

乙酰甲胺磷及其高毒代谢物甲胺磷在白菜中的残留动态

洪文英, 吴燕君, 王道泽, 谢国雄, 周航, 洪奎贤

(杭州市植保土肥总站, 杭州 310020)

摘要:为明确乙酰甲胺磷在叶菜类蔬菜上使用后的环境安全性,采用气相色谱法比较研究了露地与设施栽培条件下乙酰甲胺磷及其高毒代谢物甲胺磷在白菜中的残留动态规律和最终残留。结果表明,按推荐使用剂量、2倍推荐使用剂量施药1次,乙酰甲胺磷在白菜中降解半衰期为2.060~3.203 d,大棚条件下降解速度慢于露地条件下降解速度;乙酰甲胺磷在降解过程中可代谢产生甲胺磷,作物中甲胺磷的残留量是乙酰甲胺磷代谢生成和甲胺磷本身降解两个过程共同作用的结果,施药几天后,出现一个甲胺磷残留的高峰;乙酰甲胺磷施用在白菜上可能会有较高的甲胺磷残留风险,尤其是大棚栽培方式、施药浓度高的情况下使用乙酰甲胺磷具有更高的甲胺磷残留风险。因此,在白菜等叶菜类蔬菜上应谨慎使用乙酰甲胺磷,露地栽培条件下的安全间隔期应延长为21 d,设施栽培条件下不宜使用。

关键词:乙酰甲胺磷;甲胺磷;白菜;消解动态;代谢

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)05-0860-07

Residue Dynamics of Acephate and Its Metabolite Methamidophos in Pakchoi

HONG Wen-ying, WU Yan-jun, WANG Dao-ze, XIE Guo-xiong, ZHOU Hang, HONG Kui-xian

(Hangzhou Plant Protection and Soil-fertilizer Station, Hangzhou 310020, China)

Abstract: In order to definitude environmental safety and establish safe application standard, residue dynamics and final residue of acephate and its metabolite methamidophos were comparatively studied by the method of gas chromatography in open field and greenhouse vegetables. Meanwhile a safe application method of the insecticide was developed to provide a guideline for application of acephate in field, and to refine and update the residue data which was helpful to determine the harvest interval. The results showed that when the 30% acephate (EC) was applied one time by the dilution with 1:1 000 and 1:500, the half-lives of acephate in pakchoi were 2.060~3.203 d, respectively. The half-lives in greenhouse were longer than that in open field, which implied that acephate in greenhouse was more slowly degraded than that in open field. Acephate could be metabolized to methamidophos in the process of degradation, and the residue of methamidophos resulted from both degradation and metabolism. There was a distinct peak of methamidophos residue after several days of treatment. With the application of acephate on pakchoi, there could be a high methamidophos residue risk, and there was a higher residue risk under greenhouse conditions and higher concentration of the pesticide. It's suggested that it should be careful to apply acephate on leafy vegetables. The safe interval of acephate should be extended to 21 days before harvest, and the quality of the products will meet the minimum requirement level (MRL) on pakchoi of China. The application of acephate is not recommended under greenhouse conditions.

Keywords: acephate; methamidophos; pakchoi; degradation dynamics; metabolize

乙酰甲胺磷是一种广谱性有机磷杀虫剂,由于高效、持效期长、内吸性强且急性毒性较小(大鼠急性经口 LD_{50} 值为 $945 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),作为甲胺磷等高毒农药低毒化的优良产品被广泛应用,尤其在无公害蔬菜生产基地作为高毒农药替代产品使用广泛^[1-3]。然而近几年

农药残留检测监管中,甲胺磷农药残留超标事件仍有发生,这与乙酰甲胺磷的使用有很大关系。有关研究表明,乙酰甲胺磷在降解过程中能代谢出甲胺磷,同时乙酰甲胺磷作为甲胺磷的N-乙酰基衍生物,其制剂中有少量甲胺磷存在^[4-5]。因此,作物中使用乙酰甲胺磷可能存在甲胺磷残留风险,而在我国的相关标准中甲胺磷是不允许在蔬菜上检测出来的高毒农药^[6]。为全面了解乙酰甲胺磷的代谢情况并正确评价其安全性,研究乙酰甲胺磷及其高毒代谢产物甲胺磷在蔬

收稿日期:2010-09-30

基金项目:杭州市科技计划项目(20091133B20)

作者简介:洪文英(1967—),浙江杭州人,高级农艺师,主要从事农药安全应用技术研究。E-mail:hongwy@hz.com

菜中的残留动态十分必要。目前国内外关于乙酰甲胺磷的报道多为单一栽培方式和施药浓度下其消解动态的研究,同时结合栽培方式、施药浓度等影响因素研究乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷残留消解规律的尚未见报道^[7-10]。本试验选择有代表性、易产生农药残留超标^[11]的速生叶菜——白菜为研究对象,对不同栽培方式、不同施药量下乙酰甲胺磷及其高毒代谢产物甲胺磷的残留降解动态、最终残留量等进行试验,研究并掌握其残留特点,为该农药在杭州及同类地区的合理使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验农药:30%乙酰甲胺磷乳油制剂(浙江嘉化集团股份有限公司);试验作物:白菜,品种为早熟5号;试验时间:2010年5—6月;试验地点:杭州市植保土肥总站试验基地,地块水、肥条件良好,土质为砂壤土。理化性质见表1。

表1 试验地土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soils in experimental plots

土类 Soil classification	有机质 Organic matter/ g·kg ⁻¹	水解性氮 Hydrolyzable nitrogen/ mg·kg ⁻¹	速效磷 Available P/ mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K/ mg·kg ⁻¹	pH
砂质壤土	12.1	83.12	54.7	81.18	6.95

1.2 施药方法

将30%乙酰甲胺磷乳油制剂按照试验设计剂量稀释后,用WS-16型手动喷雾器(喷孔直径0.7 mm,工作压力300~400 kPa)进行叶面喷雾,每667 m²用药液量37.5 kg。

1.3 田间试验设计

1.3.1 残留消解动态试验

设露地、大棚种植两种处理,于2010年5月4日对白菜进行药剂处理,施药剂量分别为推荐使用剂量、2倍推荐使用剂量即稀释1 000倍、500倍,施药次数为1次,并设清水对照,每个处理3次重复,每个重复小区面积约为20 m²,分别于施药后1 h和1、3、5、7、10、14、17、21 d按照农业部行业标准NY/T 788—2004《农药残留试验准则》^[11]进行采样和样品处理。

1.3.2 最终残留试验

设露地、大棚种植两种处理,施药剂量分别为推荐使用剂量、2倍推荐使用剂量即稀释1 000倍、500

倍,施药次数1次,各设3个重复,每个重复小区面积约为20 m²,分别于施药后7、14、21 d按照《农药残留试验准则》^[12]对样品进行采样和样品处理。

1.4 分析方法

1.4.1 仪器、试剂和材料

美国Thermo TraceGC Ultra气相色谱仪(带AIS-3000自动进样器、火焰光度检测器、Xcalibur色谱工作站1.4版);高速匀浆分散器(T18,德国IKA公司);自动浓缩仪(Büchi R205型,瑞士步琪有限公司);超声波清洗器(KQ-50B型,昆山市超声仪器有限公司)。

甲胺磷、乙酰甲胺磷标准品(1 000 mg·L⁻¹)购自农业部环境保护科研监测所。0~4℃条件下保存,按需要稀释。

试剂:乙腈、丙酮、氯化钠等均为分析纯(使用前于140℃条件下烘4 h),超纯水。

1.4.2 分析步骤

称取25 g(精确到0.01 g)粉碎的样品于匀浆杯中,用量筒准确加入50 mL乙腈,在匀浆器上高速匀浆提取2 min,抽滤,滤液转移到盛有10 g氯化钠的具塞量筒中,剧烈振荡,静置30 min。分层后取10 mL上清液在40℃水浴、17.5 kPa真空下浓缩近干,氮气缓慢吹干,丙酮多次转移定容至5 mL容量瓶中,混匀,待气相色谱测定。

1.4.3 色谱检测条件

色谱柱Varian VF-1701 MS柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);载气为氮气,纯度≥99.999%,流速1 mL·min⁻¹;燃气为氢气,流速90 mL·min⁻¹;助燃气为空气,流速115 mL·min⁻¹;柱温采用程序升温模式,70℃(1 min)→30.0℃·min⁻¹→190℃→10.0℃·min⁻¹→210℃(1 min)→70.0℃·min⁻¹→280℃(4 min);进样口温度230℃,检测器温度150℃,基座温度300℃。

在此条件下,甲胺磷、乙酰甲胺磷保留时间分别为5.84 min和7.31 min。

1.4.4 标准曲线

用丙酮稀释得到一系列甲胺磷、乙酰甲胺磷标准溶液,浓度分别为50、100、200、400、800、1 600 μg·L⁻¹标准溶液,进气相色谱进行分析,图1为气相色谱图。最后以标样浓度为横坐标,检测峰面积为纵坐标绘制标准曲线。在此范围内,农药浓度与峰面积呈线性相关,乙酰甲胺磷的线性方程为:

$$y=21\,271x-573\,120\ (R=0.999\,7)$$

甲胺磷的线性方程为:

$$y=35\,762x-487\,189\ (R=0.999\,9)$$

1.4.5 添加回收率及相对标准偏差

在未检出甲胺磷和乙酰甲胺磷的青菜样品中分别添加不同含量水平的农药混合标准液,涡旋混合 2 min,静置 30 min。使添加浓度分别为 0.05、0.2 mg·kg⁻¹ 和 1 mg·kg⁻¹, 每个添加水平做 3 次平行实验,按照 1.4.2 所述步骤处理后进样,计算加标回收率和相对

标准偏差(RSD),结果见表 2。乙酰甲胺磷的添加回收率为 82.7%~87.9%,相对标准偏差为 5.81%~8.28%;甲胺磷的添加回收率为 81.8%~88.0%,相对标准偏差为 4.43%~9.52%,结果符合农药残留分析方法的要求。该方法乙酰甲胺磷和甲胺磷的最小检出量均为 5 ×10⁻⁹ g,白菜样品中乙酰甲胺磷和甲胺磷的最低检出

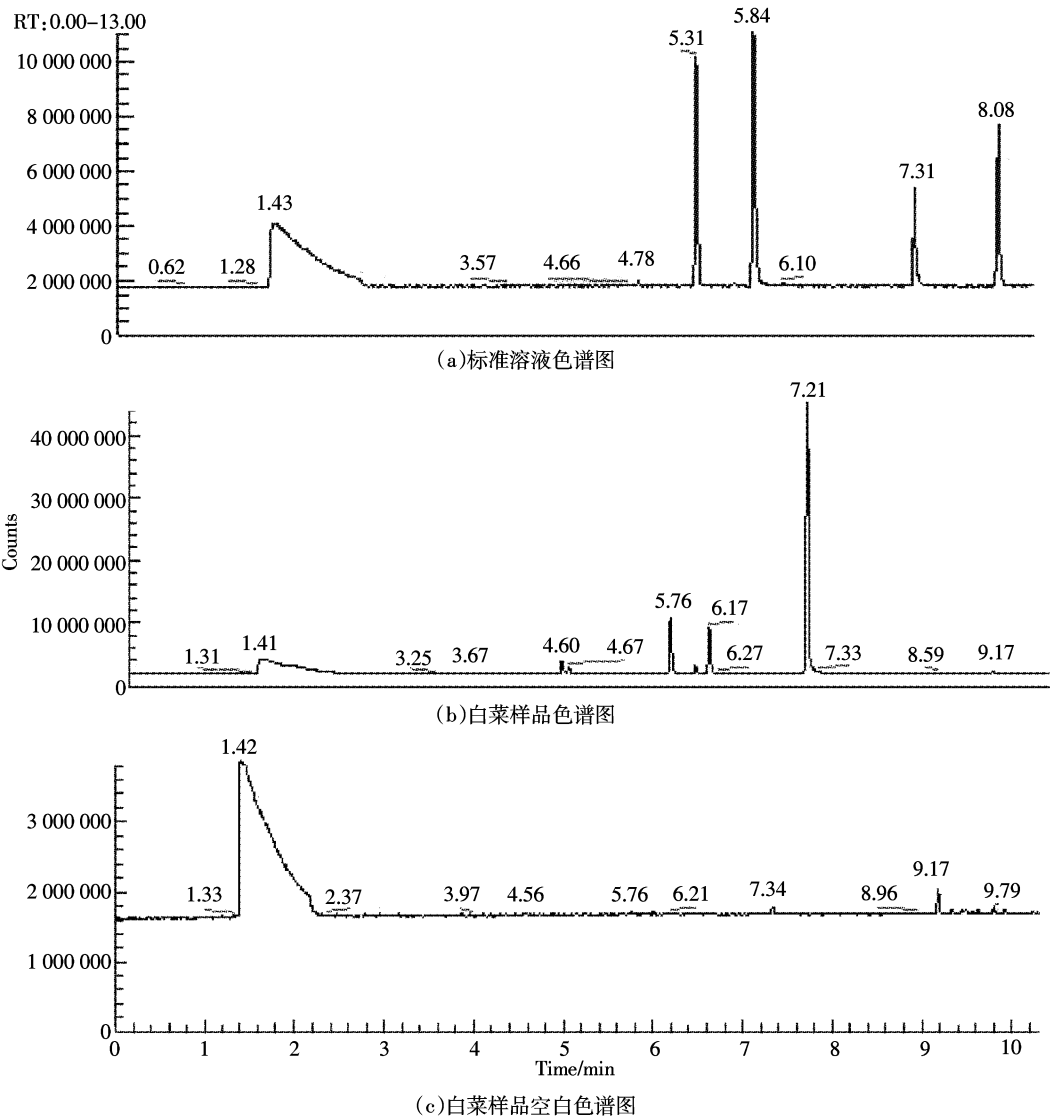


图 1 乙酰甲胺磷和代谢物甲胺磷的气相色谱图

Figure 1 Gas chromatography of acephate and metabolite methamidophos

表 2 方法添加回收率和精密度(n=3)

Table 2 Recovery and precision of method(n=3)

基质名称 Matrix	添加水平 Fortification level/mg·kg ⁻¹	甲胺磷 Methamidophos		乙酰甲胺磷 Acephate	
		平均回收率 Average of Recovery/%	相对标准偏差 RSD/%	平均回收率 Average of Recovery/%	相对标准偏差 RSD/%
白菜 Pakchoi	0.05	86.1	9.52	87.9	8.28
	0.2	81.8	4.43	82.7	5.81
	1	88.0	5.12	84.4	6.78

浓度均为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2 结果与讨论

2.1 白菜中乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷的残留动态

2.1.1 大棚及露地条件下乙酰甲胺磷在白菜中的残留消解动态

按试验设计进行操作和取样测定,得到大棚及露地栽培条件下 30%乙酰甲胺磷乳油制剂在白菜上的残留降解动态结果(表 3)。由试验数据及分析结果可知,乙酰甲胺磷在白菜中的残留量随时间延长而逐渐降低。施药后采样间隔的时间与白菜中的残留量呈指数关系,消解过程基本符合动力学一级降解模型。大棚栽培条件下,按推荐使用剂量、2 倍推荐使用剂量施药后,乙酰甲胺磷在白菜中的原始沉积量分别为 7.113 、 $11.017 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其降解曲线方程分别为 $C=4.083 4\text{e}^{-0.216 4t}$ ($R=0.960 6$)、 $C=9.124 3\text{e}^{-0.250 4t}$ ($R=0.971 3$),降解半衰期分别为 3.203 、 2.768 d 。露地栽培条件下乙酰甲胺磷在白菜上的残留动态消解过程也基本符合一级动力学方程,1 000 倍、500 倍的 30%乙酰甲胺磷乳油制剂施用后,乙酰甲胺磷在白菜中的原始沉积量分别为 3.732 、 $12.500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其降解曲线方程分别为 $C=3.614 8\text{e}^{-0.336 4t}$ ($R=0.959 0$)、 $C=7.823 3\text{e}^{-0.263 8t}$ ($R=0.973 0$),降解半衰期 $t_{1/2}$ 分别为 2.060 、 2.628 d 。

对比表 3 数据可以看出,大棚和露地栽培方式下,施药浓度高的白菜上乙酰甲胺磷的原始沉积量都要明显高于低浓度施药情况下的相应值,表明白菜中

乙酰甲胺磷的原始沉积量受施药剂量的影响较大,施药剂量高者原始沉积量较高。从降解半衰期比较来看,大棚栽培作物施用乙酰甲胺磷后,不同施药浓度下 $t_{1/2}$ 均有所延长,说明栽培方式在一定程度上影响了乙酰甲胺磷的消解。大棚作物的降解速率较露地作物慢,分析其原因,一方面可能由于大棚薄膜设施的阻挡,紫外线强度减弱,而乙酰甲胺磷对光的敏感程度较强,其分子能在太阳光的作用下形成激发态分子,导致其分子键的断裂发生光化学降解^[13-15],因此与露地栽培作物相比,大棚条件下白菜对乙酰甲胺磷光化学分解作用较差;另一方面大棚处于封闭状态,风力相对很小,空气流动缓慢,农药不易挥发散失,空气中的残留农药也易降落到作物表面,加之无法接受露珠、雨水的淋溶,农药消解相对缓慢,这可能也是造成大棚中白菜上乙酰甲胺磷残留半衰期较露地白菜长的一个重要原因。

2.1.2 大棚及露地条件下乙酰甲胺磷高毒代谢物甲胺磷的残留特点

乙酰甲胺磷作为甲胺磷乙酰化衍生物,一方面其制剂中允许含有少量甲胺磷,本试验中经仪器检测分析,供试乙酰甲胺磷制剂中含有质量分数为 0.38% 的甲胺磷;另一方面,乙酰甲胺磷降解过程中会在作物体内代谢产生甲胺磷,因此,笔者认为乙酰甲胺磷喷施到作物上后,甲胺磷的检测残留量是由乙酰甲胺磷代谢生成和甲胺磷本身消解两个过程共同作用的结果。试验结果从图 2~图 4 可以明显看出,乙酰甲胺磷

表 3 乙酰甲胺磷在白菜中的残留动态($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 3 Residual dynamics of acephate in pakchoi($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

采样距施药间隔天数 Sampling interval period/d	大棚栽培 Greenhouse		露地栽培 Open field	
	稀释倍数 1 000×	稀释倍数 500×	稀释倍数 1 000×	稀释倍数 500×
1/24	7.113	11.017	3.723	12.500
1	2.883	7.037	1.437	5.283
3	1.687	2.930	1.080	2.210
5	0.883	1.840	0.950	2.133
7	0.847	1.380	0.787	1.800
10	0.383	1.237	0.141	0.310
14	0.273	0.417	0.019	0.257
17	0.227	0.220	<LOD	0.093
21	0.024	0.022	<LOD	<LOD
	$C=4.083 4\text{e}^{-0.216 4t}$	$C=9.124 3\text{e}^{-0.250 4t}$	$C=3.614 8\text{e}^{-0.336 4t}$	$C=7.823 3\text{e}^{-0.263 8t}$
	$t_{1/2}=3.203 \text{ d}$	$t_{1/2}=2.768 \text{ d}$	$t_{1/2}=2.060 \text{ d}$	$t_{1/2}=2.628 \text{ d}$
	$R=0.960 6^{**}$	$R=0.971 3^{**}$	$R=0.959 0^{**}$	$R=0.973 0^{**}$

注:**:极显著($P<0.01$);*:显著($P<0.05$)。LOD 表示仪器检出限。下同。

** :Significantly different at 0.01 probably level; * :Significantly different at 0.05 probably level. LOD:Limit of detection. The same as below.

在白菜中的残留量随时间延长逐渐降低,而甲胺磷在施药几天后,出现一个残留的高峰,这说明乙酰甲胺磷在白菜中代谢产生了甲胺磷。从试验结果及分析结果可知,大棚栽培条件下,按推荐使用剂量、2 倍推荐使用剂量施药后,代谢物甲胺磷在白菜中的原始沉积量分别为 0.387、0.710 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 分别在施药后 3、7 d 出现甲胺磷残留高峰,残留量分别为 0.337、0.450 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;露地栽培条件下,30%乙酰甲胺磷乳油制剂按 1 000 倍、500 倍稀释的浓度施用后,甲胺磷在白菜中的原始沉积量分别为 0.237、0.743 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,均在药后 7 d 出现甲胺磷残留高峰,残留量分别为 0.470、0.697 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。通过图 2、图 3 对比可以看出,大棚和露地栽培方式下,乙酰甲胺磷施药浓度高的白菜上,代谢物甲胺磷的原始沉积量和残留高峰值均明显高于低浓度施药情况下的相应值,说明甲胺磷的代谢残留量受施药剂量的影响较大,施药剂量高者甲胺磷残留风险相对较大。同时,露地栽培条件下,施用不同浓度乙酰甲胺磷后其代谢物甲胺磷的残留高峰值均高于设施栽培条件下的相应值,这可能与露地栽培情况下光照

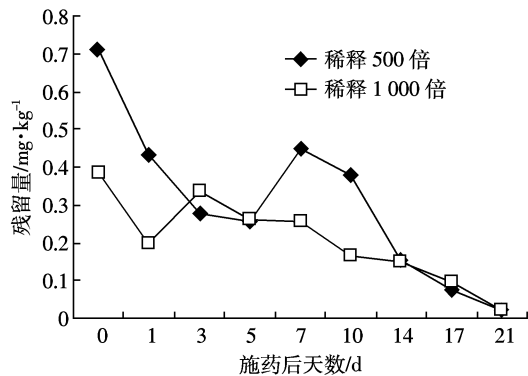


图 2 代谢物甲胺磷在大棚栽培白菜中的残留动态
Figure 2 Residue dynamics metabolite methamidophos of vegetable in greenhouse

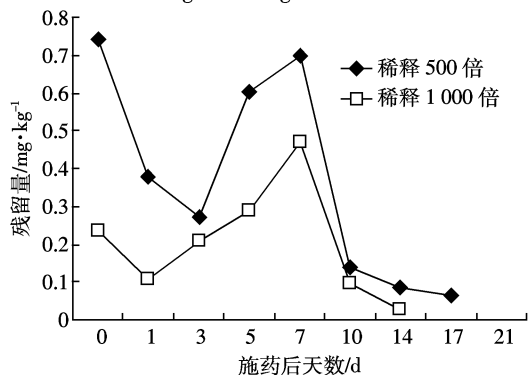


图 3 代谢物甲胺磷在露地栽培白菜中的残留动态
Figure 3 Residue dynamics metabolite methamidophos of vegetable in open field

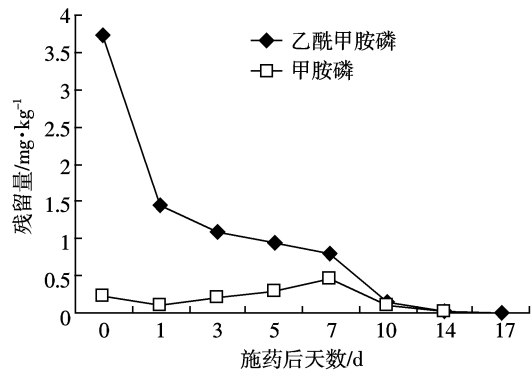


图 4 乙酰甲胺磷及其高毒代谢物甲胺磷在白菜中的残留动态
Figure 4 Residue dynamics of acephate and metabolite methamidophos in pakchoi

强度较大利于乙酰甲胺磷代谢产生甲胺磷有关,具体机制尚需进一步研究确定。

2.2 白菜中乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷的最终残留量

2.2.1 乙酰甲胺磷的最终残留量

按照上述试验设计进行施药和采样测定,对施药后第 7、14、21 d 白菜中乙酰甲胺磷的最终残留量进行分析,所测结果见表 4。结果表明,按推荐使用剂量在白菜上施药 1 次后,间隔 7~21 d 取样测定,大棚及露地栽培条件下乙酰甲胺磷的残留量比较低,均小于国家规定的乙酰甲胺磷在蔬菜上的 MRL 值($1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。但 2 倍推荐使用剂量喷施 1 次后,间隔 7 d 取样检测白菜样品,其大棚及露地栽培条件下乙酰甲胺磷的残留量分别为 1.380、1.800 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 高于国家标准;药后 14~21 d,乙酰甲胺磷在白菜中的残留量减少,随着间隔期的增大,农药逐渐降解。说明施药浓度高的情况下乙酰甲胺磷的残留量增大,农药残留超标的风险大大增加。

2.2.2 代谢物甲胺磷的最终残留量

从表 5 代谢物甲胺磷的最终残留量分析可以看

表 4 乙酰甲胺磷在白菜中的最终残留量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 4 Final residues of acephate in pakchoi($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

施药的稀释倍数 Dilution multiple	采样距施药 间隔天数 Sampling interval period/d	栽培方式 Cultivated pattern	
		大棚栽培 Greenhouse	露地栽培 Open field
1 000 倍	7	0.847	0.787
	14	0.273	0.019
	21	0.024	<LOD
500 倍	7	1.380	1.800
	14	0.417	0.257
	21	0.022	<LOD

出,大棚栽培条件下,白菜上施用不同浓度乙酰甲胺磷后 7~21 d 均能检测出甲胺磷的存在,其残留量范围 0.021~0.450 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;露地栽培作物施用不同浓度乙酰甲胺磷后,间隔 7~14 d 采样检测,其残留量范围 0.024~0.697 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,药后 21 d 取样,白菜样品中的甲胺磷残留量低于仪器的检测限。同时随着施药浓度的增加,代谢物甲胺磷在白菜中的残留量增大。说明栽培方式和施药浓度对代谢物甲胺磷的残留量均有很大的影响,大棚栽培方式、施药浓度高的情况下甲胺磷的残留风险较高。

表 5 代谢物甲胺磷在白菜中的最终残留量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 5 Final residues of methamidophos in pakchoi($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

施药的稀释倍数 Dilution multiple	采样距施药 间隔天数 Sampling interval period/d	栽培方式 Cultivated pattern	
		大棚栽培 Greenhouse	露地栽培 Open field
1 000 倍	7	0.257	0.470
	14	0.147	0.024
	21	0.021	<LOD
500 倍	7	0.450	0.697
	14	0.154	0.087
	21	0.022	<LOD

2.2.3 乙酰甲胺磷在白菜上的安全使用技术

我国于 2005 年修改并颁布了新的农药残留限量(MRL)国家标准,该标准规定乙酰甲胺磷在蔬菜中的最终残留限量为 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而甲胺磷是不允许在蔬菜上检测出来的高毒农药。本试验结果显示,不同浓度乙酰甲胺磷施药 21 d 后,大棚栽培白菜上均能检测到乙酰甲胺磷及其高毒代谢物甲胺磷,露地栽培白菜上乙酰甲胺磷及代谢物残留量低于仪器的检测限。白菜主要以叶食用,其叶中检测到甲胺磷残留,按我国相关标准应属甲胺磷残留量超标。根据农药使用准则,乙酰甲胺磷按推荐使用剂量施药 1 次,在露地栽培白菜上的安全间隔期应为 21 d,而大棚栽培条件下使用乙酰甲胺磷可能存在较高的甲胺磷残留风险,白菜是一种生育期较短的作物,药后 21 d 仍能检测出高毒代谢物甲胺磷,因此建议在设施栽培白菜等叶菜类蔬菜生产中不宜推荐使用乙酰甲胺磷。

3 结论

本试验结果表明,30%乙酰甲胺磷乳油制剂按推荐使用剂量、2 倍推荐使用剂量施药 1 次,白菜中乙酰甲胺磷的残留量随时间延长而逐渐降低,降解半衰期为 2.060~3.203 d;乙酰甲胺磷在消解过程中可代谢

产生甲胺磷,作物中甲胺磷的检测残留量是乙酰甲胺磷代谢生成和甲胺磷本身消解两个过程共同作用的结果,施药几天后,出现一个甲胺磷残留的高峰。乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷的残留降解动态受栽培方式、施药剂量的影响较大,施药浓度高的白菜上乙酰甲胺磷的原始沉积量、代谢物甲胺磷的原始沉积量和残留高峰值都要明显高于低浓度施药情况下的相应值;大棚白菜上乙酰甲胺磷的降解速度较露地白菜上慢,而不同施药浓度下露地白菜上代谢物甲胺磷的残留高峰值均高于设施栽培条件下的相应值,推测这可能与大棚紫外线的强度减弱、露地及设施条件下生态环境不同有关,具体尚需进一步研究确定。

最终残留试验结果表明,30%乙酰甲胺磷乳油按 2 倍推荐使用剂量施药 1 次后,间隔 7 d 取样检测白菜样品,其大棚及露地栽培条件下乙酰甲胺磷的残留量为 1.380~1.800 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,高于国家标准;大棚栽培条件下,白菜上施用不同浓度乙酰甲胺磷后 7~21 d 均能检测出代谢物甲胺磷的存在,露地栽培条件下乙酰甲胺磷及甲胺磷药后 21 d 均未检出。大棚栽培方式、施药浓度高的情况下乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷的残留量较高。

我国的农药合理使用准则规定乙酰甲胺磷在叶菜类蔬菜上每季最多使用 2 次,安全间隔期不少于 7 d (秋冬季为 9 d)^[6]。按此标准种植白菜等叶菜类蔬菜,在低浓度施药剂量喷雾的情况下应该不会发生乙酰甲胺磷残留量超标,但在高浓度施药剂量喷雾情况下,尽管按照标准规定严格遵守采收安全间隔期,乙酰甲胺磷还是存在较高的残留超标风险;而不同施药浓度下其高毒代谢物甲胺磷均存在较高的残留风险,设施栽培条件下其残留风险大大增加。因此,建议在白菜等叶菜类蔬菜上使用乙酰甲胺磷时需谨慎,结合栽培条件的差异性适当调整有关该农药的安全使用技术准则,以符合国家标准规定的 MRL 值,露地栽培条件下的安全间隔期延长为 21 d,设施栽培条件下不宜使用。至于乙酰甲胺磷在其他蔬菜上的残留风险及安全使用技术,尚需扩大作物种类进一步开展不同生态环境和不同生产方式条件下的残留试验进行研究确定。

参考文献:

- [1] 张智杰. 高毒有机磷农药替代产品乙酰甲胺磷的应用前景[J]. 广东农业科学, 2007 (6): 66-68.
ZHANG Zhi-jie. High-toxic organic phosphorus pesticide substitute products acephate and application prospects[J]. Guangdong Agricultural

- Sciences*, 2007(6):66-68.
- [2] 李雪刚, 付文焕, 曹敏惠, 等. 50%乙酰甲胺磷 WG 的配制 [J]. 农药, 2006, 45(10):664-666.
LI Xue-gang, FU Wen-huan, CAO Min-hui, et al. Formulation of an acephate 50% water dispersible granule[J]. *Agrochemicals*, 2006, 45(10):664-666.
- [3] 朱永和, 王振荣, 李布青. 农药大典 [M]. 北京: 中国三峡出版社, 2006: 104, 1117.
ZHU Yong-he, WANG Zhen-rong, LI Bu-qing. Encyclopedia of agricultural chemicals[M]. Beijing: Three Gorges Press of China, 2006: 104, 1117.
- [4] J. Sanz-Asensio, A. P. Martinez-Prado, Behavior of acephate and its metabolite methamidophos in apple sample[J]. *Chroma*, 1999, 49 (3/4): 153-159.
- [5] Antonious G F, Snyder J C. Residues and half-lives of acephate, methamidophos and pirimiphos-methyls in leaves and fruits of greenhouse-grown tomatoes[J]. *Envi Cont Toxi*, 1994, 52(1): 141-148.
- [6] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB 2763—2005. 食品中农药最大残留限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 2763—2005. Maximum residue limits for pesticides in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [7] 施海燕, 王鸣华, 李波, 等. 乙酰甲胺磷在青菜中的残留动态研究[J]. 江苏农业科学, 2007(1):209-210.
SHI Hai-yan, WANG Ming-hua, LI Bo, et al. Residue dynamics of acephate in *Brassica chinensis* L.[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2007(1):209-210.
- [8] 尹君, 金国勋, 蔡贞, 等. 30%乙酰甲胺磷(乳油)在鸡毛菜上的消解动态试验研究[J]. 上海农业科技, 2004(4):83-84.
YIN Jun, JIN Guo-xun, CAI Zhen, et al. Field residue decline study of acephate in *Brassica chinensis* L.[J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2004(4):83-84.
- [9] 贺敏, 余平中, 陈莉, 等. 40%乙酰甲胺磷乳油在青油菜和土壤中的消解动态研究[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9):431-434.
HE Min, YU Ping-zhong, CHEN Li, et al. Residue dynamics of acephate and methamidophos in rape plants and soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(9):431-434.
- [10] 吴珉, 胡秀卿, 赵华, 等. 作物和土壤中乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷消解研究[J]. 农药学报, 2009, 11(1):114-120.
WU Min, HU Xiu-qing, ZHAO Hua, et al. Field residue decline study of acephate and methamidophos in crop and soil[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2009, 11(1):114-120.
- [11] 应兴华, 徐霞, 朱智伟. 华东地区出口蔬菜的残留农药检出率的规律性研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊):161-164.
YING Xin-hua, XU Xia, ZHU Zhi-wei. Variation of detectable rate of pesticide residue in exported vegetables from Eastern China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(Sup.):161-164.
- [12] 中华人民共和国农业部. NY/T 788—2004. 农药残留试验准则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 788—2004. Guideline on pesticide residue trials[S]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [13] 姚杰, 刘铁兵, 岳永德, 等. 乙酰甲胺磷残留光降解的动力学研究[J]. 安徽化工, 2008, 34(3):43-45.
YAO Jie, LIU Tie-bing, YUE Yong-de, et al. Study on photodegradation dynamics of acephate pesticide residual[J]. *Anhui Chemical Industry*, 2008, 34(3):43-45.
- [14] 喻龙, 李广义, 邓晓, 等. 光化学降解有机磷农药研究进展[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(2):36-40.
YU Long, LI Guang-yi, DENG Xiao, et al. Review on photochemistry degradation of organophosphorus pesticides[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2007, 7(2):36-40.
- [15] 姚杰, 刘铁兵, 程莹, 等. 2种有机磷农药在环境中的降解转归[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(11):4648-4649.
YAO Jie, LIU Tie-bing, CHENG Ying, et al. Degradation lapse of two organophosphorus pesticides in the environment[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(11):4648-4649.
- [16] 中华人民共和国环境保护部. GB 4285—1989. 农药安全使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1990:6-7.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. GB 4285—1989. Standards for safety application of pesticides[S]. Beijing: Standards Press of China, 1990:6-7.