

干旱胁迫对野生大豆幼苗光合作用相关指标的影响

徐艳平^{1,2}, 胡翠美², 张文会², 刘立科², 赵仁贵¹

(1. 吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118; 2. 聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059)

摘要: 分别采用含 5% 和 10% PEG-6000 的 Hongland 营养液模拟干旱胁迫, 对来自于山东省不同地区的 6 个野生大豆材料进行处理, 研究了干旱对野生大豆幼苗叶片的花青素、叶绿素、类胡萝卜素、相对含水量, 以及叶绿素荧光参数等光合作用相关生理指标的影响。结果表明: 除 Y1 (ZYD03245, 山东临朐县) 外, 其他 5 个野生大豆幼苗叶片的花青素、叶绿素和类胡萝卜素含量随着胁迫的加强均呈升高的趋势; 6 个材料的相对含水量及叶绿素荧光参数均随着干旱胁迫的加强呈下降的趋势。以上述指标综合评价 6 个野生大豆的抗旱性, Y4 (山东阳谷县) 和 Y6 (山东聊城东昌府区) 最强, Y2 (ZYD03269, 山东无棣县)、Y3 (山东垦利县) 和 Y5 (山东广饶县) 次之, Y1 (ZYD03245, 山东临朐县) 最差。

关键词: 野生大豆; 抗旱性; 花青素; 类胡萝卜素; 相对含水量; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2013)03-0341-05

Effect of Simulated Drought Stress on Photosynthesis Related Indexes at Seedling Stage of Wild Soybeans

XU Yan-ping^{1,2}, HU Cui-mei², ZHANG Wen-hui², LIU Li-ke², ZHAO Ren-gui¹

(1. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. School of Life Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

Abstract: Six wild soybeans were collected from Shandong province including Y1 (ZYD03245, from Linqu county), Y2 (ZYD03269, from Wudi county), Y3 (from Kenli county), Y4 (from Yanggu county), Y5 (from Guangrao county) and Y6 (from Dongchangfu district). In order to investigate the drought tolerance of these wild soybeans, simulated drought treatment was carried out with PEG-6000 at 5% and 10% concentration at seedling stage. Five physiological indexes including anthocyanin content, chlorophyll content, carotenoid content, relative water content and chlorophyll fluorescence parameters were determined to assess the drought tolerance of the 6 wild soybeans. The results showed that: (1) as the simulated drought stress increased, anthocyanin content, chlorophyll content and carotenoid content increased in all wild soybeans except Y1; (2) relative water content and chlorophyll fluorescence of all wild soybeans increased as simulated drought stress increased. From the point of view of the anthocyanin content and carotenoid content, the order of drought tolerance of the 6 wild soybeans were Y4 > Y6 > Y2 > Y5 > Y3 > Y1. On the other hand, based on relative water content and chlorophyll fluorescence, the orders of drought tolerance were Y4 > Y6 > Y5 > Y1 > Y3 > Y2 and Y4 > Y5 > Y6 > Y3 > Y2 > Y1, respectively. Considering all the physiological indexes together, it could be concluded that drought tolerance of Y4 and Y6 were the highest, that of Y2, Y3 and Y5 were middle and that of Y1 was the lowest.

Key words: Wild soybean; Drought tolerance; Anthocyanin; Carotenoid; Relative water content; F_v/F_m

干旱是山东省农业发展的主要限制因素^[1], 因此探索作物的耐旱机理具有重要意义。在大豆的生长过程中, 干旱导致大豆叶片含水量下降、细胞膜过氧化^[2]、叶绿素合成受到破坏^[3], 从而使光合作用下降, 有机物的合成与积累减少, 造成大豆减产^[4]。提高大豆品种的耐旱性, 是保证大豆高产稳产的重要途径。然而, 栽培大豆种质资源过于单一化, 遗传基础日趋狭窄, 已成为大豆育种的瓶颈之一^[5]。我国野生大豆资源数量多, 分布广, 遗传多样性丰富, 其中蕴藏着大量的优良等位基因^[6]。从野生大豆中筛选耐旱的种质资源, 是实现大豆耐旱育种的重要途径之一^[7]。

本研究利用水培方法, 采用 PEG-6000 模拟干

旱胁迫, 比较了 6 个来源于山东省不同地区的野生大豆种质苗期叶片色素含量等与光合作用相关的指标的变化情况, 为鉴定野生大豆耐旱性和筛选耐旱野生大豆种质资源奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

选用来自山东省 6 个地域的野生大豆材料: Y1 (ZYD03245, 临朐县)、Y2 (ZYD03269, 无棣县)、Y3 (垦利县)、Y4 (阳谷县)、Y5 (广饶县) 和 Y6 (聊城市东昌府区)。Y1 和 Y2 由中国农业科学院作物科学研究所提供, Y3 和 Y5 由山东省农业科学院作物研究所提供, Y4 和 Y6 由聊城大学生命科学学院植物

收稿日期: 2012-12-05

基金项目: 国家自然科学基金 (31071436)。

第一作者简介: 徐艳平 (1985-), 女, 在读硕士, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: piaolingye2010@126.com。

通讯作者: 赵仁贵 (1966-), 男, 博士, 教授, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: Zhaorenigui@sina.com。

育种研究室采集。

1.2 方法

挑选籽粒饱满、完整的野生大豆种子,用刀片划破种皮后室温浸种 16~24 h。每种野生大豆选取萌发露根的 90 粒种子,平均分成 3 份,种在 3 个铺有滤纸并含营养液的托盘内,上面罩以铁丝网用来支撑幼苗生长,随后将其置于 25℃/20℃ 的光照培养箱中进行培养。幼苗长至第一片真叶完全展开时,选用大小一致的 5 株幼苗分别用含有 5%、10% PEG-6000 的 Hongland 营养液处理 2 d 后进行指标测定。同时,以用不含 PEG 的 Hongland 营养液培养的幼苗为对照。

将叶片暗适应 20 min 后用 PEA Pocet 叶绿素荧光仪(英国 Hansatech 公司)测定叶片的荧光参数 F_v/F_m ,每个处理测定 5 片叶。

花青素、叶绿素、类胡萝卜素、叶绿素荧光参数及含水量的相对值采用 UniSpec 光谱仪(PP Systems 公司)测定,根据 Sims 和 Gamon^[8]的方法计算花青素和叶绿素含量;根据 Styliniski 等^[9]的方法计算类胡萝卜素含量;根据 Sims 和 Gamon^[10]方法计算叶片含水量。上述指标每处理测定 10 片叶。

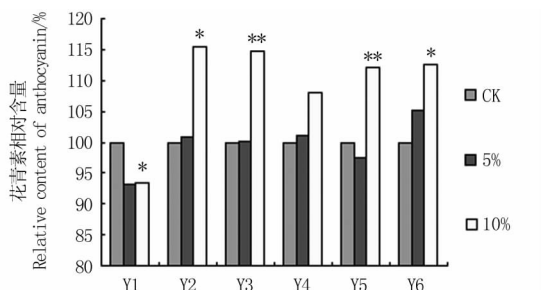
1.3 数据分析

采用 Excel 2003 软件,用 T-test 方法对对照和处理间的数据进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 花青素含量

花青素是一种具有多重生理功能的植物次生代谢物^[11],有清除活性氧等抗氧化功能,进而提高植物抵御逆境的能力^[12]。在干旱胁迫下,6 份材料的叶片花青素含量对于干旱的响应程度不同(图 1)。



* 和 ** 分别表示对照与处理间在 0.05 和 0.01 水平差异显著。下同。

* and ** indicate significant difference between CK and treatments at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

图 1 干旱胁迫对野生大豆幼苗叶片花青素含量的影响

Fig. 1 Effect of PEG treatment on anthocyanin content in wild soybean leaves

在 5% PEG 处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5 和 Y6 的花青素含量比对照分别增加了 -6.8%、0.8%、0%、1.0%、-2.5% 和 5.2%,差异均未达到显著水平($P>0.05$);在 10% PEG 处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5 和 Y6 的花青素含量比对照分别增加了 -6.6%、15.4%、14.7%、8.1%、12.1% 和 12.7%,其中 Y1、Y2 和 Y6 的花青素含量与对照差异达显著水平($P<0.05$),Y3 和 Y5 与对照差异达到极显著水平($P<0.01$)。

2.2 叶绿素含量

如图 2 所示,在模拟干旱胁迫处理中,除 Y1 外,随着处理浓度增高,叶片的叶绿素含量呈增加的趋势。在 5% PEG 处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5 和 Y6 的叶绿素含量比对照分别增加了 -5.3%、1.6%、1.2%、0.5%、-0.7% 和 2.0%,其中 Y1 的降幅达显著水平($P<0.05$)。在 10% PEG 处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5、及 Y6 的叶绿素含量比对照分别增加了 -7.2%、8.6%、6.3%、4.2%、6.7% 和 8.2%,其中 Y1、Y3 和 Y5 与对照差异达极显著水平($P<0.01$),Y6 达显著水平($P<0.05$)。

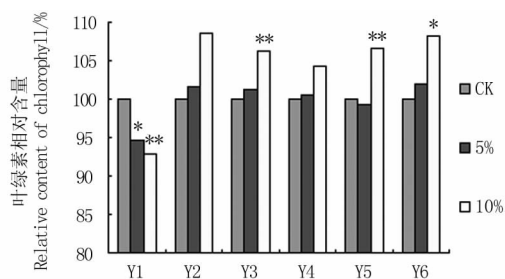


图 2 干旱胁迫对野生大豆幼苗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of PEG treatment on chlorophyll content in wild soybean leaves

2.3 类胡萝卜素含量

类胡萝卜素在植物吸收光能、保护叶绿素、猝灭活性氧方面有重要作用。如图 3 所示,在模拟干旱胁迫处理中,除 Y1 外,随着处理浓度增高,叶片的类胡萝卜素含量呈增加的趋势。在 5% PEG 处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5 和 Y6 的类胡萝卜素含量比对照分别增加了 -4.5%、6.2%、0.3%、3.3%、-3.3% 和 5.2%,差异均未达显著水平($P>0.05$)。在 10% PEG 处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5 和 Y6 的类胡萝卜素含量比对照分别增加了 -5.2%、18.2%、18.6%、7.1%、9.9% 和 9.9%,其中 Y2 和 Y5 与对照差异达显著水平($P<0.05$),Y3 与对照差异达极显著水平($P<0.01$)。

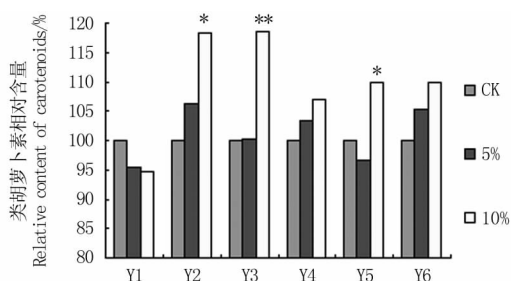


图3 干旱胁迫对野生大豆幼苗叶片类胡萝卜素含量的影响

Fig. 3 Effect of PEG treatment on carotenoid content in wild soybean leaves

2.4 叶片相对含水量

渗透调节是耐旱性的一种重要机制^[13],而叶片的相对含水量与细胞的渗透调节功能密切相关。如图4所示,在模拟干旱胁迫处理中,随着处理浓度增高,叶片的相对含水量呈下降趋势。在5% PEG处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5和Y6的叶片相对含水量比对照分别降低了0.4%、0.7%、0.5%、0.4%、0.6%和0.3%,其中Y1、Y2、Y3和Y4降幅均达极显著水平($P < 0.01$),Y5达显著水平($P < 0.05$)。在10% PEG处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5和Y6的叶片相对含水量比对照分别降低了0.8%、1.0%、0.8%、0.2%、0.7%和0.6%,其中Y1、Y2、Y3和Y5与对照差异均达极显著水平($P < 0.01$),Y6达显著水平($P < 0.05$)。

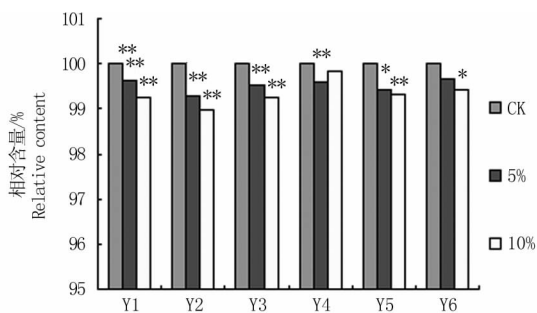


图4 干旱胁迫对野生大豆幼苗叶片相对含水量的影响

Fig. 4 Effect of PEG treatment on the relative water content in wild soybean leaves

2.5 叶绿素荧光参数

F_v/F_m 是PS II的最大捕光效率,它表示当所有反应中心开放时Ps II的最大光化学效率,可以衡量Ps II受到抑制的程度^[14]。在正常环境下该参数变化很小,不受物种和生长条件的影响,逆境下该参数明显下降^[15]。如图5所示,在模拟干旱胁迫处理中,除Y5外,随着处理浓度增高,叶片的叶绿素荧光参数呈下降趋势。在5% PEG处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5和Y6的叶片叶绿素荧光参数比对照分别降低了0.85%、0.56%、-0.24%、-0.36%、0.53%

和0.15%,其中Y1和Y3与对照差异达显著水平($P < 0.05$)。在10% PEG处理下,Y1、Y2、Y3、Y4、Y5和Y6的叶片叶绿素荧光参数比对照分别降低了2.54%、1.5%、0.8%、-0.05%、0.34%和0.55%,其中Y1和Y3降幅达极显著水平($P < 0.01$),Y2降幅达显著水平($P < 0.05$)。

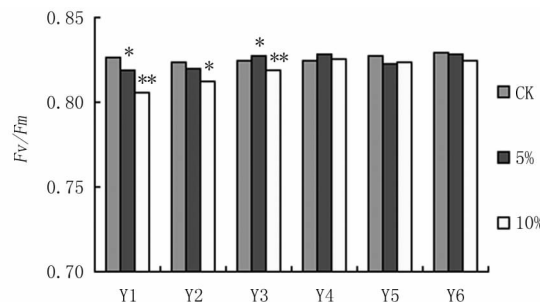


图5 干旱胁迫对野生大豆幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响

Fig. 5 Effect of PEG treatment on F_v/F_m of wild soybean leaves

3 结论与讨论

干旱胁迫对植物光合作用的影响是多方面的,不仅影响光合电子传递、光合磷酸化等过程,同时也直接导致光合器官的损伤。众多的试验已表明,在干旱胁迫下,花青素^[16]、叶绿素^[17]、类胡萝卜素^[18]、叶片相对含水量^[19],以及 F_v/F_m ^[20-21]的变化程度可以用来鉴别植物抵抗或耐干旱的能力。

花青素和类胡萝卜素同为有效的天然水溶性自由基清除剂,花青素虽不是光合色素,但花青素与类胡萝卜素同样具有保护光合组织的功能^[18,22]。本文的结果表明,在干旱胁迫下Y4的花青素和类胡萝卜素含量增幅最小,这说明其受氧自由基的危害较小,耐旱能力较强。Y1的花青素和类胡萝卜素含量持续下降,说明其受自由基危害较大,细胞膜受到严重破坏^[16,18]。因此以花青素和类胡萝卜素含量的变化为指标,6个野生大豆材料的耐旱能力为Y4 > Y6 > Y2 > Y5 > Y3 > Y1。

众多试验结果表明,植物在受到干旱胁迫时会使叶绿素含量下降^[3,17],但是对鸢尾属几种植物^[23]和忍冬^[24],在干旱胁迫下的研究中,却出现一种叶绿素“浓缩”现象,即叶绿素含量上升。本试验中,除Y1因细胞膜破坏,叶绿素发生降解,含量下降外,随着干旱胁迫程度加剧,叶绿素含量均持续上升。因此,叶绿素含量的变化和耐旱性的关系,还需进一步的深入研究。

植物的叶片相对含水量表示植物在干旱胁迫下叶片的持水能力。较高的叶片相对含水量是保

持叶绿体的结构和 PS II 功能,使植物进行有效的光合作用的保证^[25]。因此在干旱胁迫下,植物叶片相对含水量越高,其耐旱能力越强。在本试验中,以相对含水量的变化为指标,6 个材料的耐旱性顺序为 Y4 > Y6 > Y5 > Y1 > Y3 > Y2。

叶绿体荧光诱导动力学分析方法作为研究叶绿体功能的灵敏探针,在植物抗逆生理、作物栽培育种等领域中得到广泛应用^[26]。孙海锋等^[21]通过研究不同基因型大豆开花期的叶绿素荧光对干旱胁迫的响应规律,认为干旱胁迫下叶绿素荧光参数 (F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 NPQ) 的变化与大豆品种的耐旱性有关,如果干旱胁迫下仍能维持较高的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 和 NPQ,就表明该大豆基因型具有较强的耐旱性。以 F_v/F_m 变化为指标,6 个材料的耐旱性顺序为 Y4 > Y5 > Y6 > Y3 > Y2 > Y1。

由以上试验结果可知,没有一个种质在所有的耐旱性指标上都表现突出。因此用单一指标评价大豆的耐旱性具有片面性,用多个指标进行综合评价可能更加可靠。以花青素、类胡萝卜素、叶片相对含水量、叶绿素荧光参数 4 个指标综合评价,6 个野生大豆的耐旱能力表现为 Y4(山东阳谷县)和 Y6(山东聊城东昌府区)最强,Y5(山东广饶县)、Y2(ZYD03269 山东无棣县)和 Y3(山东垦利县)次之,Y1(ZYD03245 山东临朐县)最差。

参考文献

- [1] 薛晓萍,张丽娟,周治国,等. 区域农业生产脆弱性及干旱诊断分析[J]. 自然灾害学报,2006,15(5):107-114. (Xue X P, Zhang L J, Zhou Z G, et al. Diagnostic analysis of frangibility and drought in regional agricultural production[J]. Journal of Natural Disasters,2006,15(5):107-114.)
- [2] 朱鹏,韩阳,阮亚男. 不同大豆品种苗期耐旱性比较[J]. 大豆科学,2008,27(4):711-714. (Zhu P, Han Y, Ruan Y N. Comparison on drought resistance of different soybean varieties at seedling stage[J]. Soybean Science,2008,27(4):711-714.)
- [3] 卢琼琼,宋新山,严登华. 干旱胁迫对大豆苗期光合生理特性的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(9):42-47. (Lu Q Q, Song X S, Yan D H. Effects of drought stress on photosynthetic physiological characteristics in soybean seedling[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2012,28(9):42-47.)
- [4] 刘良舟,盖钧镒,马育华. 大豆抗旱性研究进展[J]. 南京农业大学学报,1989,12(1):15-20. (Liu G ZH, Gai J Y, Ma Y H. Advances in drought tolerance of soybean[J]. Journal of Nanjing Agricultural University,1989,12(1):15-20.)
- [5] 王克晶,李福山. 我国野生大豆 (*Glycine soja*) 种质资源及其种质创新利用[J]. 中国农业科技导报,2000,2(6):69-72. (Wang K J, Li F S. General situation of wild soybean (*G. soja*) germplasm resources and its utilization of introgression into cultivated soybean in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2000,2(6):69-72.)
- [6] 王清连,石明旺. 野生大豆种子 cDNA 文库构建及其球蛋白基因克隆[J]. 河南农业科学,2006(1):29-32. (Wang Q L, Shi M W. Construction of cDNA library and cloning of globulin gene from wild soybean (*Glycine soja*) seeds[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences,2006(1):29-32.)
- [7] 赵团结,盖钧镒. 栽培大豆起源与演化研究进展[J]. 中国农业科学,2004,37(7):954-962. (Zhao T J, Gai J Y. The origin and evolution of cultivated soybean[J]. Scientia Agricultura Sinica,2004,37(7):954-962.)
- [8] Sims D A, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages[J]. Remote Sensing of Environment,2002,81:337-354.
- [9] Stylinski C D, Gamon J A, Oechel W C. Seasonal patterns of reflectance indices, carotenoid pigments and photosynthesis of evergreen chaparral species[J]. Oecologia,2002,131:366-374.
- [10] Sims D A, Gamon J A. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features[J]. Remote Sensing of Environment,2003,84:526-537.
- [11] 石少川,高亦珂,张秀海,等. 植物花青素生物合成相关基因的研究及应用[J]. 植物研究,2011,31(5):633-640. (Shi S C, Gao Y K, Zhang X H, et al. Progress on plant genes involved in biosynthetic pathway of anthocyanins[J]. Bulletin of Botanical Research,2011,31(5):633-640.)
- [12] 张文会,刘立科,苗秀莲,等. CO₂ 倍增及 UV-B 增强对大豆植株生长和根际微生物的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(4):724-732. (Zhang W H, Liu L K, Miao X L, et al. Effects of doubled carbon dioxide and enhanced UV-B radiation on growth and rhizosphere microorganisms in soybean (*Glycine max* Merr.) [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2009,29(4):724-732.)
- [13] 张福锁. 环境胁迫与植物育种[M]. 北京:农业出版社,1993. (Zhang F S. Environmental stress and plant breeding[M]. Beijing: Agricultural Press,1993.)
- [14] 许大全,张玉忠,张荣铎. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯,1992,28(4):237-243. (Xu D Q, Zhang Y, Zhang R X. Photoinhibition of photosynthesis in plants[J]. Plant Physiology Communications,1992,28(4):237-243.)
- [15] Li X, Jian D M, Liu Y L, et al. Chlorophyll fluorescence and membrane lipid peroxidation in the flag leaves of different high yield rice variety at late stage of development under national condition[J]. Acta Botanica Sinica,2002,44(4):413-421.
- [16] 王子凤. 鸢尾属 6 种植物对干旱胁迫的响应[D]. 南京:南京林业大学,2009:30-47. (Wang Z F. Responses of six *Iris* species to drought stress[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University,2009:30-47.)
- [17] 赵天宏,沈秀瑛,杨德光,等. 水分胁迫及复水对玉米叶片叶绿素含量和光合作用的影响[J]. 杂粮作物,2003,23(1):33-35. (Zhao T H, Shen X Y, Yang D G, et al. Effects on chlorophyll content and photosynthetic rate of maize leaves under water stress and rewetting[J]. Rain Fed Crops,2003,23(1):33-35.)
- [18] 井春喜,张怀刚,师生波,等. 土壤水分胁迫对不同耐旱性春小麦品种叶片色素含量的影响[J]. 西北植物学报,2003,23(5):811-814. (Jing C X, Zhang H G, Shi S B, et al. Effects of soil water stress on pigment contents in leaves of different drought-tolerant spring wheat cultivars[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2003,23(5):811-814.)

期喷施 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{LaCl}_3$ 溶液时,蛋白质含量最高,较 CK2 显著增加了 4.46%。苗期和开花期均喷施 $60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{LaCl}_3$ 溶液处理,收获后大豆籽粒中蛋白质含量最高,较 CK2 增加 0.64%。

综上所述,在 UV-B 辐射增强条件下,大豆开花期喷施 $40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{LaCl}_3$ 溶液对提高大豆品质效果最好,而且镧与 UV-B 辐射的复合作用对大豆东农 47 蛋白质含量的影响大于对脂肪含量的影响。

参考文献

- [1] 张富存,何雨红,郑有飞,等. UV-B 辐射增加对小麦的影响[J]. 南京气象学院报,2003,26(4):545-551. (Zhang F C, He Y H, Zheng Y F, et al. Effect of enhanced UV-B radiation on wheat[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003, 26(4):545-551.)
- [2] 陈建军,祖艳群,陈海燕,等. UV-B 辐射增强对 20 个大豆品种生长与生物量分配的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(1):29-33. (Chen J J, Zu Y Q, Chen H Y, et al. Influence of enhanced UV-B radiation on growth and biomass allocation of twenty soybean cultivars[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(1):29-33.)
- [3] 李慎宁,段江燕. 增强的 UV-B 辐射对作物的影响[J]. 农业与技术,2008,28(1):26-28. (Li S N, Duan J Y. Influence of enhanced UV-B radiation on crops[J]. Agriculture & Technology, 2008, 28(1):26-28.)
- [4] 周洁,张霁,郭兰萍. 稀土元素镧对黄花蒿光合作用及青蒿素积累的影响[J]. 中国草药,2010(8):1371-1374. (Zhou J, Zhang Q, Guo L P. Effects of lanthanum on leaf photosynthesis and artemisinin accumulation in *Artemisia annua* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2010(8):1371-1374.)
- [5] 陆晓民,盛伟,杨吉. 模拟酸雨下氯化镧处理对小麦发芽及幼苗生长的影响[J]. 核农学报,2008,22(6):851-855. (Lu X M, Sheng W, Yang J. Effects of LaCl_3 treatment on wheat seed germination and seedling growth under simulated acid rain condition [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2008, 22(6):851-855.)
- [6] 张杰,刘登义,黄永杰,等. 镧浸种对水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学杂志,2005,24(8):893-896. (Zhang J, Liu D Y, Huang Y J, et al. Effects of seed soaking with La^{3+} on seed germination and seedling growth of rice [J]. Functional Ecology, 2005, 24(8):893-896.)
- [7] 周青,张辉,黄晓华,等. 镧对镉胁迫下菜豆(*Phaseolus vulgaris*)幼苗生长的影响[J]. 环境科学,2003,24(4):48-53. (Zhou Q, Zhang H, Huang X H, et al. Effects of La on the growth of kidney bean seedling under Cd stress [J]. Environmental Science, 2003, 24(4):48-53.)
- [8] 徐健,李国辉,谢祖彬,等. 硝酸镧对香蕉幼苗两个抗寒生理指标的影响[J]. 广西植物,2002,22(3):268-272. (Xu J, Li G H, Xie Z B, et al. Effect of $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ on the POD activity and relative conductivity of leaves in banana seedlings under chilling condition [J]. Guihaia, 2002, 22(3):268-272.)
- [9] 曾青,朱建国,谢祖彬,等. 镧对油菜抗病性相关酶活性的影响[J]. 中国稀土学报,2003,21(3):231-233. (Zeng Q, Zhu J G, Xie Z B, et al. Effect of lanthanum on disease-resistance-related enzymes of rape [J]. Journal of the Chinese Rare Earth Society, 2003, 21(3):231-233.)
- [10] Farooq M, Shankar U, Ray R S, et al. Morphological and metabolic alterations in duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) on long-term low-level chronic UV-B exposure ecotoxicology and environmental safety [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 62:408-414.
- [11] Frohnmeyer H, Staiger D. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants: Balancing damage and protection [J]. Plant Physiology, 2003, 133:1420-1428.
- [12] deciduous tree species [J]. New Phytologist, 2007, 175:675-685.
- [23] 赵燕燕. 鸢尾属几种植物的抗旱性研究[D]. 南京:南京林业大学,2006:25-27. (Zhao Y Y. Studies on the drought resistance of some species *Iris* L. [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2006:25-27.)
- [24] 徐迎春,张佳宝,蒋其鳌,等. 水分胁迫对忍冬生长及金银花质量的影响[J]. 中药材,2006,29(5):420-422. (Xu Y C, Zhang J B, Jiang Q A, et al. Effects of water stress on the growth of *Lonicera japonica* and quality of honeysuckle [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2006, 29(5):420-422.)
- [25] Colom M R, Vazza A C. Photosynthesis and PS II functionality of drought-resistant and drought sensitive weeping lovegrass plants [J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49:135-144.
- [26] 冯建灿,胡秀丽,毛训甲. 叶绿素荧光动力学在研究植物逆境生理中的应用[J]. 经济林研究,2002,20(4):14-18. (Feng J C, Hu X L, Mao X J. Application of chlorophyll fluorescence dynamics to plant physiology in adverse circumstance [J]. Economic Forest Researches, 2002, 20(4):14-18.)

(上接第 344 页)

- [19] 孔照胜,武云帅,岳爱琴,等. 不同大豆品种抗旱性生理指标综合分析[J]. 华北农学报,2001,16(3):40-45. (Kong Z S, Wu Y S, Yue A Q, et al. Comprehensive analysis of physiological indexes for drought resistance in different soybean varieties [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2001, 16(3):40-45.)
- [20] 王建程,严昌荣,卜玉山. 不同水分与养分水平对玉米叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业气象,2005,26(2):95-98. (Wang J C, Yan C R, Bu Y S. Effects of vary soil moisture and fertility levels on chlorophyll fluorescence characteristics in maize [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(2):95-98.)
- [21] 孙海峰,战勇,魏凌基,等. 开花期干旱对大豆叶绿素荧光参数的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(2):61-64. (Sun H F, Zhan Y, Wei L J, et al. Effects of drought on chlorophyll fluorescence parameter in flowering of soybean [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(2):61-64.)
- [22] Hughes N M, Morley C B, Smith W K. Coordination of anthocyanin decline and photosynthetic maturation in juvenile leaves of three