

18 种蔬菜品种对硼毒害敏感性的研究

刘术新¹, 郑海峰², 丁枫华^{1,3}, 王 果¹

(1.福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2.福建省农产品质量安全检验检测中心, 福建 福州 350000; 3.丽水学院, 浙江 丽水 323000)

摘 要:通过对不同浓度硼胁迫下豇豆、菜心、黄瓜等 18 种常见蔬菜幼苗水培试验,筛选对硼毒害敏感性较高的蔬菜种类。结果表明,黄瓜、豇豆、红豇豆的硼毒害症状表现最明显,在高硼处理后第 2 d 即出现明显的毒害症状,而空心菜和甘蓝的硼毒害症状表现最不明显。各种蔬菜的株高和地上部鲜重都随培养液中硼浓度的升高而降低,除个别蔬菜种类外,株高和地上部鲜重与培养液中硼浓度之间均呈显著相关。红豇豆和豇豆地上部鲜重的降低最显著,而红萝卜、金峰大白菜、松花菜、新冠和甘蓝地上部鲜重的降低最不明显。在症状表现和地上部鲜重降低显著的蔬菜种类中,选择地上部鲜重降低最显著(EC_{20} 值最小)的蔬菜作为对硼毒害最敏感的蔬菜品种,据此确定红豇豆为对硼毒害最敏感品种。

关键词:硼;毒害;蔬菜;敏感性; EC_{20}

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2009)10-2017-06

The Sensibility of 18 Vegetable Species to Boron Toxicity

LIU Shu-xin¹, ZHENG Hai-feng², DING Feng-hua^{1,3}, WANG Guo¹

(1.College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002,China; 2.Fujian Agricultural Products Quality and Safety Inspection Center, Fuzhou 350000,China; 3.Lishui University, Lishui 323000,China)

Abstract: It is necessary to study the threshold of the soils of boron toxicity to crops in order to establish boron criteria in the soils for evaluating soil boron pollution and better managing boron polluted soils. Selection of the most boron-toxic vegetable is important for the above objective. A series of water-culture experiments with different boron concentrations in the culture solutions and the seedlings of 18 vegetable species commonly cultivated in Fujian Province, southeast of China, were conducted in order to compare the sensibility to boron toxicity of the vegetables and select the most boron-toxic sensible vegetable species. The results showed that the boron-toxic symptoms appeared more obviously on cucumber, cowpea and red cowpea than on the others. The symptoms appeared on the sensible vegetables as early as 2 days after the water culture with higher boron concentrations. On the contrary, water spinach and cabbage did not show apparent boron-toxic symptoms suggesting that the two vegetables were more tolerant to boron toxicity. The plant heights and the shoot fresh weights of all the vegetables decreased with the increase of boron concentrations in the culture solutions and showed significant correlations with each other with only few exceptions. The shoot fresh weights of red cowpea and cowpea decreased more dramatically than the other vegetable species whereas those of carrot, Jinfeng cabbage, egg dishes, pakchoi (new crown) and cabbage decreased the least. The vegetable that had the most obvious boron-toxic symptoms and the lowest EC_{20} value (the boron concentration at which the fresh shoot weight decreased by 20%) was selected as the most boron-toxic sensible vegetable. Therefore, the most boron-toxic sensible vegetable species was red cowpea of which the EC_{20} was only $3.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ boron.

Keywords: boron; toxicity; vegetables; sensibility; EC_{20}

硼是维管植物的一种必需微量元素^[1],在土壤中无论是缺乏还是达到毒害浓度都会影响作物生长、严

重限制作物产量。近年来,由于大量使用富含硼肥料、灌溉水、污泥及灰分,使得土壤中硼含量升高,因此硼毒害问题引起了广泛的关注^[2-3]。

目前世界上还没有确定硼的土壤环境标准值。环境标准值的确立应首先在不同土壤、不同作物上建立适合的环境基准值,而环境基准的确定最关键的是生态受体的选择^[4-5]。Eaton 通过叶片灼伤的比率来划分

收稿日期:2009-03-17

基金项目:中央环保专项基金(财建[2007]661号)

作者简介:刘术新(1984—),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事土壤污染生态与营养化学的研究。E-mail:lsx0476@163.com

通讯作者:王 果 E-mail:gwang572003@yahoo.com.cn

耐硼品种^[6-7], Francois 用产量的降低确定番茄、甘蓝、花椰菜、萝卜、芹菜、生菜、蒜和洋葱对硼的耐性^[8-11]。这些研究都没有将毒害的表观症状与生物量的降低结合在一起来判断作物对硼毒害的敏感性。并且到目前为止,世界上仍没有针对建立土壤环境质量标准而筛选硼敏感生态受体的研究。鉴于此,通过蔬菜苗期水培试验,研究了18种常见蔬菜在高硼胁迫下各种蔬菜对硼敏感性的差异,综合表观硼毒害症状、株高和地上部鲜重来确定蔬菜对硼的敏感性,表观毒害症状的观察记录分类为实际生产中表观判断作物是否受硼毒害提供可借鉴的依据;并通过比较系统的方法筛选硼的高敏感蔬菜——为环境基准值的建立选择合适的生态受体,为通过生态效应法确定硼的土壤环境质量标准奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

蔬菜品种为:番茄 *L. esculentum* Mill, 莴苣 *L. sativa*(L)(生菜,油麦菜),甘蓝(京丰一号)*B. oleracea* L, 大白菜 *B. pekinensis* Rupr (金峰大白菜,早熟五号),黄瓜 *C. sativus* L, 松花菜 *Var. botrytis* L, 豇豆 *V. sinensis* (L)Savi (豇豆,红豇豆),红萝卜 *F. sinobubec* Makion, 小白菜 *B. chinensis* L.(小白菜,菜心,新冠),芥菜 *B. juncea*(L)Czern.et Cass, 苋菜 *A. mangostanus* L, 上海青 *B. campestris* L, 空心菜 *I. aquatica* Forsk。

1.2 试验处理

1.2.1 种子处理

挑选健康均匀饱满的种子,用一次去离子水清洗,然后用1%次氯酸钠消毒20 min,再用一次去离子水冲洗,放入已消毒的培养皿中,移入25℃气候箱,8 h后清洗,培养皿附有两张分析滤纸,种子放在滤纸上,稍加一次去离子水,再放回气候箱,使种子吸胀萌发。

1.2.2 育苗、移苗

待种子胚根长至0.5 cm左右时,挑选均匀者100粒拨入处理好的河沙培养基中,出苗后每天早晚两次浇pH5.80的1/4 荷格伦特(Hoagland)营养液,保持沙子湿润,利于小苗成长。待小苗培养到2叶1心时,选择长势均匀、根长、叶片大小相近的小苗50株移栽到装有500 mL pH5.80的1/4 荷格伦特(Hoagland)营养液的PVC罐(高14 cm,直径7.5 cm)中,培养一周使小苗适应水环境,再更换为全营养液培养3 d,让小苗适应全营养液环境。然后挑选长势一致、根长、株高几乎

无差别的幼苗21株分别添加不同浓度的硼。每3 d更换1次营养液,每天通气1次。

1.2.3 试验设计

培养蔬菜植株的营养液中硼浓度设为:0.05、0.5、5、10、15、25和50 mg·L⁻¹,共7个水平。缺硼的临界含量为0.5 mg·L⁻¹^[12],本试验以0.5 mg·L⁻¹硼作为对照。硼以H₃BO₃(AR)形式加入营养液,以元素硼计算加入量。每个处理设3个重复,每3 d换1次营养液。植物在温室培养,温度25~35℃,光源为自然光,所有水培罐每天随机排列,并每天通气1次。

1.3 样品的采集与分析

设定硼浓度梯度后,每天观察并记录作物外部形态(根、茎、叶)变化。培养15 d后收获。收获时拍摄照片,测量植株的根长、株高,称量地上部和地下部的鲜重。所有样品分别装入信封中,置于烘干箱95℃杀青30 min,65℃烘干至恒重,分别称量烘干重。

1.4 数据处理

分别根据株高、地上部鲜重与营养液浓度间的最优方程计算对应的EC₂₀值(比对照降低80%的长度及产量)。

2 结果与分析

2.1 硼处理对蔬菜的毒害表现及生长状况的影响

2.1.1 对蔬菜地上部的影响

同种蔬菜生长在不同硼浓度的营养液中,其出现硼毒害的时间不同,高硼(50 mg·L⁻¹)处理的幼苗最先出现毒害症状,出现症状时间见表1。随着营养液中硼浓度的降低,幼苗出现毒害症状的时间延长,但各浓度中的植株表现出来的毒害症状一致。不同种类的蔬菜其毒害症状不同,主要体现在出现毒害症状的部位不同,培养一段时间后毒害表现最严重的部位不同(表1)。

观察发现,各种蔬菜遭受硼毒害的症状表现可分为三类:第一类毒害症状首先出现在下部老叶,叶尖、叶缘失绿,灼伤,脉间失绿出现枯斑,随处理时间的延长,逐渐波及到上部叶片,处理15 d后收获时基部叶片毒害症状最严重,向上部症状逐渐减轻,豇豆、红豇豆、番茄和空心菜属于此类(图1a、b),这是典型的硼毒害症状,田间大麦、燕麦、小麦、豌豆和苜蓿等也观察到此类症状^[13-14],一些观赏植物如当归属、刺芡属、拉拉藤属、番茄属及委陵菜属等也属于这种类型^[15]。第二类毒害症状最先出现在顶端叶片,叶缘失绿黄化,叶片卷曲,症状向局部叶片发展,到处理后期,基部叶

表 1 各蔬菜硼处理期间的症状表现

Table 1 The symptoms appearance of various vegetables

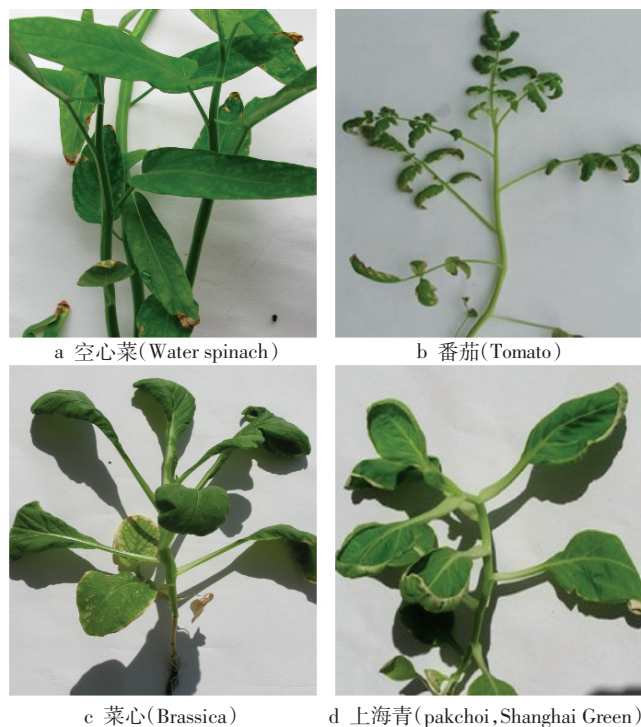
蔬菜种类	蔬菜品种	50 mg·L ⁻¹ 处理最早出现毒害症状的时间/d	各浓度下的植株最早出现毒害症状的部位	收获时植株受毒害最严重的部位	收获时出现毒害的最低浓度/mg·L ⁻¹
豆类	豇豆	2	基部叶片	基部叶片	0.5
	红豇豆	2	基部叶片	基部叶片	0.5
茄果类	番茄	4	基部叶片	基部叶片	5
绿叶类	空心菜	7	基部叶片	基部叶片	25
白菜类	小白菜	4	顶端叶片	中部叶片	5
	早熟五号	6	顶端叶片	中部叶片	5
	上海青	5	顶端叶片	中部叶片	10
	新冠	6	顶端叶片	中部叶片	5
	菜心	5	顶端叶片	基部叶片	10
	金峰大白菜	5	顶端叶片	基部叶片	10
根菜类	红萝卜	5	顶端叶片	基部叶片	5
瓜类	黄瓜	2	顶端叶片	基部叶片	0.5
苋菜类	苋菜	4	顶端叶片	基部叶片	5
莴苣类	生菜	4	顶端叶片	基部叶片	5
	油麦菜	6	顶端叶片	基部叶片	10
芥菜类	芥菜	4	顶端叶片	基部叶片	5
甘蓝类	松花菜	6	顶端叶片	基部叶片	10
	甘蓝	无	无	无	无

片毒害症状加重,叶缘灼伤干枯,浓度越高,干枯面积越大(图 1c),菜心、黄瓜、金峰大白菜、松花菜、红萝卜、苋菜、生菜、油麦菜和芥菜等属于此类型。Francois 报道了芹菜硼毒害的症状最早出现在幼叶,而不是老叶^[8],许多观赏植物品种栒子属、栀子属、女贞属、木犀属、火棘属、石斑木属、婆婆纳属等的硼中毒现象最早出现在顶端幼嫩组织^[15],坚果类如葡萄、橄榄等都属于这种表现型^[13,16-17]。第三类毒害症状最早出现在顶端叶片,叶缘卷曲失绿,整个叶片出现杯状凸起,随后中下部叶片叶缘失绿,变黄,处理后期,中部叶片叶缘干枯严重,随处理时间延长,灼伤面积加大(图 1d),上海青、小白菜、早熟五号、新冠属于此类型,此类症状在以往的研究中未见报道。

各类蔬菜对硼毒害的敏感性不同,同一浓度下的不同种类蔬菜幼苗对硼的反应不同,如生长在 0.5 mg·L⁻¹ 硼培养液中的黄瓜幼苗出现了硼毒害症状,而相同浓度下的空心菜在培养期间没有出现任何症状,培养结束收获时不同种类蔬菜表现出毒害症状的最低浓度不一致,具体见表 1。

2.1.2 对蔬菜根部的影响

各类蔬菜对硼的需求量不同,生长在营养液中的蔬菜幼苗对不同浓度硼的反应不同,部分作物根颜色

图 1 50 mg·L⁻¹ 硼处理 15 d 的植株幼苗的硼毒害症状Figure 1 B-toxic symptoms of crop seedlings cultured in the solutions with 50 mg·L⁻¹ boron for 15 days

没有变化,根长度的变化较小,不测量很难分辨出差异。通过方差分析比较了不同浓度下蔬菜根长的差异性(表 2)。结果表明,早熟五号和番茄在各浓度下的根长相差很小,不存在差异性。红萝卜、新冠、空心菜、豇豆和红豇豆生长在最低硼浓度(0.05 mg·L⁻¹)的溶液中根长最长,根伸展最好,主、侧根都很多,在 0.5 mg·L⁻¹ 硼营养液中生长的根长稍短,根长不存在显著差异。菜心、生菜和苋菜的根长在 0.5 mg·L⁻¹ 硼浓度处理下最长,菜心植株只在此浓度下根生长最好,其他浓度中的根长与此浓度下植株根长比较都达显著差异。上海青和松花菜生长在几个相对低浓度中的幼苗根长变化不大,相互间没有差异性,只有在两个高浓度中生长的幼苗根长较短,与低浓度中的根长达显著性差异水平。甘蓝根生长的最适硼浓度为 15 mg·L⁻¹,50 mg·L⁻¹ 溶液中生长的植株根最短。

尽管蔬菜的根长在最适硼浓度与最不适硼浓度间存在差异,但总体观察分析发现,同种作物生长在不同浓度营养液中的根长没有太大的差别。并且蔬菜根的生长受多因素的影响,种子萌发时受种子内部养分的影响,根长就会不同,子叶长出后利用太阳能进行光合作用,合成有机化学能供自身的需要,这一系列的过程又会带来差异,因此在判断硼毒害对蔬菜生

表 2 各类作物不同硼浓度下根长的比较
Table 2 Comparison of the root lengths of the vegetables treated with different boron concentrations

品种	浓度/mg·L ⁻¹						
	0.05	0.5	5	10	15	25	50
红萝卜	23.6a	22.8ab	22.4ab	20.9ab	20.8ab	18.0ab	16.6b
新冠	23.7a	23.4ab	17.6c	20.2abc	19.2bc	19.0bc	17.4c
早熟五号	20.3a	20.2a	21.0a	23.2a	21.9a	19.0a	17.3a
菜心	21.2c	25.4a	23.4b	22.2bc	21.4c	21.1c	20.6c
生菜	21.5ab	22.6a	18.3c	21.5ab	18.8bc	17.7c	19.5bc
芥菜	20.6b	22.6ab	22.4ab	21.6b	26.9a	21.6b	15.3c
苋菜	27.5a	27.5a	26.6ab	24.8bc	24.2bc	23.4c	22.4c
上海青	20.4a	20.6a	20.1a	18.9a	17.4ab	17.3ab	14.0b
金峰白菜	21.7ab	19.1b	20.6ab	25.0ab	24.8ab	25.5a	25.4a
小白菜	20.7ab	20.9ab	21.6a	20.1ab	17.8ab	17.2ab	16.7b
空心菜	23.9a	22.9a	20.2ab	20.0ab	16.9bc	15.3c	13.5c
松花菜	28.0a	28.3a	28.4a	29.1a	29.8a	25.0b	23.5b
甘蓝	25.0bcd	25.3bc	20.6cd	27.1ab	30.8a	23.2bcd	20.2d
番茄	27.3a	31.3a	31.3a	27.2a	26.9a	26.2a	24.5a
油麦菜	18.6ab	21.4ab	23.4a	18.3b	16.7b	16.9b	16.5b
豇豆	24.5a	22.6ab	21.3ab	21.4ab	19.5b	19.3b	20.4ab
红豇豆	26.6a	24.1ab	22.8ab	21.4b	21.1b	20.9b	20.7b
白皮黄瓜	43.7b	41.6bc	53.9a	35.9c	39.7bc	28.3d	21.9d

注:同行数值间不同字母表明 Duncan's 多重比较差异显著($P<0.05$)。
Note: The different letters in the same line show the significant differences of Duncan's multiple comparisons($P<0.05$).

长的影响时不宜以根作为评价指标。

2.1.3 对蔬菜生长状况的影响

蔬菜幼苗的株高、地上部鲜重与浓度间的关系见表 4。株高、地上部鲜重都随着营养液中硼浓度的增加而降低,降低的程度因品种不同而异。Chiwon W. Lee 研究发现天竺葵的株高、鲜重随肥料中硼浓度的升高而下降^[18]。在供试蔬菜中,有 2/3 以上的蔬菜的株

高、地上部鲜重与浓度间的关系达到了显著、极显著水平。随着营养液中硼浓度的增加,株高受抑制程度加大,株高变矮,影响了地上部的鲜重。地上部鲜重同样随着溶液中硼浓度的升高而降低,降低幅度因品种而异。受到硼毒害后,茎和叶片受到破坏,茎叶的生理功能发生了不同程度的改变,导致了株高与鲜重的变化不一致,因此出现了同种蔬菜的株高与浓度间的关系,地上部鲜重与浓度间的关系不同的现象,如空心菜、松花菜、油麦菜的株高与浓度间的关系达到了显著水平,但是鲜重与浓度间的相关性并不是很好。金峰大白菜和芥菜株高受硼毒害的影响不是很明显,观察期间没有发现高浓度下的植株矮小,但鲜重明显降低。高浓度处理中的小白菜幼苗茎、叶柄细长,叶片相对变小,因处理时间不长(15 d),所以各浓度下的株高没有明显的差异,而生物产量有明显降低,但未达显著水平。甘蓝对硼不敏感,株高和地上部鲜重都没有表现出显著变化。

2.2 硼毒害高敏感蔬菜种类的确定

2.2.1 根据症状表现对蔬菜硼毒害敏感性的分类

根据水培期间蔬菜出现硼毒害的时间、出现毒害的最低浓度及毒害表现症状的轻重程度将蔬菜对硼毒害的敏感性进行分类,共分为 5 大类(表 3)。

2.2.2 根据 EC₂₀ 值对蔬菜硼毒害敏感性的分类

蔬菜生产主要以地上部鲜重计算产量,除根菜类以外,但幼苗期间根菜类也主要以地上部生长状况衡量其生长适应性,因此以株高和地上部鲜重为指标对蔬菜进行硼敏感性分类。株高、地上部鲜重与溶液中硼浓度间的关系见表 4,并计算了不同指标下的 EC₂₀ 值,指标不同 EC₂₀ 值也有差别。

根据株高计算得出的 EC₂₀ 值排序为:红豇豆(13.65 mg·L⁻¹)<早熟五号(19.61 mg·L⁻¹)<上海青

表 3 根据症状表现的蔬菜硼敏感性分类
Table 3 The boron sensibility classification of the vegetables according to the symptoms

类别	品种	症状表现
敏感品种	黄瓜、豇豆、红豇豆	瓜类、豆类出现硼毒害的最低浓度为 0.5 mg·L ⁻¹ ,豇豆和红豇豆处理 15 d 时高浓度(25 和 50 mg·L ⁻¹)处理下的幼苗死亡,茎尖干枯,低浓度(0.5 mg·L ⁻¹)处理植株基部第一片叶叶缘失绿灼伤,脉间有枯斑。黄瓜高浓度(25、50 mg·L ⁻¹)处理下的幼苗到处理后后期茎尖黄化,停止生长,基部 1、2 叶全部干化,上部叶片由叶缘向内部干枯面积加大,顶端叶片卷曲,叶缘灼伤干枯,脉间失绿黄化。
较敏感品种	小白菜、早熟五号、新冠、红萝卜、苋菜、番茄、生菜、芥菜	出现硼毒害的最低浓度为 5 mg·L ⁻¹ ,毒害严重部位叶片卷曲,叶缘灼伤干枯面积较大,高浓度(50 mg·L ⁻¹)处理下的植株没有死亡,抑制了作物的生长,长势较弱。
耐硼品种	菜心、上海青、金峰大白菜、松花菜、油麦菜	生长在 10 mg·L ⁻¹ 或更高硼浓度处理中的植株出现了毒害症状,毒害严重部位叶片叶边缘黄化干枯,顶端正常,受硼毒害的影响较轻。
较耐硼品种	空心菜	高浓度(25 和 50 mg·L ⁻¹)处理中出现毒害现象,基部叶片脉间失绿,严重部位叶尖黄化灼伤,植株生长没有受到抑制。
高耐硼品种	甘蓝	对硼毒害不敏感,处理期间所有浓度的植株未观察到毒害症状。

(20.75 mg·L⁻¹)<茼蒿 (30.82 mg·L⁻¹)<红萝卜 (31.53 mg·L⁻¹)<菜心 (32.92 mg·L⁻¹)<豇豆 (40.10 mg·L⁻¹)<黄瓜 (44.42 mg·L⁻¹)<番茄 (47.60 mg·L⁻¹)<生菜 (48.74 mg·L⁻¹)<油麦菜 (53.32 mg·L⁻¹)<金峰大白菜 (58.73 mg·L⁻¹)<松花菜 (64.04 mg·L⁻¹)<新冠 (65.57 mg·L⁻¹)<空心菜 (74.27 mg·L⁻¹)<芥菜 (178 mg·L⁻¹)<甘蓝 (200.60 mg·L⁻¹)<小白菜 (227.78 mg·L⁻¹)。

根据地上部鲜重计算 EC₂₀ 值排序为: 红豇豆 (3.36 mg·L⁻¹)<豇豆 (5.57 mg·L⁻¹)<油麦菜 (14.56 mg·L⁻¹)<菜心 (16.94 mg·L⁻¹)<上海青 (19.81 mg·L⁻¹)<黄瓜 (22.94 mg·L⁻¹)<空心菜 (26.44 mg·L⁻¹)<番茄 (32.43 mg·L⁻¹)<茼蒿 (38.58 mg·L⁻¹)<小白菜 (43.98 mg·L⁻¹)<生菜 (46.14 mg·L⁻¹)<早熟五号 (48.38 mg·L⁻¹)<芥菜 (51.06 mg·L⁻¹)<红萝卜 (57.13 mg·L⁻¹)<金峰大白菜 (57.74 mg·L⁻¹)<松花菜 (60.95 mg·L⁻¹)<新冠 (63.93 mg·L⁻¹)<甘蓝 (68.02 mg·L⁻¹)。

同一蔬菜品种通过株高和地上部鲜重得出的 EC₂₀ 值差异较大, 通过株高求出的 EC₂₀ 值普遍大于通过地上部鲜重求出的 EC₂₀ 值, 只有茼蒿和早熟五号相反, 可见在硼毒害条件下地上部鲜重的降低比株高的降低更加敏感, 对硼比较敏感的蔬菜更是如此。

红豇豆的两个指标的 EC₂₀ 值都是最小的, 可见红豇豆对硼毒害最敏感, 属于硼敏感品种。

与地上部鲜重减产 20% 对应的营养液中硼浓度值小, 更接近试验观察状况, 可见地上部鲜重更能反映蔬菜对硼毒害的敏感性, 所以根据地上部鲜重的 EC₂₀ 值对 18 种蔬菜敏感性进行多目标聚类, 聚成 5 类 (表 5)。

表 5 根据 EC₂₀ 值的蔬菜硼敏感性分类

Table 5 The B sensibility classification of the vegetables according to EC₂₀ values

种类	硼敏感	硼较敏感	耐硼	较耐硼	最耐硼
品种	红豇豆 豇豆	菜心 油麦菜 黄瓜 上海青 空心菜	茼蒿 番茄	生菜 小白菜 早熟五号 芥菜	红萝卜 金峰大白菜 松花菜 新冠 甘蓝

根据 EC₂₀ 值的聚类结果, 红豇豆、豇豆属于硼敏感品种; 根据症状表现, 黄瓜、豇豆和红豇豆属于硼敏感品种。说明产量的降低和症状的表现基本吻合, 但又不完全吻合。在硼毒害条件下, 黄瓜的毒害症状表现最为强烈: 高浓度 50 mg·L⁻¹ 硼处理下的幼苗在处理的第 2 d 出现了毒害症状, 处理后期茎尖黄化停止

表 4 不同种类蔬菜株高、地上部鲜重与硼处理浓度间的关系及相应的 EC₂₀ 值

Table 4 The relationships between the heights, the shoot fresh weights and B concentrations and the corresponding EC₂₀ values

品种	株高		地上部鲜重	
	最优回归方程	EC ₂₀ /mg·L ⁻¹	最优回归方程	EC ₂₀ /mg·L ⁻¹
黄瓜	$Y^{**} = -0.010 \ 2x^2 + 0.067 \ 5x + 84.009$	44.42	$Y^{**} = -0.281 \ 5x + 28.459$	22.94
红萝卜	$Y^{**} = -0.061 \ 4x + 25.811$	31.53	$Y^{*} = -0.043 \ 9x + 11.208$	57.13
茼蒿	$Y^{*} = -0.074 \ 7x + 32.806$	30.82	$Y^{**} = -0.091 \ 8x + 13.415$	38.58
豇豆	$Y^{*} = 0.008 \ 1x^2 - 1.096 \ 6x + 114.99$	40.10	$Y^{**} = 0.005 \ 5x^2 - 0.425 \ 6x + 9.557 \ 4$	5.57
红豇豆	$Y^{**} = 0.029 \ 8x^2 - 2.531 \ 7x + 137.41$	13.65	$Y^{**} = 0.007x^2 - 0.465x + 8.854 \ 8$	3.36
菜心	$Y^{**} = 0.004 \ 1x^2 - 0.347 \ 8x + 25.406$	32.92	$Y^{**} = -0.090 \ 9x + 12.701$	16.94
上海青	$Y^{*} = -0.098 \ 7x + 22.488$	20.75	$Y^{**} = -0.066 \ 3x + 9.747 \ 3$	19.81
空心菜	$Y^{*} = -0.215 \ 3x + 96.79$	74.27	$Y = -0.047 \ 6x + 10.112$	26.44
番茄	$Y^{**} = -0.220 \ 4x + 59.802$	47.60	$Y^{**} = -0.082 \ 4x + 18.13$	32.43
生菜	$Y^{**} = -0.007 \ 6x^2 + 0.311 \ 4x + 21.235$	48.74	$Y^{**} = -0.005x^2 + 0.209 \ 8x + 5.556 \ 9$	46.14
金峰大白菜	$Y = -0.004x^2 + 0.158x + 20.316$	58.73	$Y^{**} = -0.005 \ 2x^2 + 0.256 \ 1x + 13.986$	57.74
松花菜	$Y^{**} = -0.004x^2 + 0.196 \ 3x + 20.402$	64.04	$Y = -0.001 \ 1x^2 + 0.052 \ 6x + 4.539 \ 8$	60.95
油麦菜	$Y^{*} = -0.096 \ 2x + 30.697$	53.32	$Y = -0.058 \ 9x + 6.962 \ 3$	14.56
小白菜	$Y = 0.020 \ 3x + 21.944$	227.78	$Y = -0.002 \ 7x^2 + 0.059 \ 6x + 11.197$	43.98
新冠	$Y = -0.002 \ 3x^2 + 0.083 \ 7x + 17.521$	65.57	$Y^{**} = -0.120 \ 2x + 16.281$	63.93
早熟五号	$Y^{*} = -0.120 \ 8x + 21.571$	19.61	$Y^{*} = -0.001 \ 2x^2 + 0.026 \ 6x + 6.398 \ 1$	48.38
芥菜	$Y = -0.028x + 19.264$	178.00	$Y^{*} = -0.004 \ 7x^2 + 0.193 \ 2x + 7.198 \ 7$	51.06
甘蓝	$Y = -0.024 \ 8x + 20.455$	200.60	$Y = -0.003x^2 + 0.166 \ 5x + 6.733 \ 4$	68.02

注: *, ** 分别表示达 5% 显著水平和 1% 极显著水平。

Note: *, ** means 5% significant level and 1% significant level, respectively.

生长;低浓度 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼处理下的幼苗在处理第 12 d 出现毒害症状,顶端叶片叶缘失绿。但黄瓜通过地上部鲜重求出的 EC_{20} 值为 22.94,是红豇豆的 6.8 倍、豇豆的 4.1 倍,表明在硼毒害条件下黄瓜产量的降低远不如红豇豆和豇豆明显。鉴于产量的降低是衡量对农作物毒害效应的常用指标,宜在综合分析的基础上,以产量降低效应为主确定高敏感蔬菜。按此原则,红豇豆是所有供试蔬菜中对硼最敏感的品种。

3 结论

硼毒害处理期间各类蔬菜表观毒害症状表现出三类:第一类毒害症状首先出现在顶端叶片,随处理时间延长毒害最严重部位为基部叶片;第二类毒害症状首先出现在基部叶片,随处理时间延长毒害最严重部位也为基部叶片;第三类毒害症状首先出现在顶端叶片,随处理时间延长毒害最严重部位为中部叶片。前两种类型跟以往试验结果相同,第三类毒害症状在前人的研究中未见报道,为农业生产中判断是否发生硼毒害提供依据。

根据水培期间蔬菜出现硼毒害的时间、出现毒害的最低浓度及毒害表观症状的轻重程度将蔬菜对硼毒害的敏感性进行了分类,黄瓜、豇豆和红豇豆属于硼敏感品种, $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度处理下的植株出现了毒害症状,高硼浓度($50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理下的植株在处理开始后的第 2 d 就出现了毒害症状。根据地上部鲜重减产 20% 的蔬菜生长浓度 EC_{20} 值将各类蔬菜对硼的敏感性进行分类,结果红豇豆和豇豆属于硼敏感品种。

结合表观毒害症状和 EC_{20} 值,最终确定红豇豆是供试蔬菜中对硼最敏感的作物——建立环境基准的敏感生态受体。

参考文献:

- [1] Ute R, John H P, Megan G F, et al. An investigation of boron toxicity in barley using metabolomics[J]. *Plant Physiology*, 2006, 142: 1087–1101.
- [2] Nable R O, Banuelos G S, Paull J G. Boron toxicity[J]. *Plant and Soil*, 1997, 193: 181–198.
- [3] Parks J L, Edwards M. Boron in the environment [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2005, 35: 81–114.
- [4] 周启星, 罗 义, 祝凌燕. 环境基准值的科学研究与我国环境标准的修订[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 1–5.
- ZHOU Q X, LUO Y, ZHU L Y. Scientific research on environmental benchmark values and revision of national environmental standards in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1): 1–5.
- [5] 王绛辉, 陈 凯, 马义兵, 等. 土壤环境质量标准的有关问题探讨[J]. *山东农业科学*, 2007, 5: 131–134.
- WANG J H, CHEN K, MA Y B, et al. Discuss of the relevant questions of soil environmental quality standards [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2007, 5: 131–134.
- [6] Eaton F M. Deficiency, toxicity and accumulation of boron in plants[J]. *J Agr Res*, 1944, 69: 237–277.
- [7] Cervilla L M, Begon A B, Rios J J, et al. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity[J]. *Annals of Botany*, 2007, 100: 747–756.
- [8] Francois L E. Effect of excess boron on tomato yield, fruit size, and vegetative growth[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1984, 109: 322–324.
- [9] Francois L E. Effect of excess boron on broccoli, canuliflower, and radish[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1986, 111: 494–498.
- [10] Francois L E. Yield and quality responses of garlic and onion to excess boron[J]. *Hort Sci*, 1991, 26: 547–549.
- [11] Francois L E. Yield and quality responses of celery and crisphead lettuce to excess boron[J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1988, 113: 538–542.
- [12] 刘 铮, 等. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 108–112.
- LIU Zheng, et al. Agricultural chemistry of microelements[M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1991: 108–112.
- [13] Sui K Y, John R. Boron toxicity tolerance in crops: a viable alternative to soil amelioration[J]. *Crop Sci*, 2008, 48: 854–865.
- [14] Gupta U C. Deficiency and toxicity symptoms of boron in plants[M]//U. c. Gupta (ed.) Boron and its role in crop production. CRC Press, 1993, Boca Raton, FL.
- [15] Patrick H B, Hening H. Occurrence of sugar alcohols determines boron toxicity symptoms of ornamental species[J]. *J Amer Soc Sci*, 1999, 124: 347–352.
- [16] Uri Y, Alon B G. Boron toxicity in grapevine[J]. *Hort Sci*, 2006, 41: 1698–1703.
- [17] Benlloch M, Arboleda F, Barranco D, et al. Response of young olive tree to sodium and boron excess in irrigation water[J]. *Hort Sci*, 1991, 26: 867–870.
- [18] Chiwon W L, Jong M C, Chun H P. Micronutrient toxicity in seed geranium (*Pelargonium hortorum* Bailey) [J]. *J Amer Soc Hort Sci*, 1996, 121: 77–82.