

# 低分子有机酸对辣椒生长发育及叶片活性氧代谢的影响

徐慧敏<sup>1</sup>, 徐福利<sup>1,2\*</sup>, 李宏智<sup>3</sup>, 王渭玲<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; 3. 陕西巨川富万钾公司, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 采用盆栽试验与室内分析相结合的方法, 研究了 6 种低分子有机酸和一种有机酸盐对辣椒生长发育和叶片活性氧代谢的影响。结果表明: 柠檬酸、乙酰丙酸和有机酸钾处理不仅可显著提高辣椒根系干质量, 增加辣椒 VC 含量, 而且提高了辣椒的产量。甲酸、柠檬酸、乙酰丙酸和有机酸钾处理使根系活力比对照分别提高 83%、93.8%、96.75% 和 99.5%。柠檬酸、乙酰丙酸和有机酸钾处理提高了辣椒叶片的 SOD 和 POD 活性, 降低了膜脂过氧化产物 MDA 含量, 延缓了叶片衰老。但是低分子有机酸处理对 CAT 活性的影响较小。

**关键词:** 低分子有机酸; 辣椒; 活性氧代谢; 品质

中图分类号: S641.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-1389(2009)03-021-07

## Effects of Organic Acid with Low Molecule on the Growth and Leaf Active Oxygen Metabolism of Pepper

XU Huimin<sup>1</sup>, XU Fuli<sup>1,2\*</sup>, LI Hongzhi<sup>3</sup> and WANG Weiling<sup>1</sup>

(1. Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling Shaanxi 712100, China; 3. Shaanxi Juchuan Fuwang Co., LTD., Yangling Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In this study, pot experiment and laboratory analysis were combined to study the effects of organic acid on pepper growth and leaf active oxygen metabolism. The experiment result showed that foliar application of levulinic acid and organic acid potassium fertilizer could not only significantly accelerate pepper's root dry weight and its vitamin C contents, but also improve yield of pepper. Formic acid, citric acid, levulinic acid and organic acid potassium fertilizer increased root activity, were 83%, 93.8%, 96.75% and 99.5%. Citric acid and levulinic acid and organic acid potassium fertilizer improved leaf of pepper's the enzyme activity on SOD activity and POD activity, decreased MDA content, delayed leaf aging. But LOAs treatments had small influence of CAT activity.

**Key words:** LOAs; Pepper; Active oxygen metabolism; Quality

辣椒(*Capsicum annuum* L.)是主要的蔬菜栽培种类,提高其产量,改善其生长和品质一直是科技工作者研究的问题。近年来有机酸(包括腐殖酸、低分子酸)作为叶面肥在作物生长中得到了较广泛的应用,在改善产品品质方面起了明显作用<sup>[1]</sup>。众多研究表明,低浓度有机酸对作物的生长可产生积极影响,提高作物的抗逆性<sup>[26]</sup>。目

前,植物在逆境条件下的膜脂过氧化反应和保护酶系统超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的变化已广泛用于植物对逆境机理的研究<sup>[7]</sup>。辣椒是喜钾作物,施用钾肥能够促进光合产物运转和提高用水效率,促进根系发育,增强抗倒伏、抗旱和抗病能力<sup>[8]</sup>。国内对作物抗氧化酶系统的研究多集中于

\*收稿日期: 2008-20-15 修回日期: 2008-12-20

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAD88B05); 杨凌中科巨川钾肥研究所企业发展基金资助。

作者简介: 徐慧敏(1982-),女,新疆石河子人,硕士,研究生,研究方向: 作物营养。E-mail: xhm023@126.com

\* 通讯作者: 徐福利(1958-),男,陕西富平人,博士,研究员,从事土壤肥力和植物营养方面的研究。E-mail: xfl@nv2.suaf.edu.cn

某一污染物胁迫对叶片酶活性的影响方面<sup>[92]10</sup>，关于低分子有机酸类肥料对作物活性氧代谢的报道甚少。本文对 6 种低分子有机酸和一种有机酸盐处理对辣椒品质、产量及生育后期叶片活性氧代谢进行了研究，为辣椒叶面施用低分子有机酸，以及低分子有机酸与钾结合机制提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

试验于 2007205215) 11201 在陕西省杨陵区巨川富万钾有限公司试验园区进行。供试土壤为黄绵土，质地中壤，其养分状况为：有机质 5.09 g # kg<sup>-1</sup>，铵态氮 49.28 mg # kg<sup>-1</sup>，硝态氮 44.15 mg # kg<sup>-1</sup>，速效磷 13.03 mg # kg<sup>-1</sup>，速效钾 140 mg # kg<sup>-1</sup>。试验前将供试土壤破碎至粒径均在 10 mm 以下，充分混匀。试验用开氏盆口径为 20 cm，每盆盛土 5 kg。

供试肥料有尿素 w(N) 46%，磷酸二铵 (17%，w(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 46%)，低分子有机酸(化学分析纯)，有机酸钾(陕西巨川富万钾公司研制，w(K<sub>2</sub>O)>18%，有机质 380.0~520.0 g # L<sup>-1</sup>，棕色液体，pH6~8)。

### 1.2 试验设计

试验设 8 个处理，分别为：1 T<sub>1</sub>. 清水对照；2 T<sub>2</sub>. 甲酸；3 T<sub>3</sub>. 乙酸；4 T<sub>4</sub>. 丙酸；5 T<sub>5</sub>. 草酸；6 T<sub>6</sub>. 柠檬酸；7 T<sub>7</sub>. 乙酰丙酸；8 T<sub>8</sub>. 有机酸钾。每个处理 4 次重复，随机区组排列。各处理施尿素每盆 2.5 g，磷酸二铵每盆 5 g，其中 1/2 作为底

肥，剩下 1/2 在关键期(初花期、盛花期和角果期)分 3 次施入土壤。供试低分子有机酸在辣椒生长的关键期分 3 次进行叶面喷施。每次配置稀释体积比 1 B 500，有机酸钾前期配置体积比 1 B 800，中后期体积比 1.67 B 1000，喷施量为每次 1 L。5 月 15 日移栽，5 月 22 日定植，11 月 1 日收获。

### 1.3 测定项目与方法

叶绿素相对值采用 CCM2200 型叶绿素仪测定。根系活力采用 TTC 还原法测定；vC 含量采用 2,6-二氯酚靛酚比色法测定；SOD 活性采用氮蓝四唑法测定；POD 活性采用愈创木酚比色法测定；CAT 采用紫外吸收法测定；MDA 含量采用硫代巴比妥酸比色法测定<sup>[11]</sup>。应用 DPS7.05 统计软件对数据进行单因素方差分析，用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 低分子有机酸对辣椒根系生长发育的影响

由表 1 看出，A 品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的根系干质量比 T<sub>1</sub> 分别提高 75.11% 和 101.86%，达到显著水平(P<0.05)；T<sub>2</sub>、T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理的根系干质量也分别提高 7.13%、5.26% 和 30.48%；T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理却降低了辣椒根系干质量。B 品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的根系干质量比 T<sub>1</sub> 分别提高 98.35% 和 115.23%，达到显著水平(P<0.05)；T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理的根系干质量也分别提高 14.59%、74.24%、72.34% 和 1.40%；T<sub>5</sub> 处理却降低了辣椒根系干质量。

表 1 低分子有机酸对辣椒根系干质量和根系活力的影响

Table 1 Effects of LOAs treatments on the dry weight and vigor of hot pepper root

处理 Treatment	A 品种 Variety			B 品种 Variety		
	根系干质量 /(g # plant <sup>-1</sup> ) Root dry weight	根系活力 Root activity /(Lg # h <sup>-1</sup> # g <sup>-1</sup> )	增加/% Increase	根系干质量 /(g # plant <sup>-1</sup> ) Root dry weight	根系活力 Root activity /(Lg # h <sup>-1</sup> # g <sup>-1</sup> )	增加/% Increase
T <sub>1</sub>	9.12? 2.51c	40.6? 2.41c	-	7.88? 2.74b	38.7? 1.65b	-
T <sub>2</sub>	9.77? 3.47c	63.2? 2.32b	55.7	9.03? 3.83ab	81.4? 2.45a	110.3
T <sub>3</sub>	8.31? 2.11c	41.2? 1.95c	1.5	13.73? 3.8ab	64.2? 2.33ab	65.9
T <sub>4</sub>	8.67? 2.58c	54.5? 2.11bc	34.2	8.45? 2.06ab	44.5? 1.54b	15.0
T <sub>5</sub>	9.6? 2.07c	59.7? 2.23bc	47.0	7.61? 2.88b	42.3? 1.75b	9.3
T <sub>6</sub>	11.9? 2.38bc	85.4? 2.72a	110.3	7.99? 2.64b	68.6? 1.64ab	77.3
T <sub>7</sub>	15.97? 3.58ab	72.6? 1.84ab	78.8	15.63? 3.27a	83.1? 2.41a	114.7
T <sub>8</sub>	18.41? 3.13a	82.6? 2.56a	103.4	16.96? 3.38a	75.7? 2.23a	95.6

注：根系干质量是指单株的根系干质量。

低分子有机酸处理均增加了两品种辣椒的根系活力。A 品种 T<sub>2</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的根系活力比 T<sub>1</sub> 分别提高 55.7%、110.3%、78.8% 和 103.4%，达到显著水平(P<0.05)。B 品种 T<sub>2</sub>、

T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的根系活力比 T<sub>1</sub> 分别提高 110.3%、114.7% 和 95.6%，达到显著水平(P<0.05)，延缓了后期根量的减少。

### 2.2 低分子有机酸对辣椒叶片保护性酶活性的

## 影响

植物体内 SOD、POD 活性的高低是植物对环境适应性及自身防御衰老能力的灵敏反应<sup>[12]</sup>。本试验的结果表明(图 1),A 品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的 SOD 活性分别提高 2.0% 和 6.0%,与 T<sub>1</sub> 无显著差异;T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理显著降低了 SOD 活性(P < 0.01)。B 品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理 SOD 活性分别提高 27.4% 和 31.2%,达到显著水平(P < 0.01);T<sub>6</sub> 处理也比 T<sub>1</sub> 提高 10.1%;T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 处理显著降低 SOD 活性。说明柠檬酸、乙酰丙酸和有机酸钾有利于叶片 O<sup>2</sup> 的及时清除,延缓叶片衰老。

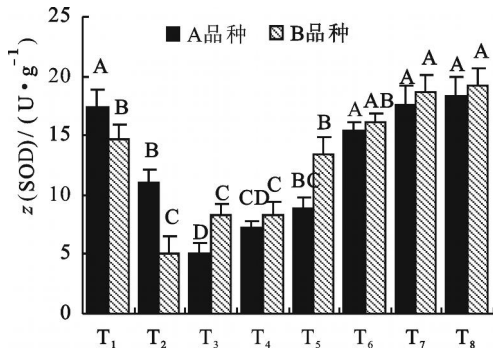


图 1 低分子有机酸对辣椒叶片 SOD 活性的影响

Fig. 1 Effects of LOAs treatments on SOD activity of hot pepper leaves

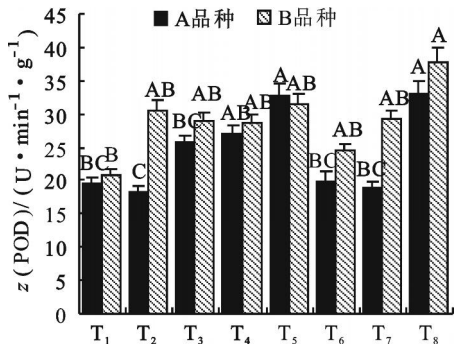


图 2 低分子有机酸对辣椒叶片 POD 活性的影响

Fig. 2 Effects of LOAs treatments on POD activity of hot pepper leaves

从图 2 看出,A 品种 T<sub>5</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理 POD 活性比 T<sub>1</sub> 分别提高 68.97% 和 70.77%,达到显著水平(P < 0.01);T<sub>4</sub> 处理 POD 活性比 T<sub>1</sub> 也有提高。B 品种低分子有机酸处理都增加了辣椒 POD 活性,T<sub>8</sub> 处理 POD 活性提高 81.37%,达到显著水平(P < 0.01)。

从图 3 看出,A 品种 T<sub>3</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理分别提高 6% 和 2%,与 T<sub>1</sub> 处理相比差异不显著;T<sub>2</sub>、T<sub>6</sub> 和 T<sub>7</sub> 处理 CAT 活性显著低于 T<sub>1</sub>。B 品种 T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub>

和 T<sub>8</sub> 处理分别提高 2.7%、8.8% 和 16.1%,与 T<sub>1</sub> 处理相比差异不显著;T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理 CAT 活性显著低于 T<sub>1</sub>。

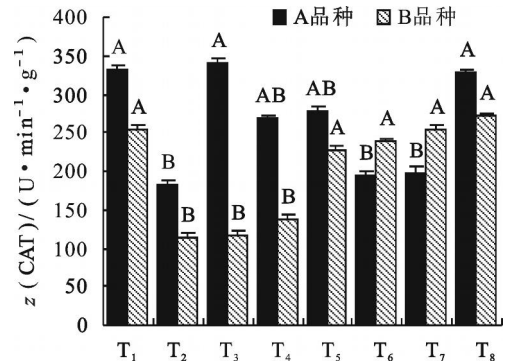


图 3 低分子有机酸对辣椒叶片 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effects of LOAs treatments on CAT activity of hot pepper leaves

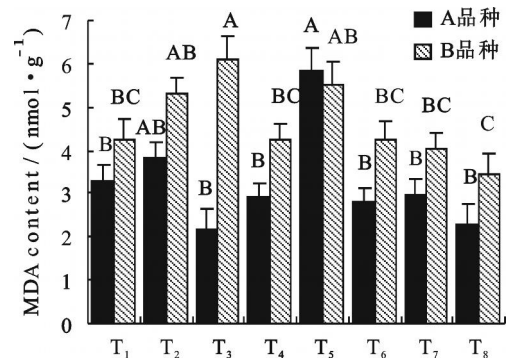


图 4 低分子有机酸对辣椒叶片 MDA 的影响

Fig. 4 Effects of LOAs treatments on MDA content of hot pepper leaves

## 2.3 低分子有机酸对辣椒叶片膜脂过氧化的影响

MDA 含量的高低反映植物膜受伤害的程度<sup>[13]</sup>。从图 4 可以看出,A 品种 T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理比 T<sub>1</sub> 都降低了叶片 MDA 含量,分别降低 34.16%、12.54%、15.01%、9.74% 和 31.46%;T<sub>5</sub> 处理显著增加了叶片的 MDA 含量;T<sub>2</sub> 处理 MDA 含量比 T<sub>1</sub> 也有所增大。B 品种 T<sub>4</sub>、T<sub>6</sub>、T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理降低了叶片 MDA 含量,分别比 T<sub>1</sub> 降低 0.36%、0.86%、5.67% 和 19.34%;T<sub>3</sub> 处理显著增大了叶片 MDA 含量;T<sub>2</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理比 T<sub>1</sub> 也增大了 MDA 含量。

## 2.4 低分子有机酸对辣椒生长的影响

由表 2 看出,与 T<sub>1</sub> 相比,两品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理都显著增加了果实 vC 含量,分别提高 57.1% 和 41.2%,25.5% 和 46.3%;T<sub>6</sub> 处理增加了 B 品

种 vC 含量 ( $P < 0.05$ )。低分子有机酸对辣椒叶片叶绿素相对值的影响较小, A 品种 T<sub>3</sub> 处理降低了叶绿素相对值; B 品种 T<sub>7</sub> 处理的叶绿素相对值比 T<sub>1</sub> 提高了 9.8%, 达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。

表 2 低分子有机酸对辣椒生长的影响

Table 2 Effects of LOAs treatments on the growth of hot pepper

处理 Treatment	维生素 C vC /(cmg# g <sup>-1</sup> )	叶绿素相对值/% Relative chlorophyll content	产量 Yield /(g# pot <sup>-1</sup> )	
A 品种	T <sub>1</sub>	124? 2.2cd	121.95? 1.53a	95.3? 3.1b
	T <sub>2</sub>	106? 3.1d	110.99? 2.53ab	96.8? 3.9b
	T <sub>3</sub>	108? 1.9d	107.90? 1.67b	80.3? 2.4bc
	T <sub>4</sub>	114? 2.2cd	110.37? 1.78ab	69.5? 2.5c
	T <sub>5</sub>	117? 3.1cd	124.63? 2.93a	96.25? 4.3b
	T <sub>6</sub>	156? 2.5bc	124.33? 2.52a	96.0? 2.1b
	T <sub>7</sub>	191? 2.4a	122.57? 3.33a	110.0? 2.2a
	T <sub>8</sub>	172? 3.3ab	110.11? 1.18ab	118.0? 3.8a
B 品种	T <sub>1</sub>	151? 2.3bc	112.93? 2.33b	84.6? 2.2b
	T <sub>2</sub>	124? 1.7d	110.53? 2.01b	89.3? 2.0b
	T <sub>3</sub>	133? 2.5cd	112.52? 3.53b	87.3? 1.3b
	T <sub>4</sub>	114? 3.3d	104.41? 2.55b	67.9? 3.7c
	T <sub>5</sub>	174? 2.7ab	105.33? 2.12b	103.3? 2.9ab
	T <sub>6</sub>	203? 2.9a	118.95? 2.07ab	112.0? 4.1ab
	T <sub>7</sub>	195? 1.8a	124.0? 2.36a	141.3? 3.4a
	T <sub>8</sub>	212? 2.3a	118.17? 1.23ab	144.0? 2.2a

A 品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的产量比 T<sub>1</sub> 分别提高 15.4% 和 23.8%, 达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); T<sub>2</sub>、T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理也分别提高产量 1.57%、1.0% 和 0.73%; T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理降低了产量。B 品种 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub> 处理的产量比 T<sub>1</sub> 分别提高 67% 和 70.2%, 达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理也分别提高产量 5.56%、3.19%、22.1% 和 32.39%; T<sub>4</sub> 处理降低了产量。

### 3 小结

柠檬酸、乙酰丙酸和有机酸钾处理显著增加了辣椒果实 vC 含量, 其他有机酸处理降低了 vC 含量。低分子有机酸处理对叶绿素相对值的影响较小, 这与刘世亮<sup>[14]</sup> 的结论不一致, 可能与不同有机酸的生理活性不同有关, 需进一步试验证明。

施用柠檬酸、乙酰丙酸和有机酸钾处理的叶片保护酶 SOD 和 POD 活性均高于对照, 其中尤以有机酸钾处理的活性最高, 说明有机酸钾肥能维持保护酶较高的活性, 有利于叶片及时清除活性氧, 降低膜质过氧化程度, 减轻自由基对细胞造成的伤害, 延缓其衰老, 这与一些研究结论相似<sup>[15,19]</sup>。低分子有机酸对 CAT 活性的影响较小, 此结论有待于进一步试验证明。施用乙酰丙酸和有机酸钾对辣椒根系生长有显著的促进作用,

表现为单株根系干质量显著提高, 根系活力显著增强, 且维持在较高水平。拥有较高的根系生物量和根系活力, 有利于维持植株正常的生理功能, 并最终提高辣椒产量(表 2)。

施用有机酸钾显著提高了根系干质量和根系活力, 同时也增加了 3 种保护酶活性, 显著提高了果实 vC 含量和产量, 其中有机酸钾处理的产量比乙酰丙酸处理的产量 A 品种提高 7.2%, B 品种提高 2.1%, 这可能与有机酸和氧化钾之间的交互作用有关<sup>[19]</sup>, 有机酸可能作为一种生理活性物质, 刺激了辣椒的生长; 也可能是有机酸促进了植株对钾的吸收, 使其更好的发挥作用, 或者与有机酸钾产品本身的特殊作用有关, 但其机理尚需研究, 为区分这两种作用, 应在下一步的研究中设置不同低分子有机酸与钾肥混合处理以进行进一步的分析。

### 参考文献:

- [1] 刘勤, 张新, 赵言文, 等. 土壤植物营养与农产品品质及人畜健康关系[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 623-626.
- [2] 楼锡元, 徐伟亮, 吴河元. 苹果酸对水稻秧苗生长的影响(简报)[J]. 浙江农业大学学报, 1993(4): 388.
- [3] 施瑞城, 张照新, 蔡云海. 柠檬酸处理对芒果采后生理活动的影响[J]. 植物生理学报, 2000, 26(2): 130-132.
- [4] 周春菊, 王林权, 李生秀, 等. 有机酸和维生素对小麦某些生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报, 1999, 19(4): 623-628.
- [5] 王向阳. 有机酸和硼、锌对小麦旗叶活性氧代谢及粒重的影响[J]. 中国农业科学, 1995, 28(1): 69-70.
- [6] 李忠岐, 余小平. 草酸对绿豆上胚轴插条生根和生长的影响[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(3): 242-243.
- [7] Bowler C, Van Montagu M, Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance[J]. Annu Rev Plant Mol Biol, 1992, 43: 80-116.
- [8] 高道华. 钾对玉米某些生理特性和产量的影响[J]. 土壤肥料, 1992, 126(2): 332-335.
- [9] 金阳, 葛才林, 杨小勇. 氯苯对小麦抗氧化酶活性的影响[J]. 核农学报, 2003, 4: 296-300.
- [10] 庞欣, 王东红, 彭安. 铅胁迫对小麦幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. 环境科学, 2001, 22(5): 108-111.
- [11] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1990: 15-155.
- [12] 王建华, 刘鸿先, 徐同. 超氧化物歧化酶(SOD)在植物逆境和衰老生理中的作用[J]. 植物生理学报, 1989, (1): 12-7.
- [13] 王霞, 侯平, 尹林克, 等. 土壤水分胁迫对柽柳体内膜保护酶及膜脂过氧化的影响[J]. 干旱地区研究, 2002, 19(3): 172-20.
- [14] 刘世亮, 杨振民, 化党领, 等. 不同有机酸对烤烟生长发育

- 和生理生化特性的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 2482253.
- [15] 金 阳, 葛才林, 杨小勇. 氯苯对小麦抗氧化酶活性的影响[J]. 核农学报, 2003, 4: 292300.
- [16] 孙志梅, 薛世川, 刘淑萍. 不同组分的腐植酸复合肥在辣椒上的施用效应及其生理机制研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(5): 432443.
- [17] 原海燕, 黄苏珍, 郭 智. 外源有机酸对马蔺幼苗生长、Cd 积累及抗氧化酶的影响[J]. 生态环境. 2007. 16(4): 10721084.
- [18] 陈玉玲, 曹 敏. 干旱条件下黄腐酸对冬小麦幼苗中内源 ABA 和 IAA 水平以及 SOD 和 POD 活性的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(4): 312314.
- [19] 梁太波, 王振林, 王汝娟. 腐植酸钾对生姜根系生长发育及活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 812817.

### (上接第 212 页)

- [6] Lyu S W, Blum U. Effects of ferulic acid and allelopathic compound, on P, K and water uptake by cucumber seedlings in a split root system[J]. Journal of Chemical Ecology, 1990, 16(8): 2422439.
- [7] 马越强, 廖利平, 杨跃军, 等. 香草酸对杉木生长的影响[J]. 应用生态学报, 1998, 9: 122132.
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版社, 2000.
- [9] Williams G B, Obee E M, Weidenhamer J D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 182187.
- [10] Bush D S. Calcium regulation in plant cells and its role in signaling[J]. Annu Rev Plant Mol Bio, 1995, 46: 92122.
- [11] 王 璞, 赵秀琴. 几种化感物质对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(3): 26231.
- [12] 周志红, 骆世明, 牟子平, 等. 番茄的化感作用研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 4452449.
- [13] 曾任森, 林象联, 骆世明, 等. 蜈蚣菊的生化他感作用及生化他感作用物的分离鉴定[J]. 生态学报, 1996, 16(1): 2228.
- [14] Roshchina V V, Roshchina V D. The excretory function of higher plant[J]. New York: Springer Verlag, 1993: 212215.
- [15] Downie L, Priddle J, Hawes C, et al. A calcium pump at the higher plant nuclear envelope[J]. FEBS Letters, 1998, 429: 44248.
- [16] Lin Jianjun, Wei Youzhang. The Fine Turning System of Intracellular  $Ca^{2+}$  in Plant  $2Ca^{2+}2ATPase$  [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18(2): 192196.
- [17] White P J, Broadley M R. Calcium in Plants[J]. Annals of Botany, 2003, 92: 4872511.