



## 喷施农药对银耳生长的影响及膳食暴露风险评估

姚清华, 颜孙安, 叶建洪, 黄敏敏, 陈美珍, 林虬

引用本文:

姚清华, 颜孙安, 叶建洪, 等. 喷施农药对银耳生长的影响及膳食暴露风险评估[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 67-74.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4251>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 胡椒木叶片精油成分分析及其抗氧化、驱虫、抗菌活性

Components of Essential Oils from *Zanthoxylum piperitum* Leaves and Its Capacities of Antioxidant, Anthelmintic, and Bacteriostasis  
热带亚热带植物学报. 2016, 24(1): 93-98 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.013>

### 种植模式对巴戟天生长的影响

Effect of Planting Pattern on the Growth of *Morinda officinalis*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 163-170 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4100>

### 绿豆幼苗生长状态对环境羟基自由基水平的影响

Effect of Growth State of Mung Bean Seedlings on the Level of Environmental Hydroxyl Radical

热带亚热带植物学报. 2016, 24(3): 267-272 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.03.004>

### 盐胁迫下外施脯氨酸和磷肥对青杨雌雄幼苗生长及生理特性的影响

Effects of Exogenous Proline and Phosphate Fertilizer on Growth and Physiological Traits of Female and Male *Populus cathayana* Seedlings under Salt Stress

热带亚热带植物学报. 2016, 24(6): 696-702 <https://doi.org/10.11926/j.issn.1005-3395.2016.06.014>

### 黄皮种子中酰胺类生物碱及其杀线虫活性研究

Amide Alkaloids from the Seeds of *Clausena lansium* and Their Nematicidal Activities

热带亚热带植物学报. 2018, 26(1): 85-91 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3771>

# 喷施农药对银耳生长的影响及膳食暴露风险评估

姚清华<sup>1\*</sup>, 颜孙安<sup>1</sup>, 叶建洪<sup>2</sup>, 黄敏敏<sup>1</sup>, 陈美珍<sup>1</sup>, 林虬<sup>1\*</sup>

(1. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(福州), 福建省农产品质量安全重点实验室, 福建省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所, 福州 350003; 2. 古田建宏农业开发有限公司, 福建 宁德 352200)

**摘要:** 为制订银耳(*Tremella fuciformis*)栽培中农药合理使用的建议, 以我国银耳主栽菌株 Tr01 为对象, 研究 8 组常用农药对其生长的影响, 采用食品安全指数法评估长期膳食银耳导致的农药残留慢性暴露健康风险。结果表明, 除咪鲜胺乳油和哒螨灵、啉虫脒微乳剂的部分处理外, 其余 6 组农药对银耳子实体生长并无显著影响。银耳中的农药残留水平与农药种类及喷施模式密切相关, 当农药残留水平低于 GB 2763-2019 标准中蔬菜的农药最大残留限量时, 成人和儿童长期膳食银耳的慢性健康风险商(cHQ)分别为 0.001~0.174 和 0.002~0.191, 风险水平可接受。结合我国农药使用现状, 建议银耳栽培中应禁用乙酰甲胺磷、毒死蜱、克百威, 减少阿维菌素、咪鲜胺、异丙威的使用频率, 在合适的安全间隔期下可以使用联苯菊酯、啉虫脒、吡虫啉、哒螨灵。

**关键词:** 银耳; 农药; 残留; 风险评估

doi: 10.11926/jtsb.4251

## Effects of Pesticide on *Tremella fuciformis* Berk Growth and Risk Assessment of Dietary Exposure

YAO Qing-hua<sup>1\*</sup>, YAN Sun-an<sup>1</sup>, YE Jian-hong<sup>2</sup>, HUANG Min-min<sup>1</sup>, CHEN Mei-zhen<sup>1</sup>, LIN Qiu<sup>1\*</sup>

(1. Ministry of Agriculture and Rural Affairs Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products (Fuzhou), Fujian Key Laboratory of Quality and Safety for Agro-products, Institute of Quality Standards and Testing Technology for Agro-products, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China; 2. Gutian Jianhong Agricultural Development Co., Ltd., Ningde 352200, Fujian, China)

**Abstract:** To provide the suggestion for pesticide application in snow fungus (*Tremella fuciformis*) cultivation, eight pesticides were used under spraying mode in different periods. The effects of pesticides on snow fungus strain Tr01 growth and health risk assessment of dietary exposure were studied. The results showed that all pesticides except prochloraz cream and pyridaben/acetamiprid microemulsion had not significant effects on growth of snow fungus. The level of pesticides residue was closely related to the type of pesticide and spraying mode. While the pesticide residue were below the corresponding MRL adopted from GB 2763-2019, the cHQ (chronic hazard quotient) of long-term dietary exposure for general population and young child ranged from 0.001 to 0.174 and 0.002 to 0.191, respectively. It indicated that the risk was acceptable. Based on the risk assessment, it was recommended for snow fungus cultivation that acephate, chlorpyrifos, and carbofuran should be banned, the use frequency of abamectin, prochloraz, and isoprocarb should be gradually reduced, and bifenthrin, acetamiprid, imidacloprid, and pyridaben could be used with the appropriate pre-harvest interval. These might be useful for

收稿日期: 2020-05-19 接受日期: 2020-06-15

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估项目(GJFP2019014); 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2018R1018-7); 福建省农业科学院创新团队项目(STIT2017-1-12)资助

This work was supported by the National Project for Risk Assessment of Quality and Safety of Agro-products (Grant No. GJFP2019014); the Program for Public Welfare Scientific Research Institute in Fujian Province (Grant No.2018R1018-7); and the Project for Innovation Team of Fujian Academy of Agricultural Sciences (STIT2017-1-12).

作者简介: 姚清华(1985~), 男, 副研究员, 主要从事农产品质量安全与风险评估研究。

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: yaoyaoshumu@163.com; linqiu3163@163.com

designing good agricultural practices (GAP) and registering pesticide for snow fungus cultivation.

**Key words:** *Tremella fuciformis*; Pesticide; Residue; Risk assessment

银耳(*Tremella fuciformis*)是著名传统食药兼用真菌。野生银耳绝大多数在亚热带针叶树或阔叶树的原木上腐生<sup>[1]</sup>,人工代料栽培常见于中国及部分亚洲国家<sup>[2]</sup>。与多数食用菌类似,银耳富含多糖、膳食纤维、矿物质和维生素,具抗氧化、抗肿瘤、提高人体免疫力的功效<sup>[3-5]</sup>。银耳的产量和质量易受栽培过程中青霉、螨虫、菇蚊等病虫害影响<sup>[6]</sup>,但与其他小宗农作物类似,银耳栽培暂无确切可供使用的登记农药和农药残留限量标准,非常不利于栽培中的病虫害防控<sup>[7-8]</sup>。目前,农药残留是影响银耳质量安全的主要因素,直接威胁消费者的身体健康和产业形象<sup>[9]</sup>。已有部分学者报道了关于银耳栽培中农药使用的相关研究<sup>[6,10-12]</sup>,重点集中于农残检测分析和消解规律。温志强等<sup>[6]</sup>研究了敌敌畏等 8 种农药在拌料和喷雾方式下对银耳生长发育的影响;姚清华等<sup>[10]</sup>对阿维菌素等 11 种农药在拌料方式下对银耳产量影响及农药残留规律进行了膳食健康风险评估。另有文献报道乙酰甲胺磷、灭蝇胺等农药及代谢物在银耳子实体生长过程的消解规律<sup>[11-12]</sup>。但部分研究的农药种类,如甲基托布津、敌敌畏等,与近年银耳栽培中农药的实际使用情况有所不符,且均未提供明确的农药使用建议。本研究以我国银耳主栽菌株 Tr01 为试验对象,

选择 8 组银耳栽培中常用的农药,探讨在原基形成不同阶段喷雾施用对银耳生长的影响,并采用食品安全指数法评估不同人群长期摄食银耳导致的慢性暴露健康风险,提出农药合理使用建议,旨在为银耳栽培良好农业规范(GAP)制定和农药登记提供有益借鉴并消除银耳消费者的膳食健康疑虑。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料和试剂

供试银耳(*Tremella fuciformis*)菌株 Tr01 来源于福建省古田县建宏农业开发有限公司。供试的 8 组农药剂型等信息见表 1。乙酸乙酯等农药提取用有机试剂为色谱纯,购自美国赛默飞世尔科技有限公司;氯化钠等其他试剂为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;PSA 和 GCB 固相萃取填料,购自美国 Agilent 公司;C18 固相萃取填料,购自美国 Welch Material 公司;农药标准品购自农业部环境保护科研监测所;液相色谱柱:Phenomenex Luna C8 (150 mm×2.0 mm×3.0 μm),购自美国菲罗门公司;气相色谱柱:SH-Rxi-5Sil MS 毛细管柱(30.0 m×0.250 mm×0.25 μm),购自日本岛津公司。

表 1 供试农药信息

Table 1 Information of pesticides tested

编号 Code	农药 Pesticide	剂型 Formulation	生产企业 Manufacturer
A	3%联苯菊酯, 3%啶虫脒 3% Bifenthrin, 3% Acetamiprid	微乳剂 Microemulsion	青岛正道药业有限公司 Qingdao Zhengdao Pharmaceutical Co., Ltd.
B	5%阿维菌素 5% Abamectin	乳油 Emulsifiable	山东金锐特生物科技有限公司 Shandong Jinrute Bio-technology Co., Ltd.
C	30%乙酰甲胺磷 30% Acephate	乳油 Emulsifiable	重庆农药化工(集团)有限公司 Chongqing Agricultural Chemicals Co., Ltd.
D	45%咪鲜胺 45% Prochloraz	乳油 Emulsifiable	德国奥利恩作物保护有限公司 Germany Aolien Plant Protection Co., Ltd.
E	10%吡虫啉 10% Imidacloprid	粉剂 Powder	济南一农化工有限公司 Jinan Yinong Chemical Co., Ltd
F	20%异丙威 20% Isoprocarb	乳油 Emulsifiable	江苏辉胜农药有限公司 Jiangsu Huisheng Pesticide Co., Ltd
G	5%啶螨灵, 5%啶虫脒 5% Pyridaben, 5% Acetamiprid	微乳剂 Microemulsion	深圳诺普信农化股份有限公司 Shenzhen Noposion International Investment Co., Ltd.
H	1%丁硫克百威, 4%毒死蜱 1% Carbosulfan, 4% Chlorpyrifos	颗粒剂 Granule	西安瑞邦化工有限公司 Xi'an Ruibang Chemical Co., Ltd

### 1.2 仪器和设备

高效液相色谱仪(Agilent 1200, 美国安捷伦科

技有限公司)-三重四极杆质谱(Agilent 6460, 美国安捷伦科技有限公司);气相色谱仪(GC-2010 plus, 日

本岛津公司)-三重四极杆质谱(TSQ8040, 日本岛津公司); 涡旋混合器(德国 IKA 公司); 超声仪(KD-500DE, 昆山市超声仪器有限公司); 离心机(Anke TDL-5-A, 上海安亭科学仪器厂); 吹氮浓缩仪(Reati-Therm III HRATING/STIRRING MODMLE, PIERCE 公司)。

### 1.3 农药喷施试验

银耳代料栽培在温度、湿度等环境参数均可控的工厂化条件下进行。试验共涉及 4 种农药喷施模式(M1~M4), M1 为原基形成时喷施, 20 d 后采摘; M2 为原基形成 10 d 时喷施, 10 d 后采摘; M3 为原基形成时喷药 1 次, 5 d 后第 2 次喷药, 15 d 后采摘; M4 为原基形成 10 d 时喷药 1 次, 5 d 后第 2 次喷药, 5 d 后采摘。每种模式设 3 个农药喷施浓度: 1 000、2 000 和 4 000 mg/L; 每次喷施量均为 1 800 mL, 则用药量分别为 1.8、3.6 和 7.2 g。共计 12 个试验处理, 每处理 3 个重复, 每重复 10 个菌包, 共 360 个菌包。每种模式均以喷施同样体积的纯净水作为空白对照。

### 1.4 银耳生长指标测定

栽培试验结束后, 随机选取 5 个菌包, 每个菌包随机选取 1 朵银耳, 采用游标卡尺测定子实体直径( $n=5$ )。数据以“平均值 $\pm$ 标准差”表示, 采用 SPSS 22.0 软件进行独立样本  $t$  检验, 比较试验组与对照组间的差异显著性, 以  $P<0.05$  表示差异显著。

### 1.5 农药残留测定

随机选取试验组的 5 朵银耳, 磨碎, 供农药残留测定。农药及主要代谢物测定参照国家标准 GB 23200.113-2018<sup>[13]</sup>和姚清华等的方法<sup>[14]</sup>。采用 GC-MS/MS 测定银耳中联苯菊酯、毒死蜱、乙酰甲胺磷、哒螨灵残留水平; 采用 LC-MS/MS 测定银耳中啶虫脒、阿维菌素、甲胺磷、咪鲜胺、吡虫啉、异丙威和克百威的残留水平。方法验证结果表明, 该方法线性良好( $R^2>0.995$ ), 低、中、高 3 个添加水平回收率 70%~110%、定量限为 0.01 mg/kg, 可以满足本试验的要求。

### 1.6 长期膳食暴露风险评估

采用食品安全指数法, 计算成人和儿童长期摄食银耳的农药慢性暴露风险商(chronic hazard quotient, cHQ), cHQ 越小风险越小, 当  $cHQ<1$  时,

表示健康风险可接受; 当  $cHQ\geq 1$  时, 表示有不可接受的健康风险。 $cHQ=EDI/ADI$ , 式中 EDI 为每人 1 kg 体重农药残留每日摄入量[edible daily intake, mg/(kg Bw·d)], ADI 为每日容许摄入量[acceptable daily intake, mg/(kg Bw·d)]。EDI=( $C\times D$ )/Bw, 式中,  $C$  为银耳中农药残留水平(mg/kg),  $D$  为每日摄入量(成人 30 g, 儿童 10 g)<sup>[15-16]</sup>, Bw 为消费者平均体重(成人 53.23 kg, 儿童 16.14 kg)<sup>[17]</sup>。

## 2 结果和分析

### 2.1 施用农药对银耳生长的影响

从图 1 可见, 农药种类、施用方式、施用浓度对银耳生长都有一定影响。银耳原基形成时喷施农药(M1), 用 2 000 mg/L 联苯菊酯+啶虫脒微乳剂、乙酰甲胺磷乳油、异丙威乳油和哒螨灵+啶虫脒微乳剂喷施时, 银耳子实体直径显著高于对照( $P<0.05$ ), 用 1 000~4 000 mg/L 阿维菌素乳油、咪鲜胺乳油和丁硫克百威+毒死蜱颗粒剂喷施时, 银耳子实体直径显著高于对照( $P<0.05$ )。银耳原基形成 10 d 时喷施农药(M2), 用 4 000 mg/L 的联苯菊酯+啶虫脒微乳剂或阿维菌素乳油可显著提高银耳子实体直径( $P<0.05$ ), 用 1 000~4 000 mg/L 乙酰甲胺磷乳油、吡虫啉粉剂、异丙威乳油、哒螨灵+啶虫脒微乳剂和丁硫克百威+毒死蜱颗粒剂喷施的银耳子实体直径显著高于对照( $P<0.05$ ), 但喷施 4 000 mg/L 的咪鲜胺乳油会导致银耳子实体生长停滞。当银耳原基形成时喷药 1 次, 5 d 后第 2 次喷药(M3), 喷施 1 000~4 000 mg/L 的咪鲜胺乳油和 2 000~4 000 mg/L 的哒螨灵+啶虫脒微乳剂会导致银耳子实体生长停滞, 其余处理与对照无显著差异( $P>0.05$ )。在原基形成后 10 d 喷药 1 次, 5 d 后第 2 次喷药(M4), 农药对银耳子实体生长的影响与 M3 模式相似, 但喷施 1 000 mg/L 的 10% 吡虫啉粉剂可显著提高银耳子实体的直径。

### 2.2 施用模式对农药残留的影响

从表 2 可见, 4 种喷施模式下, 银耳的乙酰甲胺磷及其代谢物甲胺磷的残留水平均低于方法检测限(0.01 mg/kg)。其他农药残留水平基本呈现  $M4>M2>M3>M1$  的趋势, 与子实体采摘安全间隔期长短一致:  $M1(20\text{ d})>M3(15\text{ d})>M2(10\text{ d})>M4(5\text{ d})$ 。由于暂无银耳农药残留限量标准<sup>[7]</sup>, 根据食物归类

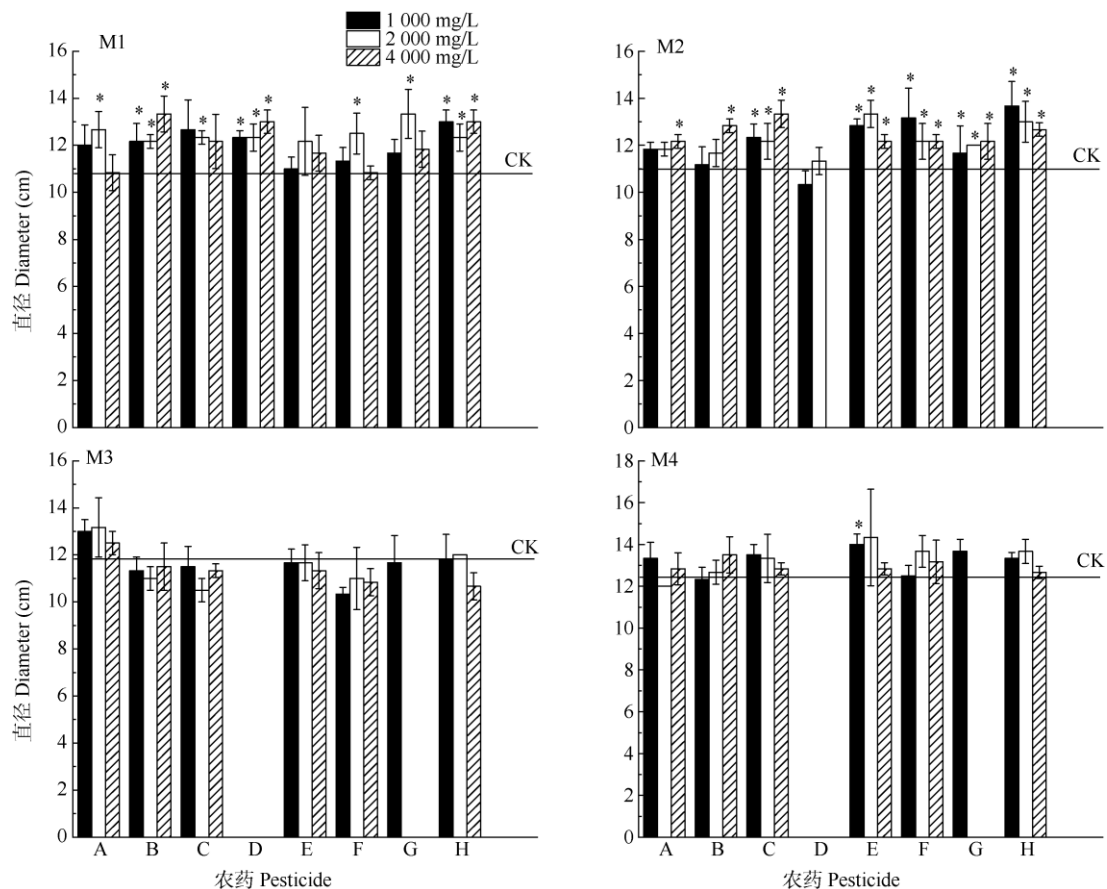


图 1 不同喷施模式下农药对银耳生长的影响。CK: 对照; A~H 见表 1。

Fig. 1 Effect of pesticides on snow fungus growth under different modes. CK: Control; A~H see Table 1.

时常将食用菌划归蔬菜的现状<sup>[18]</sup>, 本研究参照蔬菜农药残留限量标准进行判定<sup>[19]</sup>, 联苯菊酯+啶虫脒微乳剂、乙酰甲胺磷乳油喷施的农药残留水平均低于相应的农药残留限量。阿维菌素乳油、咪鲜胺乳油、吡虫啉粉剂、哒螨灵+啶虫脒微乳剂和丁硫克百威+毒死蜱颗粒剂等 5 组农药仅在银耳原基初形成时喷施, 且喷施浓度低于 4 000 mg/kg 时, 残留水平才低于相应的农药残留限量。在 M1 和 M3 模式下, 喷施浓度低于 4 000 mg/kg 的异丙威, 银耳子实体中的异丙威残留均不会超标。

### 2.3 农药残留膳食暴露评估

在未超过 GB 2763-2019 中蔬菜农药残留最大限量值的水平, 评估成人和儿童长期摄食银耳引起的农药(含代谢物)慢性暴露风险。从表 3 可见, 12 种农药的慢性膳食暴露风险(cHQ)为 0.001~0.174 (成人)和 0.002~0.191 (儿童), 远低于 1, 健康风险水平可接受。其中, 阿维菌素、乙酰甲胺磷、甲胺磷、丁硫克百威、吡虫啉、毒死蜱、哒螨灵、克百威、

啶虫脒的 cHQ 均小于 0.01, 甚至为 0。联苯菊酯、异丙威、咪鲜胺的 cHQ 分别为 0.174、0.093、0.059 (成人)和 0.191、0.102、0.065 (儿童)。

综合考虑农药使用现状、毒性和 cHQ, 8 组农药在银耳栽培中的使用建议见表 4。因乙酰甲胺磷、毒死蜱、克百威在我国已禁用或已在蔬菜上撤销登记, 且其(或代谢物)具中高毒性, 应在银耳栽培中禁用; 咪鲜胺在 M2、M3、M4 喷施模式下使用会抑制银耳子实体生长, 阿维菌素和异丙威为中高毒农药, 在银耳栽培中应减少这 3 种农药的使用; 联苯菊酯、啶虫脒、吡虫啉、哒螨灵为中低毒农药, 合理使用时对银耳子实体生长无显著性影响, 在银耳栽培中可以合理使用但应注意采摘安全间隔期, 尤其是联苯菊酯的 cHQ 高达 0.174 (成人)和 0.191 (儿童), 在使用中应降低喷施浓度。

## 3 结论和讨论

在良好农业规范(GAP)下, 合理使用农药既能

表 2 不同喷施模式下银耳农药及其代谢产物残留水平(mg/kg)

Table 2 Pesticide and metabolite residues (mg/kg) on snow fungus cultivated under different spraying modes

处理 Treatment	浓度 (mg/L) Concentration	M1		M2		M3		M4	
		1	2	1	2	1	2	1	2
A	1 000	ND	ND	0.17	0.09	0.10	0.05	0.49	0.27
	2 000	ND	ND	0.67	0.21	0.10	0.05	0.57	0.29
	4 000	ND	0.04	1.49	0.37	0.28	0.12	3.08	0.79
B	1 000	ND		<b>0.26*</b>		<b>0.22*</b>		<b>1.98*</b>	
	2 000	ND		<b>0.30*</b>		<b>0.30*</b>		<b>3.18*</b>	
	4 000	ND		<b>1.22*</b>		<b>1.02*</b>		<b>10.06*</b>	
C	1 000	ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>	
	2 000	ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>	
	4 000	ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>		ND <sup>a</sup>	
D	1 000	0.02		<b>7.19*</b>		/		/	
	2 000	0.12		<b>7.21*</b>		/		/	
	4 000	1.05		/		/		/	
E	1 000	0.03		<b>0.85*</b>		<b>0.36*</b>		<b>17.2*</b>	
	2 000	0.07		<b>1.57*</b>		<b>0.55*</b>		<b>26.1*</b>	
	4 000	0.16		<b>2.03*</b>		<b>0.94*</b>		<b>32.8*</b>	
F	1 000	0.06		<b>0.66*</b>		0.14		<b>3.23*</b>	
	2 000	0.06		<b>0.76*</b>		0.21		<b>7.45*</b>	
	4 000	0.09		<b>1.57*</b>		0.33		<b>8.86*</b>	
G	1 000	0.01	0.01	<b>1.35*</b>	0.33	<b>0.21*</b>	0.08	<b>1.36*</b>	0.40
	2 000	0.04	0.02	<b>1.42*</b>	0.35	/	/	/	/
	4 000	0.06	0.02	<b>2.63*</b>	1.08	/	/	/	/
H	1 000	ND <sup>a</sup>	ND	ND <sup>a</sup>	0.04	0.01 <sup>b</sup>	0.04	ND <sup>a</sup>	ND
	2 000	ND <sup>a</sup>	ND	ND <sup>a</sup>	0.04	0.01 <sup>b</sup>	0.06	<b>0.02<sup>b*</sup></b>	<b>0.29*</b>
	4 000	ND <sup>a</sup>	ND	ND <sup>a</sup>	<b>0.10*</b>	0.01 <sup>b</sup>	<b>0.11*</b>	<b>0.04<sup>b*</sup></b>	<b>0.31*</b>

ND: 农药未检出; ND<sup>a</sup>: 农药及其主要代谢物均未检出; <sup>b</sup>: 检出值为克百威; /: 子实体生长停滞或腐烂; \*: 超过农药残留限量。1: 联苯菊酯、啶虫脒, 哒螨灵、啶虫脒; 2: 丁硫克百威及降解物(克百威)、毒死蜱; A~H 见表 1。

ND: Pesticide undetected; ND<sup>a</sup>: Pesticide and its metabolites undetected; <sup>b</sup>: Detected concentration of carbofuran; /: Snow fungus fruit growth were inhibited; \*: Exceeding pesticide residue limit; 1: Determination value of bifenthrin, acetamiprid, pyridaben, and acetamiprid; 2: Determination value of carbosulfan and its metabolite, chlorpyrifos. A - H see Table 1.

表 3 长期膳食银耳慢性暴露风险评估

Table 3 Chronic exposure risk assessment for long-term intake of pesticide residues in snow fungus

农药 Pesticide	残留水平 Residue level (mg/kg)	MRLs (mg/kg)	ADI [μg/(kg Bw·d)]	EDI [ng/(kg Bw·d)]		cHQ	
				成人 Adult	儿童 Children	成人 Adult	儿童 Children
联苯菊酯 Bifenthrin	3.08	4	10	1 735.86	1 908.30	0.174	0.191
啶虫脒 Acetamiprid	1.08	1.5	70	608.70	669.14	0.009	0.010
阿维菌素 Abamectin	ND	0.2	1	-	-	-	-
乙酰甲胺磷 Acephate	ND	1	30	-	-	-	-
甲胺磷 Methamidophos	ND	0.05	4	-	-	-	-
咪鲜胺 Prochloraz	1.05	2	10	591.77	650.56	0.059	0.065
吡虫啉 Imidacloprid	0.16	0.2	60	90.17	99.13	0.001	0.002
异丙威 Isoprocarb	0.33	0.5	2	185.98	204.46	0.093	0.102
哒螨灵 Pyridaben	0.06	0.1	10	33.82	37.17	0.003	0.004
丁硫克百威 Carbosulfan	ND	0.05	10	-	-	-	-
克百威 Carbofuran	0.01	0.02	1	5.64	6.20	0.006	0.006
毒死蜱 Chlorpyrifos	0.06	0.1	10	33.82	37.17	0.003	0.004

ND: 农药未检出; MRLs: 最大残留限量; cHQ: 慢性暴露风险商; EDI: 日摄入量; ADI: 日容许摄入量。

ND: Pesticide undetected; MRLs: Maximum residues limits; cHQ: Chronic hazard quotient; EDI: Edible daily intake; ADI: Acceptable daily intake.

表 4 银耳栽培过程农药使用建议

Table 4 Suggestions for pesticide application in snow fungus cultivation

农药 Pesticide	剂型 Formulation	使用建议 Suggestion	喷施模式 Spraying mode	浓度 (mg/L) Concentration
3%联苯菊酯, 3%啉虫脒 3% Bifenthrin, 3% Acetamiprid	微乳剂 Microemulsion	U	M1、M2、M3、M4	≤4000
5%阿维菌素 5% Abamectin	乳油 Emulsifiable	D	M1	≤4000
30%乙酰甲胺磷 30% Acephate	乳油 Emulsifiable	B	-	-
45%咪鲜胺 45% Prochloraz	乳油 Emulsifiable	D	M1	≤4000
10%吡虫啉 10% Imidacloprid	粉剂 Powder	U	M1	≤4000
20%异丙威 20% Isoprocarb	乳油 Emulsifiable	D	M1、M3	≤4000
5%哒螨灵, 5%啉虫脒 5% Pyridaben, 5% Acetamiprid	微乳剂 Microemulsion	U	M1	≤4000
1%硫克百威, 4%毒死蜱 1% Carbosulfan, 4% Chlorpyrifos	颗粒剂 Granule	B	-	-

B: 禁用; D: 减少使用; U: 可使用但要注意采摘安全间隔期。

B: Banned use in China; D: Diminish use; U: Use with consideration of the appropriate pre-harvest interval.

提高农作物的产量又可将农药残留对人体健康的危害控制在可接受的水平<sup>[20-21]</sup>。但与其它食用菌不同, 银耳必须有香灰菌伴生才能完成整个生活史<sup>[22]</sup>。有文献报道<sup>[6]</sup>, 部分农药尤其是广谱性杀真菌剂会对银耳生长发育造成损害, 抑制子实体生长或子实体畸形、腐烂。本研究中喷施咪鲜胺乳油, 哒螨灵、啉虫脒微乳剂的部分试验组也有类似现象。因此, 在银耳栽培过程中施用农药, 需同时考虑农药对银耳菌丝和香灰菌的影响。

不同农药在农作物上的消解规律和残留水平也有明显差异。本研究中, 除联苯菊酯、啉虫脒微乳剂外, 多数试验组农药残留高于 GB 2763-2019 中部分蔬菜相应的农药残留限量。这与前人的研究结果相似, 刘瑜等<sup>[23]</sup>对联苯菊酯在茶叶上的使用安全性研究显示, 联苯菊酯具有残留期短且杀虫谱广的特点。联苯菊酯在桃(*Amygdalus persica*)上的半衰期也仅为 1.6~6.7 d, 属易消解农药<sup>[24]</sup>。王世英等<sup>[25]</sup>的研究表明, 施用联苯菊酯 7 d 后, 其在甘蓝(*Brassica oleracea* var. *capitata*)中的残留水平低于 0.01 mg/kg, 在土壤中的半衰期为 6.77~13.51 d。这可能与联苯菊酯分子结构、配制用的试剂及喷施对象代谢、生长稀释等因素密切相关。

在膳食暴露评估方面, 部分不确定性因素会影响评估结果的准确性, 如银耳在食用前常经过清洗和烹饪两道工序, 会显著降低银耳中农药残留的摄入量。根据 Cengiz 等<sup>[26]</sup>的研究表明, 在自来水下搓洗 15 s 可以去除西红柿(*Lycopersicon esculentum*)中 68%的腐霉利残留。Abou-Arab 等<sup>[27]</sup>也认为清洗可以有效去除西红柿表面的多种农药残留。Boon 等<sup>[28]</sup>在评估膳食中有机磷农药暴露评估时, 将清洗的农药去除系数设为 0.76。相比清洗, 烹饪可更有

效降低农药残留量。Huan 等<sup>[29]</sup>的研究表明, 烹饪能显著降低豇豆(*Vigna unguiculata*)中的哒螨灵、联苯菊酯等 8 种农药残留, 降低幅度远大于清洗。而烹饪处理的蔬菜中三唑磷残留量要比生食低 72%<sup>[30]</sup>。本研究中, 银耳清洗、烹饪对农药残留去除系数的缺失会导致膳食暴露风险高估, 但不会降低对消费者膳食风险的保护水平, 且有利于制定更严格的银耳栽培农药使用建议。

在银耳栽培过程中, 除连续喷施咪鲜胺和中高浓度哒螨灵、啉虫脒外, 其余 6 组农药对银耳子实体的生长并无明显的抑制。银耳中的农药残留水平与农药种类、喷施浓度和采摘安全间隔期密切相关, 联苯菊酯、啉虫脒微乳剂组和乙酰甲胺磷乳油组所有处理的农药残留量均低于 GB 2763-2019 中部分蔬菜的农药残留限量。在农药残留水平低于限量时, 长期膳食银耳导致的慢性风险商远小于 1, 风险水平可接受。综合考虑 8 组农药使用现状、毒性和风险商, 建议在银耳栽培中禁用乙酰甲胺磷、毒死蜱、克百威, 减少阿维菌素、咪鲜胺、异丙威的使用频率, 合理使用联苯菊酯、啉虫脒、吡虫啉、哒螨灵, 但应注意使用浓度和安全间隔期。

## 参考文献

- [1] WANG C W. Study on key cultivation techniques of *Tremella fuciformis* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017: 12. 王长文. 袋栽银耳栽培关键技术研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2017: 12.
- [2] WU Y J, WEI Z X, ZHANG F M, et al. Structure, bioactivities and applications of the polysaccharides from *Tremella fuciformis* mushroom: A review [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 121: 1005-1010. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.117.

- [3] LI H, LEE H S, KIM S H, et al. Antioxidant and anti-inflammatory activities of methanol extracts of *Tremella fuciformis* and its major phenolic acids [J]. *J Food Sci*, 2014, 79(4): C460–C468. doi: 10.1111/1750-3841.12393.
- [4] WEN W T, JIA D H, GUO Y, et al. Phylogeny and genetic diversity of *Annulohypoxylon* spp. paired with cultivated *Tremella fuciformis* Berk [J]. *Sci Agric Sin*, 2010, 43(3): 552–558. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2010.03.015.  
温文婷, 贾定洪, 郭勇, 等. 中国主栽银耳配对香灰菌的系统发育和遗传多样性 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(3): 552–558. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2010.03.015.
- [5] WENG B Q, JIANG Z H, LEI J G, et al. Effects of exogenous selenium on topography and quantitative characters of *Agaricus brasiliensis* S. Wasser fruit bodies [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2009, 17(6): 578–583.  
翁伯琦, 江枝和, 雷锦桂, 等. 外源硒对巴西蘑菇子实体数量和形态特征的影响 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2009, 17(6): 578–583.
- [6] WEN Z Q, CHEN L F, LI B B. Pesticide and fungicide residues in the cultivation substrate and fruit bodies of *Tremella fuciformis* [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2014, 21(3): 70–76. doi: 10.3969/j.issn.1005-9873.2014.03.016.  
温志强, 陈丽芳, 李兵兵. 农药对银耳生长发育的影响及残留情况分析 [J]. *食用菌学报*, 2014, 21(3): 70–76. doi: 10.3969/j.issn.1005-9873.2014.03.016.
- [7] PU Q R, WANG H M. Comparative study on the current maximum residue limits for edible fungi between China and other countries [J]. *J Yunnan Agric Univ (Nat Sci)*, 2018, 33(6): 1127–1138. doi: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201709009.  
普秋榕, 王红漫. 国内外现行食用菌中农药最大残留限量标准比较分析 [J]. *云南农业大学学报(自然科学版)*, 2018, 33(6): 1127–1138. doi: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201709009.
- [8] YANG X F, LUO J H, LI S H, et al. Evaluation of nine pesticide residues in three minor tropical fruits from southern China [J]. *Food Control*, 2016, 60: 677–682. doi: 10.1016/j.foodcont.2015.08.036.
- [9] BAJWA U, SANDHU K S. Effect of handling and processing on pesticide residues in food: A review [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 51(2): 201–220. doi: 10.1007/s13197-011-0499-5.
- [10] YAO Q H, YAN S A, CHEN M Z, et al. Effects of pesticides on growth and food safety of *Tremella fuciformis* [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2019, 34(9): 1064–1072. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2019.09.011.  
姚清华, 颜孙安, 陈美珍, 等. 农药对银耳生长的影响及质量安全风险评估 [J]. *福建农业学报*, 2019, 34(9): 1064–1072. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2019.09.011.
- [11] CAI C P, QIN F L, XUE Z M, et al. Residue dynamics of cyromazine and its metabolite melamine in tremella and culture material [J]. *Environ Chem*, 2012, 31(9): 1417–1422.  
蔡春平, 秦福龙, 薛芝敏, 等. 灭蝇胺及其代谢物三聚氰胺在银耳及银耳培养料中的消解和残留 [J]. *环境化学*, 2012, 31(9): 1417–1422.
- [12] QIN F L, CAI C P, Wang Q, et al. Residue dynamics of acephate and its metabolite methamidophos in *Tremella* and culture material [J]. *Edible Fungi China*, 2012, 31(4): 40–42. doi: 10.13629/j.cnki.53-1054.2012.04.001.  
秦福龙, 蔡春平, 王琪, 等. 乙酰甲胺磷及代谢物在银耳及培养料中消解残留规律 [J]. *中国食用菌*, 2012, 31(4): 40–42. doi: 10.13629/j.cnki.53-1054.2012.04.001.
- [13] National Health Commission of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. GB23200.113–2018 National food safety standards: Determination of 208 pesticides and metabolites residues in foods of plant origin gas chromatography-tandem mass spectrometry method [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.  
中华人民共和国国家卫生健康委员会, 农业农村部, 国家市场监督管理总局. GB 23200.113–2018 食品安全国家标准: 植物源性食品中 208 种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [14] YAO Q H, LI J, KE Q X, et al. Determination of eight pesticide residues in *Tremella fuciformis* Berk by solid phase extraction-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Anal Sci*, 2020, 36(1): 106–110. doi: 10.13526/j.issn.1006-6144.2020.01.019.  
姚清华, 李捷, 柯秋璇, 等. 固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法同时测定银耳中的 8 种农药残留 [J]. *分析科学学报*, 2020, 36(1): 106–110. doi: 10.13526/j.issn.1006-6144.2020.01.019.
- [15] LIU B R, HUANG Q, CAI H J, et al. Study of heavy metal concentrations in wild edible mushrooms in Yunnan Province, China [J]. *Food Chem*, 2015, 188: 294–300. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.010.
- [16] KHANI R, MOUDI M, KHOJEH V. Contamination level, distribution and health risk assessment of heavy and toxic metallic and metalloid elements in a cultivated mushroom *Pleurotus florida* (Mont.) singer [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2017, 24(5): 4699–4708. doi: 10.1007/s11356-016-8222-8.
- [17] LI Z X, NIE J Y, YAN Z, et al. A monitoring survey and dietary risk assessment for pesticide residues on peaches in China [J]. *Regul Toxicol Pharm*, 2018, 97: 152–162. doi: 10.1016/j.yrtph.2018.06.007.
- [18] FEENEY M J, MILLER A M, ROUPAS P. Mushrooms-biologically



- distinct and nutritionally unique: Exploring a “third food kingdom” [J]. *Nutri Today*, 2014, 49(6): 301–307. doi: 10.1097/NT.0000000000000063.
- [19] National Health Commission of the People’s Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People’s Republic of China, State Administration for Market Regulation. GB 2763–2019 National food safety standard: Maximum residue limits for pesticides in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.  
中华人民共和国国家卫生健康委员会, 农业农村部, 国家市场监督管理总局. GB 2763–2019 食品安全国家标准: 食品中农药最大残留限量 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [20] WANG X R, ZHOU L, ZHANG X Z, et al. Transfer of pesticide residue during tea brewing: Understanding the effects of pesticide’s physico-chemical parameters on its transfer behavior [J]. *Food Res Int*, 2019, 121: 776–784. doi: 10.1016/j.foodres.2018.12.060.
- [21] XIAO J J, LI Y, FANG Q K, et al. Factors affecting transfer of pyrethroid residues from herbal teas to infusion and influence of physico-chemical properties of pesticides [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14(10): 1157. doi: 10.3390/ijerph14101157.
- [22] HUANG N L. The producing principle and methods for snow fungus [J]. *Edible Fungi*, 2007, 29(1): 25–27. doi: 10.3969/j.issn.1000-8357.2007.01.015.  
黄年来. 银耳菌种生产的原理和方法 [J]. *食用菌*, 2007, 29(1): 25–27. doi: 10.3969/j.issn.1000-8357.2007.01.015.
- [23] LIU Y, ZHANG Y J, REN M X, et al. Application of bifenthrin and other pyrethroids in tea fields [J]. *J Tea*, 2015, 41(4): 207–211, 217. doi: 10.3969/j.issn.0577-8921.2015.04.008.  
刘瑜, 张友炯, 任明兴, 等. 联苯菊酯等菊酯类农药在茶叶上使用安全性研究 [J]. *茶叶*, 2015, 41(4): 207–211, 217. doi: 10.3969/j.issn.0577-8921.2015.04.008.
- [24] LIU X, LIU C D, LU Z Q, et al. Residues and dietary intake risk assessment of flonicamid and bifenthrin in peach [J]. *J Fruit Sci*, 2019, 36(12): 1712–1719. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20190263.  
柳璇, 刘传德, 鹿泽启, 等. 氟啶虫酰胺和联苯菊酯在桃上的残留行为及膳食摄入风险评估 [J]. *果树学报*, 2019, 36(12): 1712–1719. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20190263.
- [25] WANG S Y, HUANG R L, LI Z H, et al. Degradation dynamics of bifenthrin in cabbage and soil [J]. *J S China Agric Univ*, 2016, 37(3): 82–85. doi: 10.7671/j.issn.1001-411X.2016.03.012.  
王世英, 黄日林, 李梓豪, 等. 联苯菊酯在甘蓝及土壤中的消解动态 [J]. *华南农业大学学报*, 2016, 37(3): 82–85. doi: 10.7671/j.issn.1001-411X.2016.03.012.
- [26] CENGIZ M F, CERTEL M, KARAKAŞ B, et al. Residue contents of captan and procymidone applied on tomatoes grown in greenhouses and their reduction by duration of a pre-harvest interval and post-harvest culinary applications [J]. *Food Chem*, 2007, 100(4): 1611–1619. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.12.059.
- [27] ABOU-ARAB A A K. Behavior of pesticides in tomatoes during commercial and home preparation [J]. *Food Chem*, 1999, 65(4): 509–514. doi: 10.1016/S0308-8146(98)00231-3.
- [28] BOON P E, VAN DER VOET H, VAN RAAIJ M T M, et al. Cumulative risk assessment of the exposure to organophosphorus and carbamate insecticides in the Dutch diet [J]. *Food Chem Toxicol*, 2008, 46(9): 3090–3098. doi: 10.1016/j.fct.2008.06.083.
- [29] HUAN Z B, XU Z, JIANG W N, et al, et al. Effect of Chinese traditional cooking on eight pesticides residue during cowpea processing [J]. *Food Chem*, 2015, 170: 118–122. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.08.052.
- [30] HOLDEN A J, CHEN L, SHAW I C. Thermal stability of organophosphorus pesticide triazophos and its relevance in the assessment of risk to the consumer of triazophos residues in food [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(1): 103–106. doi: 10.1021/jf0002589.