

噻虫胺和虫螨腈及其代谢物在大葱中的残留及膳食风险评估

毛佳¹, 尹可锁¹, 商瑞², 白亭亭¹, 刘立娜¹, 杨宝明¹, 李迅东^{1*}

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南昆明 650021; 2. 云南医药健康职业学院, 云南昆明 650033)

摘要 [目的] 评估噻虫胺和虫螨腈在大葱中的残留消解及膳食摄入风险。[方法] 通过规范田间残留试验, 结合大葱中噻虫胺和虫螨腈的残留量, 评估噻虫胺和虫螨腈的长期膳食摄入风险。[结果] 噻虫胺和虫螨腈在大葱中的半衰期分别为 4.6~7.4 和 5.8~6.9 d, 均降解较快。长期膳食风险评估结果表明, 普通人群中噻虫胺和虫螨腈的风险商(RQ)分别为 5% 和 84%, 对一般人群健康产生的风险是可接受的。[结论] 按照推荐剂量使用, 噻虫胺和虫螨腈在大葱中残留不会对我国人体健康产生影响。

关键词 噻虫胺; 虫螨腈; 代谢物; 大葱; 残留消解; 风险评估

中图分类号 S481⁺.8 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)24-0187-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.24.042



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Residues and Dietary Risk Assessment of Clothianidin, Chlorfenapyr and Its Metabolite in Welsh Onion

MAO Jia¹, YIN Ke-suo¹, SHANG Rui² et al (1. Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650021; 2. Yunnan Medical Health College, Kunming, Yunnan 650033)

Abstract [Objective] To evaluate the residual digestion and dietary intake risks of clothianidin and chlorfenapyr in welsh onion. [Method] By conducting standardized field residue tests and considering the residual levels of clothianidin and chlorfenapyr in welsh onion, the long-term dietary intake risks of clothianidin and chlorfenapyr were evaluated. [Result] The half-lives of clothianidin and chlorfenapyr in welsh onion were 4.6-7.4 and 5.8-6.9 d, respectively, indicating faster degradation. The results of long-term dietary risk assessment indicated that the risk quotients (RQ) of clothianidin and chlorfenapyr in the general population were 5% and 84%, respectively, indicating that the risk of dietary intake was acceptable. [Conclusion] At the recommended dosage, the residues of clothianidin and chlorfenapyr in welsh onion have no effect on human health.

Key words Clothianidin; Chlorfenapyr; Metabolites; Welsh onion; Residual digestion; Risk assessment

我国是大葱生产第一大国, 2019 年种植面积超过 3 万 hm², 产量达到 117 万 t^[1]。随着大葱种植面积的扩大、集约化生产的形成, 害虫发生日趋严重, 其中葱蓟马发生普遍, 危害严重^[2]。由于施用单一农药品种的防治效果有限, 且易产生抗药性, 这使得多种农药的混合施用成为防治病虫害的新选择^[3-4]。

噻虫胺, 属第二代烟碱类杀虫剂, 对害虫具有胃毒、触杀及内吸活性, 对刺吸式害虫有良好的防治效果^[5]。虫螨腈, 是一种取代芳基吡咯类杀虫、杀螨剂, 由于其作用机理新颖, 杀虫谱广、对常规农药无交互抗性, 近年来广泛应用于防治苹果、甘蓝、黄瓜等作物的多种害虫^[6]。随着 2 种药剂的广泛使用, 其带来的环境问题也得到了人们广泛关注。2018 年, 欧盟提出为确保对蜜蜂的保护, 禁止了噻虫胺、吡虫啉、噻虫嗪这 3 种药剂在露地环境中使用^[7]。目前, 我国在蔬菜上依然允许使用噻虫胺, 但是为保证食品安全, 也制定了众多相应农产品中的最大残留限量。有关噻虫胺和虫螨腈在大葱中的残留研究鲜见报道, 对我国居民的膳食风险研究亦鲜见报道。该研究通过 1 年 4 地的田间试验研究了噻虫胺和虫螨腈及其代谢物溴代吡咯腈在大葱中的残留水平, 结合噻虫胺和虫螨腈在我国登记情况和我国居民的人均膳食结构, 对普通人群的膳食风险进行了评估, 以期对 2 种药剂在大葱上的科学合理使用以及制定我国噻虫胺和虫螨腈在大葱中最大残留限量(MRL)提供了依据。

葱中最大残留限量(MRL)提供了依据。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂 噻虫胺标准品(纯度为 99.0%)和虫螨腈标准品(纯度为 99.0%), 购自 Dr. Ehrenstorfer GmbH; 溴代吡咯腈标准品(纯度为 99.0%), 购自 Honeywell Specialty Chemicals; 28% 虫螨腈·噻虫胺悬浮剂(虫螨腈 8%, 噻虫胺 20%), 购自山东曹达化工有限公司; 氯化钠(分析纯)、无水硫酸镁(分析纯)、甲酸(色谱纯), 购自天津市科密欧化学试剂有限公司; 乙腈(色谱纯), 购自 sigma 公司; 有机滤器(0.22 μm), 购自天津天羽嘉澜科技有限公司。

1.2 仪器条件

1.2.1 噻虫胺和溴代吡咯腈。 高效液相色谱串联质谱仪(1200-6460, 美国安捷伦公司)及色谱柱 Shim-pack XR-ODS II(75.0 mm×2.0 mm, 2.2 μm)用于分离噻虫胺和溴代吡咯腈。进样体积 2 μL; 流动相为 0.1% 甲酸水溶液和乙腈, 体积比 30:70; 流速 0.3 mL/min, 质谱条件见表 1。

1.2.2 虫螨腈。 气相色谱质谱联用仪(8890-7000D, 美国安捷伦公司)及色谱柱 HP-5MS(30 m×250 μm×0.25 μm)用于分离虫螨腈。气相参数: 柱流速 1 mL/min; 载气和淬灭气均为 He; 碰撞气 N₂ 流速 1.5 mL/min; PSD 吹扫流速 3 mL/min; 进样体积 1 μL; 不分流进样; 进样口温度 300 °C; 柱温: 初始温度 150 °C, 以 15 °C/min 升至 320 °C, 保持 10 min; 质谱条件见表 1。

1.3 田间试验 按照《农作物中农药残留试验准则》^[8] 要求设试验小区, 处理和对照小区面积不小于 50 m², 小区间设不少于 2 m 的隔离带。28% 虫螨腈·噻虫胺悬浮剂在大葱上

基金项目 云南省科技厅项目(2020YFD1000100)。

作者简介 毛佳(1980—), 男, 云南昆明人, 工程师, 硕士, 从事蔬菜水果农药残留、香蕉产业体系相关研究。* 通信作者, 研究员, 博士, 从事香蕉病虫害相关研究。

收稿日期 2022-11-15

防治蓟马的有效剂量为 84 g/hm²,于大葱蓟马发生初期喷雾施药 1 次。于施药后当天(施药后 0 d)、3、5、7、10 d 采集大葱样品。其中,山东省、河南省采集 0、3、5、7、10 d 样品,湖北省、广东省只采集 5 和 7 d 样品。

在试验小区中用随机方式将大葱连根拔起,抖掉泥土,用刀削去根部及烂叶。至少采集 24 个点,不少于 2 kg。先采集对照小区,后采集处理小区,每小区采集 2 个独立样本。地头或边缘 0.5 m 内不采样。

表 1 噻虫胺、虫螨腈、溴代吡咯晴质谱条件

Table 1 Mass spectrometry conditions for clothianidin, chlorfenapyr and tralopyril

化合物 Compound	采集模式 Acquisition mode	母离子/前级离子 Parent ion/ previous ion(m/z)	定量/定性离子 Quantitative/ qualitative ion(m/z)	驻留时间 Dwell time ms	碰撞能量 Collision energy//eV
噻虫胺 Clothianidin	ESI (+)	250.0 250.0	169.0 [*] 132.0	100 100	12 15
虫螨腈 Chlorfenapyr	EI (+)	136.9 246.9	102.0 [*] 227.0	100 100	20 30
溴代吡咯晴 Tralopyril	ESI (+)	349.0 349.0	131.0 [*] 81.0	100 100	40 25

注: * 为定量离子。

Note: * is quantitative ion.

1.4 样品处理 将田间采集的样本用软刷轻轻刷掉附着泥土和其他黏附物,用不锈钢刀切碎样品,在不锈钢盆中充分混匀,缩分后将样品装入可封口的样品袋中,贴好标签后冷冻保存。

采用改进的 QuEChERS 方法^[9],准确称取匀浆后的大葱 10.0 g 至 50 mL 具塞塑料离心管内,加入 10 mL 乙腈,涡旋提取 2 min,加入 3 g 氯化钠和 3 g 无水硫酸镁,剧烈振荡 1 min; 4 000 r/min 离心 5 min;取上清液过 0.22 μm 有机系滤膜,待测。

1.5 膳食暴露风险评估 计算公式如下:

$$NEDI = \frac{\sum FI \times STMR}{bw} \quad (1)$$

$$RQ = \frac{NEDI}{ADI} \times 100\% \quad (2)$$

式中:NEDI 为国家估算每日摄入量(mg/kg); FI 为食物摄入量(kg); STMR 为试验中位残留量(mg/kg); bw 为中国居民的平均体重(kg); RQ 为风险商; ADI 为每日允许摄入量(mg/kg)。RQ 越高表示接触农药的风险越高; RQ > 100% 表示对人类健康的风险不能接受^[10-11]。

2 结果与分析

2.1 方法验证 检测方法的正确度和准确度用回收率试验评价。在空白大葱样品中按照 0.03、0.30 和 3.00 mg/kg 水平添加噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯晴标准混合溶液,每个浓度 5 次平行试验。结果表明(表 2):噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯晴的平均回收率分别为 95%~99%、85%~101% 和 97%~104%;相对标准偏差(RSD)分别为 4%~10%、3%~7% 和 2%~5%。在乙腈和空白大葱基质中,噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯晴系列标准溶液中(0.03~5.00 mg/L)均有较好的线性($r > 0.9958$)。为消除基质效应对检测结果的影响,噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯晴均采用基质标样进行校准^[12]。以最低添加浓度为定量限,噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯晴在大葱中的方法定量限均为 0.03 mg/kg。方法参数均符合《农作物中农药残留试验准则》^[8]。

表 2 噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯晴在大葱中的添加回收试验

Table 2 Recovery test of clothianidin, chlorfenapyr and tralopyril in welsh onion

化合物 Compound	添加水平 Add level mg/kg	平均回收率 Average recovery rate//%	相对标准 偏差 RSD//%	定量限 LOQ mg/kg
噻虫胺 Clothianidin	0.03	99	9	0.03
	0.30	95	10	
	3.00	96	4	
虫螨腈 Chlorfenapyr	0.03	101	7	0.03
	0.30	85	3	
	3.00	98	3	
溴代吡咯晴 Tralopyril	0.03	97	5	0.03
	0.30	101	4	
	3.00	104	2	

2.2 噻虫胺和虫螨腈降解试验 河南和山东两地大葱降解试验表明(表 3):在田间试验条件下噻虫胺和虫螨腈在大葱中的残留降解符合一级动力学方程,半衰期分别为 4.6~7.4 和 5.8~6.9 d,均降解较快。有研究表明,虫螨腈和噻虫胺在蔬菜^[13-15]、水果^[16]、谷物^[17]、茶叶^[18-19]等不同作物中半衰期有一定差异,但总体均降解较快,这与该研究结果一致。另有研究表明,虫螨腈在露地菜薹中半衰期为 2.8 d,而保护地中半衰期为 7.5 d,2 种植模式下半衰期差异巨大^[6]。这可能与保护地和露地的温度、湿度、光照等存在很大差异,农药在施用到环境中后其残留情况在露地和保护地中存在较大差异有关。在北方大葱基本为露天种植,因此该研究中仅对露地条件下药剂残留情况进行了研究,而保护地种植模式下药剂残留情况需进一步研究。

2.3 噻虫胺和虫螨腈最终残留试验 在田间试验条件下,2 种药剂以推荐剂量喷雾施药 1 次,施药后 5 和 7 d 分别采集大葱样品,4 个试验点的最终残留量检测结果见表 4。采收间隔 5 d 的菠菜中虫螨腈的残留量在 <0.030~0.055 mg/kg,噻虫胺残留量在 <0.030~0.140 mg/kg;采收间隔 7 d 的大葱中药剂残留量相比 5 d 采收间隔明显降低,其中虫螨腈残留

量在 $< 0.030 \sim 0.048$ mg/kg, 噻虫胺残留量在 $< 0.030 \sim 0.100$ mg/kg; 溴代吡咯睛在大葱中残留量均低于最低检测浓度。目前, 我国尚未制定虫螨腈和噻虫胺在大葱上的最大允许残留限量^[20]。日本和韩国规定大葱中虫螨腈的最大残留限量 (MRL) 分别为 3.0 和 1.0 mg/kg, 噻虫胺的最大残留限量

分别为 1.0 和 0.3 mg/kg。该研究中 4 个试验点所得的最终残留量均在日本和韩国相应 MRL 值范围内。但是由于不同国家和地区人民饮食习惯的差异, 导致大葱摄入量也存在差异。因此, 不同国家和地区制定的大葱中药剂的最大残留限量是否适合我国需要进行进一步膳食摄入评估。

表 3 噻虫胺和虫螨腈在大葱中的残留消解

Table 3 Residue digestion of clothianidin and chlorfenapyr in welsh onion

化合物 Compound	地点 Site	消解方程 Digestion equation	相关系数 Correlation coefficient (r)	半衰期 Half-life d	原始沉积量 Initial concentrations // mg/kg
噻虫胺 Clothianidin	河南	$C = 0.150 4e^{-0.0947}$	0.990 1	7.4	0.190
	山东	$C = 0.098 4e^{-0.1527}$	0.996 4	4.6	0.098
虫螨腈 Chlorfenapyr	河南	$C = 0.092 4e^{-0.1017}$	0.989 9	6.9	0.120
	山东	$C = 0.075 5e^{-0.1207}$	0.991 1	5.8	0.075

表 4 大葱最终样品中噻虫胺、虫螨腈和溴代吡咯睛残留

Table 4 Residues of clothianidin, chlorfenapyr and tralopyril in final samples of welsh onion

化合物 Compound	采收间隔 Harvest interval // d	残留量 Residue mg/kg	残留中值 Median residue mg/kg	残留最大值 Highest residue mg/kg
噻虫胺 Clothianidin	5	$< 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, 0.084, 0.086, 0.097, 0.140$	0.057	0.140
	7	$< 0.030, < 0.030, 0.030, 0.036, 0.040, 0.041, 0.097, 0.100$	0.038	0.100
虫螨腈 Chlorfenapyr	5	$< 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, 0.030, 0.037, 0.055, 0.055$	0.030	0.055
	7	$< 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, 0.032, 0.033, 0.047, 0.048$	0.031	0.048
溴代吡咯睛 Tralopyril	5	$< 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030$	0.030	0.030
	7	$< 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030, < 0.030$	0.030	0.030

2.4 噻虫胺和虫螨腈在大葱中的膳食风险评估 溴代吡咯睛是虫螨腈的代谢物, 其毒性远高于母体, 所以评估虫螨腈时同时考虑溴代吡咯睛残留量^[21]。该研究大葱中溴代吡咯睛残留量均小于方法定量限, 仅以虫螨腈残留量评估。为准确评估 2 种药剂膳食摄入风险, 该研究将 2 种药剂在中国已登记作物上相应的残留试验中值一并带入计算, 如无法获得残留中值, 使用已制定的最大残留限量 (表 5) 计算, 并结合我国的膳食结构进行长期膳食摄入风险的评估。对于尚未

在我国建立最大残留限量的作物, 其选择遵循以下顺序: 国际食品法典委员会 (CAC) > 美国 > 欧盟 > 澳大利亚 > 韩国 > 日本^[22]。距施药后 5 d, 大葱中噻虫胺和虫螨腈的规范残留试验中值分别为 0.057 和 0.030 mg/kg。噻虫胺和虫螨腈的 ADI 分别为 0.10 和 0.03 mg/kg, 按照公式 (1) 和 (2) 计算出噻虫胺和虫螨腈在所有登记作物中 RQ 分别为 5% 和 84%, 均低于 100%。因此, 噻虫胺和虫螨腈在大葱中的残留量对我国一般人群健康的影响是在一个可接受的风险水平。

表 5 噻虫胺和虫螨腈长期膳食摄入风险评估

Table 5 Risk assessment of long-term dietary intake of clothianidin and chlorfenapyr

食物种类 Food classification	膳食量 Dietary amount kg	噻虫胺 Clothianidin		虫螨腈 Chlorfenapyr	
		参考限量 Reference residue limits mg/kg	限量来源 Sources	参考限量 Reference residue limits mg/kg	限量来源 Sources
米及其制品 Rice and its products	0.239 9	0.500	中国 MRL	—	—
面及其制品 Noodles and their products	0.138 5	0.020	中国 MRL	—	—
其他谷类 Other grain	0.023 3	0.020	中国 MRL	—	—
薯类 Tubers	0.049 5	0.200	中国 MRL	—	—
深色蔬菜 Dark vegetables	0.091 5	1.000	中国 MRL	10.00	中国 MRL
浅色蔬菜 Light vegetables	0.183 7	0.500	中国 MRL	2.00	中国 MRL
水果 Fruit	0.045 7	0.400	中国 MRL	1.50	国际食品法典委员会 MRL
植物油 Vegetable oil	0.032 7	0.020	中国 MRL	—	—
糖、淀粉 Sugar, starch	0.004 4	0.050	中国 MRL	—	—
食盐 Salt	0.012 0	—	—	20.00	中国 MRL
酱油 Soy sauce	0.009 0	0.057	中国残留中值	0.03	中国残留中值

注: “—”表示此类未登记。

Note: “—” indicates that this type is not registered.

3 结论与讨论

在田间试验条件下噻虫胺和虫螨腈在大葱中的残留消解符合一级动力学方程,半衰期分别为4.6~7.4和5.8~6.9 d,降解较快。农药在环境中的降解除了受降雨、光照、湿度等物理化学因素的影响外,作物种类也是影响其降解的关键因素,药剂在不同作物中降解略有差异,一般生长较快的作物中农药半衰期较短。长期膳食风险评估结果表明,噻虫胺和虫螨腈对一般人群健康产生的风险是可接受的。目前,中国采用的膳食评估方法是在作物分类基础上的数据,膳食摄入量是作物类别消费量。但是,目前我国可供查询的食物分类十分有限,且膳食数据为2002年卫生部发布的《中国不同人群消费膳食分组食谱》。随着生活水平的提高,我国人民的膳食结构已经发生变化。因此,为了更合理地进行膳食评估,迫切需要建立更加准确的膳食消费量数据库。

参考文献

- [1] 霍晴,吴曼,赵邦宏.我国大葱产业竞争力分析与对策[J].中国蔬菜,2022(3):1-8.
- [2] 薛光山,张秀霞,毛晓红,等.山东省露地大葱主要害虫种群动态与诱集技术研究[J].山东农业科学,2022,54(1):131-136.
- [3] 樊龙飞,李明,李荣玉,等.水稻和土壤中噻虫胺、啉虫脒残留量高效液相色谱分析[J].江苏农业科学,2015,43(1):287-288.
- [4] 李若同,胡继业.马铃薯中噻虫胺和啉虫脒的残留和膳食风险评估[J].现代食品科技,2022,38(10):303-309.
- [5] 李稼好,李安,陈艳,等.露地土壤-芹菜体系噻虫胺及其代谢产物噻虫胺残留与消长规律研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(11):3697-3703.
- [6] 冯义志,李瑞娟,王晓玉,等.田间条件下虫螨腈在菜苔中的残留消解及膳食风险评估[J].农药,2020,59(9):665-669.
- [7] 段丽芳.欧盟通过决议禁止新烟碱类农药噻虫胺、吡虫啉及噻虫嗪的户外使用[J].农药科学与管理,2018,39(5):29.
- [8] 中华人民共和国农业农村部.农作物中农药残留试验准则:NY/T 788—2018[S].北京:中国农业出版社,2018.
- [9] ANASTASSIADES M, LEHOTAY S J, STAJNBAHER D, et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and

- “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce[J].Journal of AOAC international,2003,86(2):412-431.
- [10] BIAN Y L, FENG Y Z, ZHANG A J, et al. Residue distribution and risk assessment of bifentazate and its metabolite in garlic plant[J].Food chemistry,2022,379:1-11.
 - [11] FENG Y Z, QI X X, WANG X Y, et al. Residue dissipation and dietary risk assessment of trifloxystrobin, trifloxystrobin acid, and tebuconazole in wheat under field conditions[J].International journal of environmental analytical chemistry,2022,102(7):1598-1612.
 - [12] LIU X G, XU J, LI Y B, et al. Rapid residue analysis of four triazolopyrimidine herbicides in soil, water, and wheat by ultra-performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry[J].Analytical and bio-analytical chemistry,2011,399(7):2539-2547.
 - [13] 张鹏,金芬,杨莉莉,等.噻虫胺在番茄和土壤中的残留及消解动态[J].农药学报,2016,18(4):490-496.
 - [14] 刘艳萍,王思威,孙海滨,等.噻虫嗪及其代谢物噻虫胺在节瓜中的消解动态及初步膳食风险评估[J].农药学报,2018,20(2):211-216.
 - [15] LI X, CHEN X X, HU J Y. Dissipation behavior, residue distribution and dietary risk assessment of chlorfenapyr and clothianidin in leek using RRRLC-QqQ-MS/MS technique[J].Chinese chemical letters,2019,30(1):107-110.
 - [16] 兰丰,柳璇,李晓亮,等.噻虫胺在梨中的残留及消解动态[J].农药学报,2018,20(6):814-818.
 - [17] 张春荣,何红梅,徐玲英,等.噻虫胺在水稻中的残留分析方法及其消解动态[J].浙江农业学报,2014,26(5):1263-1267.
 - [18] YANG J, LUO F J, ZHOU L, et al. Residue reduction and risk evaluation of chlorfenapyr residue in tea planting, tea processing, and tea brewing[J].The science of the total environment,2020,738:1-6.
 - [19] XU F, XU D, DU G M, et al. Residue analysis, dissipation patterns of chlorfenapyr, diafenthiuron and their corresponding metabolites in tea trees, and dietary intake risk assessment[J].Journal of the science of food and agriculture,2022,102(13):5826-5836.
 - [20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,中华人民共和国农业农村部,国家市场监督管理总局.食品中农药最大残留限量:GB 2763—2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
 - [21] FAO. List of pesticides evaluated by JMPR and JMPS-T[EB/OL]. [2022-02-17]. <https://www.fao.org/3/CA3581EN/bookmarks-ca3581en.pdf>.
 - [22] ZHAO H L, ZHAO Y, HU J Y. Dissipation, residues and risk assessment of pyraclostrobin and picoxystrobin in cucumber under field conditions[J]. Journal of the science of food and agriculture,2020,100(14):5145-5151.

(上接第186页)

- [13] 胡耶芳.鼠李属植物的化学成分、药理活性和质量控制研究进展[J].中药材,2020,43(2):501-509.
- [14] 苏竟驰.长柄鼠李的化学成分研究[J].植物学报,1988,30(1):107-108.
- [15] 张帅,王小利,李泽琳,等.鼠李属植物提取物的药用价值研究现状[J].国际中医中药杂志,2017,39(2):186-188.
- [16] 熊汝琴,王锐,龚建康,等.鼠李属植物中的萜衍生物及黄酮成分药理

活性研究进展[J].广东化工,2019,46(19):112-116.

- [17] 颜卫东,孙霞,张洪云,等.小叶鼠李的观赏价值及繁育技术[J].北方园艺,2009(4):211-212.
- [18] 张娟,毛文静,白庆云.槲皮素及其衍生物防治肝损伤作用及机制的研究进展[J].中草药,2021,52(23):7348-7357.
- [19] 付海洋,姜良勇,齐亚军,等.芹菜素药理作用的研究进展[J].国际药学研究杂志,2020,47(10):787-792,797.
- [20] 雷晓青,陈鳌,刘毅,等.山萘酚药理作用的研究进展[J].微量元素与健康研究,2017,34(2):61-62.