

铜陵市义安区蔬菜产地镉污染调查与评价

鲍广灵¹, 杨庆波¹, 陶荣浩¹, 张慧敏¹, 胡兆云², 周彩玲², 马友华^{1*}

(1. 农田生态保育与污染防控安徽省重点实验室, 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036;
2. 铜陵市义安区农业技术推广中心, 安徽 铜陵 244000)

摘要:通过在铜陵市义安区5个乡镇点对点采集蔬菜及土壤样品,分析其中镉含量,并运用土壤及农产品综合质量影响指数(IICQ)对蔬菜产地镉污染状况作评价。结果表明,义安区蔬菜产地土壤镉平均值为0.56 mg/kg,高于背景值。32.5%的土壤样品镉质量比高于风险筛选值而低于风险管制值,7.5%的样品镉质量比高于风险管制值,集中在D乡镇。8种蔬菜样品的IICQ范围在0.01~7.34之间,D乡镇的污染程度最严重。蔬菜镉富集系数存在差异性,叶菜类较块茎类对镉的吸收能力更强,蔬菜产地蔬菜样品整体符合安全食用标准。

关键词: 镉污染;蔬菜;土壤;调查;评价;铜陵市

中图分类号: X503.23; X822.1

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2022)03-0040-05

Investigation and Evaluation of Cadmium Pollution in Vegetable Growing Areas in Yi'an District, Tongling City

BAO Guang-ling¹, YANG Qing-bo¹, TAO Rong-hao¹, ZHANG Hui-min¹, HU Zhao-yun²,
ZHOU Cai-ling², MA You-hua^{1*}

(1. Anhui Province Key Lab of Farmland Ecological Conservation and Pollution Prevention, College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China;
2. Agricultural Technology Extension Center of Yi'an District, Tongling, Anhui 244000, China)

Abstract: The content of cadmium in vegetable and soil samples collected from five villages and towns in Yi'an District, Tongling City was analyzed, the pollution status of cadmium in the vegetable growing area was evaluated by soil and agricultural product comprehensive quality impact index (IICQ). The results showed that the average value of cadmium in soil of vegetable growing area was 0.56 mg/kg, which was higher than the background value. The cadmium mass ratio of 32.5% of soil samples was higher than the risk screening value and lower than the risk control value, and that of 7.5% of soil samples was higher than the risk control value, which concentrated in D township. The IICQ of 8 vegetable samples ranged from 0.01 to 7.34. D township was the most polluted. There were differences in cadmium enrichment coefficients of vegetables. Leaf vegetables had stronger absorption capacity of cadmium than tubers. The whole vegetable samples from the vegetable growing areas met the food safety standards.

Key words: Cadmium pollution; Vegetable; Soils; Investigation; Evaluation; Tongling

蔬菜产品及其制品含有高营养物质元素,可以促进人体消化,有效预防多种疾病^[1]。2016年我国蔬菜产地面积达到 1.96×10^7 hm²。随着大力发展蔬菜种植,2019年我国蔬菜产地面积仍然不断扩大^[2],蔬菜产地主要位于东部地区,西部地区也有大量种植^[3]。近年来,由于农田污水灌溉及工业废水

收稿日期:2021-04-14;修订日期:2022-03-03

基金项目:国家重点研发计划基金资助项目(2018YFD0800203,2016YFD0801104);安徽省科技重大攻关基金资助项目(No.17030701053)

作者简介:鲍广灵(1994—),男,安徽铜陵人,在读研究生,研究方向为土壤重金属治理修复。

*通信作者:马友华 E-mail: yhma2020@qq.com

等流入土壤,蔬菜产地土壤重金属镉(Cd)污染现象愈发严重,导致蔬菜 Cd 含量超标^[4]。研究发现,北京蔬菜产地中超过 1/3 的蔬菜 Cd 含量超标^[5];李有文等^[6]研究发现,白银市部分地区蔬菜地 Cd 含量超过甘肃省土壤背景值,地质累积指数表明,东大沟 Cd 污染部分甚至达到极强污染;王兰化等^[7]研究发现,华北地区某城郊蔬菜基地土壤已受到不同程度的 Cd 污染;冯元超^[8]研究发现,四川省彭州市某蔬菜地土壤 Cd 含量超过《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)的二级标准限值。

安徽省铜陵市义安区拥有丰富的矿产资源,有关重金属 Cd 在铜陵市蔬菜地污染研究以单个乡镇评价居多,而对铜陵市义安区整个区域的蔬菜产地 Cd 污染调查与评价研究较少^[9]。今通过对义安区蔬菜产地土壤及种植的蔬菜中 Cd 含量调查

分析,为蔬菜产地重金属污染防治提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

铜陵市义安区在 E117°42'00" ~ E118°10'06", N30°45'12" ~ N31°07'56" 地理范围内,总面积为 845 km²。由于当地特有的地形地貌,造成了不同区域土壤类型分布的差异性。2019 年该区蔬菜播种面积达 7 600 hm²,其中专业蔬菜基地面积约 1 100 hm²,栽培面积约 466 hm²,蔬菜年产量达 6.7 × 10⁵ t。义安区 5 个乡镇(A—E)蔬菜产地种植的蔬菜种类相近,主要有水生蔬菜、葱蒜类、白菜类和根菜类等,其中 D 乡镇还有香椿头(株科落叶乔木)蔬菜类型,而 E 乡镇盛产的白姜是当地特产。表 1 为义安区不同乡镇蔬菜种类及产地情况。

表 1 义安区不同乡镇蔬菜种类及产地情况

Table 1 Types and origin of vegetables in different villages and towns in Yi'an District

乡镇	典型蔬菜种类	土壤类型	附近河流	种植面积 A/hm ²	产量 m/t
A 乡镇	叶菜类、芹菜、茄果类、瓜类	农田水稻土、黄红壤土	顺安河	81	2 350
B 乡镇	叶菜类、大蒜、豆类、茄果类、瓜类	农田水稻土、黄红壤土	西湖、明塘	130	3 700
C 乡镇	豆类、叶菜类、茄果类	潮土、砂泥田土	长江	173	4 600
D 乡镇	叶菜类、茄果类、豆类、香椿头、瓜类	农田水稻土、黄红壤土、石灰土	泉栏河	280	8 100
E 乡镇	叶菜类、大蒜、茄果类、瓜类、生姜	黄红壤土、农田水稻土、石灰土	筛子湖	267	1 530

1.2 样品采集

选取 5 个乡镇的蔬菜产地,依据《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2012)分别于 2019 年 4 月 26 日和 10 月 10 日开展 2 次蔬菜和土壤样品采集。蔬菜采集品种为莴笋、蒜苗、小白菜、韭菜、苋菜、萝卜、辣椒和青菜等 8 种,蔬菜及土壤样品均采用五点采样法采集,即在每个蔬菜产地同一品种蔬菜布设 5 个采样点进行相对应的土壤和蔬菜样品的采集(对于叶菜类蔬菜连根带土整体挖出装袋保证鲜样,瓜果类蔬菜采集可食用部位及种植区域土壤)。土壤样品采样深度为耕作层 0 cm ~ 20 cm,每个代表样品采集 1.0 g,最后将采集的蔬菜及土壤样品组成 1 个混合样,并用 GPS 对每个采样点定位^[10]。将采集的新鲜蔬菜样品立即装入已标记的透气尼龙网中,土壤样品放入事先准备好的自封袋中,带回实验室分析。

1.3 样品处理及测定分析

蔬菜样品先用自来水冲洗干净,再用超纯水清洗 3 次,晾干,称鲜重,于烘箱中 70 °C 烘干至恒重,

称干重。将烘干后的样品用研钵研磨成粉末,储藏于干燥器中。土壤样品经风干,过 20 目和 100 目筛后用于重金属含量的测定分析。

土壤 Cd 总量测定采用微波消解-原子吸收光谱法,土壤 Cd 形态测定采用连续提取法(BCR)^[11],蔬菜样品中 Cd 含量测定参照文献[12]。在实验室分析过程中加入国家标准参比物质,包括土壤环境标准参考样品(GBW07429)、土壤有效态分析标准物质(GBW07461)及植物环境标准参考样品(GBW10014)进行质量控制,结果均在允许误差范围内^[13-14]。

1.4 评价方法

综合质量影响指数(IICQ)^[15-17]是在综合考虑土壤环境质量标准、土壤元素背景值、农产品污染物限量标准和元素价态效应等基础上来评价土壤环境质量状况。IICQ 为土壤综合影响指数(IIC-Q_s)和农产品综合影响指数(IICQ_{AP})之和,根据 IICQ 可将土壤环境质量分为 5 个等级:IICQ ≤ 1,清洁(I);1 < IICQ ≤ 2,轻微污染(II);2 < IICQ ≤

3,轻度污染(Ⅲ); $3 < IICQ \leq 5$,中度污染(Ⅳ); $IICQ > 5$,重度污染(Ⅴ)。当土壤或农产品之一超标时称为亚污染,其等级划分同样依据 IICQ 数值。

蔬菜重金属污染限量指标参照《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2017)。食品中污染物限量以食品通常的可食用部分计算,干制品中污染物限量以相应新鲜食品中污染物限量结合其脱水率或浓缩率折算^[18]。

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤中 Cd 分布特征

2.1.1 研究区土壤中 Cd 质量比发布

义安区 5 个乡镇(A—E)蔬菜产地土壤中 Cd 平均值分别为 (0.230 ± 0.113) mg/kg、 (0.213 ± 0.106) mg/kg、 (0.238 ± 0.089) mg/kg、 (1.584 ± 0.626) mg/kg、 (0.518 ± 0.370) mg/kg,均高于铜陵市土壤背景值(0.086 mg/kg),其中 D 乡镇土壤中 Cd 平均值最高,为 1.584 mg/kg。5 个乡镇土壤中 Cd 质量比的相对标准偏差在 37.4% ~ 71.4% 之间,其中 C 乡镇最低,E 乡镇最高。

在采集的 40 个土壤样品中 Cd 质量比范围为未检出 ~ 1.584 mg/kg,其中 Cd 质量比为未检出 ~ 0.30 mg/kg 的样品相对比较集中,占总样品数的 60%; 0.31 mg/kg ~ 2.00 mg/kg 的样品占 32.5%; > 2.00 mg/kg 的样品仅占 7.5%。依据《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)评价,义安区蔬菜产地土壤中 Cd 质量比高于风险筛选值(0.3 mg/kg)且低于风险管制值(2 mg/kg)的样品有 13 个,分布在 A、D、E 乡镇;高于风险管制值的样品有 3 个,集中在 D 乡镇。

2.1.2 研究区土壤中 Cd 的形态分布特征

土壤中元素的各种形态具有相互依存、竞争和转化的特征,掌握土壤中 Cd 的各种形态含量及其占比对 Cd 的污染防治有重要意义^[18]。表 2 为 5 个乡镇土壤中 Cd 的各种形态占比。

由表 2 可知,D 乡镇的弱酸提取态和可还原态在总形态中占比较高,达到 20.56% 和 14.51%; E 乡镇的残渣态和可氧化态占比较高,达到 63.54% 和 17.75%; E 乡镇的弱酸提取态和可还原态占比较低,仅有 10.96% 和 7.75%; B 乡镇的可氧化态占比最低,为 9.27%; D 乡镇的残渣态占比最低,为 54.98%。研究区 Cd 不同形态间差异较大,残渣态在总形态中占比最高,可还原态占比最低,这与吴迪等^[19]研究结果一致。

表 2 5 个乡镇土壤中 Cd 的各种形态占比 %

元素形态	A 乡镇	B 乡镇	C 乡镇	D 乡镇	E 乡镇
残渣态	59.39	57.55	57.37	54.98	63.54
可氧化态	11.48	9.27	12.58	9.95	17.75
可还原态	14.26	13.55	13.47	14.51	7.75
弱酸提取态	14.87	19.63	16.58	20.56	10.96

2.2 研究区蔬菜中 Cd 分布特征

表 3 为 5 个乡镇蔬菜中 Cd 质量比。由表 3 可知,在调查的 8 种蔬菜中 B 乡镇的苋菜、小白菜、蒜苗和莴笋 Cd 质量比最低,C 乡镇的辣椒、萝卜 Cd 质量比最低,E 乡镇的韭菜、青菜和萝卜 Cd 质量比最低。D 乡镇除小白菜外,其余 7 种蔬菜中的 Cd 质量比均高于其他乡镇,同时发现,D 乡镇土壤中 Cd 质量比也远高于其他乡镇。根据《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2017),D 乡镇的韭菜、苋菜、青菜和小白菜中 Cd 质量比均未超过叶类蔬菜 Cd 限量标准(0.2 mg/kg),莴笋、蒜苗和萝卜中 Cd 质量比均未超过豆类、块根类、块茎类、茎类蔬菜 Cd 限量标准(0.1 mg/kg),辣椒虽超过豆类、块根类、块茎类、茎类蔬菜 Cd 限量标准,但未超过叶类蔬菜 Cd 限量标准。其余 4 个乡镇蔬菜均未超标。总体来说,研究区蔬菜基本符合安全食用标准。

表 3 5 个乡镇蔬菜中 Cd 质量比

Table 3 Mass ratio of Cd in vegetables from five villages and towns

乡镇	韭菜	苋菜	青菜	小白菜	蒜苗	辣椒	莴笋	萝卜
A 乡镇	0.112	0.032	0.044	0.014	0.012	0.037	0.010	0.035
B 乡镇	0.078	0.028	0.041	0.012	0.008	0.045	0.009	0.035
C 乡镇	0.060	0.032	0.044	0.023	0.017	0.025	0.038	0.015
D 乡镇	0.195	0.184	0.171	0.076	0.094	0.100	0.081	0.082
E 乡镇	0.056	0.058	0.034	0.083	0.020	0.088	0.052	0.015
平均值	0.100	0.067	0.067	0.042	0.030	0.059	0.038	0.036

2.3 研究区土壤和农产品综合质量污染评价

表 4 为研究区土壤和农产品综合质量污染评价结果。由表 4 可知,A、B、C、D、E 乡镇的 IICQ 范围分别为 0.59~4.64、0.01~4.45、0.79~3.46、4.23~7.34、0.79~5.54。A 乡镇除莴笋、蒜苗、小白菜和青菜外,其他 4 种蔬菜存在不同程度的污染,其中韭菜、苋菜和萝卜达到中度污染;B 乡镇的韭菜、辣椒和萝卜存在不同程度的污染,其中韭菜达到中度污染;C 乡镇的韭菜、苋菜和萝卜存在不同程度的污染,其中苋菜达到中度污染;D 乡镇的

8 种蔬菜均存在中度及以上污染,其中莴笋、蒜苗、韭菜、苋菜、萝卜和辣椒达到重度污染,污染程度较为严重;E 乡镇除蒜苗、萝卜和青菜外,其余蔬菜均有不同程度的污染,辣椒达到重度污染的程度。综合比较,D 乡镇的农产品污染程度最严重,E 乡镇次之。

2.4 研究区蔬菜中 Cd 的富集系数

研究区采集的 8 种蔬菜对 Cd 的富集能力有所差异,其中青菜的富集系数最高,达到 0.226,富集能力是蒜苗的 2.79 倍、萝卜的 2.22 倍、莴笋的

表 4 研究区土壤和农产品综合质量污染评价结果^①

Table 4 Comprehensive quality pollution assessment results of soil and agricultural products in the study area^①

乡镇	样品	土壤				农产品		土壤超标准 X	土壤超背景 Y	农产品超标 Z	IICQ	污染程度
		RIE	DDDB	DDSB	IICQs	QIAP	IICQ _{AP}					
A 乡镇	莴笋	0.71	1.32	1.87	0.71	0.32	0.03	0	1	0	0.74	清洁
	蒜苗	0.66	1.23	1.87	0.66	0.35	0.01	0	1	0	0.67	清洁
	小白菜	0.58	1.08	1.87	0.58	0.26	0.01	0	1	0	0.59	清洁
	韭菜	1.18	2.21	1.87	3.36	1.50	1.28	1	1	1	4.64	中度污染
	苋菜	1.00	1.87	1.87	3.00	0.40	0.02	1	1	0	3.02	中度污染
	萝卜	1.06	1.99	1.87	3.12	0.59	0.02	1	1	0	3.14	中度污染
	辣椒	0.88	1.64	1.87	0.88	0.86	0.69	0	1	0	1.57	轻微污染
	青菜	0.75	1.41	1.87	0.75	0.47	0.07	0	1	0	0.82	清洁
B 乡镇	莴笋	0.63	1.18	1.87	0.63	0.30	0.03	0	1	0	0.66	清洁
	蒜苗	0.58	1.08	1.87	0.58	0.28	0.01	0	1	0	0.59	清洁
	小白菜	0.52	0.96	1.87	0	0.24	0.01	0	0	0	0.01	清洁
	韭菜	1.11	2.07	1.87	3.22	1.25	1.23	1	1	1	4.45	中度污染
	苋菜	0.82	1.52	1.87	0.81	0.37	0.02	0	1	0	0.83	清洁
	辣椒	1.00	1.87	1.87	1.00	0.67	0.02	0	1	0	1.02	轻微污染
	萝卜	1.00	1.87	1.87	1.00	0.84	0.67	0	1	0	1.67	轻微污染
	青菜	0.88	1.64	1.87	0.88	0.45	0.07	0	1	0	0.95	清洁
C 乡镇	莴笋	0.88	1.64	1.87	0.88	0.62	0.07	0	1	0	0.95	清洁
	蒜苗	0.77	1.45	1.87	0.78	0.41	0.01	0	1	0	0.79	清洁
	小白菜	0.86	1.60	1.87	0.86	0.34	0.01	0	1	0	0.87	清洁
	韭菜	0.91	1.70	1.87	0.91	1.10	1.20	0	1	1	2.11	轻度污染
	苋菜	1.22	2.29	1.87	3.44	0.40	0.02	1	1	0	3.46	中度污染
	青菜	0.77	1.45	1.87	0.78	0.47	0.07	0	1	0	0.85	清洁
	辣椒	0.82	1.52	1.87	0.81	0.71	0.03	0	1	0	0.84	清洁
	萝卜	0.80	1.49	1.87	0.80	0.39	0.31	0	1	0	1.11	轻微污染
D 乡镇	莴笋	2.69	5.02	1.87	6.37	0.90	0.10	1	1	0	6.47	重度污染
	蒜苗	2.79	5.22	1.87	6.58	0.97	0.03	1	1	0	6.61	重度污染
	小白菜	1.83	3.43	1.87	4.66	0.62	0.02	1	1	0	4.68	中度污染
	韭菜	2.49	4.65	1.87	5.98	1.97	1.36	1	1	1	7.34	重度污染
	苋菜	2.69	5.02	1.87	6.37	0.96	0.05	1	1	0	6.42	重度污染
	萝卜	1.88	3.51	1.87	4.76	0.91	0.73	1	1	0	5.49	重度污染
	青菜	1.55	2.89	1.87	4.10	0.92	0.13	1	1	0	4.23	中度污染
	辣椒	2.11	3.95	1.87	5.22	1.41	1.14	1	1	1	6.36	重度污染
E 乡镇	莴笋	1.40	2.62	1.87	3.80	0.72	0.08	1	1	0	3.88	中度污染
	蒜苗	0.82	1.52	1.87	0.81	0.45	0.02	0	1	0	0.83	清洁
	小白菜	1.73	3.23	1.87	4.46	0.64	0.02	1	1	0	4.48	中度污染
	韭菜	1.00	1.87	1.87	1.00	1.06	1.20	0	1	1	2.20	轻度污染
	苋菜	1.83	3.43	1.87	4.66	0.54	0.03	1	1	0	4.69	中度污染
	萝卜	0.61	1.13	1.87	0.60	0.39	0.31	0	1	0	0.91	清洁
	辣椒	1.70	3.18	1.87	4.40	1.33	1.14	1	1	1	5.54	重度污染
	青菜	0.73	1.36	1.87	0.73	0.41	0.06	0	1	0	0.79	清洁

①表中 RIE、DDDB、DDSB、IICQs、QIAP、IICQ_{AP}、X、Y、Z 和 IICQ 等参数含义及公式参见文献[17]。

2.24倍、苋菜的2.47倍;韭菜对Cd的富集能力与青菜相近,达到0.201;莴笋和萝卜对Cd的富集能力最为接近,富集系数分别为0.101和0.102;蒜苗的富集系数最低,仅为0.081。同种类蔬菜对土壤重金属的吸收积累作用有明显差异,普遍表现为叶菜类>根菜类>果菜类^[20]。与果类蔬菜相比,叶菜类和根茎类蔬菜具有相对较高的重金属浓度和转运系数。研究区8种蔬菜种类对Cd的富集强度由高到低为青菜>韭菜>辣椒>小白菜>萝卜>莴笋>苋菜>蒜苗。

2.5 研究区土壤Cd形态、全量Cd和蔬菜Cd之间的关系

研究区蔬菜产地土壤Cd全量与土壤Cd各形态均呈极显著正相关关系($P < 0.01$),其中土壤Cd全量与土壤Cd残渣态显著水平超过0.9;土壤Cd弱酸提取态与可还原态、可氧化态、残渣态呈极显著正相关关系($P < 0.01$);土壤Cd可还原态与可氧化态、残渣态,可氧化态与残渣态呈极显著正相关关系($P < 0.01$)。蔬菜中Cd含量与其对应的土壤Cd含量在0.01和0.05水平上呈显著差异性,蔬菜Cd含量与土壤Cd全量、弱酸提取态、可还原态、可氧化态、残渣态在0.01和0.05水平上均呈显著差异性。

3 结论

(1)研究区蔬菜产地土壤中Cd平均值高于背景值;40个土壤样品中Cd质量比高于风险筛选值而低于风险管制值的样品占32.5%,分布在A、D、E乡镇;高于风险管制值的样品占7.5%,集中在D乡镇。

(2)研究区8种蔬菜样品的HCQ范围在0.01~7.34之间,D乡镇的污染程度最严重。蔬菜Cd富集系数存在差异性,8种蔬菜中青菜对Cd的富集系数最高,达到0.226,蒜苗的富集系数最低,仅为0.081,蔬菜样品符合安全食用标准。

(3)通过对土壤和农产品综合质量指数分析得出,D乡镇综合污染程度最严重。对于D乡镇土壤中Cd质量比高于风险管制值的蔬菜地,A、D、E乡镇土壤中Cd质量比高于风险筛选值而低于风险管制值的蔬菜产地,应加强土壤环境监测和农产品协同监测。

[参考文献]

[1] 曾果. 营养与疾病[M]. 成都:四川大学出版社,2017.

- [2] 于冬菊. 蔬菜供应链质量安全管理体系研究[D]. 济南:山东大学,2020.
- [3] 纪龙. 中国蔬菜生产集聚:形成机制及影响因素[D]. 武汉:华中农业大学,2016.
- [4] 贾玉娟,刘永强,孙向春. 农产品质量安全[M]. 重庆:重庆大学出版社,2017.
- [5] 蔚青,李巧玲,李冰茹,等. 北京市典型有机设施蔬菜基地重金属污染特征及风险评估[J]. 生态毒理学报,2019,14(3):258-271.
- [6] 李有文,曹春,巨天珍,等. 白银市不同区域蔬菜地土壤重金属污染特征及生态风险评价[J]. 生态学杂志,2015,34(11):3205-3213.
- [7] 王兰化,李明明,张莺,等. 华北地区某蔬菜基地土壤重金属污染特征及健康风险评价[J]. 地球学报,2014,35(2):191-196.
- [8] 冯元超. 彭州蔬菜基地土壤重金属空间分布及健康风险评估[D]. 成都:四川师范大学,2018.
- [9] 王宗亚. 钝化剂对蔬菜地镉轻度污染修复效果研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2020.
- [10] 宁德富,孔丽琼,汤娜,等. 不同种植年限蔬菜地土壤养分变化规律研究[J]. 四川农业大学学报,2016,34(1):67-72.
- [11] 陈伟民. 三种不同消解方法在ICP-MS测定土壤重金属含量的应用研究[J]. 环境与发展,2018,30(10):166-167,171.
- [12] 张秉璇. 蔬菜中常见重金属的测定方法探究及应用[D]. 兰州:兰州大学,2017.
- [13] 杨梦丽,崔俊义,马友华,等. 原位钝化对轻度镉污染农田小麦修复研究[J]. 麦类作物学报,2019,39(2):233-238.
- [14] 豆长明,徐德聪,周晓铁,等. 铜陵矿区周边土壤-蔬菜系统中重金属的转移特征[J]. 农业环境科学学报,2014,33(5):920-927.
- [15] 贺新星,魏芳,范健,等. 宁连高速两侧土壤及小麦重金属污染特征研究[J]. 环境监测管理与技术,2020,32(5):28-32.
- [16] 范荣伟,王时雄,王俊霞,等. 硒、砷及重金属在苏州地区水稻中分布特征及风险评价[J]. 环境监测管理与技术,2018,30(4):37-41.
- [17] 王玉军,刘存,周东美,等. 一种农田土壤重金属影响评价的新方法:土壤和农产品综合质量指数法[J]. 农业环境科学学报,2016,35(7):1225-1232.
- [18] DEGHAN P, JALALI S Y, CHADEGANIPOUR M. Frequency distribution of keratinophilic dermatophyte fungi from the soil of different zones in isfahan using morphological and molecular methods [J]. Advanced Biomedical Research, 2019, 8(1):31-38.
- [19] 吴迪,程志飞,刘品祯,等. 蓬莱仙界园区土壤-蔬菜系统重金属形态解析及关联特征[J]. 生态环境学报,2018,27(3):581-587.
- [20] 杜俊杰,李娜,吴永宁,等. 蔬菜对重金属的积累差异及低积累蔬菜的研究进展[J]. 农业环境科学学报,2019,38(6):1193-1201.