植物营养与肥料学报 2012,18(1):154-161
Plant Nutrition and Fertilizer Science

水培条件下硼对青蒜苗光合特性及品质的影响

张 涛,刘世琦*,孙 齐,孟凡鲁,陈 娴,李 贺,夏永香
(山东农业大学园艺科学与工程学院,作物生物学国家重点实验室,
农业部园艺作物生物学重点开放实验室,泰安 271018)

摘要: 在水培条件下,设置4个硼水平(B 0、0.5、1.0、1.5 mg/L),研究硼对青蒜苗硼含量、生长、光合特性及品质的影响。结果表明,青蒜苗硼含量随着硼浓度的提高而增加,在1.5mg/L硼浓度处理下含量最高;在硼水平0~1.0mg/L范围内,青蒜苗生长量、色素含量、净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)随硼浓度的升高而增加,至硼浓度1.0mg/L时达最大,此时青蒜苗叶身和假茎中维生素C(Vc)、可溶性蛋白、大蒜素含量也达最大,分别比不施硼处理提高33.5%和14.5%、40.5%和35.9%、41.0%和57.2%,当硼浓度升至1.5mg/L时,上述各指标呈下降趋势;同时硼浓度为1.0 mg/L时,可显著降低叶身中可溶性糖和游离氨基酸含量,提高其在假茎中的含量,其中叶身较不施硼处理分别降低了34.3%和22.8%,假茎则增加了160.5%和43.6%。

关键词: 青蒜苗;硼;光合特性;品质
中图分类号: S633.9.01;S153.6+1　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008-505X(2012)01-0154-08

Effects of boron content in nutrient solution on photosynthetic characteristics and quality of garlic seedling

ZHANG Tao, LIU Shi-qi*, SUN Qi, MENG Fan-lu, CHEN Xian, LI He, XIA Yong-xiang
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/Agriculture Ministry Key Laboratory of Horticultural Crop Biology, Taian, Shandong 271018, China*)

Abstract: Effects of different boron levels on boron content, growth, photosynthetic characteristics and qualities of garlic seedlings were studied by using nutrient solution. Four different boron concentrations at 0, 0.5, 1.0 and 1.5 mg/L were designed. The result show that the boron contents of garlic seedlings are increased with the boron concentrations ranging from 0 to 1.5 mg/L, which reaches the maximum when the boron concentration in nutrient solution is 1.5 mg/L. At the same time, the garlic seedling increments, photosynthetic pigment contents, photosynthetic parameters (Pn, Tr, Gs) in leaf laminas are increased with the increase of boron levels in the range of 0-1.0 mg/L, and those reach their maxima when the boron content is 1.0 mg/L. Meanwhile, the contents of vitamin C (Vc), soluble protein, allicin in leaf laminas and pseudostems are increased by 33.5% and 14.5%, 40.5% and 35.9%, 41.0 % and 57.2 % compared to the treatment of 0 mg/L boron concentration, when the boron concentration is 1.5 mg/L, these indexes are decreased. The contents of soluble sugar and free amino acids in leaf laminas are reduced by 34.3% and 22.8% when the boron concentration is 1.0 mg/L, while the contents of soluble sugar and free amino acids in pseudostems are improved by 160.5% and 43.6%.

Key words: garlic seedling; boron; photosynthetic characteristic; quality

大蒜(*Allium sativum* L.)为百合科葱属一、二年生草本植物,营养丰富,具特殊辛辣味,可增进食欲,并有抑菌杀菌作用,主要以嫩叶、鳞茎和鲜嫩的花茎器官为产品[1]。关于微量元素对大蒜生长发育及营养品质的影响已有报道。杨凤娟等[2-3]研究指出土壤施铜和锌可极显著增加鳞茎鲜重,改善大蒜品

收稿日期: 2011-07-06　　**接受日期:** 2011-10-19
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD13B06-4-9);山东省农业重大创新项目资助。
作者简介: 张涛(1987—),男,硕士研究生,四川巴中市巴州区人,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail: ztluli@yeah.net
* 通讯作者 E-mail: liusq99@sdau.edu.cn

质。院金谒等[4]证实了施硒能促进大蒜生长,增加产量。

硼作为植物生长发育必需的微量元素之一,在花器官发育、细胞膜稳定性及糖的转运与代谢等方面有重要作用。近年来,日光温室及塑料大棚的普及利用,长年连作,复种指数增加,土壤中硼元素消耗量过大,导致作物缺硼现象日趋普遍[5]。处理好施硼与作物需硼的平衡是人们越来越关注的问题。已有研究表明,硼在植株生长发育中发挥着重要的作用,可促进根系生长,增强根系活力[6-7],增加叶绿素含量,提高光合速率[8],改善作物品质[9],增加产量[10-11]。目前硼对大蒜影响多以产量及其储存性研究为主[12-14],杨凤娟等[15]首次报道,通过土壤施硼可显著提高大蒜的品质,大蒜鳞茎中大蒜素、可溶性蛋白质和 Vc 含量分别提高 30.84 %、33.28 % 和 232.22 %,而在水培条件下硼对大蒜生长发育及品质的影响尚未见系统研究。本研究旨在探究设施水培条件下硼对青蒜苗生长发育及品质的影响,以期为大蒜无土栽培优质高产提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2010 年 9 月～2011 年 6 月在山东农业大学科技创新园进行。以“苍山紫皮蒜”为试材,采用深液流技术（DFT)水培,营养液深 1.5 cm,回流速度约为 1.3 L/min;采用微电脑控时器控时,每 3h 供液 6 min。营养液用去离子水配制,每 7d 更换一次,pH 控制在 5.8 ～6.2。以 Hoagland 和 Arnon 营养液为基础(除硼外),其他微量元素参照其通用配方。培养液中硼的质量浓度设定为 0、0.5、1.0、1.5 mg/L（分别以 B_0、$B_{0.5}$、$B_{1.0}$、$B_{1.5}$ 表示)。硼以 H_3BO_3(AR)形式加入营养液,以硼元素计算加入量。各处理中大量元素化合物为 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$、KNO_3、$NH_4H_2PO_4$、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$,使 N、P、K、Ca、Mg 及 S 浓度分别为 15、1、6、4、2 及 2 mmol/L。试验用盆为 65 cm(L) × 50 cm(W) × 35 cm(H) 的硬质塑料大盆,每盆 12 株,每个处理 20 盆,重复 3 次。

1.2　分析项目方法

试材于 2010 年 10 月 14 日在覆盖聚氯乙烯无滴膜的中棚中播种蒜瓣,蒜瓣大小一致,自然光周期,棚内温度控制在 -2℃～25℃之间。分别于播后 75 d(2010 年 12 月 28 日)、105 d(2011 年 1 月 27 日)、135 d(2 月 26 日)、165 d(3 月 29 日)取样,测定水培大蒜的形态指标(株高、叶宽、假茎粗),叶片色素含量,各器官营养品质（可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸、大蒜素、维生素 C)及全硼含量,同一处理取有代表性的大蒜幼苗 10 株,去除衰老的部分,混合均匀,3 次重复。并于 2011 年 03 月 28 日测定大蒜的光合速率、气孔导度、蒸腾速率。

用卷尺测定株高(将植株叶片全部捋直,从茎盘到最长叶叶尖的距离)、叶宽(植株顶端以下第 4 片叶中间宽度)、用游标卡尺测定假茎粗(假茎基部的最大直径)、色素、可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸、维生素 C 和大蒜素含量测定分别采用丙酮比色法[16]、蒽酮比色法[16]、考马斯亮蓝法[16]、茚三酮法[16]、2,6 -二氯靛酚比色法[17]和苯腙法[18],青蒜苗全硼含量参照刘善江和赵丽萍[19]的方法。光合参数采用 CIRAS - 1 光合仪于 2011 年 3 月 28 日上午 9：00 ～ 10：00 进行测定,光强 1100 ～ 1200 μmol/($m^2 \cdot s$),气温 17℃～18℃,叶温 18℃～19℃,CO_2 浓度 410 μmol/moL,测定部位为从上数第 4 片叶中间,每处理测 5 株,即重复 5 次。

试验数据采用 DPS6.55 和 Excel 进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　硼对青蒜苗硼含量的影响

由图 1 可以看出,施硼能提高叶身和假茎中硼含量。不同硼水平处理下青蒜苗硼含量随着硼浓度的提高而增加,其中以 $B_{1.5}$处理(1.5 mg/L)最高。各器官中硼含量的大小顺序为叶身 > 假茎,各施硼处理叶身和假茎中硼含量比不施硼分别增加 31.6%～112.0%,23.3%～47.6%。

2.2　硼对水培青蒜苗形态指标的影响

表 1 显示,施硼处理的株高、叶宽和假茎粗均优于不施硼(B_0)处理,且各处理间差异显著。其中 $B_{1.0}$处理在其 4 个生长时期中的株高、叶宽、假茎粗表现最好,在播后 75d 比 B_0 分别增加 12.1%、8.6%、10.0 %;105d 时增加 14.3 %、17.2 %、24.2 %;135d 时增加 18.9%、14.0%、19.9%;165d 时增加 15.9%、19.2%、21.0%,差异达极显著水平。但当硼素浓度超过 1.0 mg/L 时,上述各项指标均降低。可见,适宜的硼素水平(1.0 mg/L)能促进大蒜幼苗的生长,增加株高、叶宽、假茎粗,为大蒜的高产奠定基础。

2.3　硼对水培青蒜苗叶片色素含量的影

随着青蒜苗的生长其叶身内的叶绿素 a、叶绿

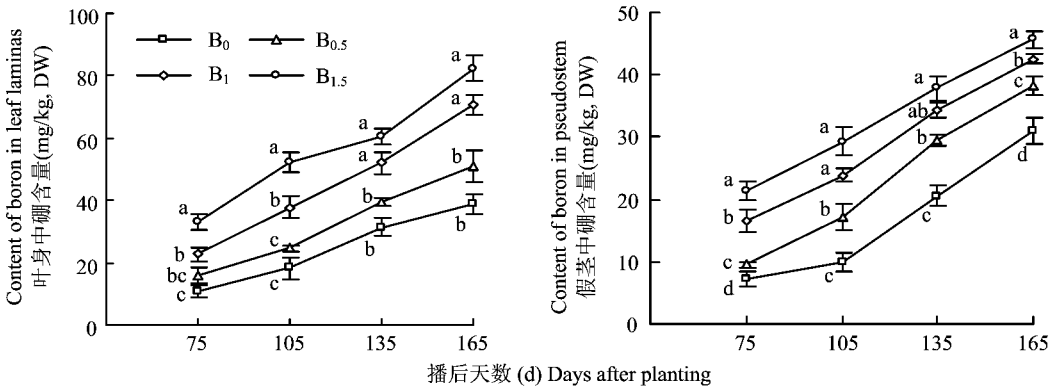

图1 硼对青蒜苗各器官硼含量的影响

Fig.1 Effect of boron application on boron content of garlic seedlings

[注(Note):图中不同字母表示同一采样期处理间差异达到5%显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.]

表1 硼对水培青蒜苗株高、叶宽、假茎粗的影响

Table 1 Effects of boron on plant height, leaf width and pseudostem diameter of garlic seedlings

指标 Index	处理 Treatment	播后天数 Day after planting(d)			
		75	105	135	165
株高 Plant height (cm)	B_0	35.8 ±0.51 cB	39.87 ±0.03 cC	60.03 ±0.46 dC	70.05 ±1.34 dC
	$B_{0.5}$	39.24 ±1.06 abAB	42.48 ±0.67 bB	66.10 ±0.52 cB	75.42 ±0.15 cB
	$B_{1.0}$	40.21 ±0.29 aA	45.55 ±0.49 aA	71.35 ±0.47 aA	81.18 ±0.05 aA
	$B_{1.5}$	37.87 ±0.20 bcAB	42.41 ±0.13 bB	68.82 ±0.72 bAB	78.34 ±0.01 bAB
叶宽 Leaf width (cm)	B_0	2.56 ±0.06 cB	2.91 ±0.05 cB	3.01 ±0.01 cB	3.13 ±0.04 dC
	$B_{0.5}$	2.84 ±0.03 aA	3.24 ±0.04 bA	3.31 ±0.01 bA	3.56 ±0.07 bAB
	$B_{1.0}$	2.78 ±0.01 abAB	3.41 ±0.03 aA	3.43 ±0.03 aA	3.73 ±0.04 aA
	$B_{1.5}$	2.68 ±0.01 bAB	2.95 ±0.06 cB	3.37 ±0.03 abA	3.41 ±0.01 cB
假茎粗 Pseudostem diameter (mm)	B_0	13.70 ±0.42 cC	15.01 ±0.13 cC	16.74 ±0.20 cC	19.26 ±0.06 cB
	$B_{0.5}$	15.45 ±0.50 aA	17.00 ±0.01 bB	18.15 ±0.13 bB	21.54 ±0.06 bA
	$B_{1.0}$	15.07 ±0.10 aAB	18.64 ±0.28 aA	20.07 ±0.04 aA	23.30 ±0.42 aA
	$B_{1.5}$	14.28 ±0.34 bBC	16.67 ±0.05 bB	17.18 ±0.11 cC	21.59 ±0.41 bA

注(Note):表中同列数据后不同小、大写字母分别表示差异达5%和1%显著水平 Different small and capital letters in a column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

素b、叶绿素(a+b)、类胡萝卜素含量均呈增加趋势(图2)。在0～1.0 mg/L范围内,色素含量随硼浓度的提高而增加,其中$B_{1.0}$处理的叶绿素a、叶绿素b、叶绿素(a+b)及类胡萝卜素含量均最大,播后165d时比B_0分别高21.7%、28.4%、22.8%、24.1%。当硼浓度超过1.0 mg/L时,色素含量呈下降趋势。可见营养液中硼浓度为1.0 mg/L时有利于青蒜苗光合色素的合成,促进光合作用。

2.4 硼对青蒜苗光合参数的影响

从表2可以看出,净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均以$B_{1.0}$处理最大,表明营养液中硼浓度为1.0 mg/L时,青蒜苗的光合性状较好,较有利于光合产物的积累。表2还表明,各施硼处理的胞间CO_2浓度均低于不施硼处理,说明施硼能降低水培青蒜苗胞间CO_2浓度。

2.5 硼对青蒜苗营养品质的影响

2.5.1 硼对青蒜苗可溶性糖和维生素C含量的影响 图3表明,硼促进了青蒜苗叶身中碳水化合物的积累及其向假茎的转运。各处理条件下,叶身的可溶性糖含量随着硼浓度的增加先降低后升高,假

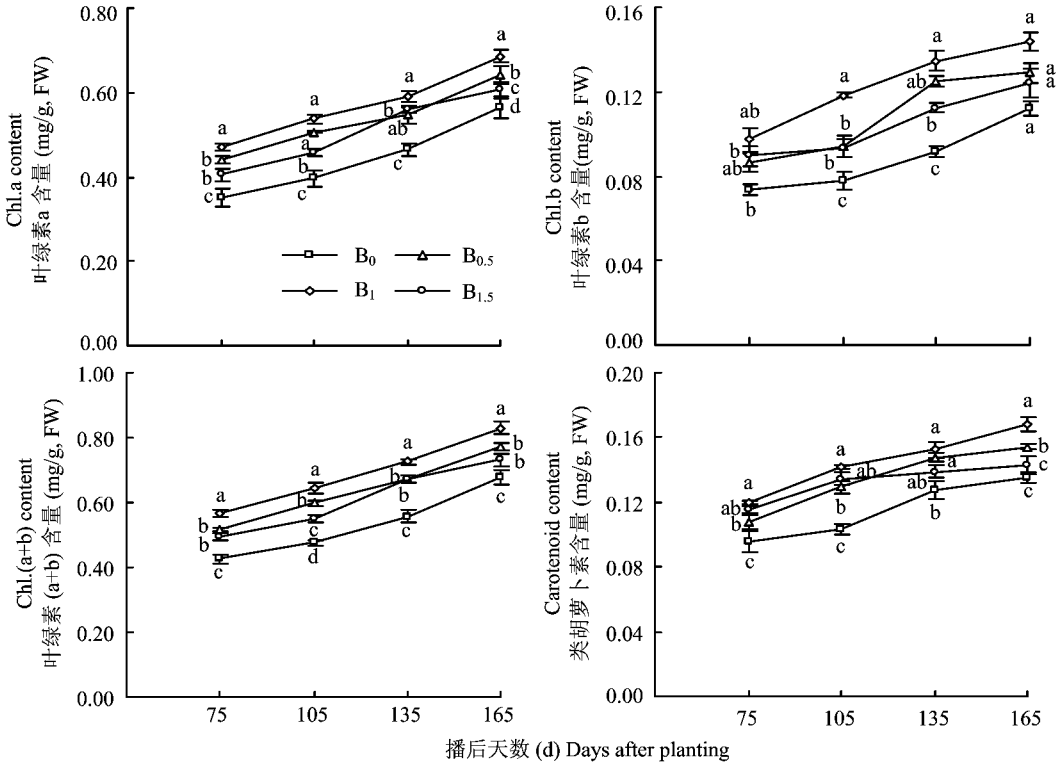

图 2　硼对青蒜苗叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Fig. 2　Effects of boron on the content of chlorophyl and carotenoid in garlic leaves

[注(Note)：图中不同字母表示同一采样期处理间差异达到 5% 显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.]

表 2　硼对青蒜苗叶片光合参数的影响

Table 2　Effect of boron on photosynthetic parameter in garlic leaves

处理 Treatment	净光合速率(Pn) Net photosynthetic rate [μmol/(m²·s)]	蒸腾速率(Tr) Transpiration rate [mol/(m²·s)]	气孔导度(Gs) Stomatal conductance [mmol/(m²·s)]	胞间 CO_2(Ci) Intercellular CO_2 (μmol/mol)
B_0	15.25 ±0.35 dD	6.24 ±0.18 bAB	380.50 ±9.19 cC	285.00 ±1.41 aA
$B_{0.5}$	22.15 ±0.21 bB	6.39 ±0.29 bA	445.00 ±5.66 aAB	265.00 ±1.41 bB
$B_{1.0}$	24.65 ±0.63 aA	6.95 ±0.13 aA	464.00 ±7.07 aA	239.50 ±0.71 cC
$B_{1.5}$	19.20 ±0.28 cC	5.49 ±0.39 cB	423.00 ±1.41 bB	283.50 ±3.54 aA

注(Note)：表中同列数据后不同小、大写字母分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters are significant at the 5% and 1% levels, respectively.

茎中可溶性糖含量变化趋势与叶身相反。B_0 处理中叶身的可溶性糖含量高于假茎,至播后 165 d 时,B_0 处理叶身中可溶性糖含量比假茎高 66.1 %,而其他各处理假茎中可溶性糖含量均高于叶身。其中叶身中可溶性糖含量以 $B_{1.0}$处理最低,播种后 4 个生长阶段(播后 75d、105d、135d、165d)中可溶性糖含量分别比 B_0 降低 15.1%、15.5%、32.2%、34.3%,同时假茎中可溶性糖含量在 $B_{1.0}$处理下最多,4 个生长阶段分别比 B_0 处理增加 214.3%、84.6%、131.9%、160.5%。

各处理下青蒜苗叶身和假茎中 Vc 的含量随着硼浓度的提高均呈先升高后降低的趋势,在 $B_{1.0}$处理下均达到最大值。至播种后 165d 时 $B_{1.0}$处理的叶身和假茎中 Vc 含量较 B_0 处理分别增加 33.5% 和 14.5%。

2.5.2　硼对青蒜苗可溶性蛋白和游离氨基酸含量的影响　图 4 显示,施硼能明显增加叶身和假茎中可溶性蛋白的含量。各处理条件下,叶身和假茎中可溶性蛋白含量随硼浓度的增加呈单峰曲线,在 $B_{1.0}$处理下达到最大。且 $B_{1.0}$处理下叶身的可溶性

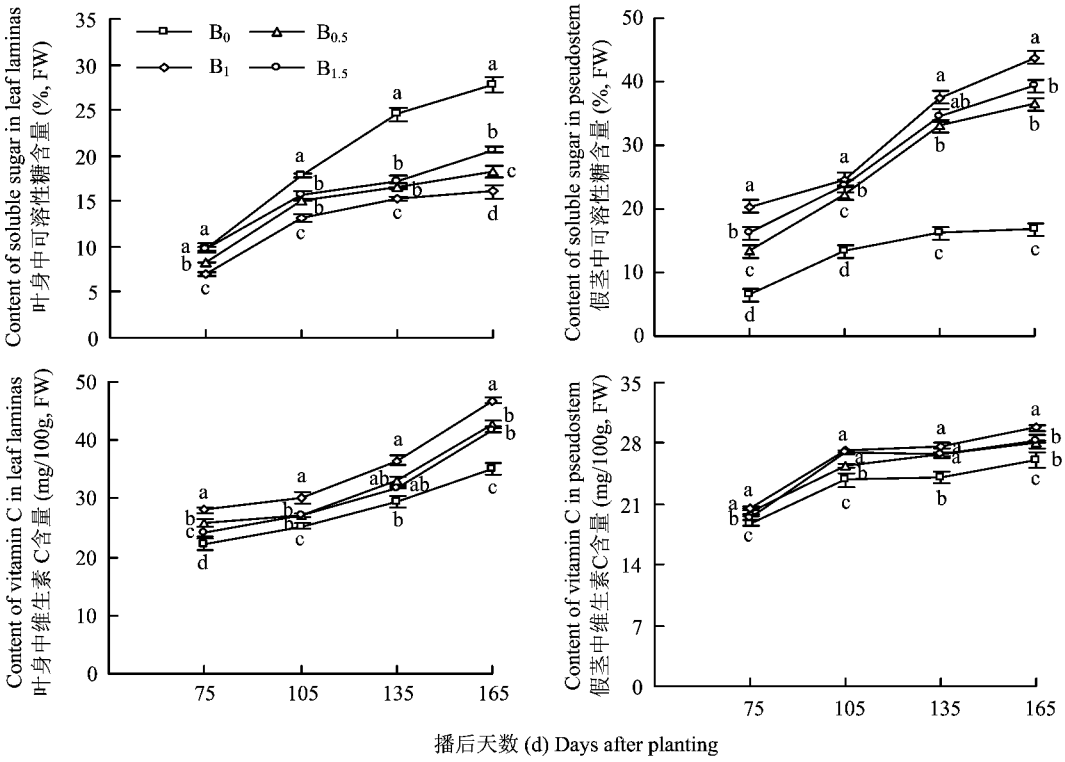

图3 硼对青蒜苗可溶性糖和维生素 C 含量的影响

Fig. 3 Effect of boron on the content of soluble sugar and vitamin C in garlic seedlings

[注(Note): 图中不同字母表示同一采样期处理间差异达到5%显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.]

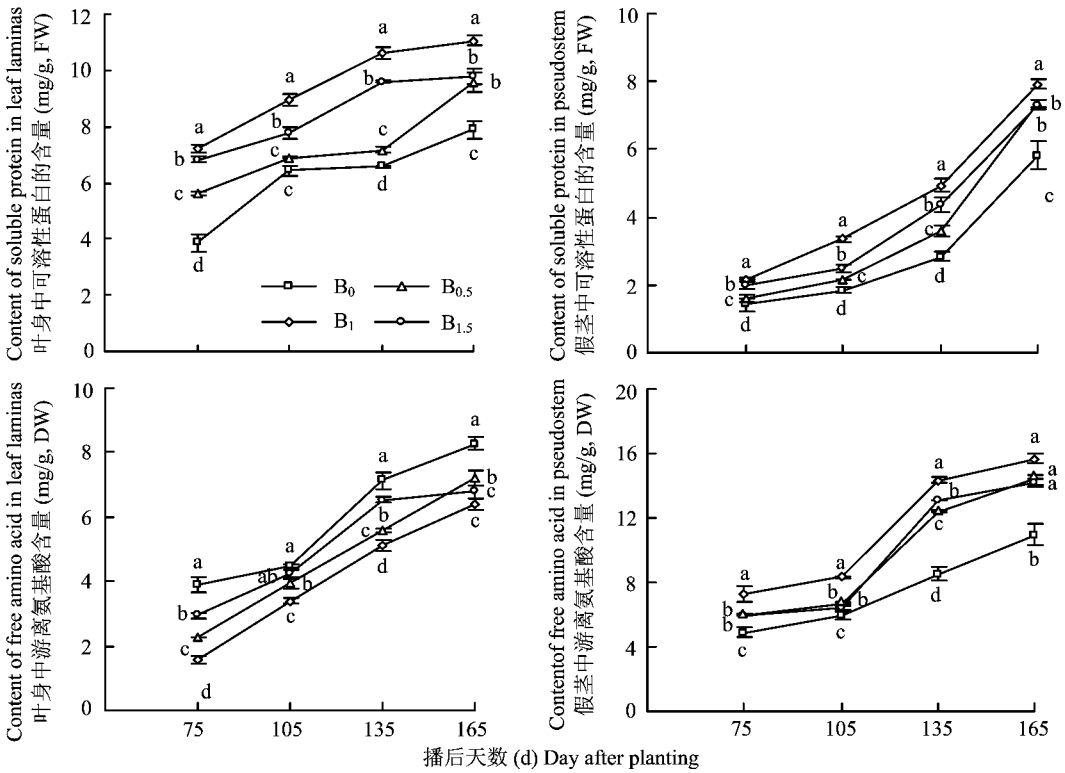

图4 硼对青蒜苗可溶性蛋白和游离氨基酸含量的影响

Fig. 4 Effect of boron on the content of soluble protein and free amino acid in garlic seedlings

[注(Note): 图中不同字母表示同一采样期处理间差异达到5%显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.]

蛋白含量在 4 个生长阶段(播后 75d、105d、135d、165d)比 B_0 增加38.9%～87.1%,假茎可溶性蛋白含量增加35.9%～82.6%。

各处理中,叶身的游离氨基酸含量随着硼浓度的增加先降低后升高,假茎中游离氨基酸含量变化趋势与叶身相反;且各处理下假茎中的游离氨基酸含量均高于叶身。其中叶身中游离氨基酸含量在 $B_{1.0}$处理下最低,在 4 个生长阶段比 B_0 降低22.7%～60.2%;而假茎中游离氨基酸含量则在 $B_{1.0}$处理下达到最大,在4 个生长阶段中比 B_0 增加39.2%～67.7%。

2.5.3　硼对青蒜苗大蒜素含量的影响　图 5 显示,施硼能显著提高青蒜苗叶身和假茎中的大蒜素含量,其中 $B_{1.0}$处理大蒜素含量最高,在 4 个生长阶段中,叶身的大蒜素含量比不施硼(B_0)处理分别提高30.2%、21.0%、47.8%、41.0%;假茎分别提高 37.0%、31.4%、52.1%、57.2%。

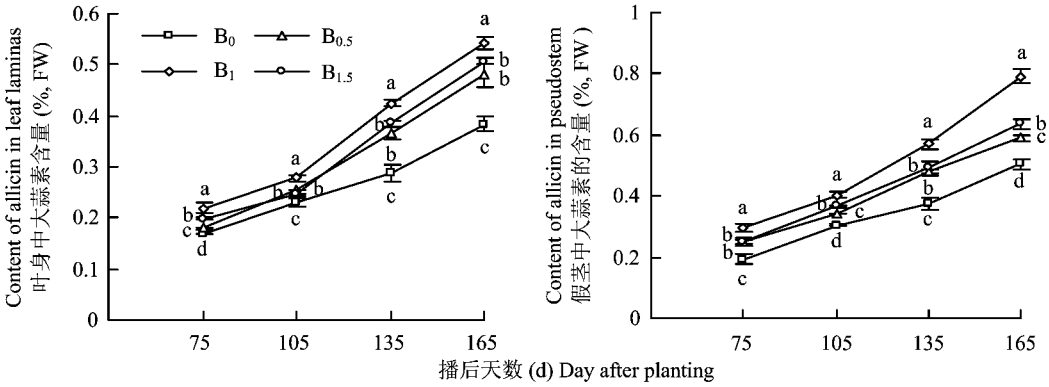

图 5　硼对青蒜苗中大蒜素含量的影响

Fig.5　Effect of boron on the content of allicin in garlic seedlings

[注(Note)：图中不同字母表示同一采样期处理间差异达到5%显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.]

3　讨论与结论

硼不直接参与植物体的组成,但可通过增强植物根系活力,间接促进植物对营养物质的吸收和运输,从而促进植株的生长。本试验结果表明,当营养液中硼浓度为1.0 mg/L 时较有利于提高青蒜苗的株高、叶宽和假茎粗,这与陈晟[20]在西瓜和陈庆榆等[21]在瓜叶菊上的研究结果类似。Francois[22]报道,0.5～20 mg/L 土壤水溶态硼均能提高洋葱和大蒜叶片和鳞茎中的硼含量;Goldberg 等[23]研究指出,西瓜叶片,茎和果实中硼含量随着硼浓度的提高而增加,本研究也表明,随着硼水平的提高,青蒜苗叶身和假茎中硼含量显著增加,比不施硼分别高31.6%～112.0%,23.3%～47.6%。

硼具有稳定叶绿素结构的功能,缺硼胁迫下叶绿素含量减少,叶肉细胞中叶绿体变小,脂质小球明显增多,膜发生碎片化和液化,基粒片层解体呈囊泡状,基粒遭破坏[24],而光合速率在一定范围内和叶绿素含量成正比。因此硼的供应水平对叶绿体结构的稳定和功能的发挥有重要影响。本水培试验结果表明,施硼能显著增加青蒜苗的色素含量,提高净光合速率,其中以 1.0 mg/L 硼浓度处理下最大,较高浓度的硼处理(1.5 mg/L)会降低青蒜苗净光合速率。硼能提高叶绿素含量和促进光合速率在烤烟[25]和番木瓜[8]等作物的研究中均有报道。杨凤娟等[15]研究得出,各施硼处理对胞间 CO_2 浓度影响不大,与本文结果不同。本研究结果显示在一定硼范围内随硼浓度升高大蒜叶片净光合速率和胞间 CO_2浓度变化趋势成负相关。其原因可能是硼参与了青蒜苗的光合作用过程,适量的硼提高了青蒜苗光合速率,促进了对细胞间隙的 CO_2 的吸收,从而使胞间 CO_2 浓度下降。

Birmbaum 等[26]认为,硼参与了尿嘧啶的合成,尿嘧啶是葡萄糖二磷酸尿苷的前身,后者是蔗糖形成所必需的辅酶,同时缺硼容易生成胼胝质,会在衰老或即将死亡的筛管上沉积,使筛孔堵塞,影响糖的运输[27],因此硼有利于糖的合成与转运。宗毓铮等[28]研究表明,适量的硼能明显减少可溶性糖在紫花苜蓿功能叶中的积累;徐根娣等[29]也证实施硼有利于大豆叶片中可溶性糖向其他器官运输,从而减少其在功能叶中的积累,保证光合作用的顺利进行。本研究结果也表明,不施硼(B_0)处理中叶身的可溶性糖含量显著高于假茎,施硼可促进可溶性糖从青蒜苗叶身向假茎的转运,假茎中可溶性糖含量增加,

明显提高了叶片光合速率。而假茎作为青蒜苗主要的贮存器官,其光合产物的大量储存有利于后期大蒜鳞茎的高产。

已有研究表明,硼能刺激质膜上的抗坏血酸自由基氧化还原酶,使其催化电子向抗坏血酸自由基转移,形成抗坏血酸[30],同时硼还能影响核酸含量进而影响蛋白质的合成[31],因此不同供硼水平会直接影响到作物的品质。本试验显示,施硼能显著提高青蒜苗叶身,假茎中可溶性蛋白和 Vc 含量。在 4 个生长阶段中(播后 75d、105d、135d、165d)叶身比不施硼处理分别增加 21.3%～40.5% 和 19.2%～33.5%,假茎分别增加 25.2%～35.9%,8.2%～14.5%,这与耿明建等[32]在油菜和张中星[33]在白菜上的研究结果一致。施木田[34]对苦瓜锌、硼营养生理研究结果表明,在锌、硼缺乏的土壤中每 667m^2 施用硼砂 1,2 kg 均可提高苦瓜 17 种氨基酸含量,尤其是人体必需氨基酸含量;刘硼等[35]研究也指出,施硼使大豆籽粒总氨基酸含量和必需氨基酸含量较不施硼明显增加。本研究水培试验表明,施硼处理叶身中游离氨基酸含量比不施硼处理降低了 12.68%～22.67%,而其在假茎中的含量则比不施硼处理增加了 29.94%～43.63%,这可能是不适宜供硼导致蛋白酶活性被激发,蛋白水解作用增强,从而使不施硼处理叶身中氨基酸库容增大[36],而施硼提高假茎中游离氨基酸含量,是否与硼对氨基酸等有机物的运输有关尚待进一步研究。本试验还表明,施硼可提高青蒜苗叶身和假茎中的大蒜素含量,4 个生长阶段中分别比不施硼处理增加 19.9%～41.0% 和 17.2%～57.2%。这可能与硼促进大蒜对硫的吸收有关,因大蒜素为含硫化合物,从而影响大蒜素含量,但目前还没有关于硼与硫相互作用的相关报道,此假设还有待进一步研究。

在本研究水培试验条件下,结合硼对青蒜苗生长发育、光合特性、品质效应等的结果分析表明,在青蒜苗的水培生产中,以营养液硼浓度为 1.0 mg/L 的效果最好。

参考文献:

[1] 刘世琦. 蔬菜栽培学简明教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007. 173.
Liu S Q. Concise guide of olericulture [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007. 173.

[2] 杨凤娟, 刘世琦, 王秀峰, 等. 矿质营养和有机质对大蒜鳞茎鲜重及大蒜素含量的影响[J]. 山东农业大学报(自然科学版), 2006, 37(3): 405-408.
Yang F J, Liu S Q, Wang X F *et al*. Effects of mineral nutrition and organic matter on garlic bulb fresh weight and allicin content in bulb [J]. J. Shandong Agric. Univ. (Nat. Sci.), 2006, 37(3): 405-408.

[3] 杨凤娟, 刘世琦, 王秀峰, 等. 锌大蒜生理生化指标及营养品质的影响[J]. 土壤肥料, 2005, (1): 35-38.
Yang F J, Liu S Q, Wang X F *et al*. Effects of zinc on physiological-biochemical characteristics indexes and nutrition quality of garlic[J]. Soils Fert., 2005, (1): 35-38.

[4] 院金谒, 王朴, 刘正兴, 等. 土壤施硒对大蒜生理特性、含硒量及产量的影响[J]. 新疆农业大学报, 2010, 33(1): 19-22.
Yuan J Y, Wang P, Liu Z X *et al*. Effect of application of sodium selenite to soil on physiological characteristic, Se content and yield of garlic[J]. J. Xinjiang Agric. Univ., 2010, 33(1): 19-22.

[5] 蔡骁, 张菊平, 张兴志. 蔬菜缺硼症状及防治方法[J]. 西北园艺(蔬菜专刊), 2008, (4): 41.
Cai X, Zhang J P, Zhang X Z. The symptoms of boron deficiency and control methods in vegetables [J]. Northwest Hortic. (Spec. Issue Veg.), 2008, (4): 41.

[6] 习金根, 曾洪立, 祁寒, 等. 硼素营养对菠萝根系和地上部生长的影响[J]. 热带作物学报, 2009, 30(10): 1417-1421.
Xi J G, Zeng H L, Qi H *et al*. Effects of boron on the growth of the plant and roots of pineapple [J]. Chin. J. Trop. Crops, 2009, 30(10): 1417-1421.

[7] 宋世文, 曹享云, 耿明建, 等. 对缺硼反应不同的油菜品种根系生长特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 202-206.
Song S W, Cao H Y, Geng M J *et al*. Root growth characteristics of rape cultivars responding to B deficiency [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 6(2): 202-206.

[8] 谢志南, 赖瑞云, 钟赞华, 等. 施硼对番木瓜幼龄株硼形态含量及叶片光合作用的影响[J]. 亚热带植物科学, 2010, 39(1): 5-8.
Xie Z N, Lai R Y, Zhong Z H *et al*. Effects of applied boron on boron forms and leaf photosynthesis of papaya [J]. Subtrop. Plant Sci., 2010, 39(1): 5-8.

[9] 李梅兰, 吴俊华, 李远新, 等. 不同供硼水平对番茄产量及风味品质的影响[J]. 核农学报, 2009, 23(5): 875-878.
Li M L, Wu J H, Li Y X *et al*. Effect of boron application on yield and flavor quality of tomato fruit [J]. J. Nucl. Agric. Sci., 2009, 23(5): 875-878.

[10] 吴翠筠. 钾硼配合施用对油菜产量效应的研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(3): 1175-1176.
Wu C J. Study on the effect of combined application of potassium and boron on yield of Brassica napus [J]. J. Anhui Agric. Sci., 2009, 37(3): 1175-1176.

[11] 张志华, 向鹏华, 方其春. 施硼对烤烟产量和品质的影响研究[J]. 湖南农业科学, 2010, (5): 62-63, 66.
Zhang Z H, Xiang P H, Fang Q C. Effects of applying boron on yield and quality of flue-cured tobacco [J]. Hunan Agric. Sci., 2010, (5): 62-63, 66.

[12] Chermisiri C, Watanabe H, Attajarusit S *et al*. Effect of boron sources on garlic(*Allium sativum* L.) productivity [J]. Biol. Fer. Soils, 1995, 20: 125-129.

[13] Sharangi A B, Pariari A, Datta S, Chatterjee R. Effect of boron and

zinc on growth and yield of garlic in new alluvial zone of west Bengal [J]. Crop Res., 2003, 25(1): 83-85.

[14] Srivastava R, Agarwal A, Tiwari R S, Kumar S. Effect of micronutrients, zinc and boron on yield, quality and storability of garlic(*Allium sativum*) [J]. Ind. J. Agric. Sci., 2005, 75(3): 157-159.

[15] 杨凤娟，刘世琦，王秀峰. 土壤硼水平对大蒜生理生化及产量和品质的影响[J]. 中国农业科学，2005，38(5)：1011-1016.
Yang F J, Liu S Q, Wang X F. Effects of boron in soil on physiological-biochemical characteristics and the yield and quality in garlic[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(5): 1011-1016.

[16] 赵世杰，史国安，董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2002.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Guidance of plant physiology experiments [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.

[17] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术(第2版)[M]. 北京：高等教育出版社，2006.
Wang X K. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment (2nd Ed.) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

[18] 屈姝存，周朴华. 大蒜油提取及大蒜油与大蒜渣的化学成分分析[J]. 湖南农业大学学报，1998，24(3)：235-237.
Qu S C, Zhou P H. The extraction of dially thiosulfonate and the analyses of chemical composition of garlic and the residue [J]. J. Hunan Agric. Univ., 1998, 24(3): 235-237.

[19] 刘善江，赵丽萍. 植株中全硼测定方法的研究[J]. 华北农学报，2007，22(2)：169-170.
Liu S J, Zhao L P. Study on testing of total boron content in plant [J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 2007, 22(2): 169-170.

[20] 陈晟. 不同基因型西瓜(*Citullus lanatus*)硼素营养生理的研究[D]. 福州：福建农林大学硕士学位论文，2008.
Chen S. Study on boron nutrition of different genotypes watermelon cultivars (*Citullus lanatus*) [D]. Fuzhou: MS thesis, Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.

[21] 陈庆榆，张远兵，翟福勤. 硼对瓜叶菊生长的影响[J]. 中国林副特产，2005，(1)：10-12.
Chen Q Y, Zhang Y B, Zhai F Q. Effect of boron on the growth of *Senecio hybridus* [J]. For. By-Prod. Spec. China, 2005, (1): 10-12.

[22] Francois L E. Yield and quality responses of garlic and onion to excess boron [J]. Hort Sci., 1991, 26(5): 547-549.

[23] Goldberg S, Shouse P J, Lesch S M *et al*. Effect of high boron application on boron content and growth of melons [J]. Plant Soil, 2003, 256: 403-411.

[24] 魏文学，王运华，孙香芝，瞿波. 缺硼条件下向日葵叶片叶绿体及线粒体解剖结构的观察[J]. 华中农业大学学报，1989，8(4)：361-363.
Wei W X, Wang Y H, Sun X Z, Qu B. Effects of boron on chloroplasts and mitochondria of leaf mesophyll of sunflower [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1989, 8(4): 361-363.

[25] 何远兰. 硼营养对烤烟碳氮代谢和品质的影响及机理的研究[D]. 南宁：广西大学硕士学位论文，2007.
He Y L. Studies on infection and mechanism of tobacco carbon-nitrogen metabolize and quality with boron treatment [D]. Nanning: MS thesis, Guangxi University, 2007.

[26] Birnbaum E H, Beasley C A, Dugger W M. Interaction of boron with components of acid metabolism in cotton ovules cultures in virto [J]. Plant Physiol., 1977, 59: 1034-1038.

[27] Milbum I A, Kallarackal J. Quantitative determination of sieve tube dimensions in ricinus, cucumis and musa [J]. New Phytogist, 1994, 96: 383-395.

[28] 宗毓铮，王雯玥，韩清芳，等. 喷施硼肥对紫花苜蓿光合作用及可溶性糖源库间运转的影响[J]. 作物学报，2010，36(4)：665-672.
Zong Y Z, Wang W Y, Han Q F *et al*. Effects of different levels of boron fertilizer on alfalfa photosynthesis and Source-Sink translocation of soluble carbohydrate in Alfalfa [J]. Acta Agron. Sin., 2010, 36(4): 665-672.

[29] 徐根娣，蔡妙珍，刘鹏. 硼、锰营养对大豆光合特性的影响[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版). 2004，27(1)：62-65.
Xu G D, Cai M Z, Liu P. Effect of boron and manganese on photosynthetic characteristic of soybean [J]. J. Zhenjiang Normal Univ. (Nat. Sci.) [J]. 2004, 27(1): 62-65.

[30] Dale G B, Krystyna M L. Boron in plant structure and function [J]. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1998, 49: 481-500.

[31] 沈振国，张秀省，王震宇，沈康. 硼素营养对油菜花粉萌发的影响[J]. 中国农业科学，1994，27(1)：51-56.
Shen Z G, Zhang X S, Wang Z Y, Shen K. On the relationship between boron nutrition and development of anther (pollen) in rapseed plant [J]. Sci. Agric. Sin., 1994, 27(1): 51-56.

[32] 耿明建，曹享云，朱瑞端，等. 硼对甘蓝型油菜不同品种苗期生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报，1999，5(1)：81-84.
Geng M J, Cao H Y, Zhu R D *et al*. Effect of boron deficiency on physiological characteristics of different rape cultivars at seedling stage [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1999, 5(1): 81-84.

[33] 张中星，程滨. 白菜对锌、硼营养的吸收规律及效应的研究[J]. 土壤肥料，1997，(2)：27-29.
Zhang Z X, Cheng B. Study on uptaking rule and effect of zinc and boron of Chinese cabbage [J]. Soil Fert., 1997, (2): 27-29.

[34] 施木田. 苦瓜锌及其与相硼不同配比的营养生理研究[D]. 福州：福建农林大学硕士学位论文，2004.
Shi M T. Studies on zinc, zinc and molybdenum, zinc and boron nutritive physiology of balsam pear [D]. Fuzhou: MS thesis, Fujian Agriculture and Forestry University, 2004.

[35] 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.
Liu P, Yang Y A. Effect of molybdenum and boron on quality of soybean [J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(2): 184-189.

[36] 王震宇，张福锁，沈康. 不同硼营养下甘蓝型油菜体内游离氨基酸成分变化分析[J]. 中国农业大学学报，1996，1(1)：73-77.
Wang Z Y, Zhang F S, Shen K. Comparative analysis of the component of free amino acids in *Brassica napus* L. under different boron nutritional conditions [J]. J. China Agric. Univ., 1996, 1(1): 73-77.