

宋禹,王强,张昌朋,等. 丁硫克百威、克百威在白菜中的降解[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):135-139.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.037

丁硫克百威、克百威在白菜中的降解

宋禹¹,王强²,张昌朋²,吴莉宇²,何书苗¹

(1. 海南省植物保护总站,海南海口 570203; 2. 省部共建国家重点实验室培育基地“浙江省植物有害生物防控重点实验室”/农业部农药残留检测重点实验室/浙江省农业科学院农产品质量标准研究所,浙江杭州 310021)

摘要:通过温室试验,采用气相色谱法测定丁硫克百威、克百威在白菜中的降解规律。结果表明:丁硫克百威在白菜中逐渐降解,降解半衰期为 0.37~0.82 d;丁硫克百威在白菜中代谢产生克百威和 3-羟基克百威,代谢物含量在白菜中呈现先升高后降低趋势,降解半衰期分别为 2.34~2.83、2.82~3.13 d。克百威在白菜中的降解半衰期为 2.54~2.66 d;克百威在白菜中代谢产生 3-羟基克百威,代谢物含量呈现先升高后降低趋势,降解半衰期为 2.34~2.83 d。

关键词:丁硫克百威;克百威;降解半衰期;代谢产物

中图分类号:S481+.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)11-0135-04

丁硫克百威(carbosulfan)分子式为 $C_2H_{32}N_2O_3S$,人体每日允许摄入量(acceptable daily intake,简称 ADI)为 0.01 mg/kg^[1],属中等毒性、氨基甲酸酯类农药,在昆虫体内抑制乙酰胆碱酯酶产生神经毒性^[2],已被广泛应用在水稻、小麦、番茄、甘蓝等作物上。克百威(carbofuran)分子式为 $C_{12}H_{15}NO_3$,对人体 ADI 值为 0.001 mg/kg^[3],是丁硫克百威主要降解产物之一,毒性为丁硫克百威的 20 倍^[4],对人类生态环境污染严重,已被多个国家淘汰^[5],目前我国克百威登记作物主要为水稻、玉米、花生等,沟施使用防治地下害虫^[6]。3-羟基克百威(3-hydroxy carbofuran)分子式为 $C_{12}H_{15}NO_4$,为丁硫克百威、克百威主要降解产物,毒性较高^[7]。

我国是蔬菜供应大国,叶类蔬菜生产周期短、营养丰富、可食用部分多,因此被广泛种植^[8]。近年来叶类蔬菜抽样调查显示,某些地区样品中禁用克百威农药超标^[9]。据相关报道,叶类蔬菜含有的克百威来源于农民使用丁硫克百威乳油或颗粒制剂^[10]。国内外近年来对丁硫克百威、克百威在水稻、花生等农作物及鱼体内降解动态研究有许多报道^[11-13],在叶类蔬菜上研究较少。探讨丁硫克百威、克百威及 3-羟基克百威的降解动态变化,对安全合理使用农药提供实用性依据,为蔬菜类农药残留检测奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验农药

丁硫克百威原药(92.0%)^[14]、克百威原药(97.5%)^[15]由浙江省农业科学院提供。

1.2 主要试剂

丁硫克百威标准品(98.5%)、克百威标准品(98.5%)和 3-羟基克百威标准品(100.0 mg/L)由上海农药研究所提

供;分析纯乙腈、石油醚、乙酸乙酯、丙酮、氯化钠、无水硫酸钠由杭州双林化工试剂厂提供;分析纯弗罗里硅土、酸性氧化铝由杭州高晶精细化工有限公司提供,650℃烘烤 4 h,5%脱活。

1.3 仪器设备

主要仪器设备:气相色谱仪(美国 Thermo 公司,TRACE GC 2000)、背负式手动喷雾器(SX-LK16)、旋转蒸发器(R-201)、超声波洗脱仪(KH-500B)、气浴恒温振荡器(THZ-82A)、冰箱(BCD-112GM)。

1.4 施药方案

在浙江省杭州市水墩村农户大棚种植白菜(早熟 5 号),生长中期喷施药剂。处理 1、2、3 均喷施 92.0% 丁硫克百威原药,施药剂量分别为 0.025、0.050、0.250 g/m²;处理 4、5、6 均喷施 97.5% 克百威原药,施药剂量分别为 0.025、0.050、0.250 g/m²。每个处理小区面积为 1 m²,重复 3 次,设置空白对照区,小区之间使用隔离带,避免交叉污染。

施药后 2 h、1 d、3 d、5 d、7 d、14 d、21 d、35 d、60 d 采集白菜植株样品。采集的样品立即带回实验室,用不锈钢刀将白菜切成 1~2 cm 大小的碎块,充分混匀,用四缩法缩分,待测定。

1.5 样品测定

1.5.1 前处理过程 称取已制备好的白菜样品 10 g,加入 50 mL 乙腈和 10 mL 水,混匀,振荡 1 h。抽滤,转移滤液至装有 6.0 g 氯化钠的分液漏斗中,剧烈振摇 2 min 后静置 0.5 h,收集上层乙腈相,40℃浓缩至近干,5 mL 乙酸乙酯:石油醚(体积比 3:7)溶解,待净化。

丁硫克百威、克百威净化:量取 3 mL 待净化液浓缩干,用 3 mL 石油醚溶解,待过柱。称取 2.0 g 5%脱活酸性氧化铝装入玻璃层析柱(直径 1 cm,高 25 cm),上下装无水硫酸钠。10 mL 石油醚预淋酸性氧化铝小柱,转移 2 mL 石油醚溶液上样,10 mL 石油醚淋洗,10 mL 乙酸乙酯:石油醚(体积比 2:8)溶液洗脱,洗脱液收集于平底烧瓶中,40℃条件下浓缩干,2 mL 丙酮定容,待测定。

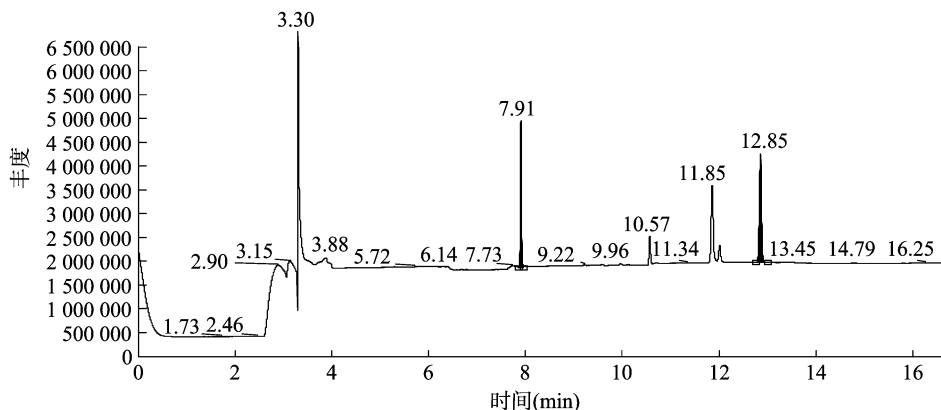
收稿日期:2016-03-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:31401772)。

作者简介:宋禹(1990—)女,辽宁抚顺人,硕士,助理农艺师,主要从事农药残留于环境行为研究。E-mail:xiaoyusssss@sina.com。

3-羟基克百威净化:称取 2.0 g 5% 脱活的弗罗里硅土装入玻璃层析柱(直径 1 cm,高 25 cm),上下装无水硫酸钠。10 mL 乙酸乙酯:石油醚(体积比 3:7)预淋弗罗里硅土小柱,取 2.0 mL 乙酸乙酯:石油醚(体积比 3:7)溶液上样,10 mL 乙酸乙酯:石油醚(体积比 2:8)溶液淋洗,10 mL 乙酸乙酯:石油醚(体积比 5:5)溶液洗脱,洗脱液收集于平底烧瓶中,40 ℃ 条件下浓缩干,2 mL 丙酮定容,待测定。

1.5.2 仪器条件 菲尼根 Trace GC Ultra 气相色谱仪(带 NPD 检测器);HP-5MS(60 m×0.25 mm×0.25 μm);载气: N₂(流量 2 mL/min)、Air(60 mL/min)、H₂(2.3 mL/min);程序升温:80 ℃,保持 1 min;50 ℃/min,200 ℃,保持 3.0 min;50 ℃/min,260 ℃,保持 2 min;50 ℃/min,280 ℃,保持 6 min;进样量 1.0 μL(图 1、图 2、图 3)。



丁硫克百威出峰时间为 12.85 min、克百威出峰时间为 7.91 min

图1 白菜中丁硫克百威、克百威 2.0 mg/kg 添加样品色谱

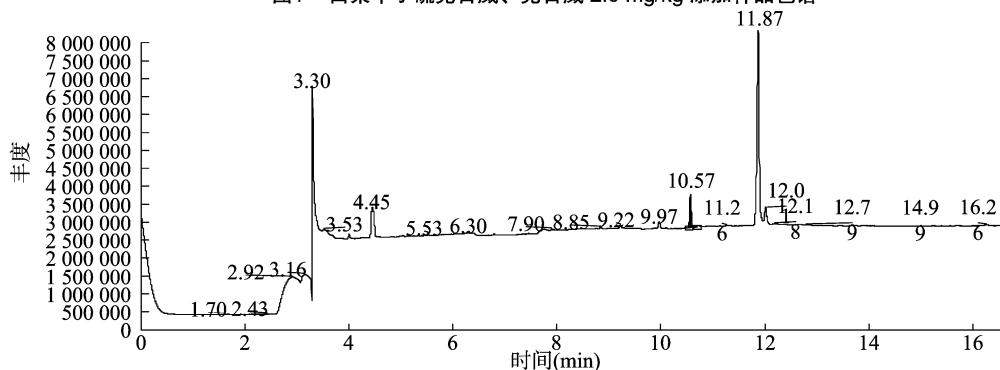


图2 白菜中3-羟基克百威 2.0 mg/kg 添加样品色谱

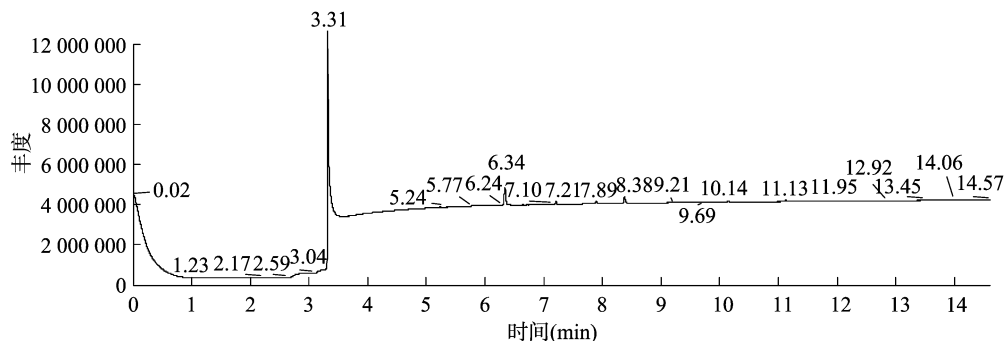


图3 白菜空白对照图谱

2 结果与分析

2.1 丁硫克百威在白菜植株中的降解

在白菜植株上分别喷洒不同剂量的 92.0% 丁硫克百威原药,可以检测到丁硫克百威和代谢物克百威、3-羟基克百威。由表 1 可见,在白菜中,丁硫克百威残留量呈现随时间延

长而降低的趋势,降解较快。施药量为 0.025、0.050、0.250 g/m² 时,丁硫克百威初始含量分别为 0.49、0.92、7.04 mg/kg,施药 7 d 后丁硫克百威的降解率均大于 90%,降解半衰期分别为 0.37、0.72、0.82 d。由表 2 可见,白菜中克百威含量随时间延长整体呈现先升高后降低趋势,施药量为 0.025、0.050、0.250 g/m² 时,白菜中克百威在施药后 3 d 含

量达到最高值,分别为 0.18、1.32、3.58 mg/kg;施药 35 d 后 0.250 g/m² 时,白菜中 3-羟基克百威在施药后 7 d,含量均达到最高值,分别为 0.095、0.770、1.510 mg/kg,施药后 35 d,降解率均大于 90%,降解半衰期分别为 3.13、2.82、2.85 d。

表 1 丁硫克百威在白菜中消解动态(喷施丁硫克百威原药)

时间 (d)	残留量(mg/kg)		
	施药量 0.025 g/m ²	施药量 0.050 g/m ²	施药量 0.250 g/m ²
0	0.490 ± 0.015 0	0.920 ± 0.003 8	7.040 ± 0.130
1	0.250 ± 0.004 0	0.420 ± 0.001 0	3.300 ± 0.220
3	0.010 ± 0.000 7	0.025 ± 0.000 2	0.210 ± 0.002
5	<0.01	0.010 ± 0.000 1	0.094 ± 0.003
7	<0.01	<0.01	0.021 ± 0.002
14	<0.01	<0.01	<0.01
21	<0.01	<0.01	<0.01
35	<0.01	<0.01	<0.01
60	<0.01	<0.01	<0.01
回归方程	$y = 0.703\ 2e^{-1.381\ 4x}$	$y = 0.901\ 0e^{-0.971\ 9x}$	$y = 5.999\ 2e^{-0.844\ 7x}$
R ²	0.928 7	0.972 9	0.928 7
半衰期(d)	0.37	0.72	0.82

表 2 克百威在白菜中消解动态(喷施丁硫克百威原药)

时间 (d)	含量(mg/kg)		
	施药量 0.025 g/m ²	施药量 0.050 g/m ²	施药量 0.250 g/m ²
0	0.060 ± 0.009 0	0.180 ± 0.008 8	1.040 ± 0.059
1	0.160 ± 0.007 6	0.400 ± 0.022 0	3.300 ± 0.130
3	0.180 ± 0.026 0	1.320 ± 0.130 0	3.580 ± 0.082
5	0.110 ± 0.009 1	0.980 ± 0.120 0	3.400 ± 0.300
7	0.120 ± 0.003 1	0.740 ± 0.089 0	1.350 ± 0.100
14	0.092 ± 0.001 9	0.640 ± 0.090 0	0.720 ± 0.046
21	0.018 ± 0.001 6	0.029 ± 0.061 0	0.094 ± 0.013
35	<0.01	<0.01	<0.01
60	<0.01	<0.01	<0.01
回归方程	$y = 0.249\ 0e^{-0.117\ 8x}$	$y = 2.948\ 9e^{-0.192\ 3x}$	$y = 6.084\ 7e^{-0.160\ 8x}$
R ²	0.923 8	0.721 1	0.826 4
半衰期(d)	2.83	2.34	2.52

表 3 3-羟基克百威在白菜中消解动态(喷施丁硫克百威原药)

时间 (d)	含量(mg/kg)		
	施药量 0.025 g/m ²	施药量 0.050 g/m ²	施药量 0.250 g/m ²
0	0.029 ± 0.001 5	0.039 ± 0.000 1	0.330 ± 0.022 0
1	0.035 ± 0.019 0	0.059 ± 0.005 2	0.370 ± 0.036 0
3	0.044 ± 0.001 3	0.083 ± 0.002 0	0.850 ± 0.029 0
5	0.069 ± 0.002 8	0.440 ± 0.019 0	1.070 ± 0.026 0
7	0.095 ± 0.003 8	0.770 ± 0.029 0	1.510 ± 0.057 0
14	0.067 ± 0.003 7	0.570 ± 0.008 5	0.860 ± 0.045 0
21	0.028 ± 0.002 5	0.100 ± 0.006 8	0.580 ± 0.057 0
35	<0.01	0.034 ± 0.004 0	0.060 ± 0.006 5
60	<0.01	<0.01	<0.01
回归方程	$y = 0.190\ 9e^{-0.087\ 3x}$	$y = 1.944\ 4e^{-0.119\ 0x}$	$y = 4.244\ 9e^{-0.115\ 4x}$
R ²	0.913 2	0.870 5	0.828 8
半衰期(d)	3.13	2.82	2.85

2.2 克百威在白菜植株中的降解

在白菜植株上分别喷洒不同剂量的 97.5% 克百威原药,可以检测到克百威和代谢物 3-羟基克百威。由表 4 可见,白菜中克百威含量随呈现随时间延长而呈降低趋势。施药量为 0.025、0.050、0.250 g/m² 时,白菜中克百威初始含量分别

为 3.58、23.46、55.68 mg/kg;施药 35 d 后,降解率均大于 90%,降解半衰期分别为 2.55、2.54、2.66 d。由表 5 可见,白菜中 3-羟基克百威含量随时间延长呈现先升高后降低趋势;施药量为 0.050、0.250 g/m² 时,白菜中 3-羟基克百威在施药后 5 d,含量均达到最高值,分别为 8.17、12.04 mg/kg;施

表 4 克百威在白菜中消解动态(喷施克百威原药)

时间 (d)	含量(mg/kg)		
	施药量 0.025 g/m ²	施药量 0.050 g/m ²	施药量 0.250 g/m ²
0	3.580 ± 0.140 0	23.460 ± 0.170 0	55.68 ± 2.310
1	2.049 ± 0.200 0	11.520 ± 0.210 0	48.83 ± 1.270
3	1.960 ± 0.120 0	6.130 ± 0.150 0	33.11 ± 0.530
5	1.150 ± 0.110 0	4.690 ± 0.690 0	11.25 ± 1.830
7	0.740 ± 0.010 0	1.770 ± 0.280 0	6.37 ± 0.510
14	0.710 ± 0.019 0	1.020 ± 0.064 0	3.79 ± 0.270
21	0.082 ± 0.007 2	0.130 ± 0.010 0	0.63 ± 0.023
35	<0.01	0.095 ± 0.027 0	0.59 ± 0.012
60	<0.01	<0.01	<0.01
回归方程	$y = 2.997\ 7e^{-0.155\ 0x}$	$y = 10.572e^{-0.158\ 2x}$	$y = 33.194e^{-0.139\ 3x}$
r ²	0.827 2	0.533 2	0.667 7
半衰期(d)	2.55	2.54	2.66

表 5 3-羟基克百威在白菜中消解动态(喷施克百威原药)

时间 (d)	含量(mg/kg)		
	施药量 0.025 g/m ²	施药量 0.050 g/m ²	施药量 0.250 g/m ²
0	0.300 ± 0.003 0	0.93 ± 0.041	1.240 ± 0.078
1	0.360 ± 0.001 9	1.98 ± 0.063	2.590 ± 0.130
3	0.840 ± 0.014 0	5.74 ± 0.200	6.130 ± 0.230
5	1.490 ± 0.230 0	8.17 ± 0.270	12.04 ± 1.071
7	0.770 ± 0.500 0	6.20 ± 0.290	9.120 ± 0.190
14	0.730 ± 0.016 0	4.39 ± 0.140	6.820 ± 0.670
21	0.160 ± 0.020 0	1.46 ± 0.034	2.660 ± 0.410
35	0.062 ± 0.006 2	0.50 ± 0.065	1.610 ± 0.052
60	<0.01	<0.01	<0.01
回归方程	$y = 0.249\ 0e^{-0.117\ 8x}$	$y = 2.948\ 9e^{-0.192\ 3x}$	$y = 33.194e^{-0.139\ 3x}$
r ²	0.923 8	0.721 1	0.667 7
半衰期(d)	2.83	2.34	2.66

药量为 0.025 g/m² 时在施药后 5 d, 含量达到最高值, 为 1.49 mg/kg; 施药 60 d 后, 降解率均大于 90%, 降解半衰期分别为 2.83、2.34、2.66 d。

3 结论与讨论

在白菜植株上喷施丁硫克百威, 代谢物为克百威、3-羟基克百威。白菜中丁硫克百威、克百威、3-羟基克百威的降解半衰期分别为 0.37~0.82、2.34~2.83、2.82~3.13 d。在白菜植株上喷施克百威, 克百威代谢为 3-羟基克百威。白菜中克百威和 3-羟基克百威的降解半衰期分别为 2.54~2.66、2.34~2.83 d。丁硫克百威的初始含量较低, 可能与丁硫克百威原药在水中的分散性较差相关^[16]。克百威的初始含量较高, 可能是由于克百威原药在水中的溶解性较高。丁硫克百威在白菜中消解速率较快, 半衰期短于其他文献中的结果, 这可能是由于试验过程中当地温湿度较高、光照较强, 造成丁硫克百威在白菜中降解较快^[17]。克百威在白菜中的半衰期也短于相关报道, 这可能与克百威的水解速率与温度呈正相关等因素相关^[18]。

参考文献:

[1] Soler C, Mañes J, Picó Y. Determination of carbosulfan and its metabolites in oranges by liquid chromatography ion-trap triple-stage mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1109

(2):228-241.
[2] Donovan S, Taggart M, Richards N. An overview of the chemistry, manufacture, environmental fate and detection of carbofuran[M]. Carbofuran and Wildlife Poisoning: Global Perspectives and Forensic Approaches, UK: John Wiley and Sons Inc, 2011:1-18.
[3] 宋稳成. JMPR 评估农药 ADI 和 ARfD 清单[J]. 农药科学与管理, 2009, 30(8):12-17.
[4] 赵桦林. 丁硫克百威在黄瓜和白菜中的残留代谢行为研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012:9-10.
[5] Nguyen T P, Helbling D E, Bers K, et al. Genetic and metabolic analysis of the carbofuran catabolic pathway in *Novosphingobium* sp. KN65.2[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2014, 98(19):8235-8252.
[6] 中华人民共和国农业部农药检定所. 中国农药信息网: 农药登记产品[DB/OL]. [2015-12-30]. <http://www.chinapesticide.gov.cn/>.
[7] 周培, 刘宝峰, 陆貽通. 克百威及其代谢产物的小鼠骨髓红细胞微核试验研究[J]. 环境与职业医学, 2003, 20(4):280-282.
[8] 范双喜, 陈湘宁. 我国叶类蔬菜采收后加工现状及展望[J]. 食品科学技术学报, 2014, 32(5):1-5.
[9] 汪培鸿, 张海娟. 蔬菜农残克百威超标原因调查分析[J]. 杭州农业与科技, 2012(4):47-48.
[10] 植保. 叶菜类蔬菜上慎用丁硫克百威[J]. 农家致富, 2008(6):37.
[11] Plese L P D M, Paraiba L C, Foloni L L, et al. Kinetics of carbosulfan

任亚萍,周 勃,米银法,等. 苯甲酸钠对菊花切花保鲜效果及抗氧化系统的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):139-142.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.038

苯甲酸钠对菊花切花保鲜效果及抗氧化系统的影响

任亚萍¹,周 勃¹,米银法²,崔瑞红³

(1. 河南城建学院建筑与城市规划学院,河南平顶山 467036;

2. 河南科技大学林学院,河南洛阳 471003; 3. 河南科技大学外国语学院,河南洛阳 471003)

摘要:以菊花品种国华白越山切花为试材,研究不同浓度苯甲酸钠保鲜液对鲜切花效果及抗氧化系统的影响。结果表明,加入苯甲酸钠可延长菊花瓶插时间,其中 300 mg/L 效果最好,比对照延长了 16 d。300 mg/L 苯甲酸钠处理后花径最大值出现的时间比对照延缓了 4 d,花径最大值时比对照增加 44.9%。200 mg/L 苯甲酸钠延缓花头拢合时间效果明显,处理后花径增大率第 20 天才开始负增值。POD、SOD、CAT 活性增强,有效减轻了离体切花 H_2O_2 、 O_2^- 对细胞造成的伤害。其中,300 mg/L 苯甲酸钠处理的花瓣 SOD、CAT 活性最强,第 12 天最大值时比对照分别增加 48.5%、44.3%。200 mg/L 苯甲酸钠处理的花瓣 POD 活性最强,第 14 天最大值时比对照增加 145.5%。可见适量浓度的苯甲酸钠能显著延长菊花切花寿命,并能够改善切花水分状况、提高观花品质,以 300 mg/L 苯甲酸钠 + 4% 蔗糖 + 1% 硝酸钙 + 500 mg/L 柠檬酸 + 200 mg/L 8-HQ 配方最佳。

关键词:菊花;鲜切花保鲜;苯甲酸钠;抗氧化系统

中图分类号: S682.1⁺10.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)11-0139-04

苯甲酸钠(sodium benzoate)易穿透细胞膜进入细胞内,具有消除氧自由基、抑制植物细胞呼吸酶活性的作用,从而达到延长保质期的效果^[1]。由于苯甲酸钠价廉易得,目前广泛应用于食品防腐^[2]。如果汁中添加少量时能减缓维生素 C 的氧化且对人体无害^[3]。同时苯甲酸钠又可作为经济适用、无污染的复合型保鲜液的主成分,被应用于切花保鲜方面,如作为环保型保鲜剂,加入苯甲酸钠后,能明显促进月季花枝吸水,改善水分平衡,延缓可溶性蛋白质降解,增大花径,延长瓶插寿命^[4]。申玉华等研究认为,苯甲酸钠作为保鲜剂成份可以起到 Ag^+ 的作用,又不污染环境,能增大康乃馨花径,维持

花瓣细胞膜结构的相对稳定性,增加可溶性糖含量,减少花瓣中 MDA 积累,延长切花瓶插寿命^[5]。丁义峰等研究认为,苯甲酸钠能降低保鲜液的 pH 值,提高玫瑰切花 SOD、POD 活性,减少花枝的物理堵塞,有利于花枝对水分和养料的吸收^[6]。适宜浓度的苯甲酸钠保鲜液也可明显延长芍药切花寿命,维持切花鲜质量,增强水分平衡^[7]。含苯甲酸钠的保鲜液配方不但能够替代 Ag^+ 的配方,用于切花保鲜,而且还能有效克服非洲菊弯颈现象^[8]。苯甲酸钠保鲜液还能延长百合^[9]、郁金香^[10]、唐菖蒲^[11]切花瓶插寿命,增加花瓣中可溶性糖的含量,减少脯氨酸积累,延迟细胞膜相对透性的增加,有效延长切花瓶插的时间,提高切花品质。

菊花(*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.)是名贵观赏花卉,为我国十大名花之一,具有很高的观赏和经济价值,研究菊花切花保鲜处理对延长其观花期、提高经济价值都具有重要意义。在菊花切花保鲜上的研究较多,但大都局限于如 6-BA、 Ag^+ 等非环保物质上,且多数并不价廉。因此,本研究以苯甲酸钠为保鲜成份,试图弄清其对菊花切花的保鲜效果及抗氧化代谢的作用机制,为菊花切花保鲜提供技术支持和理论依据。

收稿日期:2016-02-29

基金项目:国家自然科学基金(编号:31101536);国家重点实验室开放课题(编号:20120630);河南科技大学博士科研基金(编号:09001473)。

作者简介:任亚萍(1983—),女,河南郑州人,硕士,主要从事园林植物栽培生理与生态设计等研究工作。E-mail: jimapple@126.com。

通信作者:米银法,博士,副教授,主要从事园林、园艺植物栽培切花保鲜及抗性生理研究。E-mail: miyinf@sohu.com。

hydrolysis to carbofuran and the subsequent degradation of this last compound in irrigated rice fields[J]. Chemosphere, 2005, 60(2): 149-156.

[12] 潘波,林勇,姜蕾,等. 丁硫克百威对水中食蚊鱼的毒性及其降解产物克百威的动态变化[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(9): 1764-1770.

[13] 谢恩平,林亲铁,杨仁斌. 克百威丙硫克百威和丁硫克百威的残留与降解研究进展[J]. 农药科学与管理, 2002, 23(3): 18-20.

[14] 国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国化工行业标准丁硫克百威原药: GB 22609—2008[S]. 北京: 中国标准出版

社, 2008.

[15] 国家石油和化学工业局. 中华人民共和国化工行业标准克百威原药: HG 3621—1999[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.

[16] 潘波,方佳,林勇,等. 丁硫克百威原药和制剂对蚯蚓的毒性及其降解产物克百威的动态变化[J]. 热带作物学报, 2013, 34(11): 2272-2277.

[17] 赵志强,侯宪文,李勤奋,等. 毒死蜱和丁硫克百威对香蕉根际土壤酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 98-103.

[18] 吴加伦,樊德方. pH 和温度对呋喃丹水解速率的影响[J]. 浙江农业大学学报, 1987(1): 78-83.