅡ最大光化学效率(F_v/F_m)、PSⅡ潜在活性(F_v/F_0)和根系抗氧化酶活性、渗透调节物质含量,增加了叶片初始荧光(F_0)、根系MDA含量、根冠比,抑制了红小豆的生长和产量。(2)在不同水分条件下,烯效唑浸种均可有效促进红小豆根系的生长,提高根系SOD活性、POD活性、可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量,增强植株抗氧化能力,降低根系MDA的积累量,从而缓解干旱胁迫对质膜的过氧化伤害。(3)烯效唑浸种提高了干旱胁迫下红小豆植株叶片叶绿素含量、 F_v/F_m 和 F_v/F_0 ,降低了叶片 F_0 ,有效促进干物质的积累,从而有助于红小豆产量构成因素和籽粒产量的提高。研究表明,适宜浓度烯效唑浸种可显著增强红小豆幼苗在干旱胁迫和正常水分环境下光合作用、抗氧化能力和渗透调节能力,有效促进红小豆植株的生长,从而提高了植株的抗旱性和产量,且以20 mg·L⁻¹烯效唑浸种处理的效果最好。

关键词:烯效唑;红小豆;干旱胁迫;生理特性;产量

中图分类号: Q945.78; S521

文献标志码: A

Influence of Seed Soaking with Uniconazole on Growth and Root Physiological Characteristics of Adzuki Bean under Drought Stress

LIU Liqin¹, ZHANG Yongqing^{1,2*}, LI Xin¹, WANG Jiao¹

(1 College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China; 2 College of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China)

Abstract: The seeds of adzuki bean variety ‘Jingnong No. 8’ were used as experimental material in pot in 2015. The effects of seed soaking with uniconazole on the growth and root physiological characteristics were investigated under different water conditions including normal irrigation, moderate and severe drought, the five different concentrations of uniconazole were 0, 10, 20, 40 and 80 mg·L⁻¹. The main results showed that: (1) the growth, yield, chlorophyll contents, maximal PSⅡ photochemical efficiency (F_v/F_m), potential activity of PSⅡ (F_v/F_0) and antioxidant enzyme activities of adzuki bean seedling decreased. However, root MDA content and root-shoot ratio increased under drought stress. (2) Uniconazole treatment significantly improved the activities of superoxide dismutase, peroxidase, soluble sugar

收稿日期: 2016-06-20; 修改稿收到日期: 2016-12-29

基金项目: 国家自然科学基金(31571604); 山西省自然科学基金(2013011030-1)

作者简介: 刘丽琴(1991—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物生理生态研究。E-mail: liuliqin010203@163.com

* 通信作者: 张永清, 教授, 硕士生导师, 主要从事土壤及植物生理生态研究。E-mail: yqzhang208@163.com

content and soluble protein content, and reduced root MDA content under drought stress (severe and moderate drought) and thus alleviating the oxidative damage of drought stress on plasma membrane. (3) Uniconazole treatment increased chlorophyll contents, F_v/F_m and F_v/F_0 while obviously decreased F_0 of adzuki bean leaves, which favours the amount of dry matter accumulation, even yield under drought stress. These results showed that uniconazole treatment, especially $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ uniconazole, was favorable for the adzuki bean seedlings to increase photosynthetic physiological characteristics and antioxidant enzyme activities, which improved adzuki bean growth and increased drought resistance.

Key words: uniconazole; adzuki bean; drought stress; physiological characteristics; yield

全世界每年由于干旱而导致的农作物减产超过其他不良环境因素造成的减产数量的总和^[1]。山西省地处干旱半干旱的黄土高原地区,是一个严重缺水的省份,即使在雨季,干旱也时有发生,成为限制农作物产量的主要逆境因子之一。植物苗期干旱是影响植物生长和产量的重要因素之一,生产上出现的大面积烂种和死苗均与之密切相关。红小豆(*Phaseolus angularis* Wight)又名小豆、赤豆等,豆科豇豆属的一年生草本植物,是中国北方逆境土壤(干旱、瘠薄、盐碱化等)种植的重要杂粮作物之一,由于常被视为填闲植物,多种植在生境较差的地区,受栽培条件和气候条件的限制,其产量和品质受到严重影响。因此,研究提高红小豆苗期的抗旱能力,从而实现高产、优质具有重要的意义。

烯效唑是目前抑制效应最强的生长延缓剂,具有生物活性高、使用安全等特点^[2]。已有研究表明,烯效唑浸种具有“控上促下”的效果,还具有缓解膜脂过氧化程度,降低丙二醛含量,增加超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性等作用^[3-5]。前人的研究结果表明,发达的根系有利提高植物的吸收范围而明显增加植物的抗旱与耐瘠性,但目前关于烯效唑浸种试验主要集中在小麦、大豆、玉米^[6-8]等作物上,而其在红小豆等小杂粮作物上的应用研究鲜有报道。为此,本试验以‘京农8号’红小豆为试验材料,研究烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆根系生物学特性的影响,探索不同浓度的烯效唑浸种对水分胁迫条件下红小豆农艺性状及根系生理生态指标的影响规律,并探明干旱胁迫下红小豆高产优质的最佳烯效唑浸种浓度,为最终烯效唑在红小豆生产实践上的应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试红小豆品种为‘京农8号’,由山西省农业科学院作物科学研究所提供;供试药剂为5%烯效唑可湿性粉剂,产自江苏剑牌农药化工有限公司;供

试土壤为取自距地表3 m以下养分含量相对较低的生土,其田间持水量为22.4%,主要养分含量为:有机质 $2.48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 $0.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾 $91.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验采用两因素完全随机设计,一个因素为浸种浓度,共设0、10、20、40和80 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 5个水平,分别记做 A_{CK} 、 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 ;另一个因素为水分梯度,共设正常水分供应、中度水分胁迫和重度水分胁迫3个水平,它们的土壤含水量为田间持水量的70%~80%、50%~60%和35%~45%,分别记做 B_{CK} 、 B_1 、 B_2 。共15个处理组合,每个处理重复6次。

试验于2015年6~10月在山西师范大学试验基地防雨棚中进行。采用上口径29.5 cm、下口径20.5 cm、高26.5 cm的聚乙烯塑料盆进行盆栽试验,每盆装土13 kg,为保证试验期间幼苗的生长不受养分限制,每千克土壤一次性施入尿素0.1 g、过磷酸钙0.2 g和氧化钾0.3 g作为底肥。试验实施时,将大小一致、健壮饱满的红小豆种子用各自的浸种溶液浸种7 h,期间每30 min搅动1次,取出后于6月6日播种,每盆播种14粒,播种后所有盆等量浇水以保证种子顺利出苗,待苗齐后间苗,每盆留生长一致的苗7株,待幼苗长到三叶一心期(6月18日)开始分梯度控水,每天18:00采用称重法计算补水量,使各处理土壤含水量维持在设定的范围内,每处理6盆。于苗期(7月15日)取3次重复用于形态指标和生理指标的测定,另外3次重复继续培养,于成熟期(9月21日)收获时测定籽粒产量。

1.3 测定项目与方法

取样时先用水浸泡盆土,将带土的红小豆幼苗轻轻取出,用水冲去泥土后将地上部和根系从茎基部分开,用于形态指标和生理指标的测定。

1.3.1 形态指标 红小豆幼苗株高、最长根长用带刻度直尺测量;茎粗用游标卡尺测量;地上部和地下部干重用烘干称重法测定;壮苗指数用公式[(茎粗/株高+地下部干重/地上部干重)×全株干重]计

算^[9];叶面积、根系体积、表面积、平均直径和总根长用英国产 Delta-T SCAN 分析系统测定。

1.3.2 生理指标 叶绿素荧光参数用美国产 OS5P 型便携式型叶绿素荧光仪在晴朗无风的天气于上午 09:00~11:00 测定,测定时选取植株顶部第 1 片三出复叶,取平均值;叶绿素含量采用丙酮法测定^[10];根系超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法测定^[10];根系过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法测定^[10];根系丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[10];根系游离脯氨酸含量采用酸性茚三酮法测定;根系可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;根系可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定。以上所测指标均为 3 次重复,取平均值。

1.4 数据处理

数据用 Microsoft Excel 2003 软件进行处理与作图,结果用平均值±标准差表示,统计分析用 SPSS 17.0 软件,用 Duncan’s 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗生长的影响

2.1.1 地上部生长指标 由表 1 可知,在相同水分条件下,烯效唑浸种处理红小豆幼苗株高均显著低于相应对照组(蒸馏水浸种, A_{CK}),且随着烯效唑浓度的增高而逐渐显著降低;在相同浓度烯效唑浸种处理下,红小豆幼苗株高均表现为正常水分>中度干旱>重度干旱处理,且差异均达到显著水平;A₁ 浓度烯效唑浸种处理株高在正常水分、中度干旱和重度干旱胁迫条件下分别较对照组显著下降了 38.82%、29.22%和 41.44%。与株高表现不同,在相同水分条件下,红小豆幼苗茎粗和叶面积随着烯效唑浓度的增加均呈先升高后降低的趋势,并均在 A₂ 浓度下达到最大值,且各烯效唑处理均高于对照组;在相同烯效唑浸种条件下,正常水分下红小豆幼苗茎粗和叶面积均高于中度、重度干旱胁迫处理;A₂

表 1 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗地上部生长的影响

Table 1 Effect of seed soaking with different concentrations of uniconazole on shoot growth of adzuki bean at seedling stage under drought stress

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶面积 Leaf area/mm ²
B _{CK} A _{CK}	18.65±0.38a	3.80±0.17de	1 314.34±66.58cd
B _{CK} A ₁	17.19±0.11b	4.10±0.14bc	1 452.34±88.84b
B _{CK} A ₂	14.41±0.31c	4.62±0.18a	1 729.60±74.25a
B _{CK} A ₃	12.06±0.34f	3.96±0.17cd	1 409.86±62.93bc
B _{CK} A ₄	11.41±0.17g	3.87±0.11d	1 366.62±84.19bcd
B ₁ A _{CK}	14.63±0.14c	3.35±0.09h	1 009.12±51.95ef
B ₁ A ₁	13.64±0.28d	3.81±0.10de	1 362.11±63.20bcd
B ₁ A ₂	12.31±0.17ef	4.25±0.14b	1 640.97±73.06a
B ₁ A ₃	11.48±0.38g	3.61±0.13efg	1 264.36±37.35d
B ₁ A ₄	10.35±0.31h	3.54±0.14fgh	1 061.86±68.89ef
B ₂ A _{CK}	12.60±0.15e	2.81±0.11j	940.29±83.18f
B ₂ A ₁	11.48±0.37g	3.44±0.07gh	1 114.12±96.30e
B ₂ A ₂	10.06±0.17h	3.73±0.07def	1 357.12±72.39bcd
B ₂ A ₃	9.37±0.24i	3.11±0.14i	1 081.64±24.26e
B ₂ A ₄	7.38±0.45j	3.04±0.11i	999.66±99.13ef

注: A_{CK}、A₁、A₂、A₃、A₄ 分别为 0、10、20、40 和 80 mg/L 烯效唑浸种; B_{CK}、B₁、B₂ 分别为正常水分、中度干旱胁迫和重度干旱胁迫,它们的土壤含水量分别为田间持水量的 70%~80%、50%~60%和 35%~45%;表中数据为平均值±标准差;同列数据后不同字母表示处理间差异达显著水平(P<0.05);下同

Note: A_{CK}, A₁, A₂, A₃ and A₄ stand for seed soaking treatments with 0, 10, 20, 40 and 80mg/L uniconazole respectively, while B_{CK}, B₁ and B₂ stand for normal water condition , moderate drought stress and serious drought stress, which soil moisture content are 70%—80% , 50%—60% and 35%—45% of field capacity respectively. Data in the table is mean ± standard deviation. The different letters in the same column indicate significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below

表 2 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗根系生长的影响

Table 2 Effect of seed soaking with different concentrations of uniconazole on the development of root system of adzuki bean at seedling stage under drought stress

处理 Treatment	根系表面积 Root surface area /cm ²	根系平均直径 Root average diameter /mm	根系体积 Root volume /cm ³	总根长 Total root length /cm	最长根长 Max length of root /cm
B _{CK} A _{CK}	75.36±4.35de	0.61±0.01fgh	7.60±0.20de	1 343.39±27.16efg	15.41±0.71de
B _{CK} A ₁	79.93±3.43cd	0.70±0.01bc	8.52±0.35b	1 674.03±121.63cd	19.26±0.42b
B _{CK} A ₂	94.63±1.58a	0.76±0.02a	10.11±0.20a	1 959.71±113.05a	20.38±0.48a
B _{CK} A ₃	80.05±2.10cd	0.66±0.02cd	8.17±0.14c	1 418.73±112.25ef	17.01±0.36c
B _{CK} A ₄	77.18±2.04cde	0.63±0.04defg	7.87±0.29cd	1 368.81±62.27efg	16.01±0.37d
B ₁ A _{CK}	64.19±2.73f	0.54±0.03i	5.91±0.18h	1 262.30±37.85gh	13.62±0.42g
B ₁ A ₁	73.23±3.10e	0.65±0.03def	7.49±0.12ef	1 609.21±44.63d	17.60±0.41c
B ₁ A ₂	88.57±1.00b	0.72±0.02ab	8.61±0.18b	1 897.56±43.02ab	18.80±0.44b
B ₁ A ₃	74.65±3.01e	0.64±0.04defg	7.19±0.16fg	1 365.71±48.06efg	15.26±0.34e
B ₁ A ₄	65.99±2.70f	0.61±0.03efgh	6.89±0.20g	1 298.01±38.00fg	14.41±0.20f
B ₂ A _{CK}	58.96±2.34g	0.48±0.02j	4.51±0.22j	1 121.90±92.79i	11.46±0.33i
B ₂ A ₁	66.86±3.22f	0.62±0.02efgh	6.05±0.25h	1 471.77±73.40e	15.60±0.27de
B ₂ A ₂	80.91±2.65c	0.66±0.01cde	7.22±0.09fg	1 793.08±51.03bc	17.43±0.25c
B ₂ A ₃	65.58±1.76f	0.60±0.03gh	5.89±0.17h	1 307.17±64.15fg	13.24±0.22gh
B ₂ A ₄	62.73±2.19fg	0.58±0.02hi	5.51±0.25i	1 166.97±51.60hi	12.74±0.13h

浓度烯效唑浸种红小豆幼苗茎粗在正常水分、中度干旱和重度干旱胁迫下分别较对照组显著增加 21.57%、26.87%和 32.74%，其叶面积则分别显著增加 31.59%、62.61%和 44.33%。可见，烯效唑浸种处理对各水分条件下红小豆幼苗株高均起抑制作用，且烯效唑浓度越高抑制作用越强；适宜浓度烯效唑浸种会显著提高红小豆幼苗的茎粗和叶面积，且干旱胁迫下的促进效应更强，但浓度过高促进效应则会明显降低。

2.1.2 根系生长指标 表 2 显示，红小豆幼苗的根系表面积、平均直径、体积、总根长和最长根长在 中度干旱胁迫下分别比正常水分降低了 14.82%、11.48%、22.24%、6.04%、11.62%，在重度干旱胁迫下则分别显著降低了 21.77%、21.31%、40.66%、16.49%、25.63%。在相同水分条件下，上述各根系生长指标均随着烯效唑浸种浓度的增加而呈现先升高后降低的趋势，且 A₁~A₂ 浸种处理均不同程度高于对照组(A_{CK})，并均在 A₂ 浓度浸种下达到最大值；A₂ 浓度浸种处理红小豆的根系表面积在正常水分、中度干旱和重度干旱胁迫下分别比对照组显著增加 25.57%、37.98%、37.23%，根系平均直径分别显著增加 24.59%、33.33%、37.50%，根系体积比分别显著增加 33.02%、45.69% 和

60.09%，总根长分别显著增加 45.81%、50.33%、59.83%，最长根长分别显著增加了 32.25%、38.03%、52.09%。可见，干旱胁迫显著抑制了红小豆幼苗根系生长，适宜浓度烯效唑浸种可显著改善不同水分条件下红小豆根系生长，且在干旱胁迫下效果更加明显，可有效缓解水分胁迫造成的抑制作用。

2.1.3 壮苗指数和根冠比 图 1 显示，在相同水分条件下，红小豆幼苗壮苗指数在各浓度烯效唑浸种处理下均显著高于相应对照组(A_{CK})，且随着浸种浓度增加呈先增加后下降的趋势，并均在 A₂ 处理下达到最大值，此时它在正常水分、中度干旱胁迫与重度干旱胁迫环境下分别比对照组显著增加 137.93%、92.0%和 128.57%；在相同烯效唑浸种浓度下，幼苗壮苗指数均表现出正常水分>中度干旱胁迫>重度干旱胁迫的趋势，且正常水分与干旱胁迫处理间差异均达到显著水平。同时，在相同水分条件下，红小豆幼苗根冠比的表现与壮苗指数相似，各浓度浸种处理均不同程度地高于对照组，并随浸种浓度的增加呈先升高后降低的趋势，且均在 A₂ 浓度下达到最大值，此时它在正常水分、中度干旱胁迫与重度干旱胁迫环境下分别比对照组显著增加 58.82%、50.00%和 29.03%；在相同浸种浓度下，

幼苗根冠比均表现为重度干旱胁迫>中度干旱胁迫>正常水分环境,且水分处理间相互差异均达到显著水平。可见,随干旱胁迫程度的加剧,红小豆幼苗根冠比呈升高的趋势,而其壮苗指数却呈下降的趋势;烯效唑浸种在 3 个水分环境下均能提高红小豆幼苗壮苗指数和根冠比,并在正常水分下效果更好。

2.2 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗根系生理特性的影响

抗氧化酶 SOD 可以催化体内超氧阴离子($O_2^{\cdot -}$)

歧化反应生成 O_2 和 H_2O_2 ,避免 $O_2^{\cdot -}$ 对膜的伤害,是清除自由基的关键酶,抗氧化酶 POD 能够配合 SOD 彻底解除超氧阴离子等活性氧的毒害作用^[11],而可溶性糖和可溶性蛋白是 2 种重要的渗透调节物质。能在一定范围内缓解逆境胁迫的伤害。植物受逆境胁迫损伤程度可通过 MDA 含量的变化来反映^[12]。表 3 显示,在同一水分梯度下,红小豆根系中 SOD 活性、POD 活性以及可溶性糖、可溶性蛋白含量在各浓度烯效唑浸种处理下均不同程度地高于

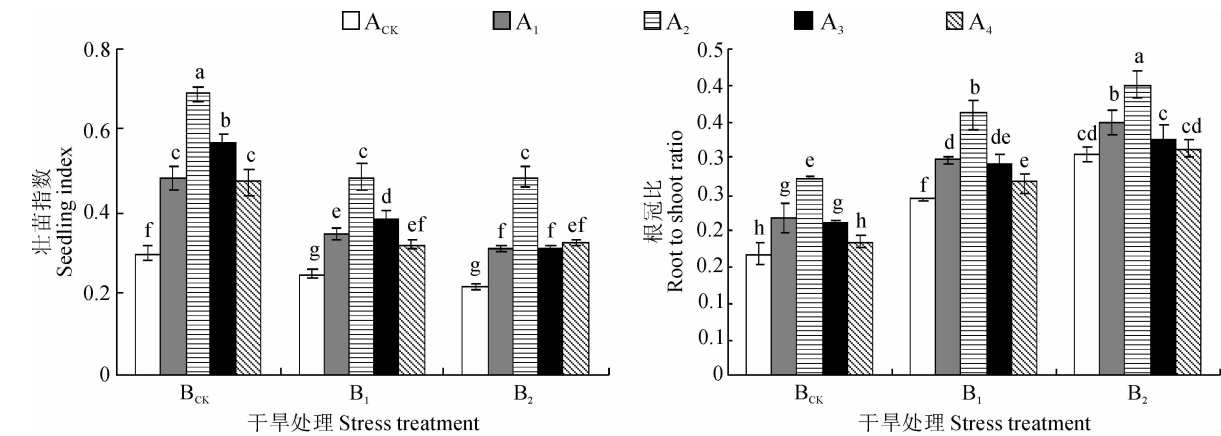


图 1 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗壮苗指数和根冠比的影响

Fig. 1 Effect of seed soaking with different concentrations of uniconazole on seedling index and root-shoot ratio of adzuki bean at seedling stage under drought stress

表 3 烯效唑浸种对红小豆幼苗根系生理特性的影响

Table 3 Effect of seed soaking with different concentrations of uniconazole on the physiological characteristics of root system of adzuki bean at seedling stage under drought stress

处理 Treatment	SOD 活性 SOD activity /(U · g ⁻¹)	POD 活性 POD activity /(U · g ⁻¹ · min ⁻¹)	MDA 含量 MDA content /(nmol · g ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar content/(mg · g ⁻¹)	可溶性蛋白含量 soluble protein content/(mg · g ⁻¹)
B _{CK} A _{CK}	176.47 ± 10.99de	4 606.10 ± 145.23ef	10.22 ± 0.74ef	1.89 ± 0.04f	11.81 ± 0.30d
B _{CK} A ₁	205.46 ± 11.82bc	5 319.72 ± 183.45c	8.22 ± 0.29gh	2.14 ± 0.02c	13.89 ± 0.38b
B _{CK} A ₂	236.55 ± 7.76a	6 178.30 ± 176.26a	5.84 ± 0.18i	2.42 ± 0.08a	15.82 ± 0.68a
B _{CK} A ₃	191.72 ± 13.02cd	4 926.21 ± 70.13d	8.95 ± 0.31g	2.02 ± 0.04d	12.78 ± 0.33c
B _{CK} A ₄	180.30 ± 13.49de	4 822.49 ± 45.78de	9.74 ± 0.46f	1.91 ± 0.03f	12.01 ± 0.36cd
B ₁ A _{CK}	146.48 ± 16.04g	3 594.18 ± 171.20i	12.23 ± 0.54cd	1.65 ± 0.05h	9.64 ± 0.64f
B ₁ A ₁	182.50 ± 7.92de	4 701.87 ± 178.17e	9.91 ± 0.50f	1.92 ± 0.07ef	11.85 ± 0.39d
B ₁ A ₂	217.25 ± 9.98ab	5 551.82 ± 132.82b	7.76 ± 0.35h	2.26 ± 0.09b	14.10 ± 0.27b
B ₁ A ₃	171.75 ± 5.78def	4 104.89 ± 98.74g	10.68 ± 0.27e	1.78 ± 0.04g	11.00 ± 0.64e
B ₁ A ₄	165.96 ± 19.58efg	3 917.35 ± 139.21gh	11.62 ± 0.23d	1.69 ± 0.03h	10.11 ± 0.25f
B ₂ A _{CK}	121.78 ± 19.02h	2 340.56 ± 71.08l	14.21 ± 0.17a	1.33 ± 0.05k	7.54 ± 0.30h
B ₂ A ₁	165.83 ± 6.92efg	3 771.50 ± 36.95hi	11.66 ± 0.18d	1.60 ± 0.03hi	9.99 ± 0.40f
B ₂ A ₂	206.97 ± 16.72bc	4 476.06 ± 91.21f	8.50 ± 0.23g	2.00 ± 0.07de	12.21 ± 0.78cd
B ₂ A ₃	164.89 ± 5.16efg	3 336.35 ± 86.74j	12.49 ± 0.86c	1.53 ± 0.06i	8.68 ± 0.22g
B ₂ A ₄	152.14 ± 8.28fg	3 053.31 ± 85.53k	13.24 ± 0.22b	1.42 ± 0.03j	8.08 ± 0.20gh

对照组,相应的 MDA 含量却不同程度地低于对照;随浸种浓度的增加,保护酶活性和渗透调节物质含量呈先增加后减少的变化趋势,并均在 A₂ 浓度下达到最大值,而相应的 MDA 含量却呈先降低后升高的趋势,并在 A₂ 浓度下达到最小值;A₂ 浓度(20 mg·L⁻¹)处理幼苗根系中 SOD 活性在正常水分、中度干旱和重度干旱胁迫环境下分别比对照组显著升高 34.05%、48.31%和 69.95%,根系 POD 活性则分别显著升高 25.83%、54.47%和 91.24%,其可溶性糖含量分别显著升高 28.04%、36.97%和 50.38%,可溶性蛋白含量分别显著升高 33.95%、46.27%和 61.94%,相应的 MDA 含量则分别显著降低 42.86%、36.55%和 40.18%。在相同浓度烯效唑处理下,根系中 SOD 活性、POD 活性以及可溶性糖、可溶性蛋白含量均表现为正常水分>中度干旱>重度干旱胁迫,相应的 MDA 含量则表现为正常水分<中度干旱<重度干旱胁迫。以上结果说明干旱胁迫致使红小豆幼苗根系抗氧化酶活性和渗透调节物质含量降低,而使其 MDA 含量升高;无论水分条件如何,各浓度烯效唑浸种均可使红小豆幼苗根系抗氧化酶活性和渗透调节物质含量升高,MDA 含量降低,从而缓解根系细胞受干旱损伤程度,并以

20 mg·L⁻¹烯效唑的浸种效果最好。

2.3 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响

叶绿素含量是衡量叶片衰老和光合功能的一个关键指标,叶绿素荧光反映完整植株在干旱胁迫下光合作用的真实行为以及环境对植物的影响^[13]。由表 4 可知,在相同水分条件下,红小豆幼苗叶片叶绿素含量、PSⅡ最大光化学效率(F_v/F_m)和 PSⅡ潜在活性(F_v/F_0)在各浓度烯效唑浸种处理后均显著高于相应对照组,而相应的暗适应下最小荧光(F_0)则显著低于对照组;随着烯效唑浓度增加,叶绿素含量、 F_v/F_m 和 F_v/F_0 均呈现先升高后降低的趋势,并均在 A₂ 处理下达到最大值,而相应的 F_0 则先降低再升高,并在 A₂ 处理下达到最小值;A₂ 处理红小豆幼苗叶片叶绿素含量在正常水分、中度干旱胁迫和重度干旱胁迫条件下分别比对照组显著增加 33.54%、42.44%和 61.06%, F_v/F_m 分别比对照组显著增加 13.33%、14.08%和 16.42%, F_v/F_0 分别比对照组显著增加 99.32%、73.47%和 75.49%,而 F_0 则分别比对照组显著降低 24.82%、18.42%和 14.73%。在相同烯效唑浓度处理下,红小豆幼苗叶片叶绿素含量、 F_v/F_m 和 F_v/F_0 均表现为正常水分>

表 4 烯效唑浸种对红小豆幼苗叶绿素含量和叶绿素荧光参数的影响

Table 4 Effect of seed soaking with different concentrations of uniconazole on chlorophyll content and chlorophyll fluorescence parameters of adzuki bean at seedling stage under drought stress				
处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll content / (mg·g ⁻¹)	暗适应下 初始荧光 F ₀	PSⅡ最大光 化学效率 F _v /F _m	PSⅡ潜在活性 F _v /F ₀
B _{CK} A _{CK}	1.58±0.03g	274.00±15.10ef	0.75±0.02fg	2.95±0.24gh
B _{CK} A ₁	1.85±0.06c	237.33±12.74g	0.80±0.01bc	4.07±0.31bc
B _{CK} A ₂	2.11±0.02a	206.00±8.00h	0.85±0.01a	5.88±0.32a
B _{CK} A ₃	1.79±0.03cd	226.33±14.64g	0.79±0.01bcd	3.71±0.21cd
B _{CK} A ₄	1.73±0.03de	236.00±8.54g	0.77±0.01def	3.31±0.22defg
B ₁ A _{CK}	1.39±0.04i	329.33±6.82ab	0.71±0.02h	2.45±0.24i
B ₁ A ₁	1.70±0.03ef	287.00±6.24def	0.78±0.01de	3.49±0.24def
B ₁ A ₂	1.98±0.02b	268.67±20.55f	0.81±0.01b	4.25±0.39b
B ₁ A ₃	1.64±0.04fg	293.33±5.51de	0.76±0.01def	3.24±0.12efg
B ₁ A ₄	1.59±0.03g	302.67±14.64cd	0.75±0.01fg	2.93±0.11gh
B ₂ A _{CK}	1.13±0.07j	344.00±7.55a	0.67±0.01i	2.04±0.05j
B ₂ A ₁	1.51±0.01h	304.33±5.86cd	0.75±0.01ef	3.08±0.19fgh
B ₂ A ₂	1.82±0.04c	293.33±5.77de	0.78±0.01cd	3.58±0.13de
B ₂ A ₃	1.45±0.07hi	319.00±10.00bc	0.75±0.02f	3.01±0.38gh
B ₂ A ₄	1.40±0.04i	314.33±3.21bc	0.73±0.02gh	2.65±0.20hi

表 5 烯效唑浸种对红小豆产量及其构成因素的影响

Table 5 Effect of seed soaking with different concentrations of uniconazole on yield and its components of adzuki bean under drought stress

处理 Treatment	荚数 Pods / pot	粒数 Seeds / pot	百粒重 100-seed weight /g	产量 Yield / (g/pot)
B _{CK} A _{CK}	22.67±2.08ef	157.67±10.26ef	13.88±0.14ef	20.35±1.22e
B _{CK} A ₁	28.67±1.15ab	193.00±5.29b	14.77±0.14ab	25.50±1.67b
B _{CK} A ₂	30.00±2.00a	213.67±5.69a	14.81±0.23a	29.07±0.96a
B _{CK} A ₃	25.00±1.00cd	174.00±5.57cd	14.77±0.06ab	24.66±0.52bc
B _{CK} A ₄	23.67±0.58de	161.67±10.41de	14.40±0.25abcd	24.05±0.23bc
B ₁ A _{CK}	19.67±0.58g	118.33±10.69h	13.23±0.18h	16.35±0.73fg
B ₁ A ₁	26.67±1.53bc	172.67±7.37cd	14.29±0.48bcde	23.77±0.36c
B ₁ A ₂	28.67±1.53ab	200.67±7.37b	14.46±0.29abc	27.79±0.61a
B ₁ A ₃	22.33±1.53ef	153.33±5.51ef	14.23±0.24cde	22.06±0.39d
B ₁ A ₄	21.00±0.00fg	145.67±7.02fg	13.90±0.21ef	20.24±0.67e
B ₂ A _{CK}	16.67±1.15h	76.33±4.04i	12.77±0.32i	9.74±0.48h
B ₂ A ₁	23.67±0.58de	144.33±9.61fg	13.95±0.23def	19.42±0.99e
B ₂ A ₂	27.33±1.53b	178.00±9.85c	14.14±0.37cdef	24.73±1.17bc
B ₂ A ₃	21.67±0.58efg	135.33±8.39g	13.72±0.37fg	17.80±1.39f
B ₂ A ₄	20.00±0.00g	121.67±3.79h	13.38±0.17gh	15.35±0.99g

中度干旱胁迫>重度干旱胁迫,而其 F_0 表现则相反,且处理间差异大多达到显著水平。可见,在 3 种水分条件下,各浓度烯效唑浸种处理均能有效提高红小豆幼苗叶片叶绿素含量、 F_v/F_m 和 F_v/F_0 ,降低其 F_0 水平,并以 A_2 浓度($20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)烯效唑的浸种效果最好。

2.4 烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆产量及其构成因素的影响

红小豆产量的统计结果(表 5)表明,在同一水分条件下,各烯效唑浸种处理红小豆的荚数、粒数、百粒重和产量均不同程度地高于对照组,且随着烯效唑浓度增加均呈现先升高后降低的趋势,并均在 A_2 处理下达到峰值,尤其在粒数和产量上均显著高于其他浓度处理;在相同浸种浓度下,各产量指标均表现为正常水分>中度干旱胁迫>重度干旱胁迫。其中, A_2 浸种处理的红小豆粒数在正常水分、中度干旱胁迫和重度干旱胁迫条件下分别比对照组显著增加 35.52%、69.59%和 101.67%,其相应籽粒产量分别比对照组显著增加 42.85%、69.97%和 153.90%。以上结果表明在灌水量相同的条件下烯效唑浸种均使红小豆的荚数、粒数、百粒重和产量不同程度提高,并以 A_2 浓度($20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)烯效唑的浸种效果最好,且又以干旱胁迫下烯效唑浸种效应更明显。

3 讨 论

干旱主要通过损伤植株的生理代谢,导致叶绿素含量减少,降低光合作用、抑制植物组织的生长与发育,从而降低植物产量。马艳华等^[14]研究表明,当土壤水分降至 14%,黑麦草受到严重干旱胁迫,叶片极度萎蔫,而烯效唑处理后黑麦草的叶绿素含量均有不同程度提高,植株代谢旺盛,叶片光合性能增强,进而大大缓解了干旱对黑麦草造成的伤害。苦荞幼苗生长在干旱胁迫下受阻,但烯效唑浸种可促进干旱胁迫下苦荞的生长和发育,提高苦荞产量^[15]。

本试验中红小豆幼苗株高、茎粗、叶面积和根系生长(根系表面积、根系平均直径、总根长、根系体积、最长根长)均随水分胁迫的加剧而降低;在各水分环境下烯效唑浸种处理抑制了红小豆幼苗地上的伸长,促进地下部的生长和地上部横向生长,这与前人的研究结果一致^[7,16];同时,烯效唑浸种还提高了红小豆的根冠比和壮苗指数,说明烯效唑浸种可以培育壮苗,具有提高红小豆抗旱性的作用。

光合作用是植物生长发育的基础,可以反映植株生长势和抗旱性强弱^[17]。而叶绿素是光合作用中光反应阶段色素蛋白复合体的重要组成部分,叶绿素含量的高低直接影响植株的光合作用能力^[12]。

本试验中重度和中度干旱胁迫处理显著降低了红小豆叶绿素含量,但烯效唑浸种处理使其下降幅度变小,且明显高于对照组。有研究表明,烯效唑处理可通过延缓叶绿素降解,增强光合作用的效率,减少非气孔限制对光合作用的影响^[18];李宁毅等也发现烯效唑处理后明显提高了百日草的叶绿素总含量,使得有效光合面积提高,以获得足够的能量来维持光合作用的正常进行^[19]。

叶绿素荧光可快速检测完整植株在干旱胁迫下光合作用的真实行为,其变化可以反映环境对植物的影响^[20]。PSⅡ天线色素的非光化学能量耗散常导致 F_0 降低,而 PSⅡ反映中心的破坏或可逆失活则可引起 F_0 的增加^[21]。本研究表明在烯效唑浸种浓度相同时,红小豆叶片 F_0 随灌水量的减少呈上升的趋势;在相同水分条件下则随着浸种浓度的增加呈先降低后升高的趋势,且均明显低于对照,表明水分胁迫下烯效唑浸种使 PSⅡ天线色素吸收的能量以热和荧光形式散失的部分减少,流向光化学反应的能量增加,从而缓解干旱胁迫对光合机构的破坏。 F_v/F_m 和 F_v/F_0 分别反映 PSⅡ的最大光化学效率和 PSⅡ的潜在活性,该参数不受物种和生长条件的影响,在非胁迫条件下变化极小,而胁迫条件下明显下降^[22]。本试验中,中度与重度干旱胁迫环境下,红小豆功能叶 F_v/F_m 于蒸馏水浸种时维持在 0.67—0.71 之间,烯效唑浸种后该值显著增大并保持在 0.73—0.81 之间,且在本试验设定烯效唑范围内,20 mg · L⁻¹ 处理使 F_v/F_m 和 F_v/F_0 达到最大值,显著高于其他处理,这说明在干旱胁迫环境下烯效唑浸种提高了红小豆叶片 PSⅡ反应中心的光化学活性,减少干旱胁迫对 PSⅡ的损伤程度,以维持光合作用的正常进行。

抗氧化酶系统是植物体重要的保护系统之一,用于清除对植物体有害的超氧阴离子及其歧化产物^[23-24]。SOD 和 POD 是活性氧清除酶系统中的关键酶,其活性的高低在一定程度上可反映植株抗逆性的强弱。MDA 是细胞膜脂过氧化作用的产物,在植株处于逆境胁迫条件或衰老时均会产生,是检测植物细胞膜伤害的一个重要指标,其积累量可以

表示膜脂过氧化的程度^[25]。本试验结果表明,红小豆幼苗根系 SOD 和 POD 活性随胁迫程度的加剧呈下降的趋势,而 MDA 含量则大幅度升高,这说明干旱胁迫下超氧阴离子积累并超过其伤害阈值,直接或间接地启动膜脂过氧化作用,导致 MDA 含量的增加;同时 MDA 的积累反过来抑制了 SOD 和 POD 活性,但在同一水分环境条件下,烯效唑浸种处理后其 SOD、POD 活性均高于对照,而 MDA 含量均低于对照,当浸种浓度为 20 mg · L⁻¹ 时,SOD 和 POD 的活性均达到最大值,MDA 含量降到最低,说明适宜的烯效唑浸种处理能更及时有效地清除红小豆幼苗体内过多超氧阴离子及其歧化产物,从而减轻根系受损程度,提高植株抗逆性,这与张永清等在谷子上研究结果相一致^[26]。

渗透调节作用是植物抵御水分胁迫的重要机制,可溶性糖和可溶性蛋白质作为渗透调节物质,是逆境条件下植物抗逆形成的重要物质基础。石艳华等^[15]和李江等^[27]研究均表明,与正常水分相比,在干旱条件下植物中可溶性糖和可溶性蛋白质含量降低。已有研究表明植物中可溶性糖和可溶性蛋白质含量增加可使细胞维持较低的渗透势,对植物抵抗干旱胁迫起到非常重要的作用^[23]。本研究中,中度和重度干旱胁迫下,各浓度烯效唑浸种处理的红小豆叶片中可溶性糖和可溶性蛋白质含量均高于对照,其中 20 mg · L⁻¹ 浓度处理效果最为明显,即适当浓度烯效唑浸种对干旱胁迫下红小豆幼苗中可溶性糖和可溶性蛋白质的积累有促进作用,从而改善红小豆幼苗在干旱胁迫环境下的渗透调节能力,增强红小豆幼苗对干旱的适应能力。

综上所述,烯效唑浸种处理,尤其是浸种浓度为 20 mg · L⁻¹ 时,缓解了干旱胁迫对红小豆生长的危害,增加了干旱胁迫下红小豆幼苗叶绿素含量、最大光化学效率、PSⅡ潜在活性和抗氧化酶活性,有利于光合作用的进行和干物质的积累,提高其在干旱胁迫下的籽粒产量。红小豆的产量主要取决于红小豆植株的光合作用能力及干物质积累速率,本研究为干旱半干旱的黄土高原地区上红小豆的种植提供了参考。

参考文献:

- [1] 闫江艳,张永清,冯晓敏,等. 干旱胁迫及复水对不同黍稷品种根系生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2):

348-354.

YAN J Y, ZHANG Y Q, FENG X M, *et al.* Effect of drought stress and rewatering on physiological characteristics of roots in different proso millet varieties[J]. *Acta Bot. Bore-*

- al. -Occident. Sin.*, 2012, **32**(2): 348-354.
- [2] LEUL M, ZHOU W J. Alleviation of waterlogging damage in winter rape by uniconazole application: effects on sonenzyme activity, lipid peroxidation, and membrane integrity[J]. *Journal of Plant Growth Regul.*, 1999 **18**(1): 9-14.
 - [3] 闫艳红, 杨文钰, 张新全, 等. 套作遮阴条件下烯效唑对大豆壮苗机理的研究[J]. 中国油料作物学报, 2011, **33**(3): 259-264.
YAN Y H, YANG W Y, ZHANG X Q, *et al.* Improve soybean seedling growth by uniconazole under shading by corn in relay strip intercropping system[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2011, **33**(3): 259-264.
 - [4] WAN Y, LUO Q M, YAN Y H, *et al.* Response of morphological characters of soybean to application of growth retardant (uniconazole) at third trifoliate stage[J]. *Research on Crops*, 2013, **14**(3): 792-797.
 - [5] LI NING Y I, WANG J Z, HAN X F. Effects of uniconazole on leaf anatomical structure and main osmotic regulatory metabolites contents in *Petunia hybrida* under salt stress[C]. *The 3rd Conference on Key Technology of Horticulture*, 2011: 403-406.
 - [6] 刘良全, 张水利, 景小元, 等. 几种化学调控物质对盐胁迫下小麦幼苗生长及生理指标的调控作用[J]. 麦类作物学报, 2010, **30**(1): 73-78.
LIU L Q, ZHANG S L, JING X Y, *et al.* Effect of seed soaking with four chemical regulators on root and seedling growth of different wheat genotypes under NaCl stresses[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, **30**(1): 73-78.
 - [7] 闫艳红, 李 波, 杨文钰. 烯效唑浸种对大豆苗期抗旱性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2009, **31**(4): 480-485.
YAN Y H, LI B, YANG W Y. Effects of uniconazole soaking on drought tolerance of soybean seedling[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2009, **31**(4): 480-485.
 - [8] 廖尔华, 丁 丽, 罗延宏, 等. 烯效唑浸种对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西南农业学报, 2014, **27**(6): 2 339-2 344.
LIAO E H, DING L, LUO Y H, *et al.* Effect of presoaking with uniconazole on seed germination and seedling growth of two maize hybrids[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2014, **27**(6): 2 339-2 344.
 - [9] 石艳华, 张永清, 罗海婧. 化学调节物质浸种对不同水分条件下苦荞生长及其生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2013, **33**(1): 123-131.
SHI Y H, ZHANG Y Q, LUO H J. Influence of seed soaking with chemical regulators on the growth and physiological characteristics of tartary buckwheat in different water conditions [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2013, **33**(1): 123-131.
 - [10] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2009: 32-227.
 - [11] 曾淑华, 刘 峰, 周昌贵, 等. 镉胁迫对烤烟生长和生理生化指标的影响[J]. 核农学报, 2014, **28**(3): 526-531.
ZENG S H, LIU F, ZHOU C G, *et al.* Effects of chromium stress on growth and physiological and biochemical indexes of flue-cured tobacco[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, **28**(3): 526-531.
 - [12] 孟德云, 侯林琳, 杨 莎, 等. 外源多胺对盆栽花生盐胁迫的缓解作用[J]. 植物生态学报, 2015, **39**(12): 1 209-1 215.
MENG D Y, HOU L L, YANG S, *et al.* Exogenous polyamines alleviating salt stress on peanuts (*Arachis hypogaea*) grown in pot[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2015, **39**(12): 1 209-1 215.
 - [13] 余凯凯, 宋喜娥, 高 虹, 等. 不同施肥水平下多效唑对马铃薯光合及叶绿素荧光参数的影响[J]. 核农学报, 2016, **30**(1): 154-163.
YU K K, SONG X E, GAO H, *et al.* Effect of paclobutrazol on photosynthesis and chlorophyll fluorescence under different fertilization rates in potatoes[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, **30**(1): 154-163.
 - [14] 马艳华, 宋 瑜, 张洪荣. 烯效唑对黑麦草抗旱生理特性的影响[J]. 草业学报, 2009, **26**(5): 169-173.
MA Y H, SONG Y, ZHANG H R. Effects of uniconazole on the drought resistance of *Perennial ryegrass* [J]. *Pratacutural Science*, 2009, **26**(5): 169-173.
 - [15] 石艳华, 张永清. 烯效唑浸种对不同水分条件下苦荞生长的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, **54**(6): 1 289-1 296.
SHI Y H, ZHANG Y Q. Effects of soaking seed with uniconazole on the growth of tartary buckwheat under different water conditions[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, **54**(6): 1 289-1 296.
 - [16] KIM H Y, CHUNG J D. Effect of uniconazole concentration and treatment date on the growth and flowering of *Dicentra spectabilis* L [J]. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 2003, **21**(1): 29-33.
 - [17] 张仁和, 薛吉全, 浦 军, 等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和光合特性的影响[J]. 作物学报, 2011, **37**: 521-528.
ZHANG R H, XUE J Q, PU J, *et al.* Influence of drought stress on plant growth and photosynthetic traits in maize seedlings[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, **37**: 521-528.
 - [18] 郑春芳, 陈继浓, 仇建标, 等. 烯效唑对低温胁迫下秋茄幼苗光合作用于抗氧化系统的影响[J]. 植物生理学报, 2016, **52**(1): 109-116.
ZHENG C F, CHEN J N, QIU J B, *et al.* Effect of uniconazole on photosynthesis and antioxidant system in *Kandelia obovata* seedling under low temperature stress [J]. *Plant Physiology Journal*, 2016, **52**(1): 109-116.
 - [19] 李宁毅, 时彦平, 王吉振. 水分胁迫下烯效唑对百日草幼苗光合特性及叶解剖结构的影响[J]. 西北植物学报, 2012, **32**(8): 1 626-1 631.
LI N Y, SHI Y P, WANG J Z. Effect of uniconazole on photosynthetic characters and leaf anatomical structure of zinnia seedlings under water stress [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2012, **32**(8): 1 626-1 631.
 - [20] 冯晓敏, 张永清. 水分胁迫对糜子植株苗期生长和光合特性

的影响[J]. 作物学报, 2012, **38**(8): 1 513-1 521.

FENG X M, ZHANG Y Q. Effect of water stress on seedling growth and pgotosynthetic characteristics in broomcorn millet [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, **38**(8): 1 513-1 521.

[21] ZLATE Z S, YOYDANOV I T. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll florescence in bean plants[J]. *Bulgaria Journal of Plant Physiology*, 2004, **30**(3-4): 3-18.

[22] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16: 444-448.

ZHANG S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16, 444-448.

[23] 彭春雪, 耿 贵, 於丽华, 等. 不同浓度钠对甜菜生长及生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, **20**(2): 459-465.

PENG C X, GENG G, YU L H, *et al.* Effects of different Na⁺ concentrations on the growth and physiological traits of sugar beet[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, **20**(2): 459-465.

[24] NEILL S J, DESIKAN R, CLARKE A, *et al.* Hydrogen peroxide and nitric oxide as signaling molecules in plants[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53, 1 237-1 247.

[25] 李 鑫, 张永清, 王大勇, 等. 水氮耦合对红小豆根系生理生态及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, **23**(12): 1 511-1 519.

LI X, ZHANG Y Q, WANG D Y, *et al.* Effects of coupling water and nitrogen on root physio-ecological indices and yield of adzuki bean[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, Dec, 2015, **23**(12): 1 511-1 519.

[26] 张永清, 裴红宾, 刘良全, 等. 烯效唑浸种对谷子植株生长发育的效应[J]. 作物学报, 2009, **35**(11): 2 127-2 132.

ZHANG Y Q, PEI H B, LIU L Q, *et al.* Effect of seed soaking with uniconazole on growth and development of foxtail millet plant[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, **35**(11): 2 127-2 132.

[27] 李 江, 汤红玲, 陈惠萍. 外源一氧化碳对干旱胁迫下水稻幼苗抗氧化化系统的影响[J]. 西北植物学报, 2010, **30**(2): 330-335.

LI J, TANG H L, CHEN H P. Effect of exogenous carbon monoxide on antioxidative system in rice seedlings under drought stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin*, 2010, **30**(2): 330-335.

(编辑:裴阿卫)

《西北植物学报》2016 年审稿专家名单
(以姓氏笔画为序)

于澄宇	王 虹	王卫卫	王幼芳	王军卫	王孝安	王彦荣	王俊儒	王振林	王得祥	韦毅刚
甘立军	田 斌	田兴军	田惠桥	叶绍明	巩振辉	刘文哲	刘占林	刘巧泉	刘西平	刘德兵
纪运恒	任 毅	乔玉山	孙广玉	李 英	李 彦	李 韬	李玉红	李世清	李宽意	李秧秧
李得孝	李登科	李鹏民	别同德	初庆刚	杨洪强	邱全胜	吴 卫	吴振海	陈 鹏	陈 铭
陈兴福	陈昆松	陈贵林	陈康明	张飞雄	张文辉	张宏利	张延龙	张宪春	张硕新	张景光
郁 飞	金效华	周 军	周道玮	於丙军	罗 建	罗荡平	敖成齐	洪棋斌	胡银岗	赵 桦
赵长明	赵建成	赵继新	郭太君	郭世荣	郭守玉	郭晓思	祝朋芳	贾 渝	贾敬芬	唐 岱
唐 明	徐 炎	徐子勤	徐辰武	钱 前	高志奎	梁正伟	梁国华	葛再伟	曹建国	常朝阳
康永祥	康振生	谢树莲	韩文炎	栗建光	喻德跃	程智慧	赖钟雄	蔡 霞	廖文波	黎 斌
潘响亮	谭中欣	魏印心	上官周平	阿不都拉·阿巴斯						

感谢各位专家一年来为本刊严把学术质量关,在此特向专家们致以最诚挚的谢意,希望在今后的岁月中继续支持《西北植物学报》的工作。