

# 冷冻干燥和热风烘干对菠菜中农药残留的影响

袁玉伟<sup>1</sup>, 王 静<sup>1</sup>, 林 桓<sup>2</sup>, 叶志华<sup>1</sup>

1(中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 北京, 100081)

2(农业部蔬菜品质监督检验测试中心(北京), 北京, 100081)

**摘 要** 食品安全的控制贯穿从农场到餐桌的全过程, 涉及源头生产、流通、加工和销售等阶段。冷冻干燥和热风干燥是常用的干制菠菜方法, 文中研究了真空冷冻干燥和热风干燥对菠菜中有机磷和拟除虫菊酯类农药的影响。实验结果表明: 不同农药种类在冷冻干燥和热风干燥中的损失不同, 有机磷农药比拟除虫菊酯类农药的损失大, 与有机磷农药的蒸汽压较高、稳定性差相关。冻干过程对农药造成的损失与农药的溶解度有关, 而烘干过程对农药造成的损失与农药的蒸汽压和热稳定性有关。试验农药中溶解度最大的乐果在冻干过程中损失最小, 而蒸汽压最大的马拉硫磷在烘干过程中损失最大。

**关键词** 冷冻干燥, 热风干燥, 农药, 损失

菠菜是我国主要的出口蔬菜品种之一, 通常将菠菜加工成冷冻菠菜、冻干菠菜、脱水菠菜等制品大量出口到日本、韩国和欧盟等国家和地区。菠菜的主要害虫有甜菜夜蛾、斜纹夜蛾、蚜虫、斑潜蝇和蜗牛等<sup>[1]</sup>, 这些虫害需要有机磷农药如乐果和拟除虫菊酯类农药如氯氰菊酯进行防治。脱水菠菜主要有冷冻干燥和热风干燥 2 种方式, 其中冷冻干燥产品具有良好的物理性状与品质, 产品附加值比较高。从 2002 年开始, 日本对中国脱水蔬菜增加了农药残留和重金属指标要求, 仅农药残留就多达 40 多项控制指标<sup>[2]</sup>。2006 年 6 月, 日本发出有关脱水蔬菜中残留农药检查的通知, 要求对脱水蔬菜恢复到新鲜蔬菜的状态进行检测<sup>[3]</sup>。Zabik(1971)研究发现, 冷冻干燥使鸡蛋中的林丹、狄氏剂、p,p'-DDT 分别降低了 79%、37% 和 31%, 而 p,p'-DDE 大约增加了 20%<sup>[4]</sup>。Khan(1976)研究发现, 冷冻干燥能降低对虾中多氯联苯(PCB)1254 和 1260 各 40.3% 和 25.5%; 而鸡蛋中的 PCB 分别降低 26.8% 和 26.6%<sup>[5]</sup>。Johnson(1975)采用冷冻干燥技术处理烟草, 结果表明, 冷冻干燥能明显降低烟草中的 TDE、DDT 和硫丹, 分别为 42%、41% 和 43%<sup>[6]</sup>。Chen(1988)研究认为, 加热烘干对茶叶中的农药残留损失主要与农药的蒸汽压有关, 蒸汽压高的农药损失大<sup>[7]</sup>。Mergnat(1995)研究伏杀硫磷在脱水苹果的加工过程中的变化发现, 烘干仅能清除苹果中伏杀硫磷残留的 22%<sup>[8]</sup>。有关加工过程(水洗、削皮、榨汁、粉碎和烹饪等)对植物性食品中农

药残留的清除效果, 已有文献报道<sup>[9,10]</sup>。我国没有明确制定脱水蔬菜的农药残留最大限量, 产品判断标准依据原料标准, 研究冷冻干燥和热风干燥对蔬菜中农药残留的影响, 有利于产品质量标准的制定和饮食暴露评估<sup>[11]</sup>。本文从模拟试验研究冷冻干燥和热风干燥对菠菜中农药残留的影响, 初步明确加工对不同农药的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备与试剂

冷冻干燥机(美国 Edwards pirani1001), 电热鼓风干燥箱(天津, 102 型), 岛津气相色谱仪(Shimadzu, GC-2010), 小型家用粉碎机(Philips HR2864/00/BC), 分散机(Ultra Turrax(r) T18 basic), 真空旋转蒸发器(BüCHI Rotavapor R-200 and B-490)。

乙腈(LAB-SCAN、Thailand), 正己烷(LAB-SCAN、Thailand), 色谱纯; 固相萃取柱, 弗罗里砂柱(Florisil(r)), 容积 6 mL, 填充物 1 000 mg; 标准品: 均购自国家标准物质中心(纯度≥96%, 有机磷农药用丙酮定容, 拟除虫菊酯类农药用正己烷定容)。

### 1.2 试验样品的制备

从市场购买来的菠菜用小型家用粉碎机粉碎, 分别称取 10.0 g 菠菜浆放入 50 mL 烧杯中, 样品处理分对照(未经冻干和烘干)、冻干和烘干, 每个浓度处理 3 个重复, 添加农药的种类及其理化性质如表 1 所示, 设 0.1 和 0.5 mg/kg 2 个添加浓度, 并测定样品本底值 1 个, 共计 19 个样品。在模拟冻干和烘干试验前, 将所有样品放入 -20℃ 冰箱保存。

第一作者: 博士研究生(叶志华研究员为通讯作者)。

收稿日期: 2007-07-19, 改回日期: 2008-01-29

表 1 模拟试验中添加到菠菜中农药的种类与理化性质

农药名称	性质描述	蒸汽压	溶解度(水)	分子量/u	熔点/℃	logK <sub>ow</sub>
乐果	在水溶液中稳定	1.13mPa(25℃)	25g/L(21℃)	229.3	51~52	0.7
马拉硫磷	热稳定性差	5.33 mPa(30℃)	145 mg/L(室温)	330.4	2.85	2.36
杀螟硫磷	热稳定性较差	0.8 mPa(20℃)	30 mg/L(21℃)	277.2	3.4	3.3
啶硫磷	120℃分解	0.346mPa(20℃)	22 mg/L(24℃)	298.3	35~36	—
毒死蜱	光热稳定	2.52mPa(25℃)	2 mg/L(25℃)	350.5	42.5~43	5.27
氟氰菊酯	光热稳定	$1.9 \times 10^{-4}$ mPa(20℃)	0.004 mg/L(pH 7)	416.3	60~80	6.11
氰戊菊酯	光热稳定	$3.7 \times 10^{-2}$ mPa(25℃)	0.02 mg/L(23℃)	491.9	49~55	6.2
溴氰菊酯	光热稳定	$2.0 \times 10^{-3}$ mPa(25℃)	0.002 mg/L(20℃)	422.9	98~101	6.21
氟氯氰菊酯	稳定	$1.2 \times 10^{-3}$ mPa(25℃)	0.003 mg/L(pH 3)	434.3	60	5.95

### 1.3 模拟冻干和烘干试验过程

(1)蔬菜的冻结、升华、解吸等冻干工艺:将添加农药的粉碎菠菜速冻至 $-30^{\circ}\text{C}$ (菠菜的共晶点 $-7^{\circ}\text{C}$ )<sup>[12]</sup>,冷冻3 h,使之完全冻结。开启真空系统,加热开始升华,控制冻结蔬菜的物料温度不超过 $0^{\circ}\text{C}$ ,真空度为120~100 Pa。解吸温度为 $36^{\circ}\text{C}$ ,真空度为240~200 Pa,当物料温度和加热板相近并稳定时,放空,出料。

(2)烘干试验:预先将电热烘箱温度调至 $60^{\circ}\text{C}$ ,把添加农药的菠菜放入箱内,开始烘干,约20 h,直至样品已经完全干燥。

### 1.4 农药残留检测方法

参照(NY/T 761-2004)<sup>[13]</sup>,干燥样品加9.5 mL水复原。

(1)有机磷农药的提取与净化过程:准确称取10.0 g试料放入匀浆机中,加入50.0 mL乙腈,高速匀浆2 min后用滤纸过滤,滤液收集到装有5~7 g NaCl的100 mL具塞量筒中,收集滤液40~50 mL,盖上塞子,剧烈振荡1 min,在室温下静置10

min,使乙腈相和水相分层。从100 mL具塞量筒中吸取10.0 mL乙腈提取液,放入100 mL圆底烧瓶,并在 $40^{\circ}\text{C}$ 水浴锅上加热,真空旋转蒸发仪浓缩至近干,加2.0 mL丙酮定容,倒入自动进样瓶待测。

(2)拟除虫菊酯类农药的提取与净化过程:提取过程如(1),从100 mL具塞量筒中吸取10.0 mL乙腈溶液,放入150 mL烧杯中,将烧杯放在水 $80^{\circ}\text{C}$ 浴锅上加热,杯内缓缓通入氮气流,蒸发近干,加入2.0 mL正己烷;将弗罗里硅柱依次用5.0 mL V(丙酮):V(正己烷)=10:9、5.0 mL正己烷预淋,当溶剂液面到达柱吸附层表面时,立即将烧杯内的样品溶液倒入,用50 mL平底烧瓶接收洗脱液,用5 mL V(丙酮):V(正己烷)=10:9涮洗小烧杯后淋洗弗罗里硅柱,并重复1次。将烧瓶放在 $40^{\circ}\text{C}$ 水浴锅上加热,真空旋转蒸发仪浓缩至近干,加入2.0 mL正己烷,倒入自动进样瓶待测。

(3)有机磷农药和拟除虫菊酯类农药的仪器检测条件如表2所示。

表 2 有机磷农药和拟除虫菊酯类农药的检测条件

仪器型号	检测器	进样口温度/℃	柱温/℃	柱型号/规格	气体及流量
有机磷农药检测条件	岛津 GC-2010	FPD 250℃	240℃/不分流进样 初始温度: $70^{\circ}\text{C}$ (1 min); $40^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $210^{\circ}\text{C}$ (0 min); $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $220^{\circ}\text{C}$ (1 min); $40^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $245^{\circ}\text{C}$ (7 min)	石英毛细柱 RTX-1701, $30\text{m} \times 0.25\text{ mm (id)} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$	载气: $\text{N}_2$ ,纯度 $\geq 99.999\%$ ,流速为2.0 mL/min; 燃气: $\text{H}_2$ ,纯度 $\geq 99.999\%$ ,流速为80 mL/min; 助燃气:空气,流速为120 mL/min。
拟除虫菊酯农药的检测条件	岛津 GC-2010	ECD 300℃	250℃/不分流进样 初始温度: $150^{\circ}\text{C}$ (1 min); $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $220^{\circ}\text{C}$ (0 min); $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 $270^{\circ}\text{C}$ (30 min)	石英毛细柱 RTX-1,30m $\times 0.25\text{ mm (id)} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$	载气: $\text{N}_2$ ,纯度 $\geq 99.999\%$ ,流速为0.80 mL/min; 尾吹:30 mL/min

### 1.5 统计分析

所有处理样品均为3次重复,采用SAS统计分析软件分析(SAS Institute, 1998),采用变异数分析-ANOVA分析( $P < 0.01$ )和进行Duncan新复极差

检验法进行显著性检验( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 各种农药的方法回收率与变异系数

表 3 菠菜中不同农药的添加回收率与变异系数

农药名称	添加浓度为		添加浓度为	
	0.1 mg/kg( <i>n</i> =3)		0.5 mg/kg( <i>n</i> =3)	
	平均回收率/%	变异系数/%	平均回收率/%	变异系数/%
乐果	108	4.63	104.1	4.00
毒死蜱	98.7	2.34	99.9	2.12
马拉硫磷	96.3	2.16	101.3	3.34
杀螟硫磷	103.7	4.75	102.8	4.27
啶硫磷	101.7	3.16	101.8	2.19
氟氰菊酯	121.3	6.66	108.5	3.87
氯氰菊酯	106.7	9.62	101.6	6.99
氰戊菊酯	120	9.82	109.7	6.37
溴氰菊酯	121.3	4.54	118.9	3.56

采用 1.4 农药残留分析方法,外标法-峰面积定量分析标准溶液采用基质配制(以消除基质放大效应)。结果表明:所有农药 2 个水平(0.1 mg/kg 和 0.5 mg/kg)的添加回收率为 96.3%~121.3%,变异系数为 2.16%~9.82%,该残留分析方法的准确性、精确性均达到农药残留分析的要求。

## 2.2 冷冻和烘干处理对不同农药损失的影响

冷冻干燥和热风烘干是干制蔬菜加工中的关键步骤,不同的农药在加工过程中所受到的影响不同。根据 SAS 统计软件分析,(见表 4、表 5),有机磷农药经过烘干和冻干造成的损失有显著差异 ( $P >$

表 4 模拟干燥试验对菠菜中农药残留(0.1 mg/kg)的影响

农药名称	添加浓度	冻干后	损失/%	烘干后	损失/%
	( $\bar{x} \pm SD$ )/mg · kg <sup>-1</sup>	( $\bar{x} \pm SD$ )/mg · kg <sup>-1</sup>		( $\bar{x} \pm SD$ )/mg · kg <sup>-1</sup>	
乐果	0.154±0.005	0.156±0.003	-1.29	0.056±0.001	63.50
马拉硫磷	0.080±0.003	0.054±0.001	33.47	未检出	≈100
杀螟硫磷	0.121±0.002	0.089±0.001	26.45	0.077±0.004	36.64
啶硫磷	0.103±0.001	0.080±0.001	22.51	0.096±0.003	7.07
毒死蜱	0.101±0.002	0.069±0.002	32.01	0.086±0.009	14.85
氯氰菊酯	0.107±0.010	0.098±0.002	16.67	0.109±0.003	-1.87
氰戊菊酯	0.12±0.012	0.112±0.002	16.04	0.117±0.005	2.22
溴氰菊酯	0.121±0.005	0.110±0.007	13.39	0.122±0.005	-0.27
氟氰菊酯	0.121±0.008	0.116±0.001	11.02	0.119±0.002	1.65

## 2.3 烘干加工对农药损失影响与农药蒸汽压的关系

农药蒸汽压与烘干损失之间的关系如图 1 和图 2 所示。实验结果表明:随着农药的蒸汽压升高,农药在烘干过程中的损失也逐渐增加。氯氰菊酯的蒸汽压为  $1.9 \times 10^{-4}$  mPa(20℃),在实验农药种类中蒸汽压最低,所以烘干对其影响最小;而马拉硫磷的蒸汽压为 5.33mPa(30℃),在 2 个实验浓度下烘干过程中损失最大,分别为 100%和 61.44%。烘干对所有

0.05),而对菊酯类农药没有显著差异( $P < 0.05$ )。结果表明,有机磷农药受冻干和烘干的影响比拟除虫菊酯类农药的影响大,菠菜中有机磷农药的冻干平均损失率在 2 个添加浓度条件下分别为 28.61%和 37.92%;而拟除虫菊酯类农药的平均损失率分别为 14.28%和 3.13%。烘干对菠菜中有机磷农药的平均损失率在 2 个添加浓度下分别为 39.64%和 30.89%;拟除虫菊酯类农药的平均损失率分别为 0.43%和~8.0%,说明烘干对拟除虫菊酯类农药的影响很小,主要是由于拟除虫菊酯类热稳定性高和蒸汽压低的原因<sup>[7]</sup>。但是冻干对乐果的影响例外,2 个浓度下损失率分别为-1.29%和-0.78%,说明乐果基本不受冻干的影响,在冻干过程中随着水分的挥发,基质浓度不断加大,溶解度低的溶质最先析出,但是乐果的溶解度最高(25g/L,21℃),所以它最后随着水分挥发散失。而烘干对乐果的影响在 0.154 mg/kg 和 0.726 mg/kg 情况下,损失分别为添加浓度的 63.5%和 56.84%;马拉硫磷受热风烘干的影响比较大,在 0.154 mg/kg 和 0.726 mg/kg 情况下,损失分别为添加浓度的 100%和 61.44%,这可能与马拉硫磷的高蒸汽压和热不稳定性有关。

试验农药在 2 个添加浓度水平上影响趋势一致,都是蒸汽压高的农药损失大,蒸汽压低的农药损失小。烘干对菠菜中有机磷农药比对拟除虫菊酯类农药的影响大,原因之一是有机磷农药的蒸汽压比拟除虫菊酯类农药的高出几个数量级。这一结果与 Chen 等人<sup>[7]</sup>研究烘干对茶叶中农药残留损失影响的结果比较一致,他认为农药在加工过程中的损失主要与农药的热稳定性和蒸汽压相关。

表5 模拟干燥试验对菠菜中农药残留(0.5 mg/kg)的影响

农药名称	添加浓度 ( $\bar{x} \pm SD$ )/mg · kg <sup>-1</sup>	冻干后 ( $\bar{x} \pm SD$ )/mg · kg <sup>-1</sup>	损失/%	烘干后 ( $\bar{x} \pm SD$ )/mg · kg <sup>-1</sup>	损失/%
乐果	0.726 ± 0.010	0.732 ± 0.014	-0.78	0.313 ± 0.034	56.84
马拉硫磷	0.619 ± 0.008	0.395 ± 0.017	36.19	0.239 ± 0.059	61.44
杀螟硫磷	0.584 ± 0.011	0.396 ± 0.016	32.19	0.363 ± 0.013	37.78
啶硫磷	0.515 ± 0.009	0.352 ± 0.022	31.58	0.473 ± 0.015	8.22
毒死蜱	0.518 ± 0.009	0.250 ± 0.008	51.73	0.435 ± 0.016	16.13
氟氰菊酯	0.508 ± 0.035	0.501 ± 0.010	1.38	0.552 ± 0.015	-8.66
氰戊菊酯	0.548 ± 0.035	0.547 ± 0.017	0.18	0.601 ± 0.016	-9.66
溴氰菊酯	0.595 ± 0.035	0.541 ± 0.043	9.02	0.632 ± 0.018	-6.33
氟氯氰菊酯	0.543 ± 0.020	0.532 ± 0.016	1.96	0.583 ± 0.022	-7.37

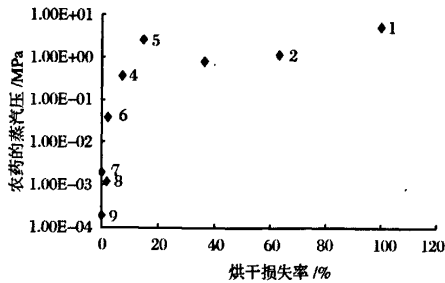
1—马拉硫磷;2—乐果;3—杀螟硫磷;4—啶硫磷;5—毒死蜱;  
6—氰戊菊酯;7—溴氰菊酯;8—氟氯氰菊酯;9—氟氰菊酯

图1 农药的蒸汽压与烘干损失之间的关系(0.1 mg/kg)

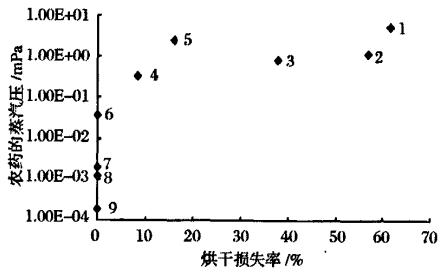
1—马拉硫磷;2—乐果;3—杀螟硫磷;4—啶硫磷;5—毒死蜱;  
6—氰戊菊酯;7—溴氰菊酯;8—氟氯氰菊酯;9—氟氰菊酯

图2 农药的蒸汽压与烘干损失之间的关系(0.5 mg/kg)

## 2.4 冻干加工对农药的损失影响与溶解度的关系

冷冻干燥对菠菜中的农药损失影响与农药的溶解度有关系,见图3、图4所示。结果表明,有机磷农药和拟除虫菊酯类农药受冷冻干燥的影响不同。从图3和图4可以看出,有机磷农药和拟除虫菊酯类农药分别集中分布在2个区域,马拉硫磷、啶硫磷、杀螟硫磷和毒死蜱的溶解度相差不大,在2个试验添加浓度下损失率分别集中在22.51%~33.47%和31.58%~51.73%。有机磷农药中乐果的水中溶解度为25g/L(21℃),在冻干过程中损失最小,初步认为由于其溶解度最大,在冷冻干燥过程中最后才能被析出而挥发损失,所以乐果的损失率最低。随着溶解

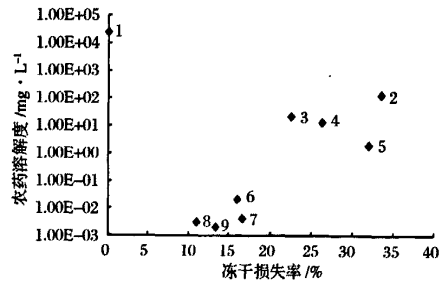
1—乐果;2—马拉硫磷;3—啶硫磷;4—杀螟硫磷;5—毒死蜱;  
6—氰戊菊酯;7—氟氯氰菊酯;8—氟氯氰菊酯;9—溴氰菊酯

图3 农药冻干损失与溶解度的关系(0.1 mg/kg)

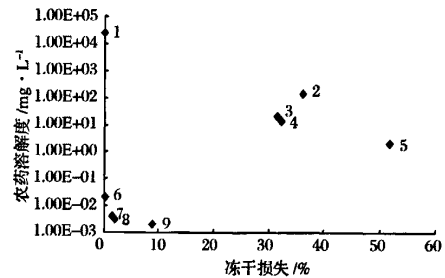
1—乐果;2—马拉硫磷;3—啶硫磷;4—杀螟硫磷;5—毒死蜱;  
6—氰戊菊酯;7—氟氯氰菊酯;8—氟氯氰菊酯;9—溴氰菊酯

图4 冻干损失与农药溶解度的关系(0.5 mg/kg)

度的降低,在冷冻干燥过程中逐渐由于溶质的浓缩而被析出,从而有机磷农药的损失也逐渐增加,毒死蜱的溶解度为2 mg/L(25℃),其损失率在2个试验浓度情况下分别为32.01%和51.73%。拟除虫菊酯类农药虽然溶解度降低,但是冷冻干燥对其损失也较小,氟氰菊酯、溴氰菊酯、氟氯氰菊酯和氯氰菊酯的损失在2个试验浓度下分别集中在11.02%~16.67%和0.18%~9.02%之间。初步认为拟除虫菊酯类农药溶解度小而损失也小的原因之一是拟除虫菊酯类农药具有高logKow,在5.95和6.21之间,更容易被菠菜中的物质所吸附。Zabik(1971)认为冷冻干燥鸡蛋中的林丹农药损失大是由于其蒸汽压高损失大,农

药蒸汽压小的损失小<sup>[4]</sup>。据此认为拟除虫菊酯类农药在冻干过程中损失小也与其蒸汽压低有关。

### 3 结 论

有机磷农药和拟除虫菊酯类农药在菠菜冷冻干燥和烘干过程中损失不同,烘干过程中农药的损失与农药的蒸汽压相关性比较大,蒸汽压高的农药损失率比蒸汽压低的要高。有机磷农药损失比拟除虫菊酯类农药损失大,这与有机磷农药的热稳定性低和蒸汽压比较高相关。马拉硫磷的热稳定性差,在低浓度烘干过程中损失接近100%。冷冻干燥过程中农药的损失与农药的溶解度相关比较大,溶解度大的农药损失小。例如,乐果的溶解度为25g/L(21℃),冻干造成的损失接近于零。主要原因是由于乐果的溶解度大,在冷冻干燥过程中最后才被析出而损失小。在冷冻干燥蔬菜过程中要注意田间病虫害防治时农药的使用,对于农药溶解度高的农药要注意,因为溶解度高的农药在冷冻干燥过程中损失小。热风干燥的蔬菜要注意田间病虫害防治时农药的使用,生产中要使用蒸汽压高、稳定性差的农药,有利于农药的挥发和损失。

### 参 考 文 献

- 1 桑芝萍,孙建东,徐爱云,等. 大叶菠菜主要病虫害的发生与防治[J]. 上海蔬菜,2004,(2):54~55
- 2 崔春红,刘会友. 当前我国脱水蔬菜行业面临的问题及对策[J]. 中国果菜,2003,(2):8~9
- 3 无名氏. 日本发布有关脱水蔬菜中残留农药的检查通知. <http://www.ziqtc.org.cn/ziqtc/lyxw/news10.asp>
- 4 Mary E Z, Le Roy Duang J R. Potential of freeze drying for removal of chlorinated hydrocarbon insecticides from eggs[J]. Journal of Food Science, 1971, (36):87~88
- 5 Khan M A, Rao M R, Novak A F. Reduction of polychlorinated biphenyls in shrimp and eggs by freeze-drying techniques [J]. Journal of Food Science, 1976, (41):137~141
- 6 William H Johnson, John J Domanski, Thomas J. et al. Effects of freeze-drying on residues of TDE, DDT, and endosulfan in tobacco[J]. J Agri Food Chem, 1975, 23(1):117~120
- 7 Chen Zongmao, Wan Haibin. Factors affecting residues of pesticides in tea[J]. Pesticide Science, 1988, 23, 109~118
- 8 Mergnat T, Fritsch P, Saintjoly C, et al. Reduction in phosalone residue levels during industrial dehydration of apples[J]. Food Additives and Contaminants, 1995, 12(6):759~767
- 9 Holland P T, Hamilton D, Ohlin B, et al. Effects of storage and processing on pesticide residues in plant products [J]. Pure & Appl Chem, 1994, 66(2):335~356
- 10 Edgar R Elkins. Effect of commercial processing on pesticide residues in selected fruits and vegetables [J]. J Assoc. of Anal Chem, 1989, 72 (3):533~535
- 11 Kroes R, Müller D, Lambe J, et al. Assessment of intake from the diet [J]. Food and Chemical Toxicology, 2002 (40):327~38
- 12 马青,陈志华,陈朋引. 绿叶蔬菜冻干试验研究[J]. 粮食与食品工业, 2005, 12(5):31~33
- 13 NY/T761—2004. 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检测方法

## Effect of Freeze-drying and Hot Air-drying on the Pesticide Residues in Spinach

Yuan Yuwei<sup>1</sup>, Wang Jing<sup>1</sup>, Lin Huan<sup>2</sup>, Ye ZHihua<sup>1</sup>

1(Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-Products, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

2(Supervision and Testing Center of Vegetable Quality, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

**ABSTRACT** Food safety should be controlled from farm to table, including faming, transportation, manufacturing and sale. Vacuum freeze-drying and hot-air drying are common methods for dried spinach, the effect of freeze-drying and hot-air drying on the loss of organic phosphorous and pyrethroid pesticides fortified in spinach was studied. The results showed that the loss was different on different pesticides, and organic phosphorous pesticides were easier to be removed by drying than pyrethroid pesticides. Higher vapor pressure and bad thermal stability were responsible for the loss of organic phosphorous pesticides. The loss of pesticide caused by freeze-drying had relationship with its solubility. However the loss caused by hot-air drying had relationship with its vapor pressure and thermal stability. Dimethoate with highest water solubility was removed least during freeze-drying, and malathion with highest vapor pressure was the most easily removed by hot-air drying.

**Key words** Vacuum freeze-drying, hot-air drying, pesticides, loss