

土壤中铬含量对农产品安全性影响评价

廖海燕*, 何争珍, 谢玉成

(攀西无公害农产品监测中心, 攀枝花 617000)

摘要: **目的** 探索土壤中铬含量对农产品质量安全的影响。**方法** 采集农产品生产基地土壤样品120个, 同时采集成熟农产品样品200个, 测定土壤样品pH、全量铬和农产品样品总铬含量, 协同分析土壤铬污染情况和农产品铬含量情况。**结果** 土壤铬含量风险筛选范围占9.17%, 存在轻微铬污染。农产品中铬含量合格率达100%, 安全性高。各类农产品对铬的富集能力排序为谷物>叶菜类>豆类>芸薹属类>茄果类>瓜类, 且吸收富集作用差异明显。各类农产品对铬的吸收富集作用与土壤pH关联性不强。**结论** 土壤受铬污染并不一定会造成农产品铬含量超标, 这对受铬污染的土壤调整产业结构以保障农产品质量安全很有启发。

关键词: 土壤; 农产品; 铬; 安全性; 评价

Evaluation of the effect of chromium content in soil on the safety of agricultural products

LIAO Hai-Yan*, HE Zheng-Zhen, XIE Yu-Cheng

(Panxi Pollution-free Agricultural Monitoring Center, Panzhihua 617000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the influence of chromium content in soil on the quality and safety of agricultural products. **Methods** One hundred and twenty soil samples were collected from agricultural production bases and 200 samples of mature agricultural products were collected simultaneously to determine the pH and total chromium content of soil samples, and total chromium content of agricultural products samples, and collaboratively analyze the chromium contamination of soil and chromium content of agricultural products. **Results** The risk screening range of chromium content in soil accounted for 9.17% with minor chromium contamination. The chromium content in agricultural products was qualified at 100% with high safety. The enrichment ability of chromium in various agricultural products was ranked as cereals>leafy vegetables>legumes>*Brassica* spp.>egg plant>melon, and the difference of absorption and enrichment was obvious. The correlation between chromium enrichment and soil pH was not strong for all types of agricultural products. **Conclusion** Chromium contamination of soils does not necessarily result in excessive chromium content in agricultural products, which is an inspiration for adjusting the industrial structure of chromium-contaminated soils to ensure the quality and safety of agricultural products.

KEY WORDS: soil; agricultural products; chromium; safety; evaluation

基金项目: 攀枝花市指导性科技计划项目(2019ZD-S-30)

Fund: Supported by the Panzhihua City Guiding Science and Technology Plan Project (2019ZD-S-30)

*通信作者: 廖海燕, 高级农艺师, 主要研究方向为农业资源环境与农产品质量安全。E-mail: 8395761@qq.com

*Corresponding author: LIAO Hai-Yan, Senior Agronomist, Panxi Pollution-free Agricultural Monitoring Center, Panzhihua 617000, China. E-mail: 8395761@qq.com

0 引言

随着社会经济的高速发展, 人类活动造成土壤重金属污染问题日趋严重, 耕地质量堪忧^[1-3]。铬亦是土壤中无机污染元素之一, 土壤中铬污染会影响土壤酶、微生物等活性, 从而影响植物生长, 此外, 铬被植物通过富集作用在体内积累后进入食物链, 导致人身体健康受到影响^[2,4-6]。攀西安宁河谷地区优越的气候条件孕育着特色产业发展的巨大优势, 是四川省着力加快推进现代特色农业示范区建设的重点区域之一, 其蔬菜等农产品因质量优而闻名全国, 但其因矿产资源丰富而造成土壤中重金属含量高, 成为影响农产品质量安全的一个风险因子^[7-12]。客观看待土壤环境质量状况及其对农产品质量安全的影响, 是理性对待土壤利用与保障农产品质量安全的关键^[13], 土壤铬对农产品铬含量的影响因其土壤-农作物系统的复杂性而造成迁移特征有所不同^[14-16]。目前, 关于攀西地区土壤重金属的相关研究主要集中在含量、分布及环境质量评价方面^[17], 针对不同农作物种类及土壤 pH 影响铬富集情况的研究鲜有报道。本研究选取攀西安宁河谷地区作为研究对象, 对土壤中铬含量及土壤 pH 进行分析, 同步开展对应点位农产品中铬含量的检测, 探索不同农产品种类对铬的富集特征, 为调整农业产业结构提供客观依据, 以保障农产品质量安全, 并促进农业发展的可持续性。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

在攀西安宁河谷地区农产品生产基地区域, 科学布点 120 个单元, 采取土壤样品和农产品样品。每个采样单元按对角线、棋盘法、蛇形法布点, 取 0~20 cm 左右耕作层土壤 5 个点位组成一个原始质量不少于 1 kg 的混合样品, 共 120 个样品。同点位分两季采集成熟农产品样品, 第一季与土壤样品采集同步进行, 采样点位与土壤点位置对应, 由 5 个采样点的样品组成一个质量不低于 3 kg 的混合样品, 采样单元内有间种(套种)的产品同时抽取, 第二季在轮作农产品成熟时采集, 共 200 个样品。

采集的土壤样品自然风干后, 去除碎石、砂砾及植物残体等杂质, 用陶瓷研钵研磨后, 分别过 2.00 mm 和 0.150 mm 尼龙筛, 保存在塑料瓶中备检。农产品样品测定部位按 GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》附录 A 相关要求, 制样时用干净纱布擦去样本表面附着物, 用四分法分取至 500 g 左右放入食品加工机中捣碎, 冷冻保存备检。

1.2 仪器与试剂

1.2.1 主要仪器

NexION 350X 电感耦合等离子体质谱仪、AA 800 火

焰原子吸收光谱仪(美国 PerkinElmer 公司); Multiwave 微波消解仪(奥地利 Anton paar 公司); Sension 4 台式离子浓度计(美国 HACH 公司); HY-B 调速振荡器(常州荣冠分析仪器有限公司); ME 204 电子天平(瑞士 METTLER TOLEDO 公司); BHW-09A 恒温消解仪(上海博通化学科技有限公司); SM-3 石墨电热板(北京中兴伟业仪器有限公司)。

1.2.2 主要试剂

氢氟酸(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 盐酸(原子荧光纯, 四川西陇化工有限公司); 硝酸[微量金属级, 赛默飞世尔科技(中国)有限公司]; 高氯酸[微量金属级, 默克化工技术(上海)有限公司]; 铬标准储备液(1.000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 内标液: Bi、Ge、In、Li⁶、Sc、Tb、Y (10 μg/mL, 美国 PerkinElmer 公司); 实验用去离子水(电阻率 18.25 MΩ·cm, 成都艾柯超纯水机)。

1.3 实验方法

1.3.1 测定方法

(1) 土壤 pH 测定

称取(10.0±0.1) g 土壤过 2 mm 孔径实验筛的土壤试样, 置于 50 mL 试管中, 加入 25 mL 水, 剧烈振荡 5 min, 静置 3 h 待测。

(2) 土壤全量铬测定

称取 0.2 g(精确至 0.0001 g)土壤样品于消解管中, 加入 3 mL 盐酸、6 mL 硝酸、2 mL 氢氟酸, 置于微波消解仪中消解。微波消解程序为: 15 min 升温至 185 °C, 保持 25 min, 冷却, 用 1%硝酸定容, 混匀备用, 同时做空白实验。

(3) 农产品中铬含量测定

称取农产品样品 0.5 g(精确至 0.001 g, 含水分较多的湿样增加取样量至 2 g)于消解管中, 加入 5 mL 硝酸, 于电热板上低温加热除气后置于微波消解仪中消解。微波消解程序为: 15 min 升温至 185 °C, 保持 15 min, 冷却, 用水定容至 25 mL, 混匀备用, 同时做空白实验。

(4) 质控方法

土壤全量铬检测用中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所的 GBW07408 (GSS-8 土壤)标准物质进行质控。

农产品中铬检测用中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所的 GBW10014 (GSB-5 圆白菜)、GBW10015 (GSB-6 菠菜)、GBW10044 (GSB-22 四川大米)标准物质进行质控。

1.3.2 评价标准和方法

(1) 总体评价

土壤污染筛选值和管制值评价采用 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》; 农产品安全性评价采用 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》。

(2)土壤污染指数评价

单因子污染指数(P_i)评价法见式(1):

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i 为单因子铬污染指数; C_i 为污染物铬的实测浓度, mg/kg; S_i 为农用地铬污染风险筛选值, mg/kg。

(3)土壤铬与农产品铬含量关联性评价

富集系数(bioconcentration factors, BCF)见式(2):

$$BCF = \frac{C_v}{C_s} \quad (2)$$

式中 C_v 为农产品中铬的含量, mg/kg; C_s 为土壤中铬的含量, mg/kg。

1.3.3 数据处理与分析

数据统计分析和绘图采用 Microsoft Excel 2010。

2 结果与分析

2.1 质控结果

土壤全量铬测定过程中共进行 5 次质控, 农产品铬检测过程中共进行 13 次质控。全部质控样品测定值均在参考值范围内, 变异系数为 3.08%~5.55%, 说明检测结果准确可靠(表 1)。

2.2 土壤 pH 特征

土壤 pH 范围 3.79~7.30, 平均值 5.58, 总体属酸性, 其中极强酸性、强酸性、酸性和中性样品数量分别是 14 个、49 个、36 个、21 个, 所占比例分别为 11.67%、40.83%、

30.00%、17.50%, 总体变异系数 15.76%, 属中等变异程度(表 2)。从分析结果看, 研究区土壤酸化严重, 采样单元土壤 pH 空间差异较大。张世昌等^[18]和陈晓婷等^[19]进行了土壤 pH 对农作物产量和品质影响的研究, 王成文等^[20]和刘丽^[21]对土壤 pH 影响铬等重金属的迁移转化进行了研究, 研究表明, 土壤酸化将影响农作物生长、品质及作物对重金属的吸收富集作用。

2.3 土壤中铬含量特征

2.3.1 土壤中铬全量污染风险判定

对研究区土壤中铬含量与四川省土壤中铬元素背景值 92.0 mg/kg^[22]相比较, 并按照 GB 15618—2018 对土壤铬污染筛选和分类(表 3)。研究区铬含量最小值 16.98 mg/kg, 最大值 317.15 mg/kg, 平均值 98.95 mg/kg, 平均含量略高于四川省土壤铬元素背景值, 低于背景值的 58 个, 高于背景值的 62 个, 呈均衡在背景值上下波动状况, 总体变异系数 57.34%, 属中等变异程度。铬污染安全范围、风险筛选范围分别占 90.83%、9.17%, 无管制值范围, 存在一定铬污染风险。

2.3.2 土壤铬污染指数评价

采用单因子污染指数法可以评价铬因子对土壤的污染程度, 研究区铬污染指数介于 0.08~2.11 之间, 污染程度在未污染至轻度污染之间, 无中度污染和重度污染(表 4)。该研究区土壤中铬污染调查结果与王美英^[10]对攀西区域安宁河流域断面底泥以及该区域 17 家典型涉重金属工业周边土壤进行环境质量状况调查和生态风险评价的结果基本一致, 属低度风险^[23]。

表 1 质控结果表

Table 1 Quality control result table

标准物质	参考值/(mg/kg)	质控次数	测定值/(mg/kg)	变异系数/%
GBW07408 (GSS-8 土壤)	68±6	5	65.2~72.7	4.08
GBW10014 (GSB-5 圆白菜)	1.8±0.3	4	1.74~1.86	3.08
GBW10015 (GSB-6 菠菜)	1.4±0.2	4	1.30~1.48	5.55
GBW10044 (GSB-22 四川大米)	0.17±0.05	5	0.165~0.180	3.46

表 2 土壤 pH 统计表

Table 2 Soil pH statistics

项目	极强酸性(pH<4.5)	强酸性(4.5≤pH<5.5)	酸性(5.5≤pH<6.5)	中性(6.5≤pH<7.5)	合计
样品数量/个	14	49	36	21	120
占比/%	11.67	40.83	30.00	17.50	100.00
最小值	3.79	4.50	5.51	6.54	3.79
最大值	4.48	5.49	6.45	7.30	7.30
变异系数/%	4.96	6.54	4.87	2.99	15.76

2.4 农产品中铬含量及安全性评价

2.4.1 农产品中铬含量评价

200 个农产品样品中包含豆类、瓜类、茄果类、叶菜类、芸薹属类和谷物类, 铬含量范围为 ND~0.3578 mg/kg, 平均含量为 0.0532 mg/kg, 按照 GB 2762—2017 判定全部合格(表 5)。从不同种类农产品的平均含量来看, 谷物类和叶菜类平均含量最高, 其次是豆类和芸薹属类, 瓜类和茄果类铬平均含量最低。豆类、瓜类、茄果类、叶菜类中铬含量变异系数分别是 128.90%、129.46%、144.59%、116.69%, 呈强变异程度, 说明这几类农产品对铬的吸收受土壤环境综合条件影响大; 芸薹属类、谷物类铬含量变异系数分别是 64.26%、37.80%, 呈中等变异程度。土壤中铬含量差异和土壤环境条件不同, 造成农产品样品中铬含量差异明显。通过进一步对铬存在形态的分析, 本研究区域土壤中铬主要以残渣态形式存在, 不利于农作物吸收利用。

2.4.2 农产品对铬的富集特征

各类农产品铬富集系数范围为 0~9.01E-3, 平均值为 7.35E-4, 豆类、瓜类、茄果类、芸薹属类的平均富集系数均低于总平均值, 叶菜类、谷物类富集系数高于总平均值。各类农产品富集能力排序为谷物 > 叶菜类 > 豆类 > 芸薹属类 > 茄果类 > 瓜类, 且富集程度差异明显, 谷物类铬富集能力是瓜类的 34.6 倍(表 6)。

进一步分析, 样品中主要产品有番茄、辣椒、茄子、水稻、四季豆、玉米, 铬平均富集系数(BCF)分别是 5.08E-5、1.12E-4、7.38E-5、2.28E-3、1.96E-4、1.43E-3, 富集能力排序为水稻 > 玉米 > 四季豆 > 辣椒 > 茄子 > 番茄, 水稻、玉米对铬的富集特征较其他农产品明显(表 7)。

相关研究或实验表明, 不同农作物对铬的吸收积累呈显著差异^[24-25], 本研究区域受土壤 pH、铬含量、迁移系数等因素的影响, 农产品中积累富集铬的程度也存在很大差异。

表 3 土壤中铬污染风险统计表(mg/kg)
Table 3 Statistical table of chromium pollution risk in soil (mg/kg)

样品数量/个	含量范围	平均值	标准偏差	变异系数/%	安全范围		风险筛选范围		管制范围	
					数量/个	占比/%	数量/个	占比/%	数量/个	占比/%
120	16.98~317.15	98.95	32.61	57.34	109	90.83	11	9.17	0	0

表 4 单因子污染指数法评价标准及结果
Table 4 Evaluation criteria and results of single factor pollution index method

污染级别	I	II	III	IV	V
单因子指数	$P_i \leq 1.0$	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$2.0 < P_i \leq 3.0$	$3.0 < P_i \leq 5.0$	$P_i > 5$
污染程度	未污染	轻微污染	轻度污染	中度污染	重度污染
数量/个	109	9	2	0	0
占比/%	90.83	7.50	1.67	0	0

注: 污染程度分级参照《全国土壤污染状况调查》的标准。

表 5 农产品中铬含量及判定情况(mg/kg)
Table 5 Chromium content and determination of agricultural products (mg/kg)

产品类别	样品数量/个	含量范围	平均值	标准偏差	变异系数/%	判定指标	合格		不合格	
							数量/个	比率/%	数量/个	比率/%
豆类	26	ND~0.0924	0.0175	0.0226	128.90	≤ 1.0	26	100	0	0
瓜类	22	ND~0.0302	0.0063	0.0081	129.46	≤ 0.5	22	100	0	0
茄果类	86	ND~0.0557	0.0063	0.0091	144.59	≤ 0.5	86	100	0	0
叶菜类	2	0.0253~0.2641	0.1447	0.1688	116.69	≤ 0.5	2	100	0	0
芸薹属类	2	0.0092~0.0246	0.0169	0.0109	64.26	≤ 0.5	2	100	0	0
谷物类	62	0.0701~0.3578	0.1482	0.0560	37.80	≤ 1.0	62	100	0	0
合计	200	ND~0.3578	0.0532	0.0741	139.11	-	200	100	0	0

注: ND: 未检出; 检出限: 0.05 mg/kg。

2.4.3 富集系数与土壤 pH 的关系

从图 1 来看, 豆类、瓜类、茄果类和谷物类铬富集系数与土壤 pH 均不构成明显的相关性, 而是在上限“阈值”

之下分布, 说明研究区各类农产品对铬的吸收和富集作用不仅受单因子土壤 pH 的影响, 产品中铬的积累沉积是多因素影响的结果。

表 6 不同类别品种农产品铬的富集系数
Table 6 Bioconcentration factors of chromium in different types of agricultural products

产品类别	BCF 范围	平均值	标准偏差	变异系数/%
豆类	0~8.98E-4	1.90E-4	2.31E-4	121.78
瓜类	0~2.80E-4	6.15E-5	7.53E-5	122.47
茄果类	0~7.34E-4	7.61E-5	1.22E-4	159.75
叶菜类	1.32E-4~1.60E-3	8.68E-4	1.04E-3	119.96
芸薹属类	9.30E-5~1.09E-4	1.01E-4	1.16E-5	11.48
谷物类	5.71E-4~9.01E-3	2.13E-3	1.67E-3	78.47
合计	0~9.01E-3	7.35E-4	1.33E-3	180.86

表 7 主要农产品铬的富集系数
Table 7 Bioconcentration factors of chromium in the main agricultural products

样品名称	样品数量/个	BCF 范围	平均值	标准偏差	变异系数/%
番茄	43	0~3.05E-4	5.08E-5	5.76E-5	113.29
辣椒	31	0~7.34E-4	1.12E-4	1.78E-4	158.79
茄子	12	0~3.56E-4	7.38E-5	9.52E-5	128.96
水稻	51	6.31E-04~9.01E-3	2.28E-3	1.77E-3	77.59
四季豆	18	2.53E-05~8.98E-4	1.96E-4	2.55E-4	130.29
玉米	11	5.71E-04~3.62E-3	1.43E-3	8.39E-4	58.81

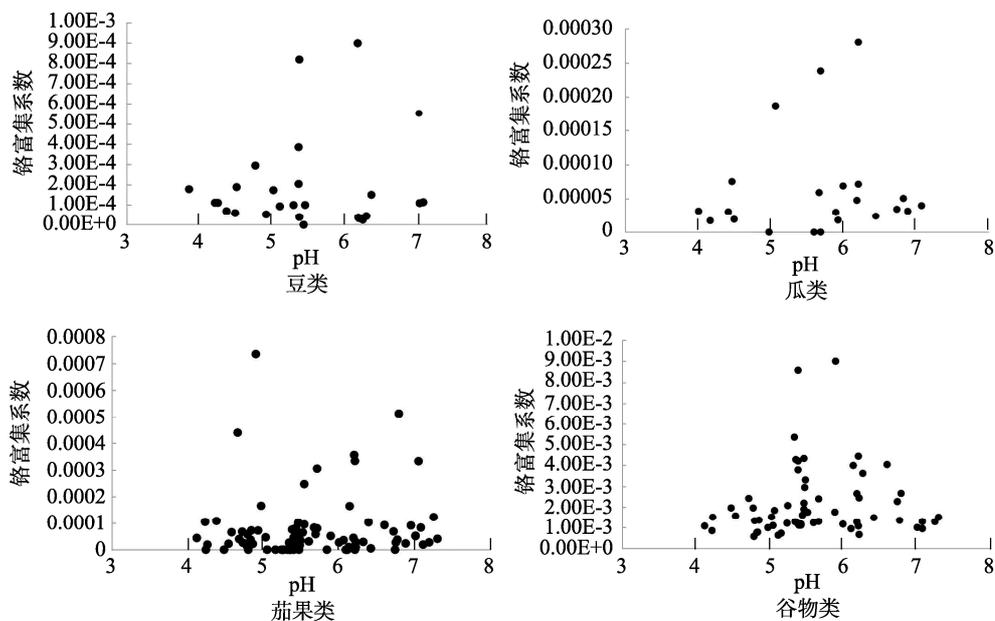


图 1 各类农产品铬富集系数与土壤 pH 的关系图

Fig.1 Relationship between the bioconcentration factors of chromium in various agricultural products and soil pH

3 结论与讨论

通过对研究区土壤中铬和同点位农产品中铬含量的协同监测分析, 土壤中铬存在一定程度的污染, 但农产品铬含量 100%合格, 且含量远低于 GB 2762—2017 限量指标, 安全性得到保障, 说明土壤中铬超标并不一定能造成农产品中铬含量超标。

酸性较大的土壤有可能使水溶态、交换态铬增大, 从而加大土壤铬的植物有效性, 使其向植物迁移的风险加大^[26]。但本检测结果表明各类农产品对铬的吸收与土壤 pH 关联性不强, 可能是由于本地区铬主要以残渣态形式存在, 土壤 pH 的改变并不能使其转化为水溶态和交换态, 从而不被植物吸收, 这对受铬污染的土壤在防治治理上提供了一些参考。

不同农产品铬富集程度差异明显, 谷物类最强, 茄果瓜类最弱, 谷物中水稻、玉米对铬的富集程度较其他农产品更高, 土壤中铬总量是影响谷物中铬富集的重要因素之一。因此, 选择合适的品种, 能够有效保障农产品的质量安全。

本研究分析结果为土壤污染防治与发展农业生产的合理规划提供了科学依据, 通过合理利用土地可防止耕地不科学、不合理的非粮化、非农化倾向。

本研究是针对生产开展的协同监测分析。因研究区农产品种植品种有限, 还可扩大监测范围, 覆盖更多品种, 以形成更加完善的数据体系。

参考文献

- [1] 佚名. 全国土壤污染状况调查公报(2014 年 4 月 17 日)[J]. 环境教育, 2014, (6): 12-14.
ANON. National survey bulletin of soil pollution status (April 17, 2014) [J]. Environ Educ, 2014, (6): 12-14.
- [2] 陈雅丽, 翁莉萍, 马杰, 等. 近十年中国土壤重金属污染源解析研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(10): 2219-2238.
CHEN YL, WENG LP, MA J, *et al.* Review on the last ten years of research on source identification of heavy metal pollution in soils [J]. J Agro-Environ Sci, 2019, 38(10): 2219-2238.
- [3] 陈卫平, 杨阳, 谢天, 等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. 土壤学报, 2018, 55(2): 261-272.
CHEN WP, YANG Y, XIE T, *et al.* Challenges and countermeasures for heavy metal pollution control in farmlands of China [J]. Acta Pedol Sin, 2018, 55(2): 261-272.
- [4] 马宪梅, 黄晓飞. 土壤铬污染现状及修复方法研究[J]. 环境与发展, 2020, 32(5): 61, 63.
MA XM, HUANG XF. Study on the current situation of soil chromium pollution and remediation methods [J]. Environ Dev, 2020, 32(5): 61, 63.
- [5] 彭叶棉, 杨阳, 侯素霞, 等. 外源六价铬在土壤中的有效性及其小麦毒性效应[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 369-377.
PENG YM, YANG Y, HOU SX, *et al.* The bioavailability of exogenous Cr(VI) in soils and its toxic effect on wheat [J]. Ecol Environ Sci, 2020, 29(2): 369-377.
- [6] 张小伟. 农田土壤重金属污染监测及治理[J]. 资源节约与环保, 2021, (2): 60-61.
ZHANG XW. Monitoring and treatment of heavy metal pollution in farmland soil [J]. Res Conserv Environ Prot, 2021, (2): 60-61.
- [7] 四川省国土资源厅. 四川省土壤污染状况调查公报[EB/OL]. [2014-12-01].
<http://www.sc.gov.cn/10462/10464/10727/10866/2014/12/1/10319883.shtm> [2021-01-22].
Sichuan Provincial Department of Land and Resources. Bulletin investigation of soil pollution in Sichuan province [EB/OL]. [2014-12-01].
<http://www.sc.gov.cn/10462/10464/10727/10866/2014/12/1/10319883.shtm> [2021-01-22].
- [8] 颜斯睿. 攀西安宁河谷地区将成我省第二大粮仓[J]. 新城乡, 2018, (10): 60.
YAN SR. Panxi Anning valley area will become the second largest granary in our province [J]. New Urban Rural Area, 2018, (10): 60.
- [9] 邵小鹏. 攀西安宁河谷地区四县观光农业区景观格局分析及其发展对策[D]. 成都: 四川农业大学, 2016.
SHAO XP. Analysis of agricultural landscape pattern and development countermeasures of sightseeing agriculture area in four counties of the area of the Panxi Anning valley [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2016.
- [10] 王美英. 攀西地区特色产业扶贫发展经验研究——以攀枝花市米易县为例[J]. 民族学刊, 2015, 6(3): 59-67, 119-122.
WANG MY. The experience of using poverty alleviation with characteristic industries in the region of the Panzhihua - xichang——Taking Miyi county of Panzhihua as a case study [J]. J Ethnol, 2015, 6(3): 59-67, 119-122.
- [11] 潘兴扬. 全产业链特色现代农业之米易模式[J]. 当代县域经济, 2019, (9): 32-35.
PAN XY. Miyi mode of modern agriculture with whole industry chain characteristics [J]. Contemp Coun Econ, 2019, (9): 32-35.
- [12] 杨明兴. 攀西地区土地利用变化及其生态环境效应研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
YANG MX. Study on land use change and it's effects on eco-environment in Panxi area [D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [13] 王玉军, 刘存, 周东美, 等. 客观地看待我国耕地土壤环境质量的现状——关于《全国土壤污染状况调查公报》中有关问题的讨论和建议[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(8): 1465-1473.
WANG YJ, LIU C, ZHOU DM, *et al.* A critical view on the status quo of the farmland soil environmental quality in china: Discussion and suggestion of relevant issues on report on the national general survey of soil contamination [J]. J Agro-Environ Sci, 2014, 33(8): 1465-1473.
- [14] 李杰, 朱立新, 康志强. 南宁市郊周边农田土壤-农作物系统重金属元素迁移特征及其影响因素[J]. 中国岩溶, 2018, 37(1): 43-52.
LI J, ZHU LX, KANG ZQ. Characteristics of transfer and their influencing factors of heavy metals in soil-crop system of peri-urban agricultural soils of Nanning, south China [J]. Carsologica Sin, 2014, 37(1): 43-52.
- [15] 黎承波. 重金属在土壤-植物系统中的迁移转化研究进展[J]. 山东化工, 2017, 46(14): 186-187.
LI CB. Research advance in the migration and transformation of heavy

- metals in soil-plant system [J]. *Shandong Chem Ind*, 2017, 46(14): 186–187.
- [16] 郭琦. 土壤-植物系统中的铬[J]. *广州化工*, 2005, (5): 49–51.
GUO Q. Cr in soil-plant systems [J]. *Guangzhou Chem Ind*, 2005, (5): 49–51.
- [17] 周娅, 杨定清, 雷绍荣. 攀西地区主要蔬菜基地土壤重金属含量及评价[J]. *四川环境*, 2008, (2): 67–70.
ZHOU Y, YANG DQ, LEI SR. Heavy metal content of soil in Panxi vegetable plantations and their assessment [J]. *Sichuan Environ*, 2008, (2): 67–70.
- [18] 张世昌, 詹承贤, 吴凌云. 土壤调理剂品种对茄子产量及土壤理化性状的影响[J]. *基层农技推广*, 2020, 8(12): 24–26.
ZHANG SC, ZHAN CX, WU LY. Effects of soil conditioners on eggplant yield and soil physical and chemical properties [J]. *Primary Agric Technol Extension*, 2020, 8(12): 24–26.
- [19] 陈晓婷, 王裕华, 林立文, 等. 土壤酸度对茶叶产量及品质成分含量的影响[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(1): 260–266.
CHEN XT, WANG YH, LIN LW, *et al.* Effects of soil acidity on tea yield and quality components [J]. *Acta Trop Crop*, 2021, 42(1): 260–266.
- [20] 王成文, 许模, 张俊杰, 等. 土壤pH和Eh对重金属铬(VI)纵向迁移及转化的影响[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(10): 6035–6041.
WANG CW, XU M, ZHANG JJ, *et al.* Effects of soil pH and Eh on the longitudinal migration and transformation of heavy metal chromium (VI) [J]. *J Environ Eng*, 2016, 10(10): 6035–6041.
- [21] 刘丽. 重金属在土壤—蔬菜系统中的迁移转运与调控及其健康风险评估[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.
LIU L. Migration and regulation of heavy metals in soil-vegetable system and their health risk assessment [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2018.
- [22] 汪婷, 王哲, 易发成, 等. 攀西某芒果产区土壤重金属污染评价[J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(16): 6688–6696.
WANG T, WANG Z, YI FC, *et al.* Evaluation of soil heavy metal pollution in a mango producing area in Panxi [J]. *Sci Technol Eng*, 2020, 20(16): 6688–6696.
- [23] 王英英, 钱蜀, 万旭, 等. 攀西区域涉重金属典型企业周边环境特征及潜在生态风险[J]. *中国环境监测*, 2014, 30(1): 13–19.
WANG YY, QIAN S, WAN X, *et al.* Research on the environmental property and potential ecological risk of the soil and sediment around the typical enterprises relating to heavy metal in the southwest [J]. *Environ Monit China*, 2014, 30(1): 13–19.
- [24] 孙宗全. 不同作物对铬的吸收差异及应用研究[D]. 济南: 济南大学, 2019.
SUN ZQ. Absorption ability of chromium by different crops and its application [D]. Jinan: University of Jinan, 2019.
- [25] 郑向群, 郑顺安, 李晓辰. 叶菜类蔬菜土壤铬(III)污染阈值研究[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(12): 3039–3044.
ZHENG XQ, ZHENG SA, LI XC. Pollution threshold value of soil chromium (III) for leafy vegetables [J]. *J Environ Sci*, 2012, 32(12): 3039–3044.
- [26] 姜身永, 侯明. 土壤几种化学性质对土壤Cr形态的影响[J]. *桂林工学院学报*, 2008, 28(4): 558–561.
JIANG SY, HOU M. Effect of several soil chemical properties on soil chromium speciations [J]. *J Guilin Univ Technol*, 2008, 28(4): 558–561.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



廖海燕, 高级农艺师, 主要研究方向为农业资源环境与农产品质量安全。
E-mail: 8395761@qq.com