

不同种植年限冬枣温室大棚土壤重金属含量分布特征研究

杨玉娜¹, 薛萍¹, 侯清娥¹, 蒋宝¹, 赵蕊¹, 许海媛², 迪雅妮²

(1. 渭南职业技术学院, 陕西 渭南 714026; 2. 陕西基亚尔检测研发有限公司, 陕西 渭南 714026)

摘要:为研究大荔冬枣产区土壤重金属污染情况,在陕西省大荔县选择具有代表性的冬枣温室大棚,采集土壤样品共计150份,采用污染指数法对不同种植年限、不同深度土壤的Cd、Hg、As、Pb、Cr等重金属分布特征和污染状况进行评价。结果表明,受调查土壤重金属含量随种植年限的增加波动较小,在0~20 cm土壤深度条件下重金属含量较高,经评价其单项污染指数和内梅罗综合污染指数均小于0.7,属于安全等级。总体而言,大荔冬枣温室大棚土壤处于清洁水平,未受到重金属元素污染,农户应继续预防土壤被重金属污染,提高土壤质量,助力冬枣产业可持续发展。

关键词:大荔冬枣;温室大棚;种植年限;重金属

中图分类号:S665.1;X53

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2025)04-0049-06

Distribution Characteristics of Soil Heavy Metals in Winter Jujube Greenhouses with Different Planting Ages

YANG Yuna¹, XUE Ping¹, HOU Qing'e¹, JIANG Bao¹, ZHAO Rui¹, XU Haiyuan², DI Yani²

(1. Weinan Vocational and Technical College, Weinan 714026; 2. Shaanxi JI YA ER Research and Development Co., Ltd., Weinan 714026, China)

Abstract: To investigate soil heavy metal pollution in the Dali winter jujube production area, 150 soil samples were collected from representative winter jujube greenhouses in Dali County, Shaanxi Province. The pollution index method was used to evaluate the distribution characteristics and pollution status of heavy metals (Cd, Hg, As, Pb, Cr) across different planting ages and soil depths. Results showed that the content of heavy metals in the surveyed soil fluctuated slightly with increasing planting age. Heavy metal concentrations were higher in the 0 - 20 cm soil layer. Both the single pollution index and Nemerow comprehensive pollution index were less than 0.7, indicating a safe level. Overall, the soil in Dali winter jujube greenhouses was at a clean level without heavy metal contamination. Farmers should continue to safeguard soil quality to improve agricultural product quality.

Key words: Winter Jujube in Dali; Greenhouse; Different planting years; Heavy metal

鲜食枣皮薄肉脆、口感极佳,是备受欢迎的时令果品,陕西、山西、山东等地是我国优质鲜食枣的主产地。冬枣属于鲜食枣,在我国的栽种面积达10万hm²,年产量达400万t,占全国鲜食枣总产量的80%以上,是鲜食枣品的第一大种类^[1]。陕西大荔是我国冬枣主产区之一,设施栽培规模居全国首位,面积约2.8万hm²,是黄河中游最大的规模化、产业化种植基地^[2-3]。该地区所产的冬枣

口感酥脆、色泽鲜艳、营养价值高,目前冬枣种植业已成为大荔县农业的支柱产业,创立了闻名全国的“大荔冬枣”品牌,若守护不好冬枣品质,将制约大荔冬枣产业的良性发展^[4]。

近年来,农户在追求农作物产量最大化的过程中,盲目地大量使用化肥、农药、地膜等化学制品,给耕地保护带来了压力,加之冶炼、交通、工业“三废”等,更是加重了土壤重金属污染^[5]。重金属在耕地土壤中易积累不易降解,且可通过食物链、食物网逐级积累,例如土壤重金属污染会导致重金属在蔬菜中大量富集,抑制蔬菜的生长并通过食物链迁移到人体内,危害人体健康^[6-8],进而影响农业的可持续发展^[9]。随着生活水平的提高,人们对农产品质量的关注日益增加,对特

收稿日期:2025-03-17

基金项目:渭南市科技重点研发计划项目(ZDYFJH-234);第四批渭南市“特支计划”项目(2025042);陕西省教育厅专项科研计划项目(24JK0449)

作者简介:杨玉娜(1986-),女,副教授,硕士,主要从事土壤质量检测与改良研究。

色优质农产品的个性化要求越来越高^[10-14]。因此,监测土壤重金属含量,保证农产品质量安全非常必要。本研究对陕西大荔不同种植年限、不同深度的冬枣温室大棚土壤的重金属含量进行检测评价,旨在为大荔冬枣产业可持续健康发展提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 采样区概况

试验地位于陕西省大荔县赵渡镇(北纬34°44',东经110°9'),暖温带半湿润半干旱季风气候,年平均气温14.4℃,年平均降水量514mm,选取种植管理措施大致相同、距离较近、不同种植年限(3年、7年、10年)的温室大棚作为试验点,并将附近未开垦的土地作为对照(CK),以减少土壤类型和管理措施不同对土壤样品检测结果的影响^[15]。

1.2 土壤重金属监测点定位与样品采集

不同种植年限(3年、7年、10年)的温室大棚各3个,在每个试验点以“S”形布设15个采样点,每个采样点面积40m²,采样点间距6m以上,按照土壤分层进行样品采集^[16-17]。

2024年9月,在树冠投影约70%范围内垂直设置采样位置^[18],具体方法:在挖出1个平整的剖面后(深度大于60cm),将未受扰动的原状土壤分3层(0~<20、20~<40、40~<60cm),剥除与铲子接触的土壤,分别取不同深度的土壤放置在聚乙烯塑料袋中,保证在搬运过程中不污染土壤样品。

1.3 检测样品参数设定

依据国家标准(GB15618-2018)^[19]评价参数,农用地土壤污染风险管控标准要求土壤中Cd、Hg、As、Pb、Cr含量分别小于0.6、3.4、25、170、250mg/kg。

1.4 检测指标与方法

为保证本次土壤样品测定结果的准确度,检测过程中采用国家标准土壤样品进行质量控制,经检测国家标准土壤样品镉、汞、砷、铅、铬等重金属测定值均在真值范围内,因此土壤样品的测定结果符合国家标准对准确度的要求。将采集的土壤样品进行风干、研磨,过0.5mm筛子。依据国家标准(GB/T 17141-1997)^[20]对土壤样品中的镉、铅元素进行检测;依据国家环境保护标准(HJ 491-2019)^[21]对土壤样品中的铬元素进行检测;依据国家标准(GB/T 22105.2-2008)^[22]对土壤样品中的汞、砷元素进行检测。

1.5 数据处理与分析

使用Excel 2007对数据进行处理与分析,并

以国家标准(GB15618-2018)为参考,采用单项指数法和内梅罗综合指数法进行土壤重金属污染评价^[23]。

单项指数法用于单污染物的污染程度评价,表达式如下:

$$P_i = \frac{C}{S_i} \dots\dots\dots (1)$$

式中: P_i 为土壤重金属*i*的单项指数, C 为土壤重金属的实测值(mg/kg), S_i 为重金属的标准值(mg/kg)。清洁(I): $P_i \leq 0.7$;尚清洁(II): $0.7 < P_i \leq 1.0$;轻污染(III): $1.0 < P_i \leq 2.0$;中污染(IV): $2.0 < P_i \leq 3.0$;重污染(V): $P_i > 3.0$ 。

内梅罗综合指数可全面反映各重金属元素对土壤的不同污染程度,突出高浓度重金属元素对环境质量的影响,表达式如下:

$$P = \frac{\sqrt{P_{iave}^2 + P_{imax}^2}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中: P 为5种重金属(镉、汞、砷、铅、铬)内梅罗综合指数, P_{iave} 为重金属单项指数的平均值, P_{imax} 为重金属单项指数的最大值。清洁(I): $P \leq 0.7$;尚清洁(II): $0.7 < P \leq 1.0$;轻污染(III): $1.0 < P \leq 2.0$;中污染(IV): $2.0 < P \leq 3.0$;重污染(V): $P > 3.0$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤pH、重金属含量的变化和分布特征

由表1可知,所检测区域的土壤pH均大于7.5,不同种植年限、不同深度土壤之间差异不显著。在0~<20cm土层,重金属含量总体都较高,因为该层受人为管理活动影响较大。尤其是对重金属Pb含量影响较大,在管理过程中应重点控制重金属Pb带入。通过相同种植年限大棚不同深度土壤中Pb含量的比较可知,20~<40cm土层,Pb含量较低,这是由于冬枣根系主要分布在该层,对重金属Pb有一定的吸收。在相同的种植年限不同土层Cd、Hg、As含量不存在显著性差异,而As、Pb、Cr在0~<20cm土层含量都较高,说明在该土层受人类灌溉、施肥活动影响较大,应控制人为活动造成重金属带入。

2.2 土壤重金属单项污染指数评价

由表2可知,在所检测区域内不同种植年限冬枣温室大棚,土壤重金属Cd、Hg、As、Pb、Cr单项污染指数平均值都小于0.7,说明该区域的土壤均未造成污染。通过比较可得,土壤重金属As的单项污染指数最大,在管理过程中应控制As的带入。通过单因素指数法对冬枣温室大棚不同种植

表1 土壤pH、重金属含量
Table 1 Soil pH and heavy metal content

mg/kg

种植年限 Planting duration	pH	Cd	Hg	As	Pb	Cr
土壤深度0~<20 cm Soil depth						
CK	7.96±0.06a	0.05±0.01a	0.092±0.02a	10.40±0.24a	19.12±6.62a	47.52±4.69a
3年	7.96±0.06a	0.06±0.01a	0.093±0.02a	13.45±1.64a	26.05±5.32a	52.30±3.52b
7年	7.89±0.03a	0.05±0.01a	0.027±0.03ab	13.82±1.32ab	26.36±4.42ab	52.75±2.43a
10年	8.04±0.06ab	0.05±0.02a	0.087±0.04a	11.47±1.82a	28.82±0.81b	52.23±5.32a
土壤深度20~<40 cm Soil depth						
CK	8.13±0.03a	0.05±0.01a	0.057±0.03a	10.52±1.87a	19.54±3.52a	47.75±3.49a
3年	7.80±0.01a	0.05±0.01a	0.110±0.02ab	12.63±2.10ab	15.33±3.14b	45.60±2.64a
7年	7.97±0.02a	0.05±0.01a	0.110±0.05ab	12.12±2.01a	12.62±0.14b	44.34±3.62b
10年	7.94±0.03a	0.05±0.01a	0.041±0.02a	10.15±1.32a	18.57±1.42a	46.57±1.45a
土壤深度40~60 cm Soil depth						
CK	8.20±0.04a	0.06±0.01a	0.056±0.02a	10.02±1.50a	19.20±2.12a	48.25±1.66a
3年	8.01±0.06a	0.06±0.01a	0.049±0.04a	8.08±1.54a	13.92±3.32a	45.12±5.32a
7年	8.11±0.06a	0.06±0.01a	0.085±0.04a	10.82±1.56a	20.22±1.32ab	44.90±2.12a
10年	7.93±0.04a	0.06±0.01a	0.076±0.04a	9.83±0.92a	20.36±3.62a	43.62±2.63b

注:小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences($P<0.05$).

表2 土壤重金属单项污染指数
Table 2 Single pollution index of soil heavy metals

种植年限 Planting duration	Cd	Hg	As	Pb	Cr
土壤深度0~<20cm Soil depth					
CK	0.083	0.027	0.42	0.150	0.21
3年	0.100	0.027	0.54	0.150	0.21
7年	0.083	0.003	0.55	0.180	0.21
10年	0.083	0.026	0.46	0.150	0.21
土壤深度20~<40cm Soil depth					
CK	0.083	0.017	0.42	0.110	0.19
3年	0.083	0.032	0.51	0.090	0.18
7年	0.083	0.032	0.48	0.074	0.18
10年	0.083	0.012	0.41	0.110	0.19
土壤深度40~60cm Soil depth					
CK	0.100	0.016	0.40	0.110	0.19

续表 2

Table 2 Continued

种植年限 Planting duration	Cd	Hg	As	Pb	Cr
3年	0.100	0.014	0.32	0.082	0.18
7年	0.100	0.017	0.43	0.120	0.18
10年	0.100	0.022	0.39	0.120	0.17

年限、不同深度的土壤样品检测结果评价表明,冬枣温室大棚土壤重金属 Cd、Hg、As、Pb、Cr 均处于清洁状态。

2.3 土壤重金属内梅罗综合污染指数评价

由图 1 可知,不同种植年限温室大棚 5 种重金属内梅罗综合污染指数均处于清洁状态,顺序为:7年>10年>CK>3年,种植年限 7 年时,重金属整体污染程度较大。

以种植年限 10 年的温室大棚为例,对不同深

度土壤的内梅罗综合污染指数进行了计算和评价,结果见图 2。冬枣温室大棚不同深度土壤 5 种重金属内梅罗综合污染指数均小于 0.7,处于清洁状态。当土壤深度为 0~<20 cm 时,内梅罗综合污染指数最大,且随土壤深度增加而降低。

利用内梅罗综合污染指数对冬枣温室大棚不同种植年限、不同深度的土壤进行评价,结果表明,冬枣温室大棚土壤处于清洁水平。

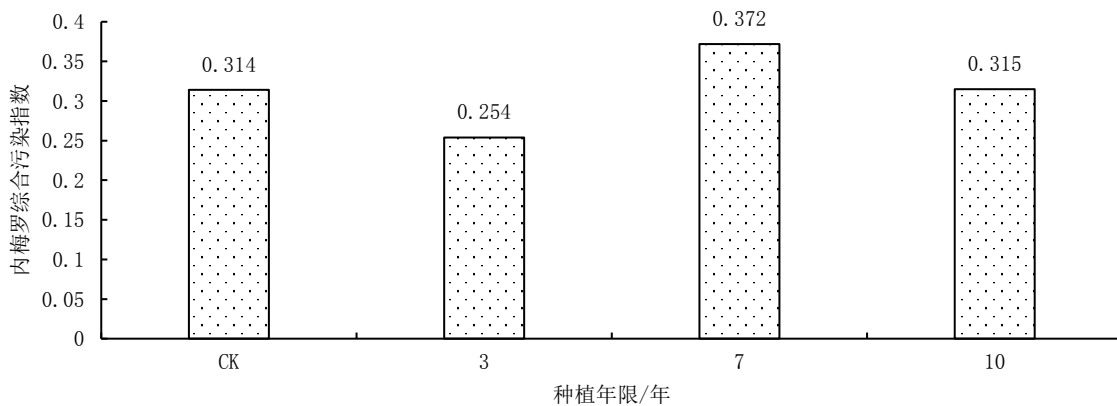


图 1 不同种植年限土壤重金属内梅罗综合污染指数

Fig.1 Nemerow composite pollution index of heavy metals in soils with varying planting durations

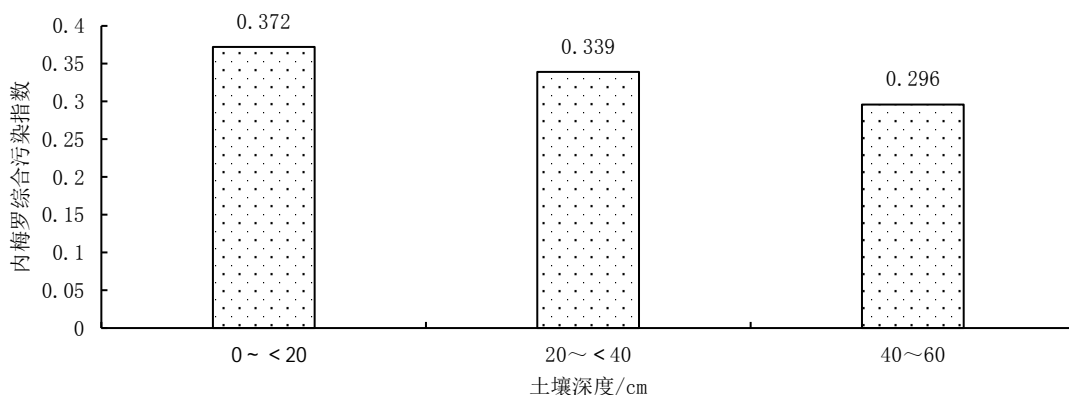


图 2 不同深度土壤重金属内梅罗综合污染指数

Fig.2 Nemerow pollution index of heavy metals across soil depths

3 讨论与结论

大荔冬枣种植业经过快速发展,已成为该地

区的支柱产业。在种植过程中的施肥习惯、管理措施等都可能 导致土壤重金属积累,影响土壤质量^[24-25],同时土壤 pH 对其重金属的有效性也具有

一定影响,通过对研究区域所采集的大棚土壤样品进行检测,土壤均呈碱性,随种植年限的延长,冬枣温室大棚土壤重金属Cd、Hg、As、Cr含量受人为管理活动影响较低,而重金属在0~<20 cm土层积累量较高,说明土壤表层易受到外界环境的影响,例如枝条、叶片和果实中重金属都可能在该土壤表层富集^[26-27]。通过单项污染指数和内梅罗综合污染指数对土壤重金属污染程度进行评价,指数值均小于0.7,表明该区域的土壤处于清洁状态。应注意土壤重金属As的单项污染指数较大,As、Pb、Cr在0~<20 cm土层较易积累。

为了进一步预防重金属对农业耕地的影响,在种植过程中应保证肥料、农药、地膜等农用化学品的质量^[28],预防土壤受重金属污染,提高土壤质量,助力大荔冬枣产业可持续发展。

参考文献:

- [1] 何学英. 设施冬枣的树体结构与栽培技术研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2024.
HE X Y. Tree structure and cultivation techniques of dongzao in facility[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2024. (in Chinese)
- [2] 王冰洁, 王军, 李之丽, 等. 不同冬枣品种在豫东地区引种栽培试验[J]. 黑龙江农业科学, 2021(8): 51-54.
WANG B J, WANG J, LI Z L, et al. Introduction and cultivation test of different winter jujube varieties in eastern henan province [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2021(8): 51-54. (in Chinese)
- [3] 韩蓓蓓, 李东, 雪婷, 等. 基于不同种植模式大荔冬枣的品质分析与评价[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(6): 40-43.
HAN B B, LI D, XUE T, et al. The quality analysis and evaluation of dali winter jujube based on different cultivation modes[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2019, 65(6): 40-43. (in Chinese)
- [4] 潘梦雨. 土壤养分条件和栽植模式对冬枣品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2024.
PAN M Y. Effects of soil nutrient conditions and planting patterns on the quality of winter jujube[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2024. (in Chinese)
- [5] 韩晋仙, 李二玲, 班凤梅. 常规农业村土壤重金属污染及潜在生态风险评价—以山西寿阳县为例[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 246-253.
HAN J X, LI E L, BAN F M. Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risks of farmland soils in conventional agricultural villages—A case study in Shouyang county of Shanxi province[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2020(6): 246-253. (in Chinese)
- [6] Ashwini C. A review on Chaetomium globosum is versatile weapons for various plant pathogens[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2019, 8(2): 946-949.
- [7] 王洋洋, 李方方, 王笑阳, 等. 铅锌冶炼厂周边农田土壤重金属污染空间分布特征及风险评估[J]. 环境科学, 2019, 40(1): 437-444.
WANG Y Y, LI F F, WANG X Y, et al. Spatial distribution and risk assessment of heavy metal contamination in surface farmland soil around a lead and zinc smelter[J]. Environmental Science, 2019, 40(1): 437-444. (in Chinese)
- [8] 荣井荣, 朱丽娟, 罗中枢, 等. 温室土壤与蔬菜重金属及类金属健康风险评估[J]. 环境卫生学杂志, 2018, 8(4): 307-311.
RONG J R, ZHU L J, LUO Z S, et al. Health risk assessment on heavy metals and metalloids in soil and vegetables of greenhouse [J]. Journal of Environmental Hygiene. 2018, 8(4): 307-311. (in Chinese)
- [9] 康国华, 张鹏岩, 李颜颜, 等. 黄河下游开封段引黄灌区小麦中重金属污染特征及健康风险评估[J]. 环境科学, 2018, 39(8): 3917-3926.
KANG G H, ZHANG P Y, LI Y Y, et al. Pollution characteristics and health risk assessment of heavy metals in wheat grains cultivated in kaifeng irrigation area of the yellow river[J]. Environmental Science, 2018, 39(8): 3917-3926. (in Chinese)
- [10] 栗婷, 任晓姣, 齐高旺, 等. 猕猴桃产区土壤重金属分布特征及生态环境污染风险评估—以西安市周至县为例[J]. 土壤与作物, 2022, 11(3): 307-319.
LI T, REN X J, QI G W, et al. Distribution characteristics of soil heavy metals and ecological environment pollution risk assessment in the kiwifruit production area of Zhouzhi in Xi'an[J]. Soils and Crops, 2022, 11(3): 307-319. (in Chinese)
- [11] 姬景红, 刘双全, 马星竹, 等. 施氮对北方粳稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 东北农业科学, 2024, 49(1): 1-6.
JI J H, LIU S Q, MA X Z, et al. Effects of nitrogen application on yield, quality, and nitrogen fertilizer utilization efficiency of northern japonica rice[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(1): 1-6. (in Chinese)
- [12] 刘凤之. 中国葡萄栽培现状与发展趋势[J]. 落叶果树, 2017, 49(1): 1-4.
LIU F Z. The present situation and future prospects of grapevine cultivation in China[J]. Deciduous Fruits, 2017, 49(1): 1-4. (in Chinese)
- [13] 田欣, 贺婧, 罗玲玲, 等. 贺兰山东麓葡萄产地土壤重金属空间分布特征及来源解析[J]. 西南农业学报, 2021, 34(3): 641-646.
TIAN X, HE J, LUO L L, et al. Spatial distribution characteristics and source apportionment of heavy metals in vineyard soil at east piedmont of helan mountains[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, 34(3): 641-646. (in Chinese)
- [14] MA C, CUI H, REN C, et al. The seed primer and biofertilizer performances of living *Chlorella pyrenoidosa* on *Chenopodium quinoa* under saline-alkali condition[J]. Journal of Applied Phycology, 2022, 34: 1621-1634.
- [15] 王艳萍, 李松龄, 秦艳, 等. 不同年限日光温室土壤盐分及养分动态研究[J]. 中国土壤与肥料, 2011(4): 5-7.
WANG Y P, LI S L, QIN Y, et al. Dynamics study on soil salin-

- ity and nutrient of greenhouses in different years[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2011(4): 5-7. (in Chinese)
- [16] 张玉军,郭凤民,姜桂英,等.不同生长年限对月季土壤不同层次活性有机质及碳库管理指数的影响[J].*中国土壤与肥料*,2020(3):120-125.
ZHANG Y J, GUO F M, JIANG G Y, et al. Effects of different Chinese rose growth years on labile organic matter and carbon management index in different soil depths[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(3): 120-125. (in Chinese)
- [17] 王志秀,贺婧,陈锋.贺兰山东麓葡萄产地不同种植年限土壤养分特征研究[J].*中国土壤与肥料*,2019(3):15-21.
WANG Z X, HE J, CHEN F. Soil nutrient characteristics after different grape planting years at the eastern piedmont of Helan Mountains[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(3): 15-21. (in Chinese)
- [18] 赵雅琦,栾好安,黄绍文.不同种植年限对核桃园土壤团聚体稳定性及其有机碳组分的影响[J].*中国土壤与肥料*,2024(1):8-18.
ZHAO Y Q, LUAN H A, HUANG S W. Effects of different plantation ages on soil aggregate stability and aggregate-associated organic carbon fractions in walnut orchards[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2024(1): 8-18. (in Chinese)
- [19] GB15618-2018,土壤环境质量农用地土壤污染风险管理标准[S].北京:中国环境科学出版社,2018.
GB15618-2018, Soil environmental quality Risk control standard for soil contamination of agricultural land[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2018. (in Chinese)
- [20] GB/T 17141-1997,土壤质量铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法[S].北京:中国标准出版社,1998.
GB/T 17141-1997, Soil quality-Determination of lead, cadmium-Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry [S]. Beijing: Standards Press of China, 1998. (in Chinese)
- [21] HJ 491-2019,土壤和沉积物铜、锌、铅、镍、铬的测定火焰原子吸收分光光度法[S].北京:中国环境出版集团,2019.
HJ 491-2019, Soil and sediment-Determination of copper, zinc, lead, nickel and chromium-Flame atomic absorption spectrophotometry[S]. Beijing: China Environmental Publishing Group, 2019. (in Chinese)
- [22] GB/T 22105.2-2008,土壤质量总汞、总砷、总铅的检测 原子荧光法[S].北京:中国标准出版社,2008.
GB/T 22105.2-2008, Soil quality-Analysis of total mercury, arsenic and lead contents-Atomic fluorescence spectrometry: GB/T 22105.2-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. (in Chinese)
- [23] 白一茹,张兴,赵云鹏,等.基于GIS和受体模型的枸杞地土壤重金属空间分布特征及来源解析[J].*环境科学*,2019,40(6):2885-2894.
BAI Y R, ZHANG X, ZHAO Y P, et al. Spatial distribution characteristics and source apportionment of soil heavy metals in Chinese wolfberry land based on GIS and the receptor model[J]. *Environmental Science*, 2019, 40(6): 2885-2894. (in Chinese)
- [24] 李娉,董艺博,谭玉兰,等.对喀斯特地区不同利用方式下土壤质量的评价[J].*东北农业科学*,2022,47(6):59-64.
LI P, DONG Y B, TAN Y L. Evaluation of soil quality in different utilization ways in Karst areas[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2022, 47(6): 59-64. (in Chinese)
- [25] 庞阔,李敏,刘璐,等.基于蒙特卡洛模拟与PMF模型的黄河流域沉积物重金属污染评价及源解析[J].*环境科学*,2022,43(8):4008-4017.
PANG K, LI M, LIU L, et al. Evaluation and source analysis of heavy metal pollution in sediments of the Yellow River Basin based on Monte Carlo simulation and PMF model[J]. *Environmental Science*,2022,43(8):4008-4017. (in Chinese)
- [26] 鲍泽然,那永光,宋冬明,等.不同栽培措施对水稻产量、根系形态和土壤理化性质的影响研究[J].*东北农业科学* 2025,50(3):19-25.
BAO Z R, NA Y G, SONG D M, et al. Study on the effects of different cultivation measures on rice yield, root morphology, and soil physicochemical properties[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2025, 50(3): 19-25. (in Chinese)
- [27] MILIĆEVIĆ T, ANIČIĆ UROŠEVIĆ M, RELIĆ D, et al. Environmental pollution influence to soil-plant-air system in organic vineyard: bioavailability, environmental, and health risk assessment[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28: 3361-3374.
- [28] 李龙溪,林雪松,徐博玮,等.固氮鱼腥藻生长规律及其对苗期玉米生长和土壤养分的影响[J].*东北农业科学*,2025,50(3):62-71.
LI L X, LIN X S, XU B W, et al. Growth pattern of nitrogen-fixing anabaena azotica and its effect on seed-ling maize growth and soil nutrients[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2025, 50(3): 62-71. (in Chinese)

(责任编辑:范杰英)