

龙 玲,李 勇,严煌倩,等.小松菜对土壤中 4 种新烟碱类杀虫剂的吸收转运差异[J].江苏农业科学,2018,46(7):205-208.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.051

小松菜对土壤中 4 种新烟碱类杀虫剂的吸收转运差异

龙 玲^{1,2,3},李 勇^{2,3},严煌倩^{2,3},任立云¹,余向阳^{1,2,3}

(1. 广西大学农学院,广西南宁 530004; 2. 江苏省农业科学院农产品质量与安全营养研究所,江苏南京 210014;
3. 省部共建国家重点实验室培育基地/江苏省食品质量安全重点实验室,江苏南京 210014)

摘要:为探究小松菜对土壤中不同新烟碱类杀虫剂的吸收转运差异,采用小松菜(*Brassica rapa* var. *perviridis*)与噻虫嗪、噻虫胺、噻虫啉、啉虫脒等 4 种新烟碱类杀虫剂,利用灌根法对土壤进行施药,采集不同暴露时间的土壤、蔬菜根、茎叶,利用 QuChERS(quick, easy, cheap, effective, rugged, safe)方法对样品进行预处理,利用高效液相色谱-二极管阵列检测器(high-performance liquid chromatography-diode array detection,简称 HPLC-DAD)对 4 种农药进行测定。结果表明,小松菜可以从土壤中吸收 4 种新烟碱类农药并向茎叶中转移,但不同农药的吸收转运差别较大。通过分析富集因子(enrichment factor,简称 RCF)和转移因子(transfer factor,简称 TF)表明,噻虫嗪最易在根中富集,不易向茎叶中转移;啉虫脒最易向茎叶中转移而不易在小松菜根部富集。

关键词:农药吸收;新烟碱类杀虫剂;噻虫嗪;噻虫胺;噻虫啉;啉虫脒;富集因子;转移因子;蔬菜安全生产

中图分类号:S482.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)07-0205-03

近年来,随着生活水平的提高,人们对蔬菜的需求量日益增多,蔬菜中农药的残留、转移等问题得到相应地重视。农药是蔬菜生产中的主要污染物来源之一,在施药之后,农药通过挥发、沉降等多种方式,与植物接触继而进入其体内,常常会引起植物产生某种生理变化^[1-2]。蔬菜富集农药主要有 3 种途径,第 1 种是通过蔬菜的叶面气孔吸收了悬浮在空气中的农药;第 2 种是直接接触蔬菜表皮,透过蜡质层进而扩散到蔬菜植株体内;第 3 种是蔬菜根系吸收土壤或水中的农药,并经韧皮部运输至地上部分并累积。其中,第 2 种接触途径是导致蔬菜农药残留高居不下的主要原因。施用农药的方法主要有种子处理、叶面喷药以及灌根法^[3]。在农药传导学中,农药在植物体内的运转模式主要分为 2 种模式,一种是向上转运模式,一般从植物根部往上部转运,种子处理和灌根法均属于该种模式;另一种是局部转运方式,农药从叶片经叶表皮吸收、转运至植株中的农药作用部位,叶面喷药属于这种模式。Wild 等认为,植物根部吸收和转运有机物的途径主要有 2 种:一种是细胞之间传递称为共质体通道,亲脂性强、非极性强的物质更倾向于经共质体通道进行植物内部的运输传递;另一种是经细胞壁传递,称为非原质体通道,亲水性强、极性强的物质比较倾向于此方式传递^[4-6]。Briggs 等研究发现,非离子型的有机物更容易在根部细胞膜、细胞壁等亲脂性强的部位积累^[7]。

自氨基甲酸酯、有机氯、拟除虫菊酯、有机磷之后,推出了

一类具有高选择性且效果佳的新型杀虫剂,即新烟碱类杀虫剂。根据其化学结构的不同可大概分为 3 类,第 1 类为 *N*-氰基胍类,包括噻虫啉、啉虫脒等;第 2 类为硝基亚甲基类,包括烯啶虫胺等;第 3 类为 *N*-硝基胍类,包括吡虫啉、呋虫胺、噻虫胺和噻虫嗪等^[8-9]。新烟碱类杀虫剂是一种后突触烟碱乙酰胆碱受体(nAChRs)的激动剂,其作用机制主要是通过阻碍害虫中枢神经系统的正常传导,使其出现麻痹直至死亡^[10]。新烟碱类农药又属于内吸性杀虫剂,可以由植物根部或叶片吸收并转运到植物各部位,有效地杀死各类害虫^[11-13]。因其作用机制独特而新颖,且作用范围广、效果极佳,使其迅速成为较受欢迎的一类杀虫剂。在我国登记的有 2 000 多种新烟碱类农药产品,约占农药总数的 7%^[14-17]。然而,随着这类农药产品的推出和大量投入使用,不可避免的会残留在蔬菜以及土壤中^[18]。

为探究叶菜类小松菜对土壤中不同新烟碱类杀虫剂的吸收转运差异,采用小松菜(*Brassica rapa* var. *perviridis*)以及噻虫嗪、噻虫胺、噻虫啉和啉虫脒等 4 种新烟碱类杀虫剂,利用灌根法对土壤进行施药,利用 QuChERS 对土壤、蔬菜根、茎叶样品进行预处理。4 种农药结构式如图 1 所示。结果表明,小松菜可以从土壤中吸收 4 种新烟碱类农药,并向茎叶中转移,但小松菜对不同农药的吸收转运差别较大。研究结果有助于对蔬菜施用新烟碱类药剂农药提供参考,以指导蔬菜的安全生产。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试蔬菜主要是小松菜(*Brassica rapa* var. *perviridis*),购自福州农播王种苗有限公司。

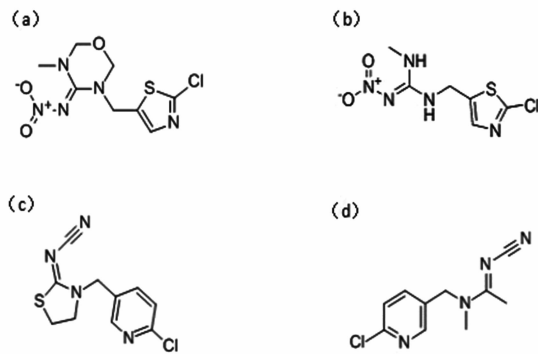
供试农药主要有 95.3%噻虫啉原药粉剂、97.9%噻虫嗪原药粉剂、98.3%噻虫胺原药粉剂、96.4%啉虫脒原药粉剂,均购自济南绿霸农药有限公司;99.5%噻虫啉标准品、99%噻

收稿日期:2017-07-18

基金项目:国家自然科学基金(编号:31601665);江苏省自然科学基金(编号:BK20160576)。

作者简介:龙 玲(1992—),女,湖南娄底人,硕士,从事农产品质量安全研究。E-mail:1278744551@qq.com。

通信作者:余向阳,博士,研究员,从事农产品质量安全研究, E-mail:yuxy@jaas.ac.cn;任立云,博士研究生,副研究员,从事植物保护研究, E-mail:740227390@qq.com。



a—噻虫嗪；b—噻虫胺；c—噻虫啉；d—啉虫脒

图1 4种农药的化学结构式

虫嗪标准品、99% 噻虫胺标准品、99% 啉虫脒标准品，均购自德国 Dr. Ehrenstorfer 公司。

主要试剂有乙腈（分析纯，上海中试化工总公司）、氯化钠（分析纯，西陇化工股份有限公司）、乙腈（色谱纯，德国默克公司）、PSA（Agela Technologies 公司）、无水硫酸镁（分析纯，成都市科龙化工试剂厂），将无水硫酸镁置于 550℃ 条件下烘烤 5 h，冷却待用；超纯水。

主要仪器有 Agilent 1260 高效液相色谱仪（美国 Agilent）、高速离心机（TG16-WS 型，长沙湘智离心机仪器有限公司）、微型旋涡混合仪（WH-3，上海沪西分析仪器有限公司）、电子天平（AP2500-0 型，瑞士 Ohaus）、电子天平（JJ200B 型，常熟市双杰测试仪器厂）、海尔立式超低温保存箱（DW-86L338）、海尔电冰柜（BC/BD-379H）、超纯水仪（Direct-R 公司）；Alpha1-2LDplus 型冷冻干燥剂（北京博励行仪器有限公司）、高通量样品振荡仪（托摩根生物科技有限公司）、0.22 μm 有机滤膜；实验室其他玻璃仪器及器皿，均购自南京寿德试验器材有限公司。

1.2 色谱条件

色谱柱为 ZORBAX SB-C₁₈ 柱（250 cm × 4.6 mm × 5 μm），柱温为 25℃，进样量为 10 μL，二极管阵列检测器（diode array detector，简称 DAD），噻虫嗪、噻虫胺的扫描波长为 255 nm；流动相为 V_{乙腈}：V_水 = 30：70；流速为 0.6 mL/min；噻虫啉出峰时间为 7.11 min；噻虫胺出峰时间为 9.01 min；噻虫啉的扫描波长为 233 nm；V_{乙腈}：V_水 = 28：72；流速为 1 mL/min；出峰时间为 9.53 min；啉虫脒的扫描波长为 254 nm；V_{乙腈}：V_水 = 28：72；流速为 0.8 mL/min；出峰时间为 10.25 min。

1.3 试验设计

种菜土壤取自江苏省农业科学院基地施药地块表层（0~20 cm）土壤。采集后风干，过筛，灭菌。种植 40 盆栽菜，每盆称取 600 g 土壤，播种，定量浇水，待植株生长稳定后，每盆灌药 120 mL 10 mg/kg 的药剂，每种药剂灌 7 盆栽菜和 3 盆未种菜的。灌药后，于 1、6、10、15、21、28、35 d 后采样。

1.4 样品处理

茎叶和根系样品用食品捣碎浆机粉碎并混匀，准确称 1 g 于 10 mL 带盖的一次性塑料管中，加入 5 mL 乙腈，振荡 30 min，加 1 g 氯化钠固体，涡旋 1 min，以 5 000 r/min 转速离心 10 min，取上层清液 3 mL 于 5 mL 一次性塑料管中，加入 30 mg 石墨炭黑，100 mg PSA，100 mg 无水硫酸镁，涡旋

1 min，以 8 000 r/min 转速离心 5 min，取上层清液，过 0.22 μm 滤膜，进样。

土壤样品冻干，粉碎，过 100 目筛。准确称取 10 g 于 50 mL 带密封盖的塑料瓶中，加入 20 mL 乙腈，振荡 30 min 后，以 5 000 r/min 转速离心 10 min，取上层清液，过 0.22 μm 滤膜，进样。

1.5 标准曲线和添加回收试验

用乙腈稀释混合标准母液，配成质量浓度分别为 1.00、0.50、0.20、0.10、0.05、0.02、0.01 mg/L 的混合标准溶液，按“1.2”节的色谱条件测定。以峰面积为纵坐标，进样浓度为横坐标，绘制标准曲线。在土壤、茎叶和根系空白样品中添加一定量的混合标准溶液，使每种农药添加水平分别为 0.01、0.10、1.00 mg/kg，按“1.2、1.4 节”所述方法进行样品预处理及测定，每个水平重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 液相色谱方法的线性关系、相关系数和添加回收

在质量浓度 0.01~1.00 mg/L 范围内，4 种新烟碱类杀虫剂的峰面积（y）与浓度（x）间呈线性关系，相关系数和添加回收试验结果见表 1。在“1.2 节”的色谱条件下，线性良好，添加回收率达标，能够确保结果的准确性。

表 1 4 种新烟碱类杀虫剂的回归方程、相关系数及添加回收

药剂	回归方程	相关系数	回收率（%）
噻虫嗪	y = 63.363x - 0.140 4	0.999 9	68.38 ~ 104.83
噻虫胺	y = 86.892x - 0.556 2	0.999 9	64.62 ~ 110.36
噻虫啉	y = 54.214x - 0.244 7	0.999 7	64.05 ~ 97.42

2.2 4 种新烟碱类药剂在小松菜茎叶、根系和土壤中的残留量

对小松菜进行农药灌根后，采集小松菜的茎叶、根以及土壤样品，对试验样品进行预处理，利用高效液相色谱-二极管阵列检测器（high-performance liquid chromatography-diode array detection，简称 HPLC-DAD）对 4 种新烟碱类杀虫剂进行检测。结果表明，灌根后均可以从土壤、小松菜根和茎叶中检测到 4 种农药，说明小松菜均可以对土壤中 4 种新烟碱类杀虫剂进行吸收，并向茎叶中转运，但不同农药存在吸收转运差异。由图 2-a 可知，在灌根施药初期，茎叶中 4 种农药浓度均快速增加，啉虫脒在 6 d 后达到最大值，噻虫嗪和噻虫啉在 21 d 后达到最大值，而后，茎叶中这 3 种农药浓度均处于下降趋势，而噻虫胺在试验采用期内浓度达到最大值，且保持稳定状态。由图 2-b 可知，小松菜根中噻虫嗪的浓度在 6 d 后达到最大值，而其他 3 种农药浓度均在 1 d 后达到最大值，而随着暴露时间的延长，根中 4 种农药的浓度均逐渐下降。另外，根中噻虫嗪浓度明显大于其他 3 种农药。由图 2-c 可知，在施药初期，4 种农药在土壤中的浓度达到最大，随着暴露时间的延长，土壤中 4 种农药的浓度整体处于下降趋势。

2.2 富集系数（enrichment factor，简称 RCF）与转移系数（transfer factor，简称 TF）

富集系数（RCF）是植株根部的药剂浓度与土壤中药剂浓度的比值，其计算公式为 RCF = C_根/C_{土壤}，反映植株根部对土壤中药剂的吸收富集能力。当 RCF ≥ 1.0 时，表明该物质易

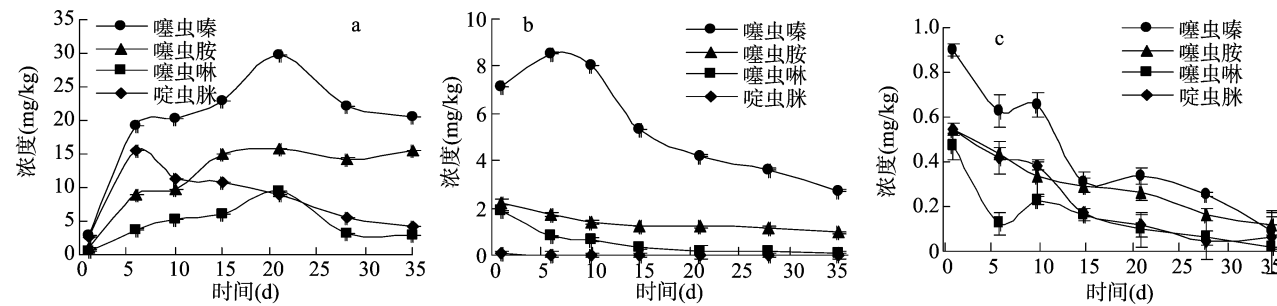


图2 小松菜茎叶(a)和根(b)、土壤(c)中 4 种新烟碱类杀虫剂浓度

被此种植株根富集;当 RCF < 1.0 时,表明此种植株根不易富集该物质^[19]。噻虫嗪、噻虫胺、噻虫啉、啉虫脒 4 种农药的富集因子分别为 15.24、5.13、3.28、0.86(表 2)。可见,噻虫嗪的 RCF 最大,其次是噻虫胺、噻虫啉、啉虫脒,说明 4 个农药中噻虫嗪最易在小松菜根中富集,而啉虫脒最不易在根中富集。

转移系数(TF)表示药剂在植物体内的转移能力,其计算公式是药剂在茎叶残留浓度与根部浓度的比值,即 $TF_{茎叶} =$

$C_{茎叶}/C_{根}$ 。 $TF_{茎叶} \geq 1.0$ 时,表明药剂易从植株根部向茎中转移,则 $TF_{茎叶} < 1.0$ 反之^[20]。由表 2 可知,噻虫嗪、噻虫胺、噻虫啉、啉虫脒 4 种农药的转移系数分别为 4.29、9.49、20.13、71.16,均大于 1,由大到小的顺序依次为 $TF_{啉虫脒} > TF_{噻虫啉} > TF_{噻虫胺} > TF_{噻虫嗪}$,4 种新烟碱类杀虫剂均容易从根系向茎叶中转移,其中啉虫脒最容易转移,噻虫嗪较难转移。

表 2 4 种新烟碱类药剂在小松菜中的 RCF 值和 TF 值

药剂	因子	1 d	6 d	10 d	15 d	21 d	28 d	35 d	平均值
噻虫嗪	RCF	7.91	13.14	12.90	17.29	12.47	14.17	28.78	15.24
	TF	0.41	2.23	2.52	4.25	7.03	6.10	7.51	4.29
噻虫胺	RCF	4.13	3.90	4.12	4.21	4.51	7.27	7.75	5.13
	TF	0.46	5.17	7.12	12.03	13.20	12.07	16.38	9.49
噻虫啉	RCF	3.93	3.50	5.20	1.87	1.90	2.30	4.30	3.28
	TF	0.34	4.79	8.11	19.77	51.41	22.98	33.54	20.13
啉虫脒	RCF	1.34	0.73	0.59	0.83	0.73	1.33	0.52	0.86
	TF	3.66	51.45	53.31	75.42	105.10	85.12	124.09	71.16

3 结论

通过采取灌根的施药方式比较 4 种新烟碱类类药(噻虫嗪、噻虫胺、噻虫啉和啉虫脒)在小松菜上的吸收及转移差异。结果表明,样品前处理采用 QuChERS 方法,在不同添加水平下,方法重现性好、操作简单,准确度和精密度等均符合农药残留分析方法要求。结果表明,小松菜可以从土壤中吸收 4 种新烟碱类农药并向茎叶中转移,但小松菜对不同农药的吸收转运差别较大。通过分析富集因子(RCF)和转移因子(TF)表明噻虫嗪最易在根中富集,不易向茎叶中转移;啉虫脒最易向茎叶中转移而不易在小松菜根部富集。本研究结果有助于对蔬菜施用新烟碱类药剂农药提供参考,指导蔬菜的安全生产。

参考文献:

[1]Schreiber L. A mechanistic approach towards surfactant/wax interactions; effects of octaethyleneglycolmonododecylether on sorption and diffusion of organic chemicals in reconstituted cuticular wax of barley leaves[J]. Pesticide Management Science,1995,45(1):1-11.

[2]Schreiber L, Riederer M, Schorn K. Mobilities of organic compounds in reconstituted cuticular wax of barley leaves; effects of monodisperse alcohol ethoxylates on diffusion of pentachlorophenol and tetracosanoic acid[J]. Pesticide Science,1996,48(2):117-124.

[3]Li H, Sheng G, Chiou C T, et al. Relation of organic contaminant equilibrium sorption and kinetic uptake in plants[J]. Environmental Science and Technology,2005,39(13):4864-4870.

[4]Wild E, Dent J, Thomas G O, et al. Direct observation of organic contaminant uptake, storage, and metabolism within plant roots[J]. Environmental Science and Technology,2005,39(10):3695-3702.

[5]刘菲菲. 三种农药在水稻及其环境中的分布、迁移和残留研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.

[6]Su Y H, Zhu Y G. Transport mechanisms for the uptake of organic compounds by rice (Oryza sativa) roots [J]. Environmental Pollution,2007,148(1):94-100.

[7]Briggs G G, Bromilow R H, Evans A A, et al. Relationships between lipophilicity and the distribution of non-ionised chemicals in barley shoots following uptake by the roots [J]. Pesticide Management Science,1983,14(5):492-500.

[8]谭颖,张琪,赵成,等. 蔬菜水果中的新烟碱类农药残留量与人群摄食暴露健康风险评价[J]. 生态毒理学报,2016,11(6):67-81.

[9]孙宝利,陕红,李艳华,等. 土壤中六种新烟碱类农药残留的分离及光谱研究[J]. 光谱学与光谱分析,2013,33(9):2553-2557.

[10]唐振华,陶黎明,李忠. 新烟碱类杀虫剂选择作用的分子机理[J]. 农药学报,2006,8(4):291-298.

[11]刘少华,唐蜜,王金山,等. 新烟碱类杀虫剂研究进展概述[J]. 山东化工,2015,44(7):66-68.

[12]黄庆,欧晓明,欧阳承虎,等. 新烟碱类农药在环境介质中的残留检测方法研究概况[J]. 世界农药,2013,35(2):37-42,45.

[13]朴秀英,嵇莉莉,林荣华,等. 新烟碱类杀虫剂登记与管理现状分析[J]. 中国植保导刊,2015,35(3):70-74.

梁永锋,李嘉会,曹江平. 杏花中多糖提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):208-210.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.052

杏花中多糖提取工艺及其抗氧化活性研究

梁永锋,李嘉会,曹江平

(宁夏师范学院化学化工学院,宁夏固原 756000)

摘要:为探索超声波辅助下杏花多糖的最佳提取工艺,测定杏花多糖的抗氧化活性。在超声波辅助下,采用水提醇沉的方法提取杏花中的多糖,通过正交试验,探索超声波辅助下的浸泡时间、超声功率、超声时间和料液比对杏花中植物多糖提取率的影响,利用对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{DPPH}\cdot$ 的消除效率来评价杏花中多糖的抗氧化活性。结果表明,杏花中植物多糖的最佳工艺条件为浸泡时间 90 min、超声功率 80 W、超声时间 60 min,料液比 1 g : 20 mL;杏花多糖在浓度为 32.7 $\mu\text{g/mL}$ 时,对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{DPPH}\cdot$ 的消除率分别为 71.5%、85.1%;杏花中植物多糖含量高达 6.54%,具有较强的抗氧化活性,杏花可以作为植物多糖的来源之一。

关键词:杏花多糖含量;提取工艺;抗氧化活性;超声波辅助;正交试验

中图分类号: O657.32;R284.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0208-03

植物多糖具有调节免疫、降血糖、抗衰老、抗肿瘤、抗氧化和抗凝血等作用,且毒副作用低、安全性好。因此,作为药物和保健食品,近年来越来越受到国内外的重视。杏花也称为“中医之花”,是被子植物门、木兰花纲、蔷薇目、蔷薇科杏树的花。味苦、性温、无毒,常用来治疗疮痍、祛斑,且具有中医美容的功效。杏花中含有丰富的苦杏仁苷、多酚、黄酮类、酶类、多糖以及不饱和脂肪酸等活性成分^[1-2]。本研究在测定杏花中多糖含量的基础上,通过对杏花多糖提取工艺和抗氧化性的研究,为进一步研究杏花的药用价值和提高杏花的经济价值提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 材料与试剂 杏花样品采集于宁夏回族自治区固原市原州区宁夏师范学院古雁校区校园。将所采样品放入恒温箱中,在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒质量,自然阴干,粉碎,过 80 目筛,依次用石油醚、丙酮处理 2 次,除去脂类和色素,再用 80% 乙醇处理 2 次,除去单糖等物质,干燥至恒质量,备用。

收稿日期:2016-10-18

基金项目:宁夏回族自治区科技支撑计划(编号:NXKJZC2015);宁夏师范学院“六盘山资源开发与利用工程中心”资助项目(编号:HG16-08)。

作者简介:梁永锋(1963—),男,甘肃庆阳人,硕士,教授,研究方向为天然产物分析及应用。E-mail:qylyf338@163.com。

葡萄糖(优级纯,上海谱振生物科技有限公司)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH,美国 Sigma 公司)、苯酚、 H_2SO_4 (98%)、 NaOH 、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (无水)、 CHCl_3 、 H_2O_2 、 FeSO_4 、水杨酸、正丁醇等均为国产分析纯,水为纯净水。

1.1.2 主要试验仪器 UV-2450 型紫外可见分光光度计(日本岛津公司);SK3300LHC 超声波清洗器(上海科导超声仪器有限公司);FW-177 型中草药粉碎机(天津市泰斯特仪器有限公司);RE-52A 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂);L-S 电子天平[0.1 mg,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]。

1.2 试验方法

1.2.1 标准曲线的建立 取一定量的葡萄糖标品(优级纯)在 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒质量^[3-4],精确称取 100 mg,用纯净水溶解并定容至 10 mL,配制成浓度为 10 mg/mL 的标准溶液。分别精确移取葡萄糖标准液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于 25 mL 具塞刻度试管中,再各以纯净水补至 2.0 mL,然后顺序加入 1.0 mL 5% 苯酚溶液和 5.0 mL 98% H_2SO_4 ,振摇均匀,静置 20 min,以试剂空白为参照,在 490 nm 波长下测定其吸光度,以吸光度为纵坐标(D),相对应的葡萄糖浓度为横坐标(C),绘制标准曲线(图 1),标准曲线方程为 $D = 0.4061C - 0.0020$, $r^2 = 0.9987$ 。结果表明,葡萄糖标准品在 0.01 ~ 0.40 mg/mL 之间,与吸光度具有良好的线性关系。

1.2.2 杏花多糖的提取 准确称取经过预处理的杏花样品 1.00 g,于 50 $^{\circ}\text{C}$ 加适量纯净水浸泡,按一定的浸泡时间、料液

[14]仇是胜,张一宾. 新烟碱类杀虫剂的发展及趋向[J]. 世界农药,2014,36(5):5-6,36.

[15]魏立娜,叶非. 新烟碱类杀虫剂的作用机制、应用及结构改造的研究进展[J]. 农药科学与管理,2013,34(5):27-34.

[16]吴迟,姜辉,王长宾,等. 四种新烟碱类杀虫剂对蜜蜂的急性毒性及初级风险评估[J]. 农药学报,2015,17(4):486-491.

[17]张国生,侯广新. 烟碱类杀虫剂的应用、开发现状及展望[J].

农药科学与管理,2004,25(3):22-26.

[18]程霞,亦冰. 第二代新烟碱类杀虫剂噻虫嗪的开发[J]. 世界农药,2001,23(4):17-25.

[19]严莉,李龙山,倪细炉,等. 5 种湿地植物对土壤重金属的富集转运特征[J]. 西北植物学报,2016,36(10):2078-2085.

[20]韩宝华,李建国,马炳辉. 90Sr、137Cs 在非人类物种——植物中的转移系数[C]//第四届中国核学会省市“三核”论坛论文集,天津,2007:306-310.