

吡虫啉和多菌灵单施及同时施用对番茄生长的影响

董国政, 杨俊诚*, 姜慧敏, 张建峰, 李玲玲, 李树山, 潘 攀, 路 超

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘 要:在实地调研的基础上,以山东寿光当前普遍栽种的两个番茄品种中杂 9 号和中杂 106 号为指示植物,研究了当地施用较典型的杀虫剂吡虫啉和杀菌剂多菌灵单施及同时施用对番茄生长及生理生化指标的影响。结果表明:吡虫啉在 $0\sim 0.07\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内、多菌灵在 $0\sim 0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 范围内,无论单施或同时施用对两个番茄品种的植株鲜重和叶绿素含量都有一定的促进作用;吡虫啉超过 $0.14\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、多菌灵超过 $0.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,随着单施或同时施用浓度的提高,对两个番茄品种的植株鲜重和叶绿素含量的抑制作用越来越明显,且中杂 9 号番茄对吡虫啉和多菌灵的耐受性高于中杂 106 号番茄。如中杂 106 号番茄 $B_{2.8}D_{1.6}$ 处理的植株鲜重仅为 $B_{0.035}D_{0.2}$ 处理的 20%, $B_{2.8}D_{1.6}$ 处理的叶绿素含量仅为对照处理的 8%。两种番茄的过氧化物酶活性均随吡虫啉浓度的增加而显著增加($P<0.05$),多菌灵在试验处理浓度范围对其影响不显著。吡虫啉和多菌灵单施或同时施用均显著提高了中杂 9 号番茄过氧化氢酶活性($P<0.05$),而中杂 106 号番茄由于本身过氧化氢酶活性较高,农药的施用对其酶活性影响并不显著。两种番茄的丙二醛含量和细胞膜透性比较高,施用农药对二者影响相对较小。单施 $B_{2.8}$ 、单施 $D_{1.6}$ 以及同时施用 $B_{2.8}D_{1.6}$ 后中杂 106 号番茄的游离脯氨酸含量显著提高($P<0.05$),分别是对照处理的 2.4、2.4 倍和 2.6 倍。

关键词:吡虫啉;多菌灵;叶绿素;过氧化物酶;过氧化氢酶;游离脯氨酸

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)04-0645-09

Effects of Imidacloprid and Carbendazim on the Growth of Tomato

DONG Guo-zheng, YANG Jun-cheng*, JIANG Hui-min, ZHANG Jian-feng, LI Ling-ling, LI Shu-shan, PAN Pan, LU Chao

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Effects of insecticide imidacloprid and fungicide carbendazim whether in single use or their combinations on the growth, physiological and biochemical characteristics of two tomato varieties i.e. Zhongza No.9 and 106 which were widely cultivated in Shouguang, Shandong Province were investigated in the laboratory. The results showed that the two varieties performed different tolerance to imidacloprid and carbendazim, which was higher for Zhongza No.9 than that of Zhongza No. 106. Regardless of single or complexes application, plant fresh weight and chlorophyll content of two tomato varieties demonstrated facilitation within $0\sim 0.07\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of imidacloprid and $0\sim 0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of carbendazim. With the concentration improvement of single or complexes application, the inhibition of plant fresh weight and chlorophyll content of two tomato varieties were more and more obvious beyond $0.14\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of imidacloprid and $0.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of carbendazim. Under high concentration of complexes application, the plant fresh weight of Zhongza No.106 was significantly low ($P<0.05$), e.g. $B_{2.8}D_{1.6}$ was only 20% of $B_{0.035}D_{0.2}$; the chlorophyll content of Zhongza No.9 and 106 was significantly decreased($P<0.05$), e.g. $B_{2.8}D_{1.6}$ was only 8% of CK. The peroxidase activity of the two tomato varieties was significantly increased along with imidacloprid concentration increasing($P<0.05$), while carbendazim concentration had no significant effects on it. The catalase activity of Zhongza No.9 was significantly increased ($P<0.05$) with the two pesticides either single or complexes application. Effects of pesticides application on catalase activity of Zhongza No.106 were not significant, because CK was already at high level. Malondialdehyde content and cell membrane permeability of two tomato varieties were so high that effects of pesticides application were less prominent. The free proline content of Zhongza No.106 was significantly increased to 2.4, 2.4 times and 2.6 times respectively than that of CK with $B_{2.8}$, $D_{1.6}$ single application and $B_{2.8}D_{1.6}$ complexes application.

Keywords: imidacloprid; carbendazim; chlorophyll; peroxidase; catalase; free proline

收稿日期:2011-12-14

基金项目:国家自然科学基金项目(20877101,21107139);公益性行业科研专项(201103007)

作者简介:董国政(1987—),男,山东枣庄人,硕士研究生,主要研究方向为环境生物物理学。E-mail: dgz509@126.com

* 通讯作者:杨俊诚 E-mail: yangjch@263.net

近年来,蔬菜产业已成为农村经济发展的支柱产业,农药的施用在控制蔬菜病虫害、提高产量上起到不可替代的作用。目前我国蔬菜生产体系中农药的施用存在诸多问题,如农药施用量过高(据调查数据表明最高施用量达商品推荐量的 40 倍)、农药不合理混用、滥用农药等,导致了农药的残留污染等问题逐渐突出,严重影响了农产品质量和食品安全。随着绿色无公害蔬菜越来越受到人们的广泛关注和青睐,科学合理地施用农药已成为重要课题,特别是如何提高农药利用率、减少农药残留污染等问题,这是降低农业生产成本、保护农业生态环境,保障无公害蔬菜生产的关键^[1]。

关于化学农药对作物生长及其生理生化指标的影响,国内外学者已有较多研究成果。Robert C 等^[2]通过研究吡虫啉对番茄和黄瓜的影响,发现施药一周内两种蔬菜均出现老叶失绿和新叶扭曲生长、边缘坏死的症状。胡井荣^[3]发现施用吡虫啉后不同程度地增加了叶片丙二醛的含量、降低了叶片的光合速率。Wu 等^[4]发现水稻经 60%的丁草胺处理 10 d 后,游离氨基酸含量比对照增加 43.89%。仪美芹等^[5]研究发现,不同剂量的吡虫啉均对番茄叶片和根系的 CAT、SOD 活性和根系活力有一定的影响,其效应并不是随药剂浓度的增加而增加。Pablo C 等^[6]研究发现,5.2 mmol·L⁻¹的多菌灵能显著降低烟草的干重和细胞色素的含量。过去对农药的研究多集中在单施农药对蔬菜及环境的影响,很少研究农药同时施用对蔬菜生长的影响,而蔬菜生长的实际过程中往往面临着多种病虫害的威胁,因此两种或两种以上农药同时施用对蔬菜的高效生产具有重要的意义。由于农药同时施用对蔬菜产生的毒害机理尚不清楚,为此,作者通过溶液培养试验研究了当前山东寿光设施蔬菜应用较典型的杀虫剂吡虫啉和杀菌剂多菌灵同时施用对番茄生长及典型生理生化指标的影响,以期对农药的科学施用和无公害蔬菜的安全生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试农药

吡虫啉(Imidacloprid),10%可湿性粉剂,河北青园农药有限公司生产。多菌灵(Carbendazim),50%可湿性粉剂,江苏省江阴市福达农化有限公司生产。

1.2 供试作物

本试验选用当前山东寿光普遍栽种的两个番茄品种中杂 9 号和中杂 106 号作为指示植物。将番茄种

子先用蒸馏水在室温下浸种 3~4 h,然后放到 3%的 H₂O₂ 溶液中浸泡 20~30 min,捞出后用蒸馏水冲洗种子数次至其表面无滑腻感,再将种子置于 25 ℃恒温培养箱中催芽,待胚根露出后移种到育苗盘(孔穴尺寸 50 mm×50 mm×48 mm)中,番茄幼苗长至两叶一心期时转移到营养液中培养。营养液选用荷兰番茄专用营养液,其基本组成为^[7]:Ca(NO₃)₂·4H₂O 886 mg·L⁻¹,MgSO₄·7H₂O 247 mg·L⁻¹,KH₂PO₄ 204 mg·L⁻¹,(NH₄)₂SO₄ 33 mg·L⁻¹,K₂SO₄ 218 mg·L⁻¹,KNO₃ 303 mg·L⁻¹。为满足番茄对微量元素的需求,每升荷兰番茄专用营养液里再加入 1 mL 微量元素营养液,其配方为:H₃BO₃ 2.86 mg·L⁻¹,MnSO₄·H₂O 2.13 mg·L⁻¹,ZnSO₄·7H₂O 0.22 mg·L⁻¹,CuSO₄·5H₂O 0.08 mg·L⁻¹, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 0.02 mg·L⁻¹,EDTA·Na₂Fe 20 mg·L⁻¹。

1.3 试验设计

前期实地调查结果表明,吡虫啉在寿光当地的最大施用量为商品推荐量的 40 倍,多菌灵在当地的最大施用量为商品推荐量的 4 倍。所以,吡虫啉共设 0、0.035、0.07、0.14、0.35、0.7、1.4 mg·L⁻¹ 和 2.8 mg·L⁻¹ 8 个浓度水平,分别以 B₀、B_{0.035}、…、B_{2.8} 表示;多菌灵共设 0、0.2、0.4、0.8 mg·L⁻¹ 和 1.6 mg·L⁻¹ 5 个浓度水平,分别以 D₀、D_{0.2}、…、D_{1.6} 表示。吡虫啉和多菌灵以等体积混合方式混用。试验采用完全设计共计 40 个处理。由于处理繁多,试验开始之前做番茄种子发芽试验,通过研究不同农药浓度对番茄种子发芽率的影响,从中挑选出 20 个差异显著性的处理(表 1 中用 * 标出)进行溶液培养试验,每个处理设置 3 个重复,每个重复种植番茄 4 株。具体试验处理见表 1。

1.4 测定方法

各测定指标是在番茄水培 30 d 后统一收获后测定,植株鲜重测定的具体方法是番茄收获后立即采用

表 1 试验设计及农药施用量

吡虫啉浓度/ mg·L ⁻¹	多菌灵浓度/mg·L ⁻¹				
	0	0.2	0.4	0.8	1.6
0	B ₀ D ₀ *	B ₀ D _{0.2} *	B ₀ D _{0.4} *	B ₀ D _{0.8}	B ₀ D _{1.6} *
0.035	B _{0.035} D ₀ *	B _{0.035} D _{0.2} *	B _{0.035} D _{0.4}	B _{0.035} D _{0.8}	B _{0.035} D _{1.6} *
0.07	B _{0.07} D ₀	B _{0.07} D _{0.2}	B _{0.07} D _{0.4}	B _{0.07} D _{0.8} *	B _{0.07} D _{1.6}
0.14	B _{0.14} D ₀ *	B _{0.14} D _{0.2}	B _{0.14} D _{0.4} *	B _{0.14} D _{0.8}	B _{0.14} D _{1.6} *
0.35	B _{0.35} D ₀	B _{0.35} D _{0.2}	B _{0.35} D _{0.4} *	B _{0.35} D _{0.8}	B _{0.35} D _{1.6} *
0.7	B _{0.7} D ₀ *	B _{0.7} D _{0.2}	B _{0.7} D _{0.4}	B _{0.7} D _{0.8} *	B _{0.7} D _{1.6}
1.4	B _{1.4} D ₀	B _{1.4} D _{0.2} *	B _{1.4} D _{0.4}	B _{1.4} D _{0.8} *	B _{1.4} D _{1.6}
2.8	B _{2.8} D ₀ *	B _{2.8} D _{0.2}	B _{2.8} D _{0.4} *	B _{2.8} D _{0.8}	B _{2.8} D _{1.6} *

注:* 为番茄种子发芽率差异显著性的处理。

称重法称量植株鲜重, 叶片叶绿素含量、丙二醛 (Malondialdehyde, MDA) 含量、细胞膜透性按照李合生^[8]的方法分别用乙醇提取比色法、三氯乙酸提取比色法、抽真空法测定, 叶片游离脯氨酸含量、过氧化氢酶 (Catalase, CAT) 活性、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性按照郝再彬等^[9]的方法分别用茚三酮比色法、高锰酸钾滴定法、愈创木酚法测定。

1.5 数据分析

所有数据均用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 吡虫啉和多菌灵单施对番茄生长及生理生化指标的影响

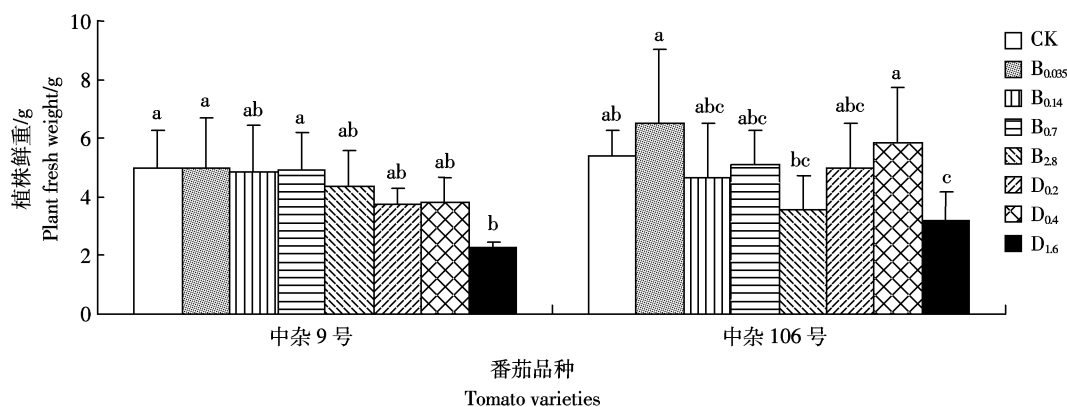
2.1.1 吡虫啉和多菌灵单施对番茄植株鲜重的影响

吡虫啉和多菌灵在单施处理下的试验结果如图 1 所示, 对番茄植株鲜重的影响不尽相同。随着吡虫啉和多菌灵浓度的增加, 中杂 106 号番茄植株鲜重与

对照相比显著降低 ($P<0.05$), $B_{0.035}$ 、 $B_{2.8}$ 水平之间和 $D_{0.4}$ 、 $D_{1.6}$ 水平之间植株鲜重与对照相比均达到显著差异性 ($P<0.05$), 表明高浓度农药的施用显著降低了中杂 106 号番茄植株鲜重, 对番茄的营养生长产生了抑制作用, 中杂 9 号番茄植株鲜重总体变化不大。总体来看, 与中杂 9 号相比, 中杂 106 号对吡虫啉和多菌灵的反应更为敏感, 它们对吡虫啉和多菌灵的反应趋势是基本一致的。吡虫啉对番茄生长的影响较小, 多菌灵在高浓度下对番茄的生长存在明显的抑制作用。施用多菌灵对番茄植株鲜重的影响高于施用吡虫啉对番茄植株鲜重的影响。

2.1.2 吡虫啉和多菌灵单施对番茄叶片叶绿素含量的影响

中杂 9 号番茄叶绿素含量在吡虫啉浓度范围为 $0.035\sim 0.14\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 呈增加趋势, 在 $0.14\sim 2.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内呈降低趋势; 在多菌灵浓度范围为 $0.2\sim 0.4\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 呈增加趋势, 在 $0.4\sim 1.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内呈



柱上不同字母表示差异达 5% 显著水平, 下同
Different letters above bars mean significant at 5% level. The same symbol is used for other figures

图 1 吡虫啉和多菌灵单施对番茄植株鲜重的影响

Figure 1 Effects of single application of imidacloprid and carbendazim on the tomato plant fresh weight

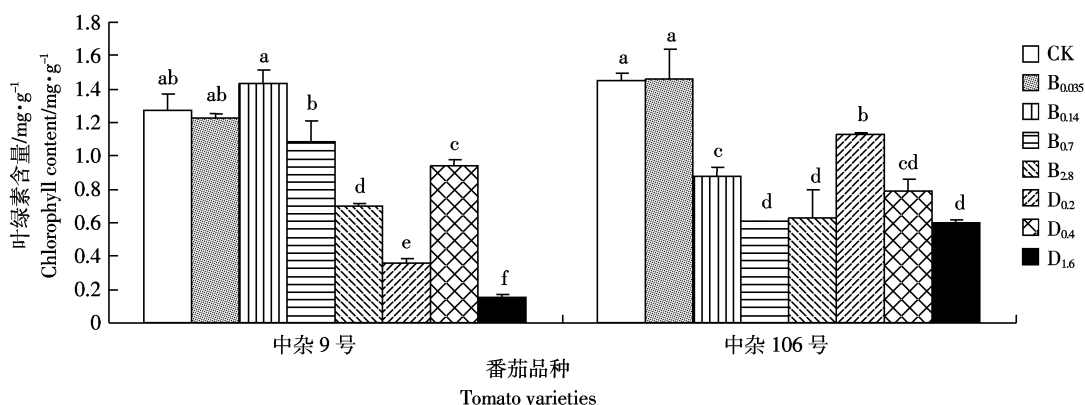


图 2 吡虫啉和多菌灵单施对番茄叶片叶绿素含量的影响

Figure 2 Effects of single application of imidacloprid and carbendazim on chlorophyll content in tomato leaves

降低趋势(图 2)。与单施吡虫啉相比,单施多菌灵的番茄其叶片叶绿素含量显著低于对照处理($P<0.05$)。与对照相比,中杂 106 号番茄叶绿素含量随着吡虫啉或多菌灵浓度的增加显著降低($P<0.05$)。综合图 1 和图 2 可知,虽然施用吡虫啉增加了中杂 9 号番茄的植株鲜重,但与对照相比却显著降低了叶片的叶绿素含量($P<0.05$),说明吡虫啉对中杂 9 号番茄的影响在植株个体水平上存在滞后现象。

2.1.3 吡虫啉和多菌灵单施对番茄生理生化指标的影响

POD 活性:随着吡虫啉浓度的增加,中杂 9 号番茄过氧化物酶活性与对照相比显著增加($P<0.05$)(表 2),而单施多菌灵对两种番茄叶片过氧化物酶活性没有显著影响,说明高浓度的吡虫啉促使植物体内 POD 活性升高以抵抗逆境胁迫。中杂 106 号番茄 POD 活性则随吡虫啉浓度的增加在 0~0.035 mg·L⁻¹ 浓度范围内呈下降趋势,在 0.035~0.7 mg·L⁻¹ 浓度范围内与对照相比呈显著增加趋势($P<0.05$);而在 B₂₈ 水平时突然降低,这可能是因为 B₂₈ 水平的吡虫啉已经超出了植物体可以承受的极限,细胞的正常代谢被破坏,从而导致 POD 活性下降。

CAT 活性:随着吡虫啉或多菌灵浓度的增加,中杂 9 号番茄 CAT 活性逐渐增加(表 2);中杂 106 号番茄 CAT 活性则除了吡虫啉浓度为 0.035 mg·L⁻¹ 外逐渐增加,且 B₂₈ 处理显著高于对照($P<0.05$),二者差异在于对照处理差异较大,说明两种番茄本身 CAT 活性差异较大。中杂 106 号番茄除 B₂₈ 处理显著高于对照处理外,其他各处理间差异不显著,说明单施农药处理对中杂 106 号番茄的 CAT 活性影响较小。

MDA 含量:随着吡虫啉浓度的增加,中杂 9 号番茄 MDA 含量在 0.035~0.14 mg·L⁻¹ 浓度范围内呈降低趋势,在 0.14~0.7 mg·L⁻¹ 浓度范围内呈增加趋势,原因可能为低浓度的吡虫啉可以缓解因水培环境造成的淹水影响。中杂 106 号番茄 MDA 含量则逐渐增加(表 2);随着多菌灵浓度的增加,中杂 9 号番茄 MDA 含量与对照相比显著增加($P<0.05$),中杂 106 号番茄则没有显著差异。

细胞膜透性:随着吡虫啉或多菌灵浓度的增加,中杂 9 号番茄叶片细胞膜透性有所增加但差异不大(表 2),说明单施农药对中杂 9 号番茄叶片细胞膜系统没有较大的影响。中杂 106 号番茄叶片细胞膜透性相对较小,随着吡虫啉或多菌灵浓度的增加,其叶片细胞膜透性呈现高-低-高的变化趋势,变化规律为:B_{0.14} 和 D_{0.4} 处理低于对照处理,其他处理则均高于对照处理。

游离脯氨酸含量:施用吡虫啉或多菌灵后番茄叶片游离脯氨酸含量均高于对照处理(表 2),说明吡虫啉或多菌灵的施用均诱发了番茄叶片内游离脯氨酸的累积。随着吡虫啉或多菌灵浓度的增加,中杂 106 号番茄叶片游离脯氨酸含量与对照相比显著增加($P<0.05$),单施多菌灵的处理其游离脯氨酸含量高于单施吡虫啉的处理。

2.2 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄生长及生理生化指标的影响

2.2.1 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄植株鲜重的影响

当多菌灵的浓度水平为 D_{0.2} 和 D_{0.4} 时,吡虫啉浓度对中杂 9 号番茄的植株鲜重无显著影响(图 3),但

表 2 吡虫啉和多菌灵单施对番茄生理生化指标的影响

Table 2 Effects of single application of imidacloprid and carbendazim on tomato physiological and biochemical index

处理 Treatments	过氧化物酶活性		过氧化氢酶活性		丙二醛含量		细胞膜透性		游离脯氨酸含量	
	POD activity/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$		CAT activity/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$		MDA content/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$		Cell membrane permeability/%		Free proline content/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	
	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号
CK	354.3±11.7c	460.8±10.7c	1.4±0.1c	1.5±0.1b	8.3±1.4bc	6.8±0.8c	90.9±1.5ab	85.1±2.1c	7.2±1.6a	5.1±0.6d
B _{0.035}	514.8±18.7ab	406.8±34.3d	1.4±0c	1.5±0.1b	6.0±0.4c	6.6±0.1c	95.9±0.7a	92.0±0.2b	7.4±1.4a	5.0±1.2d
B _{0.14}	530.0±12.5ab	492.5±12.0b	1.4±0bc	1.5±0b	8.3±1.4bc	8.1±1.9c	86.3±1.7b	84.8±0.1c	7.1±2.5a	8.8±1.7bcd
B _{0.7}	575.8±35.7a	550.5±7.4a	1.5±0abc	1.6±0ab	16.0±8.3a	8.4±2.6c	97.5±1.2a	94.4±4.3ab	9.5±5.0a	7.5±0.2cd
B ₂₈	218.0±24.7d	189.0±1.4e	1.6±0a	1.7±0a	17.6±0.5a	16.3±1.8a	97.2±3.8a	97.2±1.3a	12.9±0.5a	12.3±1.4ab
D _{0.2}	431.3±24.4bc	482.0±10.6bc	1.4±0bc	1.6±0ab	7.7±3.6bc	10.0±0.6bc	94.1±3.5a	94.1±1.9ab	8.3±1.0a	10.9±0.1abc
D _{0.4}	440.8±25.1bc	483.0±6.4bc	1.4±0bc	1.6±0ab	14.6±1.6ab	9.4±1.1bc	94.4±4.7a	84.7±0.6c	9.9±4.5a	12.1±1.8ab
D _{1.6}	406.8±105.7bc	475.3±2.5bc	1.5±0.1ab	1.6±0ab	16.2±1.8a	12.7±0.9b	94.1±2.4a	96.8±0.2a	11.3±3.1a	13.5±3.6a

注:数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同。

Note: Values followed by different letters mean significant at 5% level. The same symbol is used for other tables.

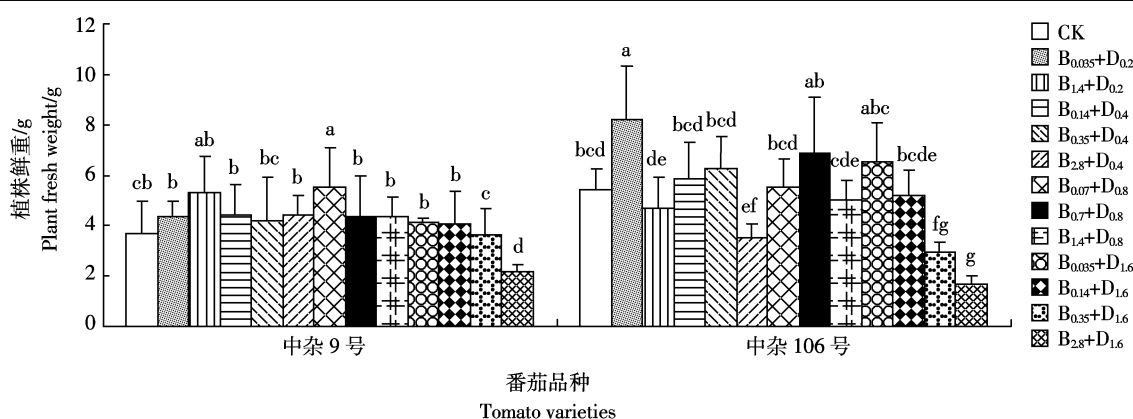


图 3 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄植株鲜重的影响

Figure 3 Effects of complexes application of imidacloprid and carbendazim on the tomato plant fresh weight

当多菌灵浓度水平为 $D_{0.8}$ 和 $D_{1.6}$ 时, 其植株鲜重随吡虫啉浓度的增加而降低, 且 $B_{2.8}$ 水平的吡虫啉与 $D_{1.6}$ 水平的多菌灵同时施用与对照相比显著降低了中杂 9 号番茄的植株鲜重 ($P<0.05$)。在多菌灵浓度一定的条件下, 中杂 106 号番茄植株鲜重随着吡虫啉浓度的增加与对照相比显著降低 ($P<0.05$), $B_{0.35}D_{1.6}$ 和 $B_{2.8}D_{1.6}$ 处理其植株鲜重更是显著低于对照处理 ($P<0.05$), 而 $B_{0.035}D_{0.2}$ 处理则提高了中杂 106 号番茄的植株鲜重。由此可见, 低浓度的吡虫啉 ($B_{0.035}$ 、 $B_{0.07}$ 和 $B_{0.14}$) 和低浓度的多菌灵 ($D_{0.2}$ 和 $D_{0.4}$) 同时施用在植物表观生长上是有利的, 吡虫啉和多菌灵高浓度 (如 $B_{2.8}D_{1.6}$) 同时施用对番茄的毒害作用加剧, 抑制番茄的生长。

2.2.2 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄叶片叶绿素含量的影响

吡虫啉和多菌灵同时施用与对照相比显著降低了两种番茄的叶绿素含量 ($P<0.05$) (图 4), 影响了叶片的光合作用。中杂 9 号番茄的叶绿素含量随着吡虫啉浓度的增加在 $0.035\sim 0.14\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内呈增加趋势, 在 $0.14\sim 2.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内呈降低趋势,

其中 $B_{2.8}D_{1.6}$ 处理其叶片叶绿素含量为 $0.067\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 仅为对照处理的 5%。中杂 106 号番茄叶绿素含量则随吡虫啉浓度的增加而降低, 其中 $B_{2.8}D_{1.6}$ 处理叶绿素含量为 $0.12\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 仅为对照处理的 8%。综合番茄植株鲜重与叶绿素含量来看, 吡虫啉和多菌灵同时施用虽然没有显著降低植株鲜重, 但已经显著降低了番茄叶绿素含量, 对番茄的生长存在潜在的威胁。

2.2.3 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄生理生化指标的影响

POD 活性: 在多菌灵浓度一定的条件下, 番茄叶片 POD 活性随吡虫啉浓度的增加与对照相比显著增加 ($P<0.05$), 并且其变化与多菌灵浓度的多少没有太大关联 (表 3), 说明施用多菌灵在试验浓度范围对番茄过氧化物酶活性没有影响, 二者同时施用吡虫啉是主导因素。

CAT 活性: 吡虫啉和多菌灵同时施用后, 两种番茄 CAT 活性均显著高于对照处理 ($P<0.05$), 并且随着吡虫啉浓度的增加而增加, 其中中杂 106 号番茄 CAT 活性的变化相对较小 (表 3)。当多菌灵浓度为

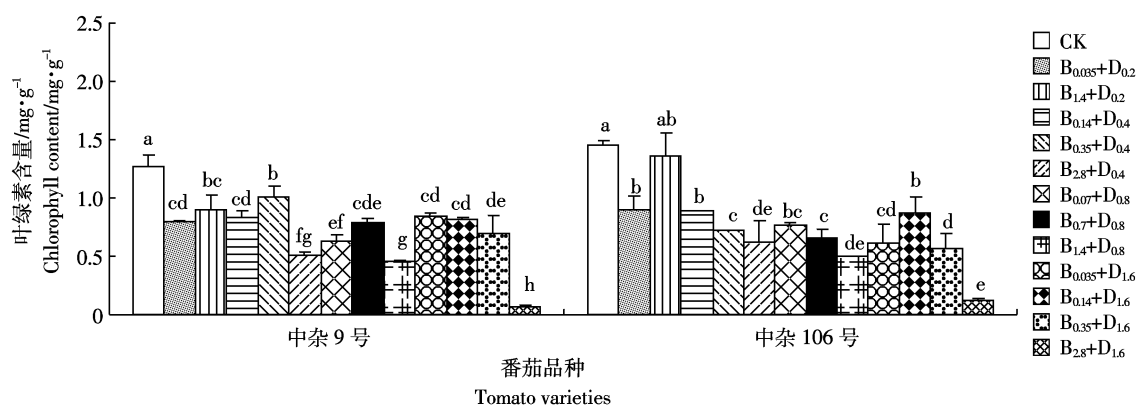


图 4 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄叶片叶绿素含量的影响

Figure 4 Effects of complexes application of imidacloprid and carbendazim on chlorophyll content in leaves

表 3 吡虫啉和多菌灵同时施用对番茄生理生化指标的影响

Table 3 Effects of complexes application of imidacloprid and carbendazim on tomato physiological and biochemical indexes

处理 Treatments	过氧化物酶活性 POD activity/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$		过氧化氢酶活性 CAT activity/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$		丙二醛含量 MDA content/ $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$		细胞膜透性 Cell membrane permeability/%		游离脯氨酸含量 Free proline content/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	
	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号	中杂 9 号	中杂 106 号
CK	159.0±0fg	333.5±46.0cd	1.4±0.1de	1.6±0abc	6.2±0.3e	8.7±0.1e	88.3±0.8de	92.0±0.2ab	7.8±2.0cd	6.0±0.1cde
B _{0.035} D _{0.2}	59.5±12.0h	38.0±7.1f	1.5±0cde	1.5±0.1c	5.9±0.7e	8.3±0.1e	89.3±2.0cde	86.2±0.3c	6.3±1.0d	7.1±0.4cde
B _{1.4} D _{0.2}	490.0±41.7bc	166.0±7.8e	1.4±0.1e	1.7±0ab	4.5±0.3e	8.2±2.1e	83.5±3.7e	90.2±1.0bc	9.7±1.8c	5.9±0.4cde
B _{0.14} D _{0.4}	138.8±37.1g	316.0±55.2d	1.5±0abcd	1.7±0ab	5.7±1.0e	9.2±1.9de	90.6±1.4bcd	90.2±0bc	7.2±1.6cd	4.0±2.0e
B _{0.35} D _{0.4}	197.3±21.6f	426.5±86.3c	1.6±0.1abc	1.6±0abc	7.0±2.6de	7.6±1.8e	95.0±2.6abc	93.2±5.0ab	13.6±0.2b	8.0±2.0bcde
B _{2.8} D _{0.4}	467.3±13.1c	509.0±12.5ab	1.7±0.1a	1.7±0ab	14.6±1.6a	19.1±0.6ab	96.6±0.1a	97.1±2.7a	14.8±1.4ab	13.0±7.6ab
B _{0.07} D _{0.8}	184.5±0fg	316.0±60.8d	1.4±0de	1.6±0.1abc	7.8±1.5cde	9.0±0.5e	87.6±0.8de	95.2±0.9ab	10.1±1.8c	5.1±0.6de
B _{0.7} D _{0.8}	369.8±22.3d	349.2±7.9cd	1.6±0abc	1.6±0.1abc	7.2±2.2de	10.6±4.5de	94.9±1.8abc	96.9±1.7a	8.6±0.6cd	9.6±0.4abcde
B _{1.4} D _{0.8}	494.3±9.5bc	492.5±12.0ab	1.7±0a	1.7±0ab	12.7±2.2ab	13.1±2.1cd	95.2±1.3ab	96.8±2.7a	14.2±0.7b	11.3±0.1abc
B _{0.035} D _{1.6}	267.5±0.7e	141.8±9.5e	1.6±0ab	1.6±0bc	10.3±0.3bcd	9.5±0.2de	87.8±1.2de	93.9±2.0ab	13.7±0.5b	9.0±0.2abcde
B _{0.14} D _{1.6}	514.8±18.7b	371.3±46.3cd	1.5±0bcd	1.7±0ab	8.6±0.9cde	9.3±0.6de	92.3±5.4abcd	90.4±1.7bc	12.9±1.3b	8.8±2.1abcde
B _{0.35} D _{1.6}	521.8±6.0b	520.0±22.6ab	1.7±0a	1.6±0abc	11.6±2.5abc	16.3±1.8bc	84.7±4.6e	95.7±4.4a	14.0±1.8b	10.5±0.4abcd
B _{2.8} D _{1.6}	579.2±23.9a	545.5±38.9a	1.4±0.1de	1.7±0a	15.0±3.0a	20.4±2.4a	97.5±1.2a	97.0±1.4a	17.1±1.1a	14.4±0.3a

D_{1.6} 水平时, 中杂 9 号番茄酶活性反而降低, 尤其是 B_{2.8}D_{1.6} 处理酶活性降至 $1.41 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, 与对照处理没有显著差异, 原因可能为吡虫啉和多菌灵同时施用浓度超过一定程度时, 番茄的抗氧化系统受到破坏从而导致 CAT 酶含量下降, 对番茄的正常生长产生抑制作用。

MDA 含量: 对中杂 9 号番茄而言, 除了多菌灵浓度水平为 D_{0.2} 外, 其他处理的 MDA 含量均显著高于对照处理 ($P<0.05$), D_{1.6} 处理时, 叶片 MDA 含量在吡虫啉浓度范围为 $0.035\sim0.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 呈降低趋势, 在 $0.14\sim2.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内呈增加趋势 (表 3)。对中杂 106 号番茄而言, 在多菌灵浓度水平为 D_{0.2} 和 D_{0.4} 时, MDA 含量随着吡虫啉浓度的增加而降低; 在多菌灵浓度水平为 D_{0.8} 和 D_{1.6} 时, MDA 含量则随着吡虫啉浓度的增加而增加, 并且 B_{2.8}D_{1.6} 处理 MDA 含量显著高于对照处理 ($P<0.05$)。

细胞膜透性: 两种番茄叶片的细胞膜透性除多菌灵浓度水平为 D_{0.2} 外均随着吡虫啉浓度的增加而增加 (表 3)。说明除 D_{0.2} 水平外, 吡虫啉和多菌灵同时施用浓度越高, 番茄叶片的细胞膜透性越大, 但由于中杂 9 号番茄本身细胞膜透性较大, 吡虫啉和多菌灵同时施用处理的番茄细胞膜透性与对照处理相比不显著, 说明吡虫啉和多菌灵同时施用在试验浓度范围对细胞结构尚未构成威胁。中杂 106 号番茄细胞膜透性相对较小, 部分处理的番茄细胞膜透性小于对照处理, 但尚未达到显著性水平, 说明吡虫啉和多菌灵同

时施用对中杂 106 号番茄的细胞膜透性亦没有显著影响。对于高浓度的 D_{1.6} 水平的多菌灵施用, 细胞膜透性随吡虫啉浓度的增加呈现不规则变化, 其机理尚待进一步的研究。

游离脯氨酸含量: 两种番茄叶片游离脯氨酸含量随着吡虫啉和多菌灵同时施用浓度的增加而增加, 番茄游离脯氨酸含量均高于对照处理 (表 3), 这是对逆境胁迫的一种生理适应性反应。

3 讨论

诸多研究结果表明, 农药对作物的生长具有双重效应, 既有促进作用^[10-11], 也有抑制作用^[12-15]。本试验通过测定植株鲜重的方法在个体水平上获得吡虫啉和多菌灵单施和同时施用对番茄植株生长的影响。结果表明, 吡虫啉和多菌灵分别单施或同时施用对中杂 9 号番茄植株鲜重的影响不大, 说明中杂 9 号番茄对于吡虫啉和多菌灵的耐受性要高于中杂 106 号番茄。由图 3 可以看出, $0\sim0.07 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内的吡虫啉和 $0\sim0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度范围内的多菌灵同时施用可以提高番茄的植株鲜重, 对植株个体生长有一定的促进作用。相反, 吡虫啉和多菌灵高浓度 (如 B_{2.8}D_{1.6}) 同时施用与对照相比则显著降低了番茄的植株鲜重, 植物的个体生长受到抑制。

植物通过光合作用形成碳水化合物, 为植物的生长提供能量。叶绿体是植物进行光合作用的细胞器, 叶绿素则是光合作用中吸收光能的光合色素。叶绿素

含量是表征植物光合作用能力的重要指标,其高低对植物的生长具有重要的意义。农药作为一种外源胁迫因素,施用农药会引起植物光合作用营养物质次生代谢及活性氧代谢等植物生理生化过程的变化^[16-18],从而直接或间接地影响植物叶片的叶绿素含量。梁建萍等^[19]使用苯磺隆推荐剂量 10 d 后,枣树叶绿素含量降低了 31.50%;原向阳等^[20]发现,10%的草甘膦水剂会极显著的降低抗草甘膦大豆的叶绿素含量;彭永康等^[21]用 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 莠去津处理水稻也得到了水稻叶绿素含量下降的类似结果。本试验研究表明,单施或同时施用农药均显著降低了番茄叶片中叶绿素含量,如中杂 106 号番茄 $B_{28}D_{16}$ 处理的叶绿素含量仅为对照处理的 8%,并且施用多菌灵的处理其叶绿素含量显著低于施用吡虫啉的处理。综合番茄植株鲜重与叶绿素含量来看,虽然单施吡虫啉对番茄植株鲜重的影响不大,但与对照相比却显著降低了番茄的叶绿素含量,说明农药对植物的毒害作用在植株个体水平上的表现存在滞后现象,因此在实际生产中仅仅从表观判断农药是否对植物生长有影响是片面的,需要进一步从深层次进行研究探讨。

研究表明,农药和干旱、高低温等一样是一种胁迫因子^[22]。在农药的诱导下,植物能激活体内的抗氧化防卫系统,产生抗氧化酶,清除由于农药胁迫而产生的自由基和过氧化物。目前已知的抗氧化酶有超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)^[23]。关于农药胁迫对植物抗氧化酶的影响,熊丽等^[24]发现在喷洒农药后,小白菜体内 POD、CAT 的活性均比对照有所提高;郭明等^[25]发现喷施农药后,棉叶的 POD、CAT 活性均一定程度表现出“涨落现象”。本试验番茄 POD 活性主要受吡虫啉浓度的影响,施用多菌灵对其影响不大。单施吡虫啉时,中杂 9 号番茄 POD 活性随吡虫啉浓度的增加与对照相比显著增加,当吡虫啉浓度达到 B_{28} 水平时,中杂 106 号番茄细胞的正常代谢受到破坏,诱导产生 POD 的能力下降。不同农药处理间,中杂 106 号番茄的 CAT 活性差异不大,并且对照处理 CAT 活性并不低,这可能是因为番茄本身 CAT 活性较高,农药施入后番茄体内 CAT 足以消除自由基对植物体的伤害,从而导致处理间差异不显著。

植物在逆境条件下会产生大量的活性氧,活性氧很容易使植物细胞内膜发生过氧化作用或脱脂作用,而 MDA 则是细胞内膜脂过氧化或脱脂的产物,它会严重地损伤细胞的细胞膜,降低膜中不饱和脂肪酸的

含量,使膜的流动性降低。因此 MDA 含量是膜系统受伤害的重要标志之一,可作为环境污染评价的有力指标。有研究表明,上海青植株受到毒死蜱胁迫后 MDA 含量显著增高,且毒死蜱浓度越高,组织内的 MDA 含量越高^[26];喷施乐果可促使菠菜叶片中 MDA 含量明显增加^[27]。本试验中两种番茄的 MDA 含量均较高,农药在实验范围内对其 MDA 含量影响不大。中杂 9 号番茄叶片的细胞膜透性较大,单施或同时施用农药后其细胞膜透性均大于对照处理,但处理间差异不显著。中杂 106 号番茄叶片的细胞膜透性相对较小,同时施用农药时,除多菌灵在 D_{02} 浓度水平与吡虫啉同时施用外,其他处理基本都大于对照处理,但差异并不显著,说明本试验农药浓度在实验范围内对番茄细胞结构尚未构成威胁。

正常生长条件下,植物体中游离脯氨酸的含量一般较低,但在逆境胁迫条件下容易积累。积累的脯氨酸除了作为植物细胞质内渗透调节物质外,还在稳定生物大分子结构、降低细胞酸性、解除氨毒以及作为能量库调节细胞氧化还原势等方面起重要作用。植物体内脯氨酸含量在一定程度上反映了植物的抗逆性,因此测定脯氨酸含量可以作为番茄抗性育种的生理指标^[28]。研究表明,毒死蜱过量使用可使小麦植株内游离脯氨酸含量上升^[29];张清智等^[30]发现在喷洒农药后,小白菜体内游离脯氨酸的含量比对照有所提高。本试验农药在实验范围内单施或同时施用均导致番茄体内游离脯氨酸含量的增加,并且随着吡虫啉和多菌灵浓度的增加,游离脯氨酸含量与对照相比也显著增加,如单施 B_{28} 、单施 D_{16} 以及同时施用 $B_{28}D_{16}$ 后中杂 106 号番茄的游离脯氨酸含量显著提高,分别是对照处理的 2.4、2.4 倍和 2.6 倍。由此表明,本试验单施或同时施用吡虫啉和多菌灵后游离脯氨酸含量的变化反映了番茄对逆境胁迫的一种生理适应性。

4 结 论

通过研究吡虫啉和多菌灵分别单施和同时施用对中杂 9 号和中杂 106 号番茄植株鲜重和典型生理生化指标的影响,结果表明:

(1) $0 \sim 0.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度范围内的吡虫啉和 $0 \sim 0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度范围内的多菌灵同时施用可以提高番茄的植株鲜重,表明在低浓度范围存在对作物生长的促进作用; $2.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的吡虫啉和 $1.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的多菌灵无论单施或同时施用都能显著降低番茄的叶绿素含量,表现出对作物生长的抑制作用。

(2)单施或同时施用吡虫啉和多菌灵后,两种番茄体内的 POD、CAT 活性均有不同程度的提高,如中杂 9 号番茄 B_{0.7} 和 B_{2.8}D_{1.6} 处理的 POD 活性分别是对照处理的 1.6 倍和 3.6 倍,说明农药的施用导致番茄体内的活性氧自由基的积累,POD 活性的提高是为了清除活性氧自由基,避免其对番茄产生毒害作用。

(3)单施或同时施用吡虫啉和多菌灵后,两种番茄体内的游离脯氨酸含量均有不同程度的增加,如中杂 106 号番茄 D_{1.6} 和 B_{2.8}D_{1.6} 处理的游离脯氨酸含量分别是对照处理的 2.6 倍和 2.4 倍,表明高浓度农药的施用导致番茄体内游离脯氨酸的积累,其作为细胞质内的渗透调节物质,提高番茄的抗性。

(4)实际生产中需要严格控制农药的施用量,吡虫啉在 0~0.07 mg·L⁻¹ 浓度范围内(相当于商品推荐量 0~0.3 kg·hm⁻²)和多菌灵在 0~0.4 mg·L⁻¹ 浓度范围内(相当于商品推荐量 0~1.8 kg·hm⁻²)的同时施用对番茄的生长有一定的促进作用;高于 0.14 mg·L⁻¹(相当于商品推荐量上限的 2 倍)的吡虫啉和高于 0.8 mg·L⁻¹(相当于商品推荐量上限的 2 倍)的多菌灵无论单施或同时施用对番茄的生长都有一定的抑制作用。

参考文献:

- [1] 尹立红,祁力钧.蔬菜农药使用存在的问题及对策[J].河北农业科技, 2006(7):5.
- YIN Li-hong, QI Li-jun. Problems and countermeasures in the use of vegetable pesticides[J]. *Journal of Hebei Agricultural Science and Technology*, 2006(7): 5.
- [2] Robert C E, Byron W, Charles E. Phytotoxicity of the systemic insecticide imidacloprid on tomato and cucumber in the greenhouse[J]. *Hort Technology*, 2000, 10(1):144-147.
- [3] 胡井荣.化学农药对水稻生理生化和品质的影响及其残留效应分析[D].扬州:扬州大学, 2008.
- HU Jing-rong. Effects of chemical pesticide on physiology and biochemistry of rice plant and rice quality and analysis of residues[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2008
- [4] WU Jin-cai, XU Jian-xiang, YUAN Shu-zhong. Pesticide-induced susceptibility of rice to brown planthopper *Nilaparvata lugens*[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2001, 100:119-126.
- [5] 仪美芹,姜兴印,李学锋,等.吡虫啉对番茄幼苗根系活力及生理生化指标的影响[J].植物保护,2010,36(2):71-74.
- YI Mei-qin, JIANG Xing-yin, LI Xue-feng, et al. Effects of imidacloprid on tomato growth, physiology and biochemistry[J]. *Plant Protection*, 2010,36(2):71-74.
- [6] Pablo C G, Juan M R, Rosa M R, et al. Is the application of carbendazim harmful to healthy plants? Evidence of weak phytotoxicity in tobacco[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50:279-283.
- [7] 毛达如,申建波,等.植物营养研究方法[M].第二版.北京:中国农业大学出版社,2004,13-25.
- MAO Da-ru, SHEN Jian-bo, et al. Research methods on plant nutrition [M]. The second edition. Beijing: China Agricultural University Press, 2004, 13-25.
- [8] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社, 2000.
- LI He-sheng. Experimental principles and techniques of plant physiology and biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [9] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- HAO Zai-bin, CANG Jing, XU Zhong. Experiments of plant physiology [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004.
- [10] Mellors W. Effects of carbofuran and water stress on growth of soybean plants and two spotted mite populations under green house conditions [J]. *Environmental Entomology*, 1984, 13(2):562-567.
- [11] 杨安中,许俊芝.亚精胺浸种对水稻种子萌发及秧苗生长的影响[J].安徽技术师范学院学报,2002,16(1):39-42.
- YANG An-zhong, XU Jun-zhi. Effect of spermidine soaking seed on germination and seedling growth for rice[J]. *Journal of Anhui Technical Teachers College*, 2002, 16(1): 39-42.
- [12] Ferree D C. Influence of pesticides on photosynthesis of crop plants [J]. *Economic Entomology*, 1979, 76(5):1178-1180.
- [13] 巩万奎.杀虫剂累计施用量对棉花衰老及黄萎病抵抗能力的影响[J].棉花学报,2000,12(3):136-139.
- GONG Wan-kui. Effects of accumulated insecticides applying amount on cotton senescence and its resistance to verticillium wilt[J]. *Journal of Acta Gissypii Sinica*, 2000, 12(3): 136-139.
- [14] Sembdner G, Parthier B. The biochemistry and the physiological and molecular actions of jasmonates [J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1993, 44:569-589.
- [15] Youngerman R R, Leigh T F, Kerby T A, et al. Effects of pesticides on photosynthesis, growth, and fruiting of cotton [J]. *Economic Entomology*, 1986, 83(4):1449-1557.
- [16] 刘井兰,于建飞,印建莉,等.化学农药对植物生理生化影响的研究进展[J].农药,2006,45(8):511-514.
- LIU Jing-lan, YU Jian-fei, YIN Jian-li, et al. Research progress on the effect of chemical pesticides on plant physiology and biochemistry[J]. *Journal of Agrochemicals*, 2006, 45(8): 511-514.
- [17] 吴进才,许俊峰,冯绪猛.稻田常用农药对水稻三个品种生理生化的影响[J].中国农业科学,2003,36(5):536-541.
- WU Jin-cai, XU Jun-feng, FENG Xu-meng. Impacts of pesticides on physiology and biochemistry of rice[J]. *Journal of Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(5): 536-541.
- [18] 王业霞,史雪岩,梁沛.三种内吸性杀虫剂对棉花多酚氧化酶和羧酸酯酶活性的影响[J].农药学报,2006,8(4):319-322.
- WANG Ye-xia, SHI Xue-yan, LIANG Pei. Effects of insecticides on the activities of polyphenol oxidase and carboxylesterase in cotton seedlings[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2006, 8(4): 319-322.

- [19] 梁建萍, 寇元斌. 苯磺隆对枣树营养生长及叶绿素含量的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2002, 22(2):129-131.
LIANG Jian-ping, KOU Yuan-bin. Effect of herbicide tribenuron-methyl on the vegetation growth and the chlorophyll content of zizyphus jujuba mill[J]. *Journal of Shanxi Agricultural (Natural Science Edition)*, 2002, 22(2):129-131.
- [20] 原向阳, 毕耀宇, 王鑫, 等. 除草剂对抗草甘膦大豆光合作用和蒸腾作用的影响[J]. 农业现代化研究, 2006, 27(4):311-313.
YUAN Xiang-yang, BI Yao-yu, WANG Xin, et al. Effect of herbicides on photosynthesis and transpiration of glyphosate-resistant soybean [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2006, 27(4):311-313.
- [21] 彭永康, 邹灵芝, 王振英, 等. 三氮苯类除草剂对水稻染色体结构、蛋白质含量及组分的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(4):497-502.
PENG Yong-kang, ZOU Ling-zhi, WANG Zhen-ying, et al. The effect of triazine herbicide atrazine on the chromosome structure, protein content and compositions in *Oryza sativa* L. [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(4):497-502.
- [22] 曲爱军, 郭丽红, 孙绪良, 等. 农药胁迫对大叶黄杨 SOD 和脯氨酸含量的影响[J]. 农药, 2006, 45(1):35-37.
QU Ai-jun, GUO Li-hong, SUN Xu-gen. Effects of pesticide stress on free proline and SOD content in *Euonymus japonica* [J]. *Journal of Agrochemicals*, 2006, 45(1): 35-37.
- [23] 何学利. 植物体内的保护酶系统[J]. 现代农业科技, 2010(10):37-38.
HE Xue-li. Protective enzymes system in plants[J]. *Journal of Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010(10): 37-38.
- [24] 熊丽, 生秀梅, 唐红枫, 等. 甲胺磷农药对小白菜中几种抗氧化物的影响[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(4):381-384.
XIONG Li, SHENG Xiu-mei, TANG Hong-feng, et al. The impact of methamidophos to the activity of antioxidant compounds in Chinese cabbage[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, 23(4): 381-384.
- [25] 郭明, 徐雅丽, 刘明, 等. 几种农药对棉花过氧化氢酶过氧化酶活性的影响[J]. 农业环境保护, 2001, 20(1):10-12.
GUO Ming, XU Ya-li, LIU Ming, et al. Effects of agrochemicals on activity of catalase, peroxidase in cotton[J]. *Journal of Agro-Environmental Protection*, 2001, 20(1): 10-12.
- [26] 徐敦明, 马志卿, 冯俊涛. 毒死蜱和鬼白毒素胁迫对蔬菜上海青抗氧化酶系及丙二醛的影响[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(6): 1089-1092.
XU Dun-ming, MA Zhi-qing, FENG Jun-tao. Effects of chlorpyrifos and podophyllotoxin on anti-oxidative enzymes and the MDA of vegetable (*Brassica rapa* L.) [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(6): 1089-1092.
- [27] 杨涛, 李传勇, 汤惠华. 乐果对菠菜叶片 POD、SOD、CAT 活性及 MDA 含量的影响[J]. 亚热带植物科学, 2004, 33(4):19-21.
YANG Tao, LI Chuan-yong, TANG Hui-hua. Effects of dimethoate on activities of POD, SOD, CAT and MDA content in spinach leaves[J]. *Subtropical Plant Science*, 2004, 33(4):19-21.
- [28] 李小侠. 农药胁迫对棉花生理生化的影响[D]. 新疆:石河子大学, 2008.
LI Xiao-xia. Influences of pesticides stress on physiology and biochemistry of cotton[D]. Xinjiang: Shihezi University, 2008.
- [29] 沈燕, 封超年, 李邵, 等. 农药对干旱胁迫下小麦幼苗生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2007, 3:16-19.
SHEN Yan, FENG Chao-nian, LI Shao, et al. Effects of pesticides on physiological and biochemical characters of wheat seedlings under drought stress[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2007, 3:16-19.
- [30] 张清智, 陈振德, 王文娇, 等. 毒死蜱胁迫对小白菜抗氧化酶活性和相关生理指标的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(9):4524-4530.
ZHANG Qing-zhi, CHEN Zhen-de, WANG Wen-jiao, et al. Effects of chlorpyrifos stress on antioxidant enzyme activities and some related compound contents in pakchoi[J]. *Journal of Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4524-4530.