

锌钼营养对苦瓜产量、叶片多胺、 激素含量与活性氧代谢的影响

施木田¹ 陈如凯²

(1. 福建农林大学园艺学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学农业部甘蔗遗传育种重点开放实验室, 福建 福州 350002)

摘要: 苦瓜(株州长白 *Momordica charantia* cv. Zhuzhou Changbai)叶片喷施硫酸锌和钼酸钠均可显著增加苦瓜产量, 提高叶片多胺(PAs)、抗坏血酸(ASA)、吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA₃)含量以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)的活性, 减少脱落酸(ABA)、丙二醛(MDA)含量和自动氧化速率(AOR), 从而抑制膜脂过氧化, 延缓叶片衰老。苦瓜产量与叶片 IAA、GA₃、PAs、SOD、POD、CAT 呈极显著正相关, 而与 MDA、AOR、ABA 呈极显著负相关, 叶片 MDA 含量与 ABA、AOR 呈极显著正相关, 而与 PAs、IAA、GA₃、SOD、POD、CAT 呈显著负相关。

关键词: 苦瓜; 锌; 钼; 产量; 多胺; 激素; 活性氧代谢

中图分类号: Q945.15

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2004)03-0247-05

Effects of Zinc and Molybdenum Nutritions on Yields, Polyamines, Hormone Contents and Active Oxygen Metabolism in Leaves of Balsam Pear (*Momordica charantia* cv. Zhuzhou Changbai)

SHI Mu-tian¹ CHEN Ru-kai²

(1. College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Key Laboratory of Sugarcane Genetics & Breeding, Ministry of Agriculture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Spraying ZnSO₄·7H₂O and Na₂MoO₄·2H₂O on the leaves of balsam pear (*Momordica charantia* cv. Zhuzhou Changbai) grown in the field could significantly increase the yield of balsam pear and the contents of polyamines (PAs), putrescine (Put), spermidine (Spd), spermine (Spm), indole acetic acid (IAA), gibberellic acid (GA₃) and ascorbic acid (ASA) and the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) in the leaves. It also reduced malondialdehyde (MDA), abscisic acid (ABA) contents and autoxidation rate (AOR) in leaves, which inhibited membrane lipid peroxidation and retarded the senescence of leaves. The statistics analysis showed a significant positive correlation between yields and IAA, GA₃, PAs, SOD, POD, CAT, but a significant negative correlation between yields and MDA, AOR, ABA. Whereas in the leaves, the content of MDA was positively related to the contents of ABA and AOR, but negatively to those of PAs, IAA, GA₃, SOD, POD and CAT.

Key words: Balsam pear; Zinc; Molybdenum; Yields; Polyamines; Hormone; Active oxygen metabolism

植物内源保护系统的抗胁迫能力及生物膜的稳定性是决定植物对逆境胁迫响应特征的关键因素。逆境胁迫, 如缺锌、缺硼、干旱、高盐等均可促使植物体内产生大量的活性氧, 而这些活性氧将启动膜脂过氧化作用, 造成膜系统的氧化损伤^[1,2]。然而, 植

物体内存在着酶保护系统(如 SOD、POD、CAT)和非酶保护系统(如 ASA), 它们的协同作用可以不断地清除细胞中产生的活性氧, 使活性氧维持在一个较低的水平上, 减少细胞膜脂过氧化^[3]。而多胺、IAA、GA₃ 具有刺激植物生长, 延缓植株衰老的作用^[3]。锌

收稿日期: 2003-04-07 接受日期: 2003-07-14

基金项目: 福建省教育厅(JA02213); 永春县人民政府菜篮子办公室资助项目

是植物体内 Cu-Zn-SOD 酶的组成成分^[4], 直接影响生物膜的稳定性。钼通过参与无机磷向有机磷的合成^[5,6], 间接影响膜的稳定性, 而有关锌和钼营养对苦瓜叶片多胺和活性氧代谢的影响还未见报道。为此, 我们开展了锌钼营养对苦瓜产量、叶片多胺、激素和活性氧代谢影响的研究, 旨在为锌和钼肥的合理施用、提高苦瓜产量、改善品质提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验设在福建省永春县石鼓镇桃联村。供试土壤为赤红壤, 质地为中壤, 有机质 17.3 g kg^{-1} , 全氮 1.1 g kg^{-1} , 全磷 1.0 g kg^{-1} , 全钾 18.5 g kg^{-1} , 全锌 25.53 mg kg^{-1} , 全钼 0.98 mg kg^{-1} , 碱解氮(N) 38.39 mg kg^{-1} , 速效磷(P) 30.42 mg kg^{-1} , 速效钾(K) 136.8 mg kg^{-1} , 有效锌 0.69 mg kg^{-1} (1 mol/L HCl 浸提), 有效钼 0.13 mg kg^{-1} (pH3.3 的草酸-草酸铵溶液提取), pH 5.05。

供试肥料为硫酸锌(含 Zn 23%)和钼酸钠(含 Mo 39%), 氮肥为尿素(含 N 46%), 钾肥为氯化钾(含 K_2O 50%), 磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 18%)。每 667 m^2 施用 N 25 kg, P_2O_5 16 kg, K_2O 20 kg 以及土杂肥 1 000 kg, 其中一半的尿素与磷肥、钾肥、土杂肥作为基肥施用, 另一半尿素分 2 次追肥。试验设置 Zn_0Mo_1 、 Zn_1Mo_0 、 Zn_1Mo_1 、 Zn_3Mo_1 、 Zn_1Mo_2 、 Zn_3Mo_2 [Zn 或 Mo 下角标的数字表示每升水中含有 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 Na_2MoO_4 的质量(g)] 6 个处理与 1 个清水处理为对照。小区面积 20.8 m^2 , 共 21 个小区, 随机排列, 重复 3 次。

供试苦瓜品种为“株洲长白苦瓜”(Momordica

charantia cv. Zhuzhou Changbai)。于 2002 年 4 月 15 日播种, 28 日移栽, 每小区植 30 株, 植后 15 d (5 月 13 日) 在叶面喷施 Zn、Mo 营养液, 5 d 后再喷施 1 次, 每试区每次用量 2 L。于 5 月 28 日(花期)和 6 月 18 日(结瓜期)分别取主蔓顶端第 3 位全展叶, 用塑料袋包装后立即放入冰罐中, 带回实验室供分析用。6 月中旬开始收获, 7 月 26 日结束, 计算苦瓜产量。其它管理按常规进行。

1.2 测定方法

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性以及抗坏血酸(ASA)、膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量与自动氧化速率的测定参照杨暹等^[7]的方法; 多胺含量测定参照施木田等^[8]的方法, 植物激素参照方能虎^[9]方法测定。土壤中全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、全锌、有效锌、全钼、有效钼、pH 等均按《土壤农化分析》^[10]进行分析。以上测定均重复 3 次, 取其平均值进行统计分析。

2 结果

2.1 苦瓜产量和叶片内源激素含量

表 1 表明, 在锌、钼缺乏的赤红壤上, 叶面喷施硫酸锌和钼酸钠的苦瓜产量均比对照显著提高, 分别增产 8.97%–13.54% 和 7.72%–13.30%。此时该土壤的有效锌为 0.69 mg kg^{-1} , 有效钼 0.13 mg kg^{-1} , 均低于缺锌(1.5 mg kg^{-1})和缺钼(0.15 mg kg^{-1})临界水平^[10]。由此看来, 在施足氮磷钾肥料的基础上, 叶面喷施浓度为 $1\text{--}3 \text{ g L}^{-1}$ 的硫酸锌和 $1\text{--}2 \text{ g L}^{-1}$ 的钼酸钠均可显著提高苦瓜产量。

表 1 锌钼营养对苦瓜产量、叶片内源激素含量的影响

Table 1 Effects of Zn and Mo nutrients on yields and endogenous hormone contents in leaves of balsam pear

Zn (g L^{-1})	Mo	小区产量 Plot yields*(kg)	IAA ($\mu \text{g kg}^{-1}$ FW)		GA ₃ ($\mu \text{g kg}^{-1}$ FW)		ABA ($\mu \text{g kg}^{-1}$ FW)	
			05-28	06-18	05-28	06-18	05-28	06-18
0	0	72.5±1.5c**	240±2.6c	150±1.5c	41±1.2d	34±1.0d	212±2.5a	254±9.2a
0	1	78.1±2.1b	261±3.0b	171±2.0b	50±1.3cd	40±1.5c	190±2.1b	221±2.8b
1	0	79.0±1.9b	275±3.2ab	182±2.3ab	55±2.1bc	43±1.8bc	182±2.3b	215±5.8b
1	1	81.6±2.0ab	284±4.1ab	185±3.0ab	60±2.3abc	44±2.0bc	175±1.2b	212±1.6b
3	1	83.4±2.2a	289±3.5ab	190±2.9ab	63±2.4ab	45±1.9abc	174±1.3b	210±2.1b
1	2	83.2±2.3a	285±3.1ab	188±3.1ab	62±2.8ab	46±2.1ab	173±1.8b	209±2.4b
3	2	84.4±2.8a	290±2.8a	201±2.8a	67±3.1a	50±2.5a	171±1.9b	201±6.5b

* 小区面积 20.8 m^2 。An area of a plot= 20.8 m^2 。 ** 邓肯氏新复极差测验, 同一字母表示差异未达显著($p=0.05$)水平。Values in columns followed by the same letter do not differ significantly at $p=0.05$ by Duncan's multiple range test. 下同。The same for the following tables.

锌是植物体内 IAA 合成所必需的营养元素, 缺锌导致 IAA 含量下降^[1]。而 IAA 具有促进植物生长和延缓衰老的功效。苦瓜叶面喷施锌钼肥料可以显著提高苦瓜植株叶片 IAA 含量, 而且 IAA 含量随着锌浓度的提高而增加, 但随着生长期的延长, 苦瓜叶片 IAA 含量有下降的趋势 (表 1)。苦瓜叶片 GA₃ 的变化趋势与 IAA 相似, 这与春玉米的研究结果一致^[2]。钼可显著提高苦瓜叶片 IAA 和 GA₃ 含量, 可能是因为钼是硝酸还原酶的组分, 通过硝酸还原酶活性影响植株的氮代谢^[3], 从而影响 IAA、GA₃ 的合成。

一般认为 ABA 是一种胁迫激素, 水分、温度、营养元素缺乏等胁迫均可导致体内 ABA 的积累^[3]。喷

施锌钼肥料后, 苦瓜叶片的 ABA 含量显著下降, 这可能是因为 Mo 是醛氧化酶(AO)和黄嘌呤脱氢酶(XD)的组成成分, 通过这两种酶的活性而影响 ABA 的合成^[5]。

2.2 叶片多胺含量

多胺具有刺激生长、抑制乙烯合成、防止衰老以及提高植物抗逆性的作用^[14, 15]。表 2 表明喷施锌钼肥料的苦瓜叶片多胺含量(包括腐胺、亚精胺、精胺)均比对照显著增加。苦瓜叶片 PAs、Put、Spd、Spm 含量均随着 Mo 或 Zn 浓度的增加而增加, 并以 Zn₃Mo₂ 处理为最高, 说明 Zn、Mo 均可提高苦瓜叶片多胺含量。

表 2 锌钼营养对苦瓜叶片多胺含量的影响

Table 2 Effects of Zn and Mo nutrients on polyamines contents in leaves of balsam pear

Zn (g L ⁻¹)	Mo (g L ⁻¹)	腐胺 Put (nmol g ⁻¹ FW)		亚精胺 Spd (nmol g ⁻¹ FW)		精胺 Spm (nmol g ⁻¹ FW)		多胺 PAs (nmol g ⁻¹ FW)	
		05-28	06-18	05-28	06-18	05-28	06-18	05-28	06-18
0	0	110±3.9d	90±3.1c	30±2.0c	19±1.2c	21±1.5c	12±1.1c	161±3.5d	121±2.5d
0	1	131±4.2c	106±2.4b	36±2.2b	25±2.5b	26±1.6b	17±1.4b	193±4.5c	148±2.1c
1	0	145±4.6bc	112±3.2ab	38±1.9ab	28±2.1ab	29±2.1ab	20±1.5ab	212±3.9b	160±3.0bc
1	1	156±5.3ab	120±3.6a	40±1.5ab	29±1.4ab	30±2.5ab	21±2.0ab	226±4.1ab	170±3.1ab
3	1	158±2.9ab	122±3.9a	42±2.5ab	30±1.4ab	31±1.9ab	22±1.5ab	231±3.5ab	174±2.2ab
1	2	160±3.4ab	121±2.8a	41±2.4ab	32±1.8ab	31±3.1ab	22±1.9ab	232±4.6ab	175±3.1ab
3	2	165±6.0a	126±3.7a	45±3.1a	33±2.6a	32±2.6a	23±2.1a	242±4.4a	182±3.8a

2.3 叶片活性氧代谢

SOD、POD、CAT 是植物清除活性氧的保护酶系, 锌是植物体内 Cu-Zn-SOD 的组成成分^[4], 表 3 表明叶面喷施锌钼肥料后, 苦瓜叶片 SOD 活性均比对照显著增加。叶片 SOD 随着 Zn 或 Mo 浓度的增加而提高, 说明 Zn、Mo 均可影响叶片 SOD 活性。但随着植株的生长, SOD 活性有下降的趋势。

POD、CAT 活性以及 ASA 含量的变化趋势与 SOD 的基本一致(表 3, 4)。

MDA 为膜脂过氧化的产物, 是膜脂氧化的指标之一。MDA 自动氧化速率即可代表组织中清除自由基能力的大小^[3, 21]。从表 4 可以看出, MDA 含量和 MDA 自动氧化速率的变化规律基本一致, 即叶面喷施 Zn、Mo 均可显著降低 MDA 含量和 MDA 自动氧化速率。生物统计结果表明, 叶片 MDA 含量与自动氧化速率($Y=21.70+1.180X$ $r=0.971^{**}$, $n=14$, 下同)、ABA($Y=6.12+0.278X$ $r=0.696^{**}$)呈极显著正相关, 而与 SOD ($Y=89.69-0.146X$ $r=-0.548^{*}$)、POD

表 3 锌钼营养对苦瓜叶片 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

Table 3 Effects of Zn and Mo nutrients on SOD, POD, CAT activities in leaves of balsam pear

Zn (g L ⁻¹)	Mo (g L ⁻¹)	SOD (U mg ⁻¹ Protein)		POD (OD ₄₇₀ mg ⁻¹ Protein min ⁻¹)		CAT (mg H ₂ O ₂ mg ⁻¹ Protein min ⁻¹)	
		05-28	06-18	05-28	06-18	05-28	06-18
0	0	25.8±2.5c	13.8±1.1c	8.6±0.9c	4.2±0.5c	30.3±2.5c	20.4±1.8b
0	1	30.3±3.1bc	15.6±2.0bc	10.6±1.5b	6.1±1.0b	35.9±3.1b	24.8±2.0a
1	0	32.5±3.0b	17.4±1.0ab	12.8±1.8a	6.8±1.1ab	39.2±2.6ab	25.4±2.3a
1	1	34.3±2.5ab	18.2±1.9ab	13.2±1.1a	7.0±1.0ab	40.3±3.2ab	26.0±2.5a
3	1	35.2±2.8ab	18.3±1.5ab	13.6±1.6a	7.3±1.2ab	40.5±2.4a	26.2±1.6a
1	2	35.4±3.3ab	18.7±2.1a	13.4±1.3a	7.4±1.1ab	40.1±3.9ab	26.0±2.1a
3	2	38.1±3.2a	19.1±2.2a	14.2±1.1a	8.1±1.5a	41.2±2.9a	27.2±2.8a

表 4 锌钼营养对苦瓜叶片 ASA、MDA 含量和自动氧化速率(AOR)的影响
Table 4 Effects of Zn and Mo nutrients on ASA, MDA contents and autoxidation rate (AOR) in leaves of balsam pear

Zn (g L ⁻¹)	Mo	ASA (mg g ⁻¹ FW)		MDA (nmol g ⁻¹ FW)		AOR (nmol g ⁻¹ FW)	
		05-28	06-18	05-28	06-18	05-28	06-18
0	0	0.38±0.05b	0.30±0.04b	77.2±4.2a	85.3±4.5a	84.8±6.0a	88.9±4.5a
0	1	0.42±0.10a	0.33±0.05a	62.6±3.1b	66.2±3.2b	70.1±4.2b	75.3±2.5b
1	0	0.42±0.06a	0.34±0.04a	60.5±2.9b	57.9±2.6b	67.8±2.2b	70.5±2.9b
1	1	0.43±0.05a	0.34±0.03a	58.2±3.0b	56.4±3.2b	65.2±3.0b	68.9±2.5b
3	1	0.44±0.10a	0.35±0.02a	56.8±2.4b	55.8±4.0b	64.7±2.5b	66.3±3.8b
1	2	0.43±0.09a	0.35±0.05a	56.7±4.1b	55.6±3.2b	64.6±3.1b	65.6±3.4b
3	2	0.44±0.06a	0.35±0.06a	52.8±2.4b	51.4±2.1b	63.4±2.4b	64.8±2.4b

($Y=81.2-1.29X$ $r=-0.556^*$)、CAT($Y=106.3-0.496X$ $r=-0.588^*$)、IAA ($Y=84.8-0.06X$ $r=-0.547^*$)、GA₃ ($Y=90.67-0.59X$ $r=-0.623^*$)、Put ($Y=93.91-0.25X$ $r=-0.637^*$)、Spd ($Y=87.88-0.815X$ $r=-0.621^*$)、Spm ($Y=83.69-0.964X$ $r=-0.602^*$)、PAs ($Y=92.25-0.166X$ $r=-0.632^*$)呈显著负相关。说明在锌钼缺乏的土壤中,可通过叶面喷施 Zn、Mo 来提高叶片中 PAs、Put、Spd、Spm、IAA、GA₃、CAT 含量以及 SOD、POD、CAT 活性,从而降低 MDA 和 ABA 含量,延缓叶片衰老,提高苦瓜产量。

3 讨论

多胺类化合物以 Put、Spd 和 Spm 分布最广。多胺具有刺激生长、抑制乙烯合成、防止衰老以及提高植物抗逆性的作用^[14,15]。本文中喷施锌钼肥料后苦瓜叶片多胺含量(包括腐胺、亚精胺、精胺)均随着叶面喷施硫酸锌和钼酸钠浓度的增加而增加,与对照有显著差异。说明对锌钼缺乏的土壤中生长的苦瓜适量喷施硫酸锌和钼酸钠,可提高叶片 PAs、Put、Spm、Spd 含量,从而促进植株生长,提高生物膜的稳定性,减缓植物的衰老进程。

植物的衰老与体内 IAA、GA₃、ABA 含量有关,锌在植物内源激素代谢方面的作用早已得到人们的重视。吲哚乙酸(IAA)与赤霉素(GA₃)具有促进植物生长和延缓衰老的功效,而 ABA 则相反^[4]。本研究认为,喷施 Zn、Mo 均可提高苦瓜叶片中 IAA、GA₃ 含量,降低 ABA 含量。这与锌通过影响色氨酸而影响 IAA 合成有关^[12]。Mo 是醛氧化酶(AO)和黄嘌呤脱氢酶(XD)的组成成分,AO 可以氧化玉米胚芽鞘的吲哚-3-乙醛为吲哚乙酸,也可以催化 ABA 生物合成的最后一步,即把脱落醛转变为 ABA。Mo_Co 因子缺失的烟草、大麦和番茄突变体也缺失

ABA-AO 和 XD,因而不能合成 ABA^[5]。由此看来,Mo 可能通过 AO 和 XD 而影响 IAA 和 ABA 的生物合成。至于 Zn 是如何影响 ABA,Mo 是如何影响 GA₃,则有待于进一步的研究。

植物的衰老还与膜脂过氧化密切相关,而膜脂过氧化的程度又与活性氧水平有关。研究表明,氧自由基的主要危害在于引发膜脂过氧化,造成膜脂脱脂和引起膜渗漏,而膜脂过氧化产物 MDA 可使蛋白质交联而变性失活^[16]。植物体中,存在着酶保护系统和非酶保护系统。SOD、POD、CAT 是酶保护系统中最主要的酶,它们的协同作用可以不断地清除细胞中产生的活性氧,使活性氧维持在一个较低的水平上,减少细胞膜脂过氧化,延缓植物的衰老^[3]。缺锌引起的最早生物化学变化是生物膜损伤,缺锌可导致 MDA 的累积^[17]。锌除了作为生物膜结构的组成外,还是植物体内 Cu-Zn-SOD 的成分。缺锌引起体内 Cu-Zn-SOD 活性降低^[4],过氧化氢酶的活性也降低^[18],适量供锌则可提高 Cu-Zn-SOD 活性,可以有效消除过多的活性氧^[19,20],并可能与膜组分中的磷脂和巯基结合或与多肽链中组氨酸形成四面体复合物,从而保护膜上脂类和蛋白质免遭氧化破坏^[4]。Mo 是固氮酶和硝酸还原酶的组分,参与氮代谢,缺钼导致植株不能有效地利用和转化养分,造成植株体内营养分布失衡,抑制 NO₃-N 转化成 NH₃^[5]。因此,对锌钼缺乏的赤红壤中生长的苦瓜适量喷施锌、钼可提高叶片中 SOD、POD、CAT 保护酶的活性,增加 ASA 含量,减少 MDA 和自动氧化速率,降低膜脂过氧化产物的危害,从而减缓叶片衰老^[21]。

本试验表明,适宜的锌、钼营养配施可显著提高苦瓜产量。生物统计结果表明,苦瓜产量与 5 月 28 日采样的叶片中 IAA ($Y=19.24+0.222X$ $r=0.918^*$, $n=7$,下同)、GA₃ ($Y=54.09+0.461X$ $r=0.929^*$)、PAs ($Y=49.20+0.145X$ $r=0.934^*$)、SOD ($Y=46.85+1.010X$

$r=0.958^{**}$)、POD ($Y=55.70+1.991X$ $r=0.961^{**}$)、CAT ($Y=40.47+1.046X$ $r=0.960^{**}$)呈极显著正相关;而与同期采样的叶片MDA ($Y=111.32-0.511X$ $r=-0.971^{**}$)、AOR ($Y=116.32-0.525X$ $r=0.941^{**}$)、ABA ($Y=131.25-0.279X$ $r=-0.979^{**}$)呈极显著负相关,说明不同锌钼处理可通过影响叶片 IAA、GA₃、PAs、SOD、POD、CAT、MDA、AOR、ABA 而减缓植物的衰老进程、促进植物生长,从而影响苦瓜产量。

参考文献

- [1] Bowler C, Van Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance [J]. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1992, 43: 83-116.
- [2] Pallitt K E, Young A, Carotenoids J. Antioxidants in Higher Plants [M]. Boca Raton: CRC Press, 1992. 59-60.
- [3] Zhang F S(张福锁). Environment Stress and Plant Nutrient [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993. 40-83.(in Chinese)
- [4] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants [M]. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 300-364.
- [5] Yu M(喻敏), Wang Y H(王运华). Molybdenum in higher plants [J]. *Chin Bull Bot(植物学通报)*, 1999, 16(5):547-554. (in Chinese)
- [6] Mertens A J, Shiraishi M, Campbell W H. Recombinant expression of molybdenum reductase fragments of plant nitrate reductase at high levels in *Pichia pastoris* [J]. *Plant Physiol*, 2000, 123:743-756.
- [7] Yang X(杨邈), Guan P C(关佩聪). Study on the relationship between drought stress and activated oxygen metabolism of flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis*) leaves [J]. *J South China Agri Univ(华南农业大学学报)*, 1998, 19(2):81-85.(in Chinese)
- [8] Shi M T(施木田), Gan C J(甘纯玑), Peng S Y(彭时尧). Determination of polyamines contents in leaves of plants by HPLC [J]. *Fujian Anal Test(福建分析测试)*, 1995, 4(1):231-232. (in Chinese)
- [9] Fang N H(方能虎), Hou S Q(侯树泉). Determination of hormone in plants by RP-HPLC [J]. *Chromatography(色谱)*, 1998, 16(5): 417-420.(in Chinese)
- [10] Nanjing Agricultural University(南京农业大学). Soil Agro-Chemical Analysis [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986. 32-197. (in Chinese)
- [11] Bettger W J, Dell B L. A critical physiological role of Zn in the structure and function of biomembrane [J]. *Life Sci*, 1981, 28: 1245-1438.
- [12] Gao Z(高质), Lin B(林葆), Zhou W(周卫). Effects of zinc nutrition on endogenous hormone and free radicals in spring maize [J]. *Plant Nutr Fert Sci(植物营养与肥料学报)*, 2001, 7(4):424-428. (in Chinese)
- [13] Shi M T(施木田), Chen R K(陈如凯). Effects of zinc and molybdenum nutrition on yield and quality and nitrogen metabolism in leaves of balsam pear (*M. charantia* cv. Zhuzhou Changbai) [J]. *Chin J Trop Crops(热带作物学报)*, 2003, 24(4): 57-61. (in Chinese)
- [14] Altman A, Kaur-Sawhney R, Galston A W. Stabilization of oat leaf protoplasts through polyamine-mediated inhibition of senescence [J]. *Plant Physiol*, 1977, 60:570-574.
- [15] Borrell A, Carbonell L, Farras R. Polyamines inhibit lipid peroxidation in senescing oat leaves [J]. *Physiol Plant*, 1997, 99: 385-390.
- [16] 吕庆, 郑荣良. 干旱及活性氧引起小麦膜脂过氧化与脱脂化 [J]. *中国科学 C 辑*, 1996, 26:26-32.
- [17] Obata H, Kawamura S, Senoo K, et al. Changes in level of protein and activity of Cu/Zn-superoxide dismutase in zinc deficient rice plant (*Oryza sativa* L.) [J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 1999, 45:891-896.
- [18] Cakmak I, Marschner H. Increase in membrane permeability and exudation in roots of Zn deficient plants [J]. *J Plant Physiol*, 1988, 132:356-361.
- [19] Cakmak I, Ekiz H, Yilmaz A. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils [J]. *Plant Soil*, 1997, 188(1):1-10.
- [20] Cakmak I, Ozturk L, Eker S. Concentration of zinc and activity of copper/zinc-superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency [J]. *J Plant Physiol*, 1997, 151:91-95.
- [21] Yang X(杨邈), Cheng X Y(陈晓燕), Liu Z C(刘志才). Effects of boron and molybdenum nutritions on curd yield and active oxygen metabolism in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. *Acta Horticult Sin(园艺学报)*, 2000, 27(2):112-116. (in Chinese)