

福州菜地土壤中有机磷农药残留特征及风险评价

王 俊, 胡进锋, 陈 峰, 游 泳, 王长方*

(福建省农业科学院植物保护研究所, 福州 350013)

摘 要:采用气相色谱-火焰光度检测器(GC-FPD),测定福州菜地土壤样品中 OPs 的残留量,同时采用 SES 推导公式推算其土壤中的环境标准值与实测值进行比较,从而评价土壤中 OPs 残留量对蔬菜的种植风险。研究表明,22 种 OPs 中,未检出的有 14 种,占检测 OPs 种类的 63.64%,不同县(市、区)菜地土壤样点中检出 OPs 的品种数及其检出率和残留量差异较大,辛硫磷、对硫磷和毒死蜱检出率较高,分别为 30.23%、23.26%和 11.63%,平均残留量为 0.816、0.090、0.181 mg·kg⁻¹,是福州菜地土壤主要污染物。研究还表明,OPs 的残留量对不同蔬菜种植风险程度不同,但菜地土壤中 OPs 污染总体水平和风险水平均较低。

关键词:蔬菜;土壤;有机磷农药;残留;风险评价

中图分类号:X820.4 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2014)05-0951-07 doi:10.11654/jaes.2014.05.018

Residues and Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Vegetable Soils in Fuzhou, China

WANG Jun, HU Jin-feng, CHEN Feng, YOU Yong, WANG Chang-fang*

(Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China)

Abstract: Residues of organophosphorus pesticides (OPs) in soils from Fuzhou vegetable fields were investigated using GC-FPD. The measured values of OPs were compared against the standard values deduced by SES to assess the risk of OP residues in soils. The results showed that 14 (63.64%) out of 22 tested OPs were not detected. The levels and types of OPs were different among soils from different areas. The detectable percentages and residues of phoxime, parathion and chlorpyrifos were 30.23%, 23.26% and 11.63%, and 0.816, 0.090 and 0.181 mg·kg⁻¹, respectively. OPs had different risks to different vegetable varieties. However, the present results show that pollution and health risks of OPs might be still low in vegetable soils in Fuzhou, China.

Keywords: vegetable; soil; organophosphorus pesticides; residues; risk assessment

有机磷农药(OPs)具有高效、广谱、低成本、环境中易降解等优点,大量用于农业害虫防治^[1]。由于对人畜毒性较高^[2],有机磷农药环境行为及其安全性备受关注^[3-5]。有机磷农药在环境中的降解受植被(如作物)、土壤类型等条件的影响,半衰期可以从几分钟到多年^[6-7],甚至可以转化为某种持久性有机污染物^[8]。作为植物生长的介质,土壤中的农药残留可以被植物吸收进入食物链,并影响农产品质量^[7,9]。国内外对土壤中有机磷农药残留的研究报道较少,魏淑花等^[10-14]分

别开展了宁夏枸杞主要产区中宁县、苏中地区小麦田、浙江省商品竹林、高尔夫球场、河南省典型农业区域、墨西哥甘蔗田等土壤中该类农药部分品种的残留分析,各地土壤中 OPs 检出率和残留量差异较大。本研究调查了福州市菜地土壤中有机磷农药污染特征并进行风险评价,为蔬菜安全生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 土壤样品采集

根据福州市菜地各采样点的典型性与特点,以种植片为采样单位,用 GPS 定位每个样品的空间位置,并采用网格法(0.1~2 km×0.2~2 km)均匀布点,在每个网格内随机采集 15 个 0~20 cm 表层土样,剔除样品

收稿日期:2013-09-09

基金项目:福建省科技计划项目(2012I1012);福建省属公益类科研院所基本科研专项(2011R1026-1);财政专项:福建省农业科学院科技创新团队建设基金资助(STIF-Y07)

作者简介:王 俊(1979—),男,助研。主要从事农药学研究。

*通信作者:王长方 E-mail:changfang644@gmail.com

中碎石及植物残体,混匀后按四分法缩减为1个样品,自然风干后过2 mm孔径筛,于室温密闭保存待测。共采集土壤样品129份,其中,近几年为水旱轮作的样品数占60%(表1)。

1.1.2 仪器设备

气相色谱仪(GC-2010,日本岛津)、电子天平(奥豪斯AR224CN,SPN302F)、旋转蒸发仪(LABCONIC、RE-52)、数控超声破清洗器(KQ3200DE)、层析柱、高速组织捣碎机、定性滤纸。

1.1.3 试剂

丙酮(分析纯,下同)、30~60石油醚、无水硫酸钠、弗罗里硅土(60~100目)、活性炭(100~200目)、氯化钠、乙腈、甲醇、二氯甲烷、甲醇(HPLC)、氢氧化钠、乙酸乙酯、正己烷、有机磷农药标样等。

1.2 实验方法

1.2.1 有机磷农药测定方法

参照农业行业标准NY/T761—2008方法^[15]。土壤样品经风干后,过200目筛,称取20 g转入250 mL三角瓶,加50 mL乙腈,静置过夜,过滤,滤液在旋转蒸发仪上蒸发近干,用丙酮定容至5 mL,待测。

1.2.2 气相色谱分析条件

色谱柱:DB-1(30 m×0.25 mm×0.25 μm)。载气:氮气(99.999%),流速10 mL·min⁻¹。燃气:氢气(99.999%),流速80 mL·min⁻¹;助燃气:空气(99.999%),流速120 mL·min⁻¹。进样口温度220℃;色谱柱程序升温:起温150℃保持2 min,以5℃·min⁻¹升至250℃,保持8 min。进样量1 μL,无分流进样方式。检测器温度270℃。

1.2.3 风险评价方法

参照杨永泰环境标准值(SES)方法^[16],根据福州

市种植的主要蔬菜品种,选用小白菜等20种蔬菜推算其土壤标准值,与菜地土壤样点中OPs实测值进行比较,评价福州菜地土壤样点中OPs残留量对蔬菜种植品种的潜在风险。

$$SES=3.2\times10^{-3}\times LD_{50}\times K/Q;$$

表层(20 cm)土重(kg)=666.7 m²×0.2 m×2.7 kg·m⁻³×1000

式中: K 为单位土重的作物产量,g作物·g⁻¹土,由于农药一般残留于厚度0~20 cm的土壤表层,按该层土重计算的 K 值较准确; LD_{50} 为农药的半致死量,mg·kg⁻¹; Q 为人体每日摄入食品量,芹菜、大蒜、生姜 Q 值取0.03 kg,其他蔬菜为0.5 kg;2.7为红壤比重。

2 结果与分析

2.1 菜地土壤中有有机磷类农药残留特征

福州菜地129个土壤样点中敌敌畏等14种农药均未检出(表2),占22种OPs品种数的63.64%,辛硫磷、对硫磷和毒死蜱检出率较高,分别为30.23%、23.26%和11.63%,敌百虫等5种农药检测率在5%以下。辛硫磷为福州菜地土壤主要OPs污染物,其最高残留量达1.698 mg·kg⁻¹,平均残留量为0.816 mg·kg⁻¹。此外,甲胺磷、毒死蜱在个别菜地土壤残留量高达0.695 mg·kg⁻¹和0.647 mg·kg⁻¹,也是该菜地的主要污染物。乙酰甲胺磷检出率仅为0.78%,残留量为0.025 mg·kg⁻¹。内吸磷等剧毒禁用农药未检出,表明种植生产上已停止使用。福州菜地土壤样点中甲胺磷、甲基对硫磷和甲拌磷、氧化乐果、乐果、马拉硫磷、对硫磷OPs的检出率和残留量均低于荆州和上海崇明菜地,而甲拌磷、毒死蜱和对硫磷OPs残留量高于杭州菜地。

表1 土壤样品采集信息
Table 1 Information for soil samples

地点	乡(镇)数	村(片)数	样品数	经度范围	纬度范围	海拔/m	耕作制度
仓山区	3	5	7	119.322 75°~119.411 33°	25.981 45°~26.011 72°	4~8	A(1)B(6)
晋安区	4	19	25	119.227 64°~119.398 15°	26.106 12°~26.351 86°	5~643	A(9)B(16)
永泰县	9	15	15	118.588 78°~119.058 23°	25.778 13°~26.026 66°	29~783	A(14)B(1)
闽侯县	8	20	21	118.931 36°~119.367 40°	25.896 78°~26.669 04°	5~888	A(10)B(11)
福清市	6	8	9	119.263 17°~119.453 15°	25.532 29°~25.680 59°	2~11	A(9)B(0)
闽清县	5	11	13	118.734 27°~118.845 68°	26.035 70°~26.199 60°	51~123	A(9)B(4)
连江县	9	10	16	119.487 95°~119.664 57°	26.092 09°~26.345 08°	5~398	A(8)B(8)
罗源县	5	7	9	119.490 35°~119.568 71°	26.441 08°~26.519 95°	7~249	A(8)B(1)
长乐市	5	13	14	119.543 68°~119.657 18°	25.900 27°~26.053 35°	1~20	A(9)B(5)
合计	54	108	129	118.588 78°~119.664 57°	25.532 29°~26.669 04°	1~888	A(77)B(52)

注:A为水旱轮作,B为蔬菜品种间轮作,括号内为其样点数量。

2.2 福州各县菜地土壤中有机磷类农药残留差异

福州市各县(市、区)菜地土壤样点中 OPs 残留差异较大(图 1~图 2):仓山区土壤样点中 22 种 OPs 均未检出;晋安、闽清和罗源三个县(区)土壤样点中仅检出 1 种 OPs(即毒死蜱或对硫磷),检出率分别为 60.00%、30.77%和 44.44%,残留量为 ND~0.647 mg·kg⁻¹、ND~0.272 mg·kg⁻¹和 ND~0.123 mg·kg⁻¹;连江县和长乐市菜地土壤检出甲拌磷和对硫磷 2 种 OPs,检出率分别为 6.25%、7.14%和 50.00%、78.57%,残留量达 ND~0.015 mg·kg⁻¹、ND~0.075 mg·kg⁻¹和 ND~0.158 mg·kg⁻¹、ND~0.221 mg·kg⁻¹;永泰县、闽侯县和福清市菜地土壤分别检出 3、4 和 5 种 OPs,敌百虫、甲胺磷和辛硫磷在三个县(市)菜地土壤均有检出,检出率分别为 4.76%~33.30%、4.76%~11.11%和 76.19%~100.00%,残留量达 ND~0.066 mg·kg⁻¹、ND~0.695 mg·kg⁻¹和 ND~1.698 mg·kg⁻¹。此外,在闽侯县和福清市菜地土壤分别检出对硫磷和乙酰甲胺磷、氧化乐果,检出率达 11.11%~22.22%、残留量在 0.122 mg·kg⁻¹以

下。各地 OPs 残留量差异可能与过去种植作物类型、使用时间、使用量及其降解有关。

2.3 潜在种植风险的蔬菜品种及其样点数

福州菜地土壤中敌百虫等 8 种 OPs 对种植蔬菜不同品种的潜在风险程度不同(表 3),在检出的土壤样点中,敌百虫残留量对菠菜、毛豆种植均有风险,而甲胺磷、甲拌磷和对硫磷等 3 种高毒禁用 OPs 残留量对 20 个蔬菜品种均有种植风险。此外,氧化乐果残留量除对生姜无种植风险外,对其他 19 个蔬菜品种均有种植风险,常用农药辛硫磷和毒死蜱残留量对绝大多数蔬菜品种也存在种植风险,而乙酰甲胺磷残留量对 18 个蔬菜品种无种植风险,敌百虫残留量对西红柿、芹菜和生姜种植无潜在风险。

3 讨论

土壤环境中 OPs 的降解过程主要包括水解、光解和微生物降解^[18],在外界条件一致的前提下,有机磷农药在土壤中的消解规律与其自身的结构特征有

表 2 蔬菜地土壤 OPs 残留特征

Table 2 Characteristics of OPs residues in vegetable soils

农药品种	福州市 129 份样品			杭州市 21 份样品 ^[17]		上海崇明 8 份样品 ^[18]		荆州市 20 份样品 ^[19]	
	含量/mg·kg ⁻¹	平均值*/mg·kg ⁻¹	检出率/%	含量/mg·kg ⁻¹	检出率/%	含量/mg·kg ⁻¹	检出率/%	含量/mg·kg ⁻¹	检出率/%
敌百虫	ND~0.066	0.031	4.65	—	—	—	—	—	—
敌敌畏	ND	—	—	—	—	ND	—	—	—
甲胺磷	ND~0.695	0.274	2.33	—	—	—	—	1.28~1.56	100.00
乙酰甲胺磷	ND~0.025	0.025	0.78	—	—	—	—	—	—
内吸磷	ND	—	—	—	—	—	—	—	—
辛硫磷	ND~1.698	0.816	30.23	—	—	—	—	—	—
甲拌磷	ND~0.075	0.021	4.65	ND	—	ND~0.080	12.50	—	—
氧化乐果	ND~0.122	0.102	1.55	—	—	ND~0.280	12.50	—	—
乙拌磷	ND	—	—	—	—	—	—	—	—
乐果	ND	—	—	—	—	ND~0.490	50.00	—	—
久效磷	ND	—	—	—	—	—	—	—	—
毒死蜱	ND~0.647	0.181	11.63	ND~0.062	33.30	—	—	—	—
甲基对硫磷	ND	—	—	ND	—	ND	—	1.10~1.32	100.00
倍硫磷	ND	—	—	ND	—	—	—	—	—
马拉硫磷	ND	—	—	ND	—	ND~0.050	25.00	—	—
杀螟硫磷	ND	—	—	—	—	—	—	—	—
对硫磷	ND~0.272	0.090	23.26	ND~0.006	14.30	ND~0.580	75.00	—	—
啶硫磷	ND	—	—	ND	—	ND	—	—	—
水胺硫磷	ND	—	—	—	—	—	—	—	—
稻丰散	ND	—	—	ND	—	—	—	—	—
丙溴磷	ND	—	—	—	—	—	—	—	—
杀扑磷	ND	—	—	ND	—	—	—	—	—
检测年份	2009~2010			2006		2008		2007	

注:ND 为未检出,* 为土壤样点检测量的平均值,—为无检测。

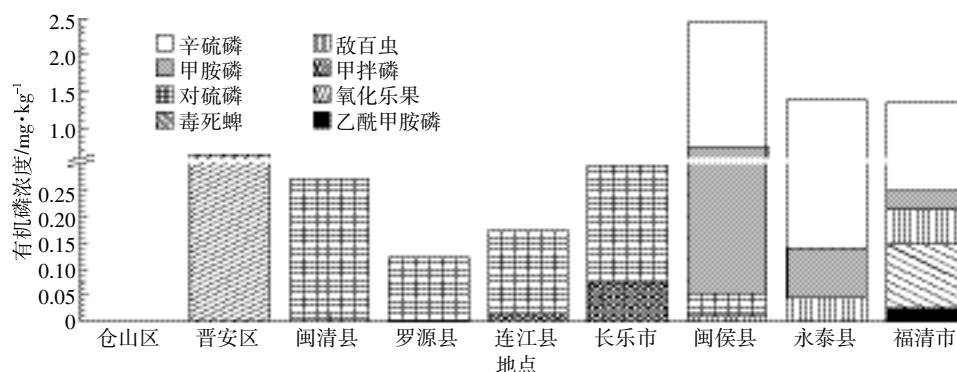


图1 各县菜地土壤中有机磷类农药残留量

Figure 1 Levels of OPs residues in vegetable soils from different counties

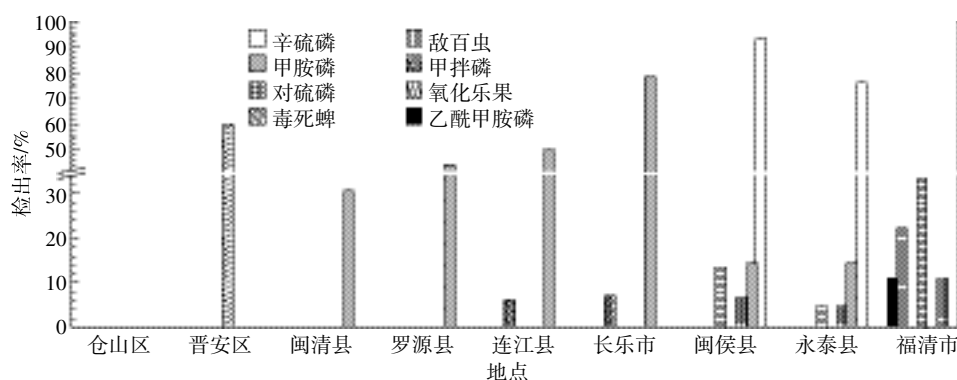


图2 各县菜地土壤中有机磷类农药检出率

Figure 2 Detectable percentages of OPs from vegetable soils of different counties

关^[20],福州菜地同一样点土壤中对硫磷等高毒禁用OPs检测率和残留量不同,可能与该种农药在土壤环境中降解时间有关。因乙酰甲胺磷在降解过程中,可代谢产生甲胺磷^[21],故甲胺磷等在个别样点中检出,与乙酰甲胺磷使用有直接的因果关系;辛硫磷和毒死蜱广泛应用于蔬菜的害虫防治^[22-23],其检出率和残留量均较高,可能与其广泛和频繁使用有关。福州不同县(市、区)菜地土壤中检出OPs的品种数及其检出率和残留量差异较大,除与其自身的结构特征和理化特性有关外,也可能与其使用频率、使用量和种植的蔬菜品种有关^[19]。在同一县(市、区)不同菜地样点土壤中检出OPs的种类相同,而且检出率较高的辛硫磷、对硫磷和毒死蜱3种OPs的残留量与其在水旱轮作或蔬菜品种间轮作的菜地样点土壤中的残留量之间的差异没有明显的规律性,这是否与该县推广使用的农药种类有关待进一步探讨。

农作物可直接或间接吸收土壤中的农药,导致农产品农药残留,并通过食物链和生物富集,对人类的健康构成威胁^[23]。许多国家与组织利用最大残余水平

(Maximum Residue Level, MRL)作为评价作物上农药对人类是否安全的量化指标,但农药在作物上的残留量不仅取决于喷施到作物上的农药量,也与种植地土壤及灌溉水中的农药含量有关。国外在明确土壤中各种农药残留方面做了许多工作^[24-25],如加拿大颁布的土壤中OPs残留限量标准规定其总量不应超过 $0.025 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[26]。我国目前尚无OPs在土壤中的残留限量标准,刘维屏^[27]认为土壤中除甲基对硫磷允许最大残留量为 $12 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 外,其余OPs一旦被检出,则表明土壤OPs残留已威胁到农产品生产安全。制定保护生态和人体健康的土壤质量指导值,已是国际发展趋势,且土壤农药污染具有较强的区域性和地带性,不宜制定单一标准^[16,28],而风险评价是制定土壤质量指导值的基础。土壤污染风险评价有健康风险评价和生态风险评价两大类^[29],由于人体并不直接从土壤吸收农药,评价土壤中农药残留量与人体健康之间的关系只能通过作物,国外一些农药安全评估模型,如IM-PACT2002^[30]、USES-LCA 2.0^[31]等包括植物从环境中吸收农药的模型,但这些模型数据均为试验条件下获

表 3 福州菜地土壤潜在种植风险的蔬菜品种及其样点数

Table 3 Vegetable varieties and sample number with potential risks of OP residues in Fuzhou vegetable soils

蔬菜名称(K/Q 值)	风险农药品种名称(LD ₅₀ /mg·kg ⁻¹)及其潜在风险的土壤样点数/个								产量取值/ t·hm ⁻²
	敌百虫(560)	甲胺磷(19)	乙酰甲胺磷(945)	辛硫磷(2170)	氧化乐果(50)	甲拌磷(2)	对硫磷(4)	毒死蜱(163)	
小白菜(0.008)	5	3	0	39	2	5	30	15	22.5
上海青(0.011)	4	3	0	39	2	5	30	15	30
空心菜(0.017)	2	3	0	38	2	5	30	15	45
菠菜(0.003)	6	3	1	39	2	5	30	15	7.5
春菜(0.017)	2	3	0	38	2	5	30	15	46.5
花菜(0.011)	4	3	0	39	2	5	30	15	30
大白菜(0.028)	1	3	0	38	2	5	30	15	75
包菜(0.033)	1	3	0	38	2	5	30	15	90
黄瓜(0.028)	1	3	0	38	2	5	30	15	75
丝瓜(0.028)	1	3	0	38	2	5	30	15	75
胡瓜(0.028)	1	3	0	38	2	5	30	15	75
毛豆(0.001)	6	3	1	39	2	5	30	15	1.95
西红柿(0.111)	0	3	0	26	2	5	30	13	300
茄子(0.028)	1	3	0	38	2	5	30	15	75
辣椒(0.028)	1	3	0	38	2	5	30	15	75
芋头(0.017)	2	3	0	38	2	5	30	15	45
茼蒿(0.019)	2	3	0	38	2	5	30	15	52.5
芹菜(0.463)	0	3	0	0	2	5	30	3	75
大蒜(0.056)	0	3	0	30	2	5	30	15	9
生姜(0.556)	0	3	0	0	1	5	30	3	90
检出样点总数	6	3	1	39	2	5	30	15	

注:蔬菜名称和农药品种名称后括号内数据分别为 K/Q 值和 LD₅₀ 值。

得,缺少田间验证,因此尚未被公认。SES 推导公式基于卫生毒理学、食品中农药的最大残留限量和作物对土壤中农药百分之百吸收的假设,推算土壤中农药残留量的环境标准值,因不同种类蔬菜对 OPs 富集能力也不同^[32],故以此为指导的环境标准值较严格,风险评价结果也说明了这一点。但农药风险评估具有复杂性,特别是农药的生命周期安全评价(Life cycle impact assessment)涉及许多影响因子,因此 SES 推导公式仅用 LD₅₀ 衡量农药对人体健康的危害是片面的,有待进一步改进。

4 结论

(1)福州菜地 129 个土壤样点中共检出 8 种 OPs,占全部 22 种的 36.36%,残留量在 ND~1.698 mg·kg⁻¹ 之间,不同县(市、区)菜地土壤样点中检出 OPs 的品种数及其检出率和残留量差异较大,辛硫磷、对硫磷和毒死蜱为其主要污染物,菜地土壤中 OPs 污染总体水平较低。

(2)福州菜地土壤中敌百虫等 8 种 OPs 的残留量

对 20 种蔬菜种植风险程度不同,对菠菜、毛豆种植风险较高,而对芹菜和生姜种植风险较低,土壤中甲胺磷等三种高毒禁用农药残留量对蔬菜种植仍有风险,常用农药辛硫磷和毒死蜱的风险也较大。

参考文献:

- [1] Singh B K. Organophosphorus-degrading bacteria: Ecology and industrial applications[J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2009, 7: 156–164.
- [2] Eddleston M, Buckley N A, Eyer P, et al. Management of acute organophosphorus pesticide poisoning[J]. *The Lancet*, 2008, 371(9612): 597–607.
- [3] 华小梅, 江希流. 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 40–43.
- [4] HUA Xiao-mei, JIANG Xi-liu. Characteristics and control countermeasures of pesticide pollution and its damage on environment in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2000, 13(3): 40–43.
- [5] Cycoń A, Żmijowska A, Wójcik M, et al. Biodegradation and bioremediation potential of diazinon-degrading *Serratia marcescens* to remove other organophosphorus pesticides from soils[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 117: 7–16.
- [6] Nomen R, Sempere J, Chávez F, et al. Measurement of pollution levels of

- organochlorine and organophosphorus pesticides in water, soil, sediment, and shrimp to identify possible impacts on shrimp production at Jiquilisco Bay[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, 19(8):3547–3555.
- [6] Macdonald R W, Barrie L A, Bidleman T F. Contaminants in the Canadian Arctic: 5 years of progress in understanding sources, occurrence and pathways[J]. *The Science of the Total Environment*, 2000, 254(2–3): 93–234.
- [7] Kazemi M, Tahmasbi A M, Valizadeh R, et al. Importance and toxicological effects of organophosphorus pesticides: A comprehensive review[J]. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review*, 2012, 1(3):43–57.
- [8] Sergey M, Chemyak, Clifford P. Evidence of currently-used pesticides in air, ice, fog, seawater and surface microlayer in Bering and Chukchi Seas[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1996, 32(5):410–419.
- [9] 郑世英. 农药对农田土壤生态及农产品质量的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2002, 6(3):255–258.
- ZHENG Shi-ying. The effect of pesticide to farmland soil ecology and farm produce[J]. *Journal of Shihezi University(Natural Science)*, 2002, 6(3):255–258.
- [10] 魏淑花, 孙海霞, 沈娟. 宁夏枸杞产区土壤中有机磷农药残留现状分析[J]. 中国农学通报, 2009, 25(24):488–490.
- WEI Shu-hua, SUN Hai-xia, SHEN Juan. Study on the residues of organophosphorus pesticides in the soil of Chinese wolfberry produce district in Ningxia[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(24):488–490.
- [11] 沈燕, 封超年, 范琦, 等. 苏中地区小麦籽粒和土壤中有机磷农药残留分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2004, 25(4):30–34.
- SHEN Yan, FENG Chao-nian, FAN Qi, et al. Investigation and analysis of organophosphorus pesticide residues in wheat grain and field soil in the middle region of Jiangsu Province[J]. *Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Science Edition)*, 2004, 25(4):30–34.
- [12] 郭子武, 陈双林, 张刚华, 等. 浙江省商品竹林土壤有机农药污染评价[J]. 生态学杂志, 2008, 27(3):434–438.
- GUO Zi-wu, CHEN Shuang-lin, ZHANG Gang-hua, et al. Assessment of organic pesticides pollution of commercial bamboo forest soils in Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(3):434–438.
- [13] 金克林, 马宗仁, 连家伟, 等. 高尔夫球场土壤和水中有机磷农药残留的测定[J]. 草业科学, 2008, 25(11):111–116.
- JIN Ke-lin, MA Zong-ren, LIAN Jia-wei, et al. Determination of organophosphorus pesticide residues in soil and water of golf course[J]. *Pratacultural Science*, 2008, 25(11):111–116.
- [14] 申剑, 王宣, 刘丹, 等. 河南省典型农业区域土壤中有机磷、有机氯农药污染状况初探[J]. 环境研究与监测, 2006, 19(3):35–36, 42.
- SHEN Jian, WANG Xuan, LIU Dan, et al. Characteristics of organophosphorus and chlorinated pesticides pollution in Henan agricultural districts[J]. *Environmental Study and Monitoring*, 2006, 19(3):35–36, 42.
- [15] 中华人民共和国农业部. 农业行业标准 NY/T 761—2008 蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定[S]. 北京:中国农业出版社, 2008.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Chinese agricultural industry criteria NY/T 761—2008 Pesticide multiresidue screen methods for determination of organophosphorus pesticides, organochlorine pesticides, pyrethroid pesticides and carbamate pesticides in vegetables and fruits[S]. Beijing:Chinese Agricultural Press, 2008.
- [16] 杨永泰. 华南平原地区农药污染农田生态环境质量评价[J]. 热带地理, 1992, 12(4):358–364.
- YANG Yong-tai. Assessment of the environment quality of farmland polluted by pesticide in plan areas of South China[J]. *Tropical Geography*, 1992, 12(4):358–364.
- [17] 王京文, 徐文, 周航, 等. 杭州城区蔬菜地农药残留现状与评价[J]. 农业环境与发展, 2009, 26(3):83–85.
- WANG Jing-wen, XU Wen, ZHOU Hang, et al. Characteristics and evaluation of pesticides residues in vegetable fields of Hangzhou city[J]. *Agro-Environment and Development*, 2009, 26(3):83–85.
- [18] 周捷成, 陈振楼, 毕春娟, 等. 上海崇明农田土壤中有机磷农药的残留特征[J]. 土壤通报, 2010, 41(6):1456–1459.
- ZHOU Jie-cheng, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan, et al. Residues of organophosphorus pesticides in agricultural fields of Chongming Island in Shanghai[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(6):1456–1459.
- [19] 卢碧林, 吴继洪. 荆州城郊蔬菜基地土壤农药残留污染分析[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(9):1898–1900.
- LU Bi-lin, WU Ji-hong. Analysis on pesticide residue in the soil of vegetables base in Jingzhou suburb[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(9):1898–1900.
- [20] 颜冬云, 蒋新, 徐绍辉, 等. 有机磷农药在土壤中的消解机理及QSAR研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(1):58–63.
- YAN Dong-yun, JIANG Xin, XU Shao-hui, et al. Attenuation rule of organophosphorus pesticides in soils[J]. *Acta pedologica sinica*, 2010, 47(1):58–63.
- [21] 洪文英, 吴燕君, 王道泽, 等. 乙酰甲胺磷及其高毒代谢物甲胺磷在白菜中的残留动态[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5):860–866.
- HONG Wen-ying, WU Yan-jun, WANG Dao-ze, et al. Residue dynamics of acephate and its metabolite methamidophos in pakchoi[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5):860–866.
- [22] 林碧霞, 俞英, 王伟杰. 有机磷农药辛硫磷的醇解动力学及机理研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(1):198–204.
- LIN Bi-xia, YU Ying, WANG Wei-jie, et al. Alcoholysis kinetics and mechanisms study of organophosphorus pesticides phoxim[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(1):198–204.
- [23] 张志勇, 余向阳, 王冬兰, 等. 两种叶菜类蔬菜对毒死蜱的吸收转移规律[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3):426–430.
- ZHANG Zhi-yong, YU Xiang-yang, WANG Dong-lan, et al. Uptake and translocation of chlorpyrifos in two leafy vegetables[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(3):426–430.

- [24] Rial-Otero R, González-Rodríguez R M, Cancho-Grande B, et al. Parameters affecting extraction of selected fungicides from vineyard soils [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(24):7227-7234.
- [25] Arias-Estevez M, Lopez-Periago E, Martinez-Carballo E, et al. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 123(4):247-260.
- [26] Acton D F, Gregorich L J. The health of our soils[M]. Canada, 1995:88.
- [27] 刘维屏. 农药环境化学[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
LIU Wei-ping. Pesticide environmental chemistry[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2006.
- [28] 王国庆, 骆永明, 宋 静, 等. 土壤环境质量指导值与标准研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(4):666-673.
WANG Guo-qing, LUO Yong-ming, SONG Jing, et al. Study on soil environmental quality guidelinds and standards[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4):666-673.
- [29] 李胜涛, 蔡五田, 张 敏, 等. 我国土壤污染风险评价的研究进展[J]. 黑龙江水专学报, 2010, 37(2):120-123.
LI Sheng-tao, CAI Wu-tian, ZHANG Min, et al. Advances in risk assessment research of soil pollution in China[J]. *Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineerin*, 2010, 37(2):120-123.
- [30] Pennington D W, Margni M, Ammann C, et al. Multimedia fate and human intake modeling: Spatial versus nonspatial insights for chemical emissions in Western Europe[J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39(4):1119-1128.
- [31] Huijbregts M A J, Struijs J, Goedkoop M, et al. Human population intake fractions and environmental fate factors of toxic pollutants in life cycle impact assessment[J]. *Chemosphere*, 2005, 61(10):1495-1504.
- [32] 郇红建, 蒋 新. 有机氯农药在南京市郊蔬菜中的生物富集与质量安全[J]. 环境科学学报, 2005, 25(1):90-93.
GAO Hong-jian, JIANG Xin. Bioaccumulation of organochlorine pesticides and quality safety in vegetables from Nanjing suburb[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(1):90-93.