

硼调控干旱胁迫下马铃薯生长发育 及抗性的生理机制

李自龙^{1,2}, 张俊莲³, 李宗国⁴, 徐雪风^{1,2}, 李朝周^{1,2}

(1. 甘肃省作物遗传改良和种质创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃农垦条山集团, 甘肃 白银 730400)

摘 要: 为了探讨叶面喷施硼($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 溶液)对马铃薯植株在干旱胁迫下生长发育及抗性的影响及其生理机制, 在甘肃省景泰县条山集团马铃薯种植基地, 对中度干旱和轻度干旱处理的两垄地, 每隔 3 m 进行一个硼浓度($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)喷施处理, 浓度依次为 0、10、20、30、40、60 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 每个浓度(3 m 长)的喷施量为 166.7 ml。结果表明: 叶面喷施硼相对增加了干旱胁迫下马铃薯的块茎产量及生物量, 使干旱胁迫下叶片含水量和色素含量下降幅度减小; 叶面喷施硼还从整体上表现为抗氧化酶活性的提高, 并抑制了超氧阴离子产生速率的增加。通过过去花与不去花植株生长发育的比较, 发现去花后马铃薯植株地上部分重和地下部分重均有所下降, 但施硼相对提高了块茎产量及地下部分重。可见, 叶面喷施硼能促进马铃薯植株在干旱胁迫下的生长发育, 提高其抗旱性及块茎产量, 且这种变化可能与其促进光合产物向地下部分输送密切相关。

关键词: 硼; 干旱胁迫; 马铃薯; 生长发育; 抗性; 生理机制

中图分类号: S311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0067-06

The physiological mechanism of the regulation of boron on the growth and development and resistance of potato plantlets under drought stress

LI Zi-long^{1,2}, ZHANG Jun-lian³, LI Zong-guo⁴, XU Xue-feng^{1,2}, LI Chao-zhou^{1,2}

(1. Gansu Key Laboratory of Crop Genetics & Germplasm Enhancement, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2. School of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;
3. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;
4. Gansu Agricultural Reclamation Tiaoshan Farm, Baiyin, Gansu 730400, China)

Abstract: The objective of this work is to elucidate the growth and resistance of potato plants under drought stress and its physiological mechanism by spraying boron ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ solution), in a test of potato planting site of Tiaoshan Farm of Jingtai County in Gansu Province. Moderate drought and mild drought treatments were performed on two ridge land, every boron concentration per three meter sprayed 166.7 mL $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, concentration is 0, 10, 20, 30, 40 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ and 60 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ in turn. The results showed that boron spraying on the leaves of the plantlets increased the tuber yield and biomass of the plantlets under the drought stress significantly. Spraying boron on the leaves of potato plantlets under the drought stress also elevated the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT), inhibited the producing rate of ultra oxygen anion, and alleviated the decrease in leaf water content and chlorophyll content. De-florating decreased the biomass aboveground and underground. However, by spaying boron on the leaves, the yield of tuber and biomass of the underground part were improved significantly. The results also showed that boron could promote the growth and development of potato plants under drought stress, enhance drought resistance and the yield of tuber, and these effects may be due to the higher translocation of photosynthetic products to the underground part.

Keywords: boron; drought stress; potato; growth and development; resistance; physiological mechanism

收稿日期: 2013-11-21

基金项目: 国家科技支撑计划课题项目(2012BAD06B03); 国家马铃薯产业技术体系(CARS-10-P18); 甘肃省科技重大专项(1102NKDM025); 甘肃省农牧厅项目(GNSW-2012-21)

作者简介: 李自龙(1988—), 男, 甘肃靖远人, 在读硕士, 主要研究方向为植物生态生理。E-mail: 793221398@qq.com。

通信作者: 李朝周(1963—), 男, 山东苍山人, 博士, 教授, 主要从事植物抗性生理及相关领域的教学和研究。E-mail: licz@gsau.edu.cn。

我国干旱半干旱区占国土面积的 47%、总耕地面积的 51%,干旱造成的作物减产超过其他逆境造成减产的总和^[1-2],因此我国把作物抗旱研究作为作物逆境研究的重点。目前已有大量研究报道表明,水分亏缺在造成植物的各种损伤之前,植物就对胁迫作出包括基因表达及信号调控在内的适应性调节反应,使其自身作出最优化的选择^[3-4]。

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 是重要的粮菜兼用型作物,也是优良的饲料作物^[5-6]。中国是世界上最大的马铃薯生产国,随着加工业的发展和产业结构调整,马铃薯已成为西部贫困地区稳产、高产、经济价值高的优势作物,农民种植积极性很高,使得栽培面积不断扩大,而干旱是制约马铃薯生产的重要环境限制因子^[7]。

硼促进糖分在植物体内的运输^[9],能够影响蛋白质的生物合成,缺硼植物¹⁴C-氨基酸极少参入到蛋白质中^[10];而且硼可促进花粉萌发和花粉管生长^[8],对植物的生殖过程具有特殊的作用。植物各器官中硼的含量以花最高,花中又以柱头和子房为最高,缺硼时花药和花丝萎缩,绒毡层组织破坏,甚至花粉母细胞不能进行四分体分化,导致花粉发育不良^[9-10]。近年来,农业科学家对硼与农作物生长和发育之间的关系越来越重视,已在大豆、玉米、水稻及多种蔬菜作物中做过大量研究^[11-13]。然而硼对干旱胁迫下马铃薯植株生长发育及抗旱生理机制的研究尚缺少系统的研究报道^[14-16]。

本试验以马铃薯为实验材料,系统研究了干旱胁迫下叶面喷施不同浓度硼对马铃薯植株生长发育及抗性的影响及其生理机制,以期为马铃薯的抗旱增产提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试剂及材料

供试四硼酸钠 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 分析纯), 天津市大茂化学试剂厂生产。供试马铃薯品种为大西洋。

1.2 试验设计

试验地在甘肃省景泰县条山集团马铃薯种植基地 ($\text{N}37^\circ11'$, $\text{E}104^\circ03'$, 海拔 1 631 m), 采用地膜覆盖滴灌的栽培方式。土壤中含有有机质 $9.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全 N $0.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解 N $17.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 P $32.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 K $272.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 8.37。

进入幼苗期 10 d, 将试验材料分成三组, 每组两垄, 第一组土壤含水量保持(滴灌时间控制)在 25% 左右(作为中度干旱处理), 第二组土壤含水量保持在 28% 左右(作为轻度干旱处理), 第三组正常灌溉, 土壤含水量保持在 32% 左右(作为对照)。

喷施方法: 各垄每隔 3 m 进行一个浓度硼 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 的处理, 浓度依次为 0、10、20、30、40、60 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 每个浓度(3 m 长)的喷施量为 166.7 ml。

在整个生长过程中, 一旦出现花序, 即除去花序。

1.3 测试指标及方法

1.3.1 抗性生理指标测定 马铃薯干旱胁迫 71 d 后, 取茎顶段从上向下第 3 和第 4 复叶测定各项生理指标。色素含量: 乙醇提取法^[17]; 过氧化物酶 (POD) 活性: 愈创木酚法^[18]; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性: 氮蓝四唑法^[18]; 过氧化氢酶 (CAT) 活性: 紫外吸收法^[18]; 超氧阴离子自由基 (O_2^-) 产生速率: 羟胺氧化法^[19]; 根系活力: 参照李合生的方法^[18]。叶片含水量: 称重法^[17], 计算用下式: $LWC = (W_f - W_d) / W_f \times 100\%$, LWC 为叶片含水量; W_f 为叶片鲜重; W_d 为叶片干重。

1.3.2 生长指标测定 地上部分重、地下部分重和产量: 马铃薯块茎收获前 5 d 测定。用鲜重表示; 根长: 用直尺测量最长 5 条根的根长度, 取平均值。

1.3.3 土壤的理化性质相关指标测定 全氮采用半微量开氏蒸馏法测定, 碱解 N 用蒸馏滴定法, 速效 P 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法, 速效 K 采用醋酸氨浸提-火焰光度法, 有机质采用 $\text{K}_2\text{CrO}_7 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 消煮法^[20]; 土壤 pH 值采用土: 水 = 1: 5 酸度计法^[21]。

1.4 数据处理

各项测定重复 3 ~ 5 次, 采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理和绘图, 采用 SPSS 17.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验, 取 $P < 0.05$ 为显著相关。

2 结果与分析

2.1 增施不同浓度硼对马铃薯叶片色素含量、根系活力及叶片含水量的影响

不同水分状况影响到马铃薯叶片叶绿素和类胡萝卜素的含量, 结果显示, 叶绿素含量对水分状况比较敏感, 类胡萝卜素含量变化相对较小, 但变化趋势相似: 整体上表现为硼的施加能够提高马铃薯叶片叶绿素含量和类胡萝卜素含量(图 1A-B)。

干旱胁迫下, 马铃薯根系活力在硼浓度为 30 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最大, 可见该浓度的硼能提高马铃薯的根系活力(图 1C)。不同土壤水分状况也影响到幼苗叶片含水量, 结果显示轻度干旱叶片含水量稍有下降, 而中度干旱叶片含水量下降幅度较大, 这些变化与土壤水分状况的变化相一致。

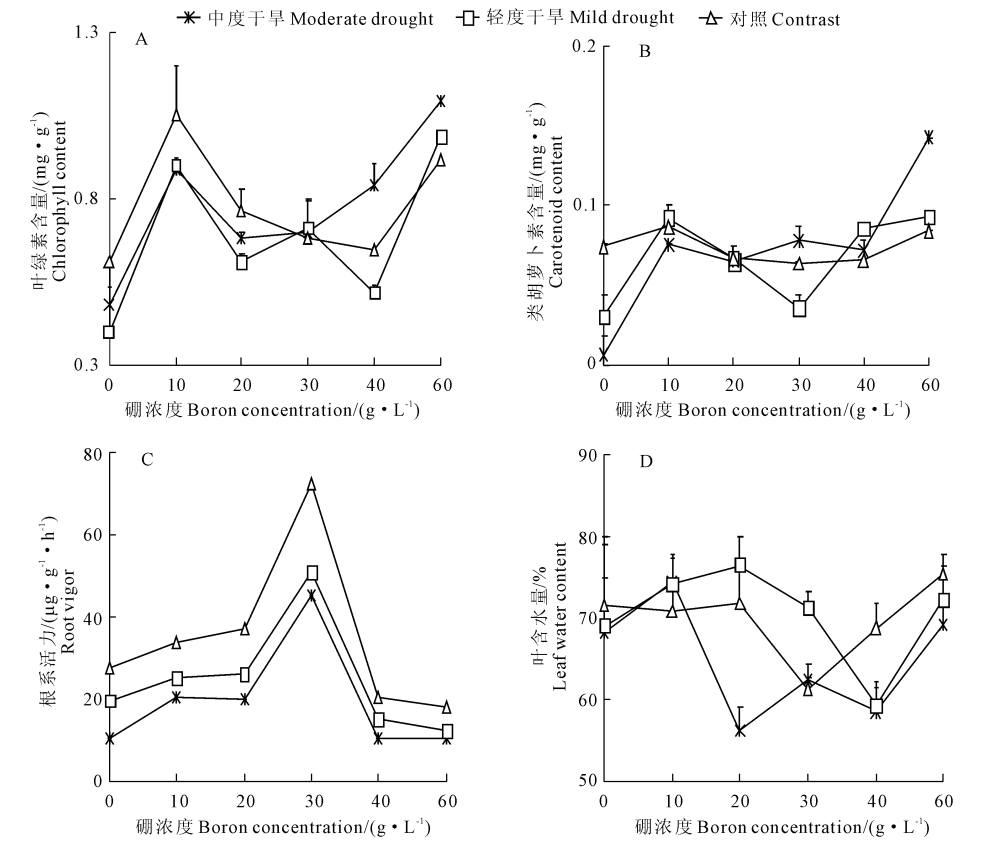


图 1 硼对干旱胁迫下马铃薯叶片叶绿素含量、类胡萝卜素含量、根系活力和叶片含水量的影响

Fig.1 Influence of boron on potato leave's chlorophyll content, carotenoid content, leaf water content and root vigor under drought stress

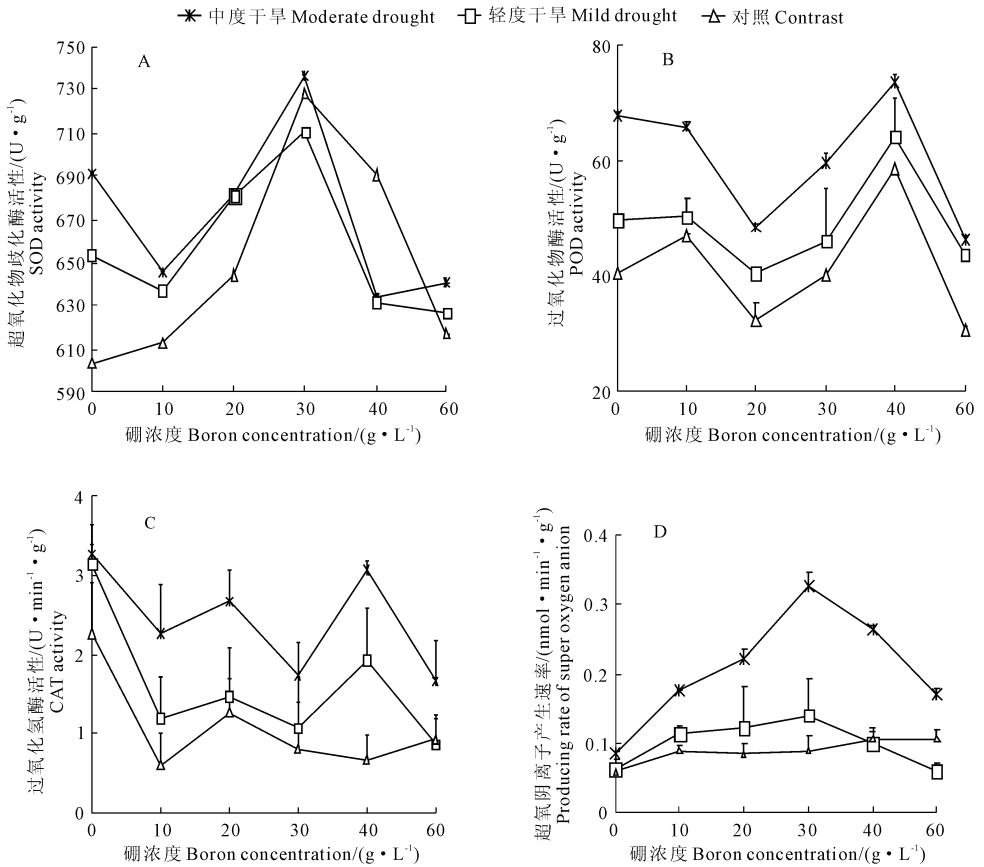


图 2 硼对干旱胁迫下马铃薯叶片抗氧化酶活性和超氧阴离子产生速率的影响

Fig.2 Influence of boron on the activity of antioxidant enzymes and producing rate of super oxygen anion in potato leaves under drought stress

2.2 增施不同浓度硼对马铃薯叶片抗氧化酶活性和超氧阴离子产生速率的影响

从图 2A – C 可见,马铃薯叶片 SOD、CAT 和 POD 活性以对照最低,轻度干旱下上述三种抗氧化酶活性有所提高,中度干旱下抗氧化酶活性得到进一步升高,而不同浓度硼的影响表现为 SOD 活性以 $30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼处理最高,POD 活性和 CAT 活性以 $40\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼处理活性最高(对照除外)。超氧阴离子(图 2D)产生速率以中度干旱最高,高于 $30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼浓度处

理能有效地抑制超氧阴离子的产生,这与超氧化物歧化酶活性的变化趋势相一致。

2.3 增施不同浓度硼对马铃薯块茎产量和生长发育指标的影响

中度干旱和轻度干旱下马铃薯块茎产量均低于对照,其中以中度干旱产量最低;不同浓度硼的处理以 $40\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼处理产量最高。地上部分重、地下部分重和根长都以 $40\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼处理最高(图 3A – D)。

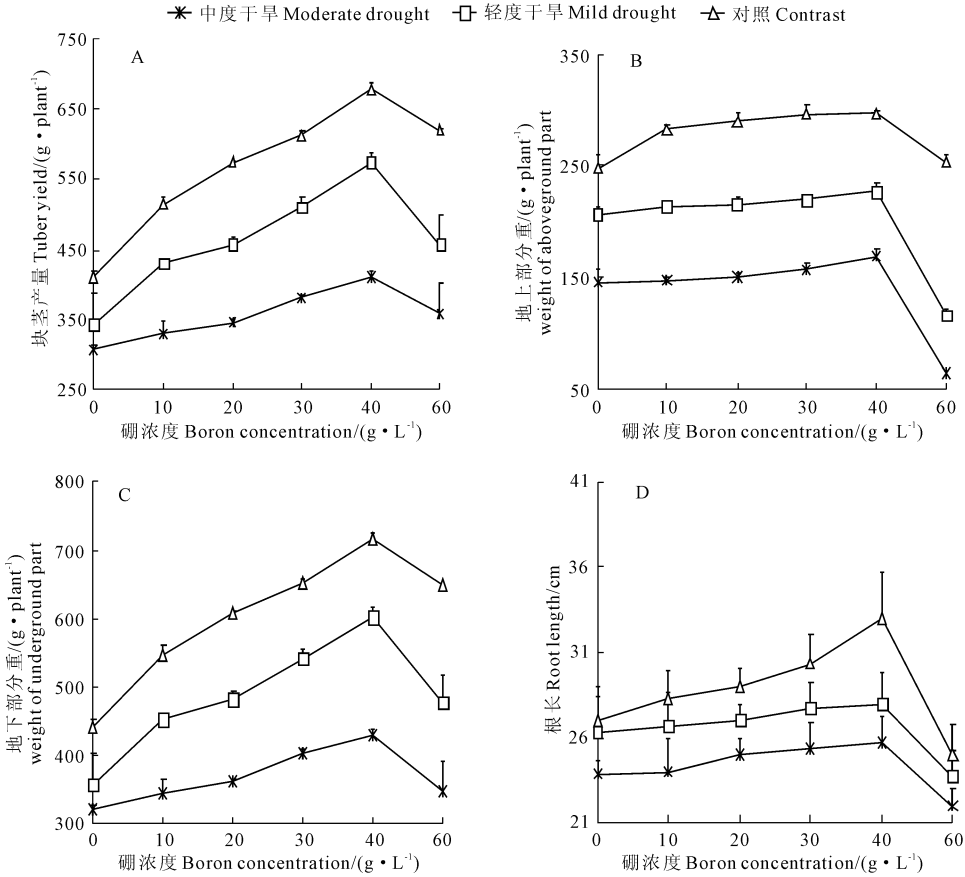


图 3 硼对干旱胁迫下马铃薯块茎产量、地上部分重、地下部分重及根长的影响

Fig.3 Influence of boron on the tuber yield, root length and the weight of underground part and aboveground part of potato plantlets under drought stress

2.4 增施不同浓度硼对马铃薯叶片渗透调节物质含量的影响

从图 4A – B 可见轻度干旱和中度干旱使得马铃薯叶片上述两种渗透调节物质含量有显著提升,其中可溶性糖含量表现为以 $30\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度硼处理最高;在轻度干旱和中度干旱下,脯氨酸的含量在 $10\sim 60\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度硼处理均有显著升高。

2.5 施硼对去除花序马铃薯植株地上部分重和地下部分重的影响

三种水分状况下,地上部分重和地下部分重表现为对照 > 轻度干旱 > 中度干旱,不去花植株地上

部分重及地下部分重均显著的高于去花处理的 ($P < 0.05$),且施硼地下部分重显著高于不施硼的处理(图 5B),这说明去除花序不利于生物量的累积,但施硼可促进地下部分生物量的累积。

2.6 施硼对去除花序马铃薯根长和块茎产量的影响

三种水分条件下去花马铃薯植株的根长和块茎产量均显著大于去花植株;施硼后根长总体变化不大,但块茎产量在三种水分状况下均有显著增加(图 6A – B)。

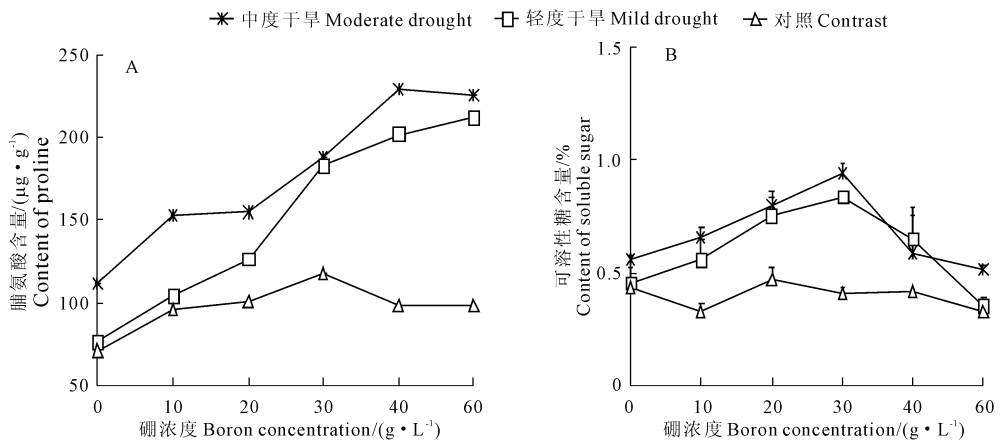


图 4 硼对干旱胁迫下马铃薯叶片脯氨酸含量和可溶性糖含量的影响

Fig.4 Influence of boron on the content of proline and the content of soluble sugar in potato leaves under drought stress

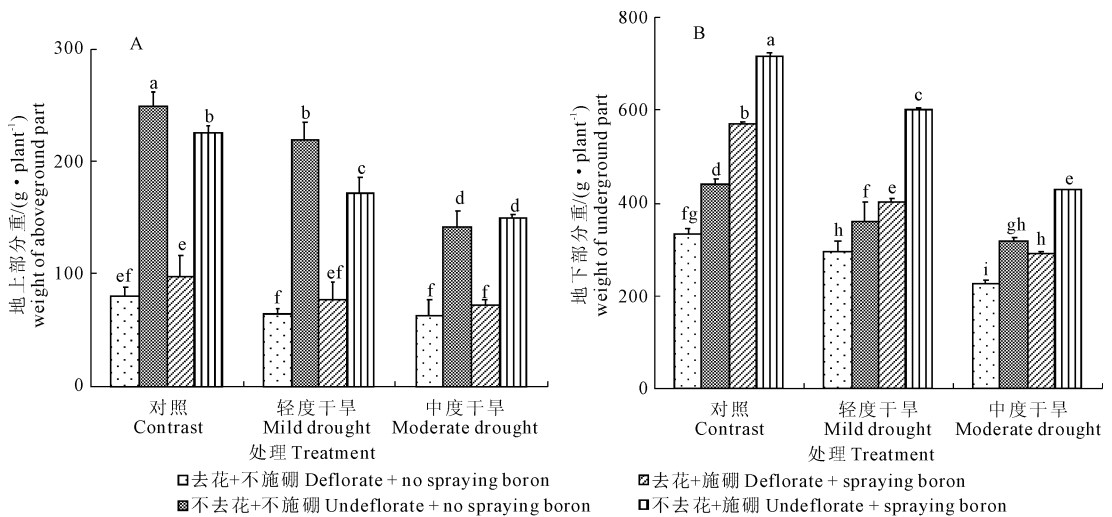


图 5 施硼对去除花序马铃薯植株地上部分重和地下部分重的影响

Fig.5 Influences of boron on the weight of aboveground part and underground part under drought stress when the flowers being wiped out

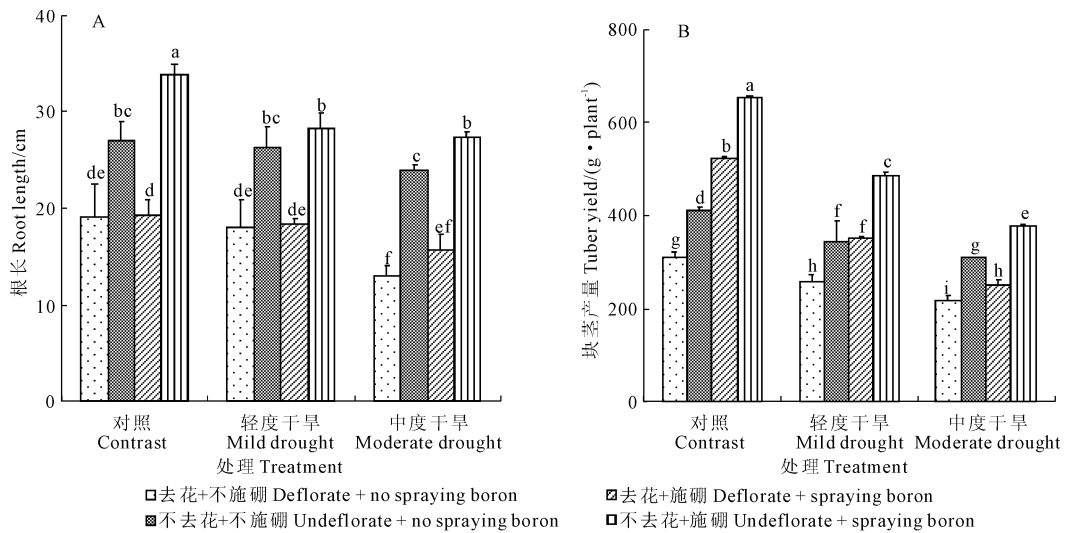


图 6 施硼对去除花序马铃薯植株根长和块茎产量的影响

Fig.6 Influences of boron on the root length and tuber yield under drought stress when flowers removed

3 讨论与结论

叶绿素是植物体内重要的光合色素,其含量变化不仅反映植物遭受胁迫的程度,也直接影响光合效率和光合产物累积。类胡萝卜素不仅是重要的聚光色素,也是植物体内重要的抗氧化物质之一,在消除和减轻由于干旱等逆境引发的活性氧伤害方面直接发挥作用^[22]。硼处理后,马铃薯叶片叶绿素和类胡萝卜素含量均有所升高(图 1A – B),这对提高马铃薯叶片的抗氧化能力,减轻干旱对马铃薯的胁迫和提高光合效率有一定的作用。研究还发现马铃薯根系活力(图 1C)和叶片含水量(图 1D)也随着所施加硼浓度增加而提高,这说明硼能有效的提高马铃薯根系的水分吸收,并提高了叶片的抗旱能力(图 1)。

在正常状态下植物体内活性氧产生和清除机制是动态平衡的,但是该平衡状态会被一些逆境条件影响,如干旱等^[23]。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶类,是植物活性氧清除系统中重要的酶^[24]。本研究结果表明硼处理相对提高了 SOD、POD 和 CAT 活性(图 2A – C),这对于降低活性氧的水平和脂质过氧化程度都具有积极作用。上述结果与李军等^[25]在关于硼钼营养对马铃薯活性氧代谢的影响研究具有相似的结论。与此同时,硼处理相对提高了干旱胁迫马铃薯块茎产量、地上部分重、地下部分重和根长(图 3A – D),这更直观地反映了硼能够提高马铃薯的抗旱性。

可溶性糖和脯氨酸是植物应对干旱胁迫的重要渗透调节物质,其含量的变化与植物的抗旱性密切相关。硼的施用整体上看提高了这两种渗透调节物质的含量(图 4A – B),这对于硼对干旱胁迫下马铃薯植株的生长发育和抗旱能力的提高应具有积极的作用。

去花和不去花的实验设计原本为了了解硼是否主要是通过影响成花生理而影响干旱胁迫下马铃薯植株的生长发育,但结果显示去花和不去花施硼皆显著提高了马铃薯块茎产量和地下部分重;从图 3A – B 也可以看出,除了 60 g·L⁻¹的硼处理造成地上部分重大幅下降外,其它浓度的硼处理对地上部分重的影响显著小于对块茎产量和地下部分重的影响。可见,硼肥能显著促进马铃薯植株在干旱胁迫下的生长发育,这种变化可能与其对抗旱性的提高及促进光合产物向地下部分输送密切相关。

参 考 文 献:

- [1] 宋志荣. 马铃薯对旱胁迫的反应[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(6): 330-332.
- [2] 曲 涛, 南志标. 作物和牧草对于旱胁迫的响应及机理研究进展[J]. 草业学报, 2008, 17(2): 126-135.
- [3] 陆祥生. 持力硼、速乐硼在制种玉米、制种番茄、棉花、向日葵上的施用效果[J]. 土壤肥料, 2006, (8): 23-24.
- [4] 李明伟. 锌、硼肥在鄂西山区玉米、水稻上的施用效果[J]. 耕作与栽培, 2005, (1): 29-30.
- [5] 哈里斯 PM. 马铃薯改良的科学基础[M]. 北京: 农业出版社, 1981.
- [6] 于品华. 饲用型马铃薯新品系“杂 3 单选 – 5”选育研究[J]. 草业学报, 2004, 13(2): 115-117.
- [7] 牛秀群, 李金花, 张俊莲, 等. 甘肃省干旱灌区连作马铃薯根际土壤中镰刀菌的变化[J]. 草业学报, 2011, 20(4): 236-243.
- [8] 胡适宜. 被子植物胚胎学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982: 103-136.
- [9] 潘瑞炽, 蓝愚得. 植物生理学(上册)[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1985: 38.
- [10] 江苏农学院. 植物生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 122.
- [11] 刘 鹏, 杨玉爱. 钼、硼对大豆品质的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2): 184-189.
- [12] 陆祥生. 持力硼、速乐硼在制种玉米、制种番茄、棉花、向日葵上的施用效果[J]. 土壤肥料, 2006, (8): 23-24.
- [13] 李明伟. 锌、硼肥在鄂西山区玉米、水稻上的施用效果[J]. 耕作与栽培, 2005, (1): 29-30.
- [14] 贾景丽, 周 芳, 赵 娜, 等. 硼对马铃薯生长发育及产量品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1081-1083.
- [15] 田种存, 张 洋. 微量元素硼、锌对马铃薯产量和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2013, (7): 12-13.
- [16] 马光恕, 廉 华, 王彦宏, 等. 硼素对马铃薯淀粉合成和积累的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(3): 384-390.
- [17] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 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, 2000: 134-137.
- [19] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, (6): 55-57.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 166-187.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 260-360.
- [22] 回振龙. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 130-136.
- [23] Lee S, Seo P J, Lee H J, et al. A NAC transcription factor NTL4 promotes reactive oxygen species production during drought-induced leaf senescence in Arabidopsis[J]. Plant J, 2012, 70(5): 831-844.
- [24] 裴 斌. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1386-1396.
- [25] 李 军, 李祥东, 张殿军. 硼钼营养对马铃薯鲜薯产量及活性氧代谢的影响[J]. 中国马铃薯, 2002, 12(6): 10-13.