

土壤硼水平对大蒜生理生化及产量和品质的影响

杨凤娟, 刘世琦, 王秀峰

(山东农业大学园艺学院, 泰安 271018)

摘要: 采用盆栽试验探讨了土壤硼水平对大蒜生理生化及产量和品质的影响。结果表明, 当土壤有效硼浓度为 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜叶片 POD、SOD 活性、可溶性蛋白质含量、光合色素含量及光合参数均达最高; 硝酸还原酶及 CAT 活性随土壤施硼浓度的提高而增强。同时, 当土壤有效硼浓度达 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜鳞茎单重和单薹重分别比对照高 23.58% 和 31.31%。当土壤有效硼浓度达 $1.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜鳞茎中大蒜素、可溶性蛋白质、Vc 含量分别提高 30.84%、33.28% 和 232.22%, 显著高于对照。而且在此浓度下, 蒜薹中游离氨基酸和可溶性蛋白质含量也分别比对照提高 20.79% 和 13.82%。蒜薹中可溶性糖和 Vc 含量却在土壤硼浓度达 $0.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时最高。

关键词: 大蒜; 硼; 生理生化指标; 产量; 品质

Effects of Boron in Soil on Physiological-Biochemical Characteristics and the Yield and Quality in Garlic

YANG Feng-juan, LIU Shi-qi, WANG Xiu-feng

(College of Horticulture, Shandong Agricultural University, Taian 271018)

Abstract: The effects of boron on physiological-biochemical indexes and the yield and quality in garlic (*Allium sativum* L.) were studied. The results showed that the activity of POD and SOD, soluble protein content, photosynthetic pigment content and photosynthetic parameter in garlic (*Allium sativum* L.) leaf all reached maximum while boron in soil was $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Meanwhile, the average weight of single bulb and bolt was 23.58% and 31.31% higher than that of CK, respectively. The activity of NR and CAT increased with the increase of concentration of boron in soil. The content of allicin, soluble protein and Vc in bulb increased, respectively, by 30.84%, 33.28%, and 232.22% when boron in soil was $1.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. And on this concentration, the content of free amino acid and soluble protein in bolt improved by 20.79% and 13.82%, respectively. The content of soluble sugar and Vc in bolt were the highest when boron in soil was $0.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Key words: Garlic (*Allium sativum* L.); Boron; Physiological-biochemical indexes; Yield; Quality

大蒜 (*Allium sativum* L.) 属于百合科葱属 2 年生草本植物, 以鳞茎、蒜薹、嫩叶为主要产品。其产品营养丰富, 味道鲜美, 能增进食欲, 并有杀菌作用^[1]。施肥对大蒜生长发育及营养品质的影响, 多以大量营养元素氮、磷、钾的研究为主, 刘世琦等^[2]就优化施肥对大蒜的产量效应进行分析表明, 氮素对大蒜的产量影响最大, 钾次之, 磷最小, 张翔等^[3]的研究也得出同样的结果。

硼是作物生长必需的微量元素之一, 有研究指出,

硼在核酸的生物合成中起重要作用, 而且对花器官的形态结构^[4]、花粉萌发、花粉管伸长和受精作用有很大的影响^[5-8]。最近研究发现, 在缺硼和锌的土壤上增施一定的硼和锌, 可提高苦瓜的产量和苦瓜中蛋白质、维生素 C 和 17 种氨基酸的含量, 尤其可提高对人体必需的氨基酸含量。其主要原因是硼和锌可增加多胺、腐胺、亚精胺、精胺、生长素、赤霉素和抗坏血酸维生素 C 含量以及 SOD、POD 和 CAT 活性, 减少了 MDA 和 ABA 的含量, 从而减小膜质过氧化的伤

收稿日期: 2004-06-07

基金项目: 农业部“948”项目资助 (2003-T14)

作者简介: 杨凤娟(1979-), 女, 山东郓城人, 博士研究生, 主要从事蔬菜生理的研究。刘世琦为通讯作者, Tel: 0538-8337599; E-mail: liulucky999@sina.com.cn

害^[9]。生产中硼对大蒜生长发育、产量及营养品质的影响研究较少。本研究旨在通过盆栽试验,探究不同硼水平对大蒜生理生化指标、产量及营养品质的影响,以便找出最适的土壤硼浓度,为合理施用硼肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验于2002年9月至2003年5月在山东农业大学蔬菜试验站进行,供试土壤肥力状况为:有效氮为 $78.21 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,有效磷为 $23.56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,有效钾为 $94.35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,有机质含量为2.02%,有效硼 $0.33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

1.2 供试品种

苏联蒜 (*Allium sativum* L.)。

1.3 试验设计

试验设5个硼水平。以硼酸作为硼肥,称取每盆所需量,先与盆中部分土混合均匀,再与盆中所有土混合,施入7 d后取样,自然风干,测定其土壤中有效硼含量分别为 B1 ($0.33 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 对照)、B2($0.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)、B3($0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)、B4($1.10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)和 B5($1.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),其它栽培条件一致。

1.4 试验方法

采用直径25 cm高30 cm的泥盆,每盆装风干土15 kg,每盆种植大蒜4株。每处理种植5盆,重复3次,共75盆,随机排列。2002年9月25日播种,2003年4月20日取样,每处理取样6株,3次重复。其它处理重复株数供计算产量和品质测定,分别于5月8日和5月26日采收蒜薹和鳞茎,采收后测定产量和营养品质,并进行统计分析。

1.5 测定项目

土壤中氮、磷、钾含量的测定分别采用碱解扩散

法^[10]、钼锑抗比色法^[10]、火焰光度法^[10]。有机质含量测定采用重铬酸钾氧化-比色法^[11]。硼用热水浸提,等离子体法测定^[11]。SOD、POD、CAT活性测定分别采用 Health 法^[12]、Omran 法^[13]、过氧化氢分解量法^[14]。叶绿素含量采用分光光度法测定^[14];光合参数采用 CIRAS-1 光合仪测定。可溶性糖、可溶性蛋白质、Vc、游离氨基酸含量测定分别采用蒽酮比色法^[14]、考马斯亮蓝法^[14]、紫外快速测定法^[15]、茚三酮法^[14]、大蒜素含量测定采用苯胺法^[16]。

1.6 统计分析方法

对大蒜叶片生理生化及蒜薹和鳞茎营养品质指标采用 Duncan 新复极差法^[17]检验进行显著性比较。

2 结果与分析

2.1 硼对大蒜生理生化指标的影响

2.1.1 硼对大蒜叶片酶活性及可溶性蛋白质含量的影响 表1表明,施硼可极显著提高硝酸还原酶及过氧化氢酶(catalase, CAT)活性,且其活性随施硼浓度的提高而增强。同时可以看出,适宜的土壤硼浓度也可提高过氧化物酶(peroxidase, POD)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性及可溶性蛋白质含量,但当土壤硼浓度达 B3 ($0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)处理时,若再提高,反而会降低 POD、SOD 活性及可溶性蛋白质的含量。综上可知,土壤硼浓度达 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时,上述酶活性及可溶性蛋白质含量均较高,较适宜大蒜生长发育。

2.1.2 硼对大蒜叶片光合色素含量的影响 叶绿体是植物光合作用的主要场所。由表2可以看出,在 B3 处理浓度时,叶绿素 a、叶绿素 b、胡萝卜素及总叶绿素含量均为最大值;而且在 B1~B3 范围内,其色素含量随施硼浓度的提高而增加。但当硼浓度超过 B3

表1 硼对大蒜叶片酶活性及可溶性蛋白质含量的影响

Table 1 Effect of boron on enzyme activity and content of soluble protein in garlic leaf

土壤硼水平 Boron level in soil ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	硝酸还原酶 NR ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$)	过氧化物酶 POD ($\Delta\text{OD}_{470}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	超氧化物歧化酶 SOD ($\text{units}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	过氧化氢酶 CAT ($\Delta\text{OD}_{240}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	可溶性蛋白质 Soluble protein ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
0.33(B1)	26.134eD	4.27cC	150.40dD	27.57dD	24.850dC
0.62(B2)	33.207dC	3.60dD	200.00bB	20.72eE	27.090cB
0.85(B3)	40.192cB	13.33aA	273.60aA	34.6cC	29.111aA
1.10(B4)	41.327bAB	6.40bB	188.80cC	39.65bB	28.663bA
1.29(B5)	42.201aA	4.40cC	41.60eE	47.87aA	27.021cB

不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平的差异显著性。下同

Different capital and small letters indicate significance at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same as below

处理时, 色素含量随施硼量的增加而降低。说明土壤硼浓度为 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时更有利于大蒜光合作用。

2.1.3 硼对大蒜叶片光合作用参数的影响 表 3 表明, 蒸腾速率、气孔导度、光合速率均以 B3 处理最大; 在 B1~B3 范围内, 蒸腾速率、气孔导度、光合速率随施硼量的增加而提高, 且蒸腾速率 B3 与 B1 差异极显著, 气孔导度和光合速率 B3 与 B1 差异显著; 胞间 CO_2 浓度均低于对照 B1。表明土壤硼浓度为 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜叶片光合性能优良, 更有利于大蒜光合物质的积累。

2.2 硼对大蒜蒜薹及鳞茎产量的影响

表 4 表明, 当土壤硼浓度达 B3($0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 时, 大蒜鳞茎单头重和蒜薹单薹重较高, 比对照 B1 分别高 23.58% 和 31.31%。在 B3 浓度基础上, 若再增加硼浓度, 反而降低大蒜鳞茎的重量。土壤硼浓度达 B5($1.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 时, 单头鳞茎重和单薹重分别比对照降低 8.31%

和 3.16%。由此说明, 当土壤硼浓度达 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 较有利于提高大蒜鳞茎和蒜薹的重量, 与前述生理生化指标相符。

2.3 硼对大蒜蒜薹及鳞茎营养品质的影响

图 1 表明, 在一定硼浓度范围内, 施硼可提高鳞茎及蒜薹中可溶性糖含量。鳞茎中可溶性糖含量, B2、B3、B4、B5 处理分别比对照提高 6.70%、6.22%、5.91%、4.86%。而蒜薹中分别比对照高 42.10%、15.77%、15.12% 和 21.86%。由此说明, 当土壤硼浓度达 B2($0.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 时, 较有利于可溶性糖的积累; 在此基础上, 若再增加, 反而开始降低其含量。

由图 2 可以看出, 土壤有效硼较高时, 可降低鳞茎中游离氨基酸的含量。B2、B3、B4、B5 处理分别比对照降低 4.24%、18.09%、2.48%、16.68%。而蒜薹中游离氨基酸含量分别比对照提高 13.54%、6.28%、9.52% 和 20.79%。

表 2 硼对大蒜叶片光合色素含量的影响

Table 2 Effect of boron on photosynthetic pigment content in garlic leaf

土壤硼水平 Boron levels in soil ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 a Chla ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	叶绿素 b Chlb ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	胡萝卜素 Car ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	叶绿素(a+b) Chl(a+b) ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)
0.33(B1)	0.489cC	0.088bAB	0.128cC	0.577cC
0.62(B2)	0.558bB	0.101bAB	0.142bB	0.659bB
0.85(B3)	0.710aA	0.140aA	0.173aA	0.850aA
1.10(B4)	0.582abB	0.115abAB	0.146bB	0.697bB
1.29(B5)	0.445dD	0.080bB	0.116dD	0.525dD

表 3 硼对大蒜叶片光合参数的影响

Table 3 Effect of boron on photosynthetic parameter in garlic leaf

土壤硼水平 Boron levels in soil ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	蒸腾速率 E ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 Gs ($\text{m mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光合速率 Pn ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Ci ($\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$)
0.33(B1)	1.960cC	208.5bAB	18.70bAB	218.0aA
0.62(B2)	2.045cBC	212.520bAB	20.25aAB	204.0abA
0.85(B3)	2.505aA	235.0aA	20.50aA	209.5abA
1.10(B4)	2.245bB	195.0bB	19.50abAB	193.0bA
1.29(B5)	1.280dD	101.5cC	18.50bB	66.0cB

表 4 硼对大蒜蒜薹及鳞茎产量的影响

Table 4 Effect of boron on the yield of bolt and bulb

土壤硼水平 Boron levels in soil ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	平均单头鲜重 Average weight of single bulb (g)	增幅 Increase range (%)	平均单薹鲜重 Average weight of single bolt (g)	增幅 Increase range (%)
0.33(B1)	36.96	-	7.698	-
0.62(B2)	40.628	9.92	8.139	5.73
0.85(B3)	45.675	23.58	10.108	31.31
1.10(B4)	44.99	21.73	8.783	14.09
1.29(B5)	33.89	-8.31	7.455	-3.16

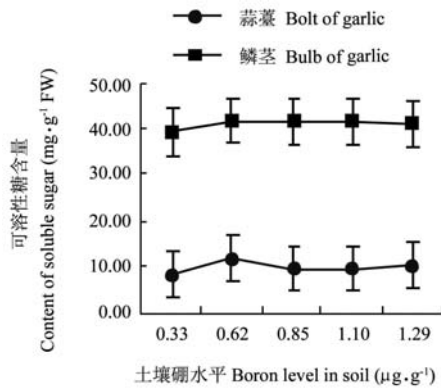


图 1 土壤硼水平对可溶性糖含量的影响
Fig. 1 Effect of boron level in soil on soluble sugar content

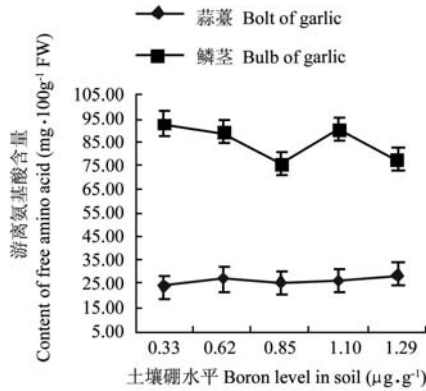


图 2 土壤硼水平对游离氨基酸含量的影响
Fig. 2 Effect of boron level in soil on free amino acid content

如图 3 所示, 施硼处理明显提高鳞茎 Vc 含量, 且与对照差异显著。B2、B3、B4、B5 处理分别比对照提高 110%、73.33%、110%、232.22%, 呈倍数增加, 且土壤硼浓度越高 Vc 含量越高。而蒜薹中 Vc 含量与鳞茎规律相似, 但只有 B2 高出对照 43.68%, 其余处理 Vc 含量开始下降。

由图 4 可知, 硼对可溶性蛋白质含量的影响差异不显著。在一定土壤硼浓度(B2~B4)范围内, 施硼对可溶性蛋白质含量影响不大, 较高硼浓度 B5(1.29 μg·g⁻¹)可显著提高其含量, 鳞茎和蒜薹中可溶性蛋白质含量分别对照提高 33.28%和 13.82%。叶片与鳞茎及蒜薹的可溶性蛋白质含量存在一定的相关性。

图 5 所示, 土壤施硼可提高鳞茎中大蒜素的含量, 且在一定土壤硼浓度基础上, 增施硼肥可大大提高大蒜素含量, B3、B4、B5 处理分别比对照提高 6.35%、

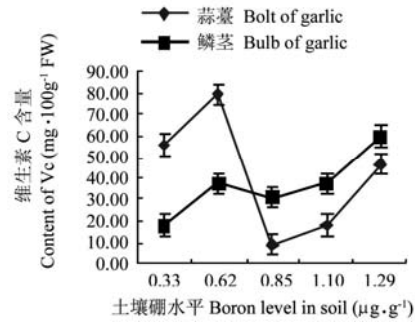


图 3 土壤硼水平对 Vc 含量的影响
Fig. 3 Effect of boron level in soil on Vc content

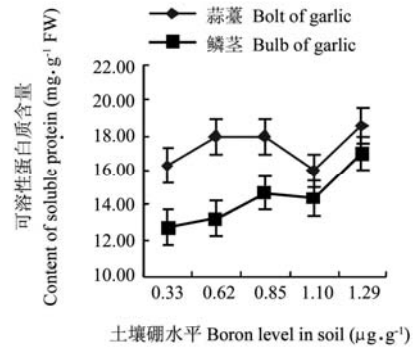


图 4 土壤硼水平对可溶性蛋白质含量的影响
Fig. 4 Effect of boron level in soil on soluble protein content

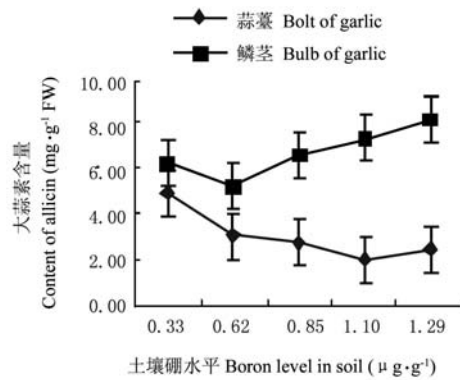


图 5 土壤硼水平对大蒜素含量的影响
Fig. 5 Effect of boron level in soil on alliin content

16.94%、30.84%。但高硼浓度下却大大降低蒜薹中大蒜素含量, 分别下降 37.71%、44.27%、59.18%和 50.59%。其原因可能是: 硼在植物体内不易转移, 且蒜薹的生育期较短, 所以硼对其影响较小, 而鳞茎恰好相反。

3 讨论

硝酸还原酶是诱导酶, 是植物体内氮素同化的关键酶, 它催化植物体内的硝酸盐还原为亚硝酸盐, 直接影响 NH_4^+ 的合成速度, 间接影响氨基酸和蛋白质的合成。植物体内 NR 活性的高低直接关系到土壤中无机氮的利用率, 进而影响作物的产量和品质^[18]。而 POD、SOD 和 CAT 是植株体内的保护酶, 其活性高低反映了植株的生理活性状况。

祖艳群等^[19]提出, 硼可促进蛋白质合成和硝酸还原酶活性及菌根的生长, 有助于增强固氮能力, 而且硼能影响叶绿体结构, 促进糖的运输。根据超氧学说原理, SOD 活性下降和 MDA 的存在都会影响膜透性, 从而影响植物的正常代谢^[20]。缺硼可导致叶绿素含量减少, 其原因可能与超氧自由基 (O_2^-) 的存在有关。因植物体内形成的 O_2^- 由 SOD 消除, 缺硼时 SOD 活性降低, 导致 O_2^- 积累, O_2^- 能促进叶绿素的降解, 从而降低叶绿素含量, 而叶绿体是植物光合作用的主要场所, 故使光合作用下降, 最终影响植株的正常生长。本试验结果表明, 当土壤有效硼浓度达到 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 硝酸还原酶、POD、SOD、CAT 活性及蛋白质含量较高, 耿明建等^[21]的研究也得出了同样结论。而且, 大蒜在此浓度时, 叶绿素含量及光合速率较高, 且其鳞茎和蒜薹产量也较高, 说明此浓度有利于大蒜生长。

硼对禾谷类作物的产量和籽粒蛋白质含量具有良好的作用。Zou B J 等^[22]在甜菜中也发现, 施硼不仅增加块根的产量, 而且增加糖含量和总糖量, 促进营养平衡。据张中星^[23]黄瓜喷硼肥试验 Vc 提高 2.24 倍, 喷硼、锌合肥, Vc 含量更高。白菜施硼、锌肥, Vc 含量提高 20%~30%。本研究表明, 土壤施硼可提高鳞茎及蒜薹中可溶性糖含量, 但差异不显著。沈振国等^[24]研究也发现, 正常硼 ($0.87 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 条件下, 花粉在发育过程中积累丰富的可溶性糖和淀粉, 缺硼 ($0.25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 使花药中糖和淀粉积累减少, 硼过量 ($9.54 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 也有降低花药的可溶性糖和淀粉含量的趋势。刘鹏等^[25]也研究指出施钼或硼促使大豆籽粒的蛋白质含量提高, 使大豆籽粒总氨基酸含量和必需氨基酸含量较对照明显增加。土壤高浓度有效硼 $1.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 可极大提高鳞茎中大蒜素、可溶性蛋白质及 Vc 的含量, 而且在此浓度下, 蒜薹中游离氨基酸和可溶性蛋白质含量也分别比对照提高 20.79% 和 13.82%。蒜薹中可溶性糖和 Vc 含量却在土壤硼浓度达 $0.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时最

高。由以上结论可知, 为提高大蒜鳞茎及蒜薹中不同营养指标, 施硼肥量亦应不同。

4 结论

本试验结果表明, 当土壤有效硼浓度为 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜叶片 POD、SOD 活性、可溶性蛋白质含量、光合色素含量及光合参数均达最高; 硝酸还原酶及 CAT 活性随土壤施硼浓度的提高而增强。同时, 当土壤有效硼浓度达 $0.85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜鳞茎单重和单薹重分别比对照高 23.58% 和 31.31%。而当土壤有效硼浓度达 $1.29 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时, 大蒜鳞茎中大蒜素、可溶性蛋白质、Vc 含量分别提高 30.84%、33.28% 和 232.22%, 显著高于对照。而且在此浓度下, 蒜薹中游离氨基酸和可溶性蛋白质含量也分别比对照提高 20.79% 和 13.82%。蒜薹中可溶性糖和 Vc 含量却在土壤硼浓度达 $0.62 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 时最高。

References

- [1] 刘世琦. 蔬菜栽培学. 北京: 金盾出版社, 1998: 121.
Liu S Q. *Culture of Vegetable*. Beijing: Jin Dun Press, 1998: 121. (in Chinese)
- [2] 刘世琦. 优化施肥对大蒜产量效应分析. 见: 山东自然科学研究进展 (上). 济南: 山东科技出版社, 1993: 312.
Liu S Q. Domino effect analysis of optimizing fertilization on yield of garlic. In: *Advance on Natural SCI Shandon*, Jinan: Shan Dong Science and Technology Press, 1993: 312. (in Chinese)
- [3] 张翔, 朱洪勋, 孙春河. 大蒜氮磷钾营养吸收规律与平衡施肥研究. 土壤肥料, 1998 (2): 10-13.
Zhang X, Zhu H X, Sun C H. Study on uptake of NPK and balance fertilization. *Soil Fertilizer*, 1998 (2): 10-13. (in Chinese)
- [4] 谢青, 魏文学, 王运华. 硼对棉花繁殖器官解剖结构的影响. 华中农业大学学报, 1991, 10: 177-179.
Xie Q, Wei W X, Wang Y H. Effect of boron on anatomical structure of cotton reproductive organs. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 1991, 10: 177-179. (in Chinese)
- [5] 胡秋辉, 徐光璧, 史瑞和. 不同油菜品种硼素营养的遗传性差异机理研究. 南京农业大学学报, 1990, 13 (1): 80-86.
Hu Q H, Xu G B, Shi R H. Mechanism study on genetic differences of boron of different rapes. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1990, 13 (1): 80-86. (in Chinese)
- [6] Dickinson D B. Influence of borate and pentaerythritol concentrations on germination and tube growth of *Lilium longiflorum* pollen. *Journal of America Society of Horticulture Science*, 1978, 103: 413-416.

- [7] Dugger W M. Boron in plant metabolism In: Laiichli A, Bielecki R L. eds. *Inorganic Plant Nutrition, Encyclopedia of Plant Physiology (New Series)*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 1983, 15: 627-650.
- [8] Vasil I K. Effect of boron on pollen germination and pollen tube growth. In: Linskens H F ed. *Pollen Physiology and Fertilization*. North-Holland, Amstendam, 1964:107-119.
- [9] 施木田, 陈如凯. 锌硼营养对苦瓜产量品质与叶片多胺、激素及衰老的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(1): 77-80.
Shi M T, Cheng R K. Effects of zinc and boron nutrition on balsam pear (*Momordica charantia*) yield and quality, and polyamines, hormone, and senescence of its leaves. *China Journal Application Ecology*, 2004, 15(1): 77-80. (in Chinese)
- [10] 刘春生, 杨守祥. 农业化学分析. 北京: 中国农业大学出版社, 1996: 21-23, 32-34, 43-45.
Liu C S, Yang S X. *Agriculture Chemistry Analysis*. Beijing: China Agricultural University Press, 1996: 21-23, 32-34, 43-45. (in Chinese)
- [11] 鲁如坤. 土壤农化分析. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 108-110, 219-224.
Lu R S. *Soil and Agrochemistry Analysis*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000: 108-110. (in Chinese)
- [12] Health R L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Architecture Biochemistry Biophysiology*, 1968, 125: 189-198.
- [13] Omran R G. Peroxide levels and the activities of catalase, peroxidase and indoleacetic acid oxidase during and after chilling cucumber seedlings. *Plant Physiology*, 1980, 65(2): 407-408.
- [14] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 156-157, 68-72, 100-103, 123-125, 57-60.
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. *Experiment Directions of Plant Physiology*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998: 156-157, 68-72, 100-103, 123-125, 57-60. (in Chinese)
- [15] 宁正祥. 食品成分分析手册. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 313-314.
Ning Z X. *The Analysis of Food Composition*. Beijing: China Light Industry Press, 1998: 313-314 (in Chinese)
- [16] 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. *湖南农业大学学报*, 1998, 24(3): 235-237.
Qu S C, Zhou P H. The extraction of diallyl thiosulfonate and the analysis of chemical composition of garlic oil and the residue. *Journal of Hunan Agricultural University*, 1998, 24(3): 235-237. (in Chinese)
- [17] 白厚义, 肖俊章. 试验研究及统计分析. 西安: 世界图书出版公司, 1998: 125-126.
Bai H Y, Xiao J Z. *Experimental Research and Statistical Analysis*. Xi'an: World Book Press, 1998: 125-126. (in Chinese)
- [18] 白宝璋, 田纪春, 王清连. 植物生理学. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 12.
Bai B Z, Tian J C, Wang Q L. *Plant Physiology*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1996: 12. (in Chinese)
- [19] 祖艳群, 林克惠. 硼在植物体内中的作用及对作物产量和品质的影响. *云南农业大学学报*, 2000, 12(4): 359-363.
Zu Y Q, Lin K H. The role of boron in plants and its effect on the yield and quality of crops. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2000, 12(4): 359-363. (in Chinese)
- [20] Shorrocks V M. Boron-recent developments and some views on its role in plants. *International Symposium on the Role of Sulfur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition*. 1993: 357-368.
- [21] 耿明建, 曹亨云, 朱端卫, 刘武定, 皮美美. 硼对甘蓝型油菜不同品种幼苗生理特性的影响. *植物营养与肥料学报*, 1999, 5(1): 81-84.
Geng M J, Cao H Y, Zhu D W, Liu W D, Pi M M. Effect of boron deficiency on physiological characteristics of different rape cultivars at seedling stage. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1999, 5(1): 81-84. (in Chinese)
- [22] Zou B J. Effect of micronutrients B and Zn on crop nutrient balance. *International Symposium on the Role of Sulfur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition*. 1993: 344-351.
- [23] 张中星, 程 滨. 白菜对锌、硼营养的吸收规律及效应的研究. *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. *Soil Fertilizer*, 1997(2): 27-29. (in Chinese)
- [24] 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. *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 rapeseed plant. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(1): 51-56. (in Chinese)
- [25] 刘 鹏, 杨玉爱. 钼、硼对大豆品质的影响. *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. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(2): 184-189. (in Chinese)