

淮北平原麦地重金属含量特征分析与污染评价

都小荷, 唐浩楠, 黄文澜, 杨志强, 张勇* (宿州学院环境与测绘工程学院, 安徽宿州 234000)

摘要 [目的]分析淮北平原麦地重金属的污染现状,为其污染防治和保障人群健康提供相应的科学支持。[方法]采用四分法在淮北平原麦地采集土壤样品,测定重金属元素 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 和 As 的含量,运用污染负荷指数法、内梅罗综合污染指数法和潜在生态风险指数法进行重金属污染评价与生态风险评估。[结果]重金属 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 和 As 的平均含量分别为 46.11、1.13、94.67、80.31、32.71 和 6.11 mg/kg。污染负荷指数和内梅罗综合污染指数表明土壤中 As 为无污染, Pb、Cr 和 Cu 处于轻度污染, Cd 为重度污染; Zn 经污染负荷指数法计算为无污染, 内梅罗综合污染指数法计算为轻度污染。潜在生态风险指数表明, Zn、Cr、As、Cu 属于低风险, Pb 为中等风险, Cd 为很强风险。[结论]Cd 是最主要的污染因子,也是最主要的潜在生态风险因子。

关键词 土壤; 重金属; 含量测定; 污染评价; 污染负荷指数; 内梅罗综合污染指数; 潜在生态风险指数

中图分类号 X 825 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)02-0082-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.02.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Characteristic Analysis and Pollution Evaluation of Heavy Metal Content in Wheat Field in Huaibei Plain

DU Xiao-he, TANG Hao-nan, HUANG Wen-lan et al (School of Environmental and Surveying Engineering, Suzhou University, Suzhou, Anhui 234000)

Abstract [Objective] To analyse the pollution status of heavy metals in the wheat fields of Huaibei Plain, and provide the corresponding scientific support for the pollution prevention and control and the protection of human health. [Method] A quartet method was used to collect soil samples from wheat fields in Huaibei Plain, and the contents of heavy metals such as Pb, Cd, Cr, Zn, Cu and As were determined. The heavy metal pollution assessment and ecological risk assessment were carried out by using pollution load index, Nemerow comprehensive pollution index and potential ecological risk index. [Result] The average contents of Pb, Cd, Cr, Zn, Cu and As were 46.11, 1.13, 94.67, 80.31, 32.71 and 6.11 mg/kg, respectively. The pollution load index and Nemerow composite pollution index showed that As was unpolluted, Pb, Cr and Cu were slightly polluted, and Cd was heavily polluted. Zn is calculated as non-polluting by the pollution load index method, and it is lightly polluted under the Nemerow comprehensive pollution index method. The potential ecological risk index showed that Zn, Cr, As, Cu were low risks, Pb was a medium risk, and Cd was very strong risk. [Conclusion] Cd is the most important pollution factor and the most potential ecological risk factor.

Key words Soil; Heavy metals; Content determination; Pollution evaluation; Pollution load index; Nemerow comprehensive pollution index; Potential ecological risk index

土壤是农业生产的基础,更是人类生存和可持续发展的基础,为人类的生存提供多种营养物质元素^[1-2]。随着我国农业产业的快速发展,重金属污染物通过各种途径进入土壤中,具有流动性低、滞留性久、不易被微生物降解和毒性累积效应强等污染特征,造成土壤质量严重恶化,降低农作物的产量和品质,且会通过食物链危害人体健康^[3-4]。自 20 世纪中期以来,许多学者针对土壤中重金属污染进行了广泛的研究,并提出了诸多评价模型,如区域重金属分布模型、重金属污染土壤修复模型、城市表层土壤重金属污染分析模型等^[5-7]。

淮北平原是我国重要的小麦商业谷物生产基地,在选取麦地代表样区基础上,测定土壤样本中重金属元素 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 和 As 的含量,采用污染负荷指数法、内梅罗综合污染指数法和潜在生态风险指数法对麦地土壤进行重金属含量特征分析与污染评价,可掌握研究区域的重金属污染现状,为其污染防治和保障人群健康提供相应的科学支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 淮北平原农业区地处安徽北部、黄淮海平

原南部(114°55'~118°10'E, 32°25'~34°35'N),属温带季风气候,雨热同期,降水主要集中在夏季,汛期降水量占全年总降水量的 60%,年均温度 14~15℃,年日照时数 2 088~2 315 h,农业区无霜期 200~220 d,土壤质地为砂姜黑土,有利于发展商品谷物农业。

皖北平原地区户籍人口 3 152.5 万,农业人口 1 526.3 万,耕地总面积 213.8 万 hm²,占全省耕地总面积的 47.8%。该区盛产小麦,年种植优质小麦 6.7 万 hm²,单产 5 625 kg/hm²,农业及农副产品加工业稳步发展,是我国重要的粮食产区。

1.2 样点的布设采集与样品预处理 选取淮北平原代表区域萧县为采样区域,共采集土样 23 个,运用 GPS 进行定位,使用网格布点法进行样点布设,四分法采集土壤样品,取出 0~20 cm 的表层土壤去除杂物,装袋标记后放在干燥处通风晾干,磨碎后密封备用。土壤重金属含量采用酸溶法(HNO₃-HClO₄-HF)加热消解,放入聚四氟乙烯器皿,加少许去离子水湿润,然后加入浓缩 HNO₃ 15 mL,样品蒸至接近白色,取出样品并加入 10%硝酸溶液到 50 mL 容量瓶中。采用《水和废水监测分析方法(第四版)》进行 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 和 As 重金属含量的测定,得出重金属元素在土壤中的含量。

1.3 研究方法

1.3.1 污染负荷指数法。污染负荷指数(pollution load index, PLI)法是一种较为便捷简单的土壤重金属污染评价方

基金项目 宿州学院大学生科研项目(KYLXYBXM20-061);安徽省教育厅人文社科重点项目(SK2020A0528);宿州学院重点科研项目(2017yzd13);安徽省教育厅质量工程项目(2020szsfc1024);安徽省校级质量工程项目(szy2020xskc04)。

作者简介 都小荷(2000—),女,安徽铜陵人,从事资源环境质量评价研究。*通信作者,副教授,硕士,从事资源环境质量评价研究。

收稿日期 2021-04-28

法,可以直观反映出各类污染物对整体污染状况的贡献程度以及空间变化趋势,是其他特征分析和综合污染评价的方法基础^[8-10]。计算公式如下:

$$CF_i = c_i^i / c_n^i \quad (1)$$

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (2)$$

式中, CF_i 是重金属 i 的单一污染指数; c_i^i 为重金属 i 的含量实测值; c_n^i 为重金属 i 的背景值,选用《中国土壤背景值》中的中国土壤(A层)元素背景值,其中,Pb、Cd、Cr、Zn、Cu、As 元素背景值分别为 34.40、0.14、65.80、85.40、25.30、18.00 mg/kg。 CF_i 与 PLI 的污染分级标准详见表 1。

表 1 CF_i 与 PLI 的污染分级标准

Table 1 Pollution classification standards of CF_i and PLI

等级 Grade	污染程度 Pollution degree	CF_i	PLI
1	无	$CF_i < 1$	$PLI < 1$
2	轻度	$1 \leq CF_i < 2$	$1 \leq PLI < 2$
3	中度	$2 \leq CF_i < 3$	$2 \leq PLI < 3$
4	重度	$CF_i \geq 3$	$PLI \geq 3$

1.3.2 内梅罗综合污染指数法。内梅罗(Nemerow)综合污染指数法可对环境的污染状况进行综合性的评价,当土壤受到多种重金属污染时,该方法能够体现整体污染状况和突出主要污染物,与单因子污染评价方法相比考虑了各个单因子的最大值与平均值,强调了一组数据中最大值的影响,在一定程度上可弥补单因子指数法的缺陷^[11-12]。计算公式如下:

$$P_{\text{综合}} = \sqrt{(CF_{\text{ave}}^2 + CF_{\text{imax}}^2) / 2} \quad (3)$$

式中, $P_{\text{综合}}$ 为土壤综合污染指数, CF_{ave} 为重金属元素评价中单因子污染指数的平均值, CF_{imax} 是最大单项污染值。 $P_{\text{综合}}$ 的污染分级标准详见表 2。

1.3.3 潜在生态风险指数法。潜在生态风险指数法利用毒理学的相关知识,根据重金属的特性和环境行为,从沉积学的角度,分析土壤母质和沉积物中重金属的含量,考虑了各重金属独特的生态危害,可以为农业的发展与土壤重金属环境污染问题的治理提供依据^[13-15]。计算公式如下:

表 4 淮北平原麦地重金属含量统计

Table 4 Statistics of heavy metal content in wheat fields in Huaibei Plain

元素 Element	最小值 Minimum mg/kg	最大值 Maximum mg/kg	平均值 Average mg/kg	变异系数 Variable coefficient//%	背景值 Background value//mg/kg	超标样点数比例 Over-standard sample points ratio//%
Pb	30.71	78.61	46.11	24.53	34.40	91.30
Cd	0.55	2.32	1.13	41.06	0.14	100.00
Cr	57.26	152.32	94.67	25.98	65.80	86.96
Zn	45.91	132.86	80.31	25.11	85.40	73.91
Cu	20.62	43.19	32.71	22.04	25.30	100.00
As	3.37	9.72	6.11	30.31	18.00	0.00

样品变异程度的重要尺度由变异系数表现,它在一定程度上可以反映人为活动对于样品的影响程度^[17]。变异系数(CV)划分为 3 个等级:CV<10%,弱变异;10%≤CV≤30%,

表 2 $P_{\text{综合}}$ 污染分级标准

Table 2 Grade standard of $P_{\text{comprehensive}}$ pollution

等级 Grade	污染程度 Pollution degree	$P_{\text{综合}}$
1	安全	$P_{\text{综合}} < 0.7$
2	警戒	$0.7 \leq P_{\text{综合}} < 1.0$
3	轻度	$1.0 \leq P_{\text{综合}} < 2.0$
4	中度	$2.0 \leq P_{\text{综合}} < 3.0$
5	重度	$P_{\text{综合}} \geq 3.0$

$$RI = \sum E_r^i \quad (4)$$

$$E_r^i = T_r^i \times CF_i \quad (5)$$

式中,RI 为综合潜在生态风险指数; E_r^i 为 r 样点重金属 i 的单项潜在生态危害系数; T_r^i 为某一种重金属 i 的毒性系数,Cd、As、Cu、Pb、Cr、Zn 这 6 种重金属的毒性系数分别为 30、10、5、5、2、1。根据 Hakanson^[16] 所划分的分级标准, E_r^i 和 RI 的分级见表 3。

表 3 E_r^i 和 RI 分级标准

Table 3 Grading standard of E_r^i and RI

风险等级 Risk level	E_r^i	RI
低 Low	$E_r^i < 40$	$RI < 150$
中等 Medium	$40 \leq E_r^i < 80$	$150 \leq RI < 300$
较强 Stronger	$80 \leq E_r^i < 160$	$300 \leq RI < 600$
很强 Very strong	$160 \leq E_r^i < 320$	$RI \geq 600$
极强 Extremely strong	$E_r^i \geq 320$	—

2 结果与分析

2.1 淮北平原麦地土壤重金属含量特征 运用 SPSS 25.0 对研究区重金属含量进行统计分析,具体结果见表 4 和图 1。由表 4 和图 1 可知,土壤中 Pb、Cd、Cr、Cu 平均含量超过背景值,其中 Cd 的超标倍数达到 7.07 倍;Zn 和 As 的平均含量分别是背景值的 94% 和 34%,其中 Zn 接近背景值。Pb、Cr、Zn、Cu 和 As 的最小值小于背景值,而 Cd 的最小值是背景值的 3.93 倍;除了 As 最大值比背景值小,Zn、Cu、Pb、Cr、Cd 最大值均大于背景值,其中 Cd 的超标倍数达到 15.57 倍。Pb、Cd、Cr、Cu 超标样点数比例均在 75% 以上,Cd 和 Cu 的超标样点数比例达到 100%,As 没有超标样点。

中等变异;CV>30%,强变异。6 种重金属变异系数由小到大依次为 Cu<Pb<Zn<Cr<As<Cd;所测的重金属元素变异系数均大于 20%,其中 As 和 Cd 的变异系数大于 30%,Cd 的变异

系数甚至达 41.06%。从整体上看,淮北平原土壤重金属含量的变异系数较大,说明该地区人类活动对土壤元素影响程度较大,需对该地土壤状况进一步进行分析与评价。

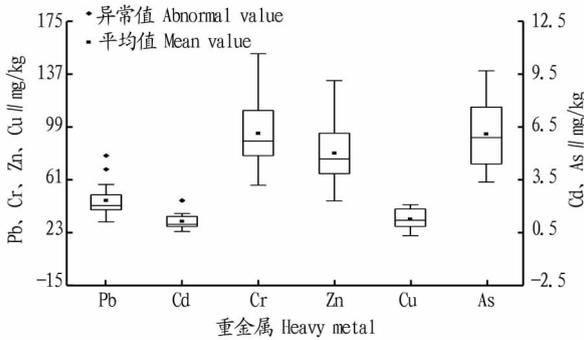


图1 淮北平原麦地重金属含量箱线图

Fig.1 Box map of heavy metal content in wheat fields of Huaibei Plain

2.2 淮北平原麦地重金属污染综合评价

2.2.1 污染负荷指数法。运用污染负荷指数法对研究区重金属进行综合评价,结果见表5。对各个元素不同污染级别的样点数占比进行计算,具体见表6。

表5 淮北平原麦地各样点污染负荷指数

Table 5 Pollution load index statistics of various points of wheat fields in Huaibei Plain

重金属 Heavy metal	单一污染指数(CF _i) Single pollution index			污染负荷指数(PLI) Pollution load index
	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	
Pb	0.89	2.29	1.34	1.31
Cd	3.87	16.34	7.95	7.43
Cr	0.87	2.31	1.44	1.39
Zn	0.54	1.56	0.94	0.91
Cu	0.82	1.71	1.29	1.26
As	0.19	0.54	0.34	0.32

表6 淮北平原麦地不同污染级别占样点总数的百分比

Table 6 Percentage of different pollution levels in the total number of samples in wheat plots in Huaibei Plain

污染程度 Pollution degree	CF _i						PLI
	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu	As	
无 No	8.69	0	13.04	60.87	17.39	100	16.67
轻度 Light	86.96	0	82.61	39.13	82.61	0	50.00
中度 Moderate	4.35	0	4.35	0	0	0	0
重度 Heavy	0	100	0	0	0	0	33.33

由表5可知,淮北平原土壤各个重金属CF_i的平均值由小到大依次为As<Zn<Cu<Pb<Cr<Cd,其中Cd属于重度污染,Cu、Pb和Cr是轻度污染,As和Zn没有发生污染。每个元素的污染负荷指数PLI由小到大依次排序为As<Zn<Cu<Pb<Cr<Cd,与各个元素的单一污染指数相比,大小排序与单一污染指数的平均值大小排序相同,且污染程度也没有发生变化,从各个元素的污染负荷指数PLI得出重金属元素的平均污染程度,Cd为主要污染物。

由表6可知,As的样点全部没有发生污染;Zn和Cu均在轻度污染之下,其中,Zn无污染样点数最多,占总样点数的60.87%;Pb和Cr达到中度污染水平,大部分样点为无污染和轻度污染,仅有少部分样点为中度污染;Cd的样点全部发生重度污染。整个区域的PLI为1.31,属于轻度污染,可见整体来看淮北平原麦地土壤的重金属污染程度尚且算轻,应重点关注不同重金属的污染状况及其空间分布。

2.2.2 内梅罗综合污染指数法。运用内梅罗综合污染指数法对研究区重金属进行综合评价,土壤中Pb、Cd、Cr、Zn、Cu、As的土壤综合污染指数(P_{综合})分别为1.87、12.85、1.93、1.29、1.51、0.45,整个区域的土壤综合污染指数为9.38。从内梅罗指数来看,各元素污染程度依次为As<Zn<Cu<Pb<Cr<Cd。其中As的P_{综合}低于0.7,处于安全级别;Pb、Cr、Zn和Cu的P_{综合}处于轻度污染级别;而Cd的P_{综合}已经明显超出标准限值,处于重度污染级别。由内梅罗综合污染指数法的计算结果可知,Cd是土壤中最主要的污染因子。

在各样点内梅罗综合污染指数统计分析的基础上,可知

各采样点的土壤综合污染指数在2~12,其中4~5的样本数量最多;所有样点土壤综合污染指数的平均值为5.84,属于重度污染级别。通过计算得出整个区域的土壤综合污染指数为9.38,属于重度污染级别。

2.2.3 2种污染综合评价方法对比分析。从各元素的角度来看,污染负荷指数法和内梅罗综合污染指数法的计算结果均表明As为无污染,Pb、Cr和Cu处于轻度污染,Cd为重度污染,Zn经污染负荷指数法计算为无污染,内梅罗综合污染指数法计算为轻度污染;从各个样点的角度来看,2种方法计算结果差别较大,污染负荷指数法计算出的样点污染负荷指数(PLI)大部分为无污染和轻度污染级别,仅有33.33%的样点为重度污染级别,而在内梅罗综合污染指数法下,由于每个样点中Cd的P_{综合}过高,导致单个样点重金属元素的平均P_{综合}过高,最终计算得出所有样点都为中度污染或重度污染级别。综上所述,淮北平原土壤重金属污染程度严重。

从区域整体综合污染计算分析,污染负荷指数法评价属于轻度污染,与内梅罗综合污染指数法计算结果出入较大,这体现了2种计算方法的差别,尽管2种方法均基于单一污染指数,但内梅罗综合污染指数法更强调污染物对于区域的影响,从而放大了主要污染物Cd的污染程度,使得内梅罗综合污染指数法所计算出的区域综合结果较大。

2.3 淮北平原麦地土壤重金属潜在生态风险评价从表7可以看出,淮北平原土壤各个重金属潜在生态危害系数(E_i)的平均值由小到大依次为Zn<Cr<As<Cu<Pb<Cd。土壤Zn的潜在生态危害系数最低,而Cd的潜在生态危害系数最高。

对各样点的生态风险程度进行统计,结果发现(表 8),所有样点的 As、Zn、Cu、Pb 和 Cr 的潜在生态危害系数均为低风险,而对比重金属污染物 Cd,有 13.04%的样点达到较强风险,73.92%的样点达到很强风险,13.04%的样点达到极强风险,由此可见,最主要的生态风险因子是 Cd。其他重金属的生态风险较低,各样点均属于低风险。

淮北平原土壤重金属的综合潜在风险指数(RI)为 21.63~5 488.73,极差高达 5 467.10,RI 平均值从小到大依次为 Zn<Cr<As<Cu<Pb<Cd,排序顺序与淮北平原土壤各个重金属单项的平均值大小顺序相同,其中,Zn、Cr、As、Cu 属于低风险,Pb 为中等风险,Cd 为很强风险。从各个样点的综合潜在风险指数(RI)来看,处于低生态风险水平的样点数占样

点总数的 65.66%,处于中等风险和很强风险水平的样点数均占样点总数的 17.17%。

表 7 重金属潜在生态风险法评价结果

Table 7 Assessment results of potential ecological risk of heavy metals

重金属 Heavy metal	单项潜在生态危害系数(E_i^p)			综合潜在生 态风险指数(RI) Comprehensive potential ecological risk index
	Single potential ecological hazard coefficient			
	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	
Pb	4.46	11.43	6.70	154.13
Cd	116.20	490.14	238.64	5 488.73
Cr	1.74	4.63	2.88	66.18
Zn	0.54	1.56	0.94	21.63
Cu	4.08	8.54	6.46	148.66
As	1.87	5.40	3.39	78.07

表 8 不同生态风险级别样点数占样点总数的百分比

Table 8 Percentage of sample points of different ecological risk levels in total sample points

风险等级 Risk level	E_i^p							RI
	Pb	Cd	Cr	Zn	Cu	As		
低 Low	100	0	100	100	100	100	100	65.66
中等 Medium	0	0	0	0	0	0	0	17.17
较强 Stronger	0	13.04	0	0	0	0	0	0
很强 Very strong	0	73.92	0	0	0	0	0	17.17
极强 Extremely strong	0	13.04	0	0	0	0	0	—

3 结论

(1) 淮北平原麦地土壤中 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 和 As 的平均含量分别为 46.11、1.13、94.67、80.31、32.71 和 6.11 mg/kg。Cu、Pb、Zn、Cr 这 4 种重金属元素为中等变异,As 和 Cd 这 2 种重金属元素为强变异。

(2) 运用污染负荷指数法和内梅罗综合污染指数法综合评价,淮北平原麦地土壤中 As 为无污染,Pb、Cr 和 Cu 处于轻度污染,Cd 为重度污染,Zn 经污染负荷指数法计算为无污染、内梅罗综合污染指数法计算为轻度污染。

(3) 淮北平原麦地土壤中各个重金属潜在生态危害系数(E_i^p)的平均值由小到大依次为 Zn<Cr<As<Cu<Pb<Cd。其中,Zn、Cr、As、Cu 属于低风险,Pb 为中等风险,Cd 为很强风险,可见 Cd 是最主要的污染因子,也是最为主要的潜在生态风险因子。

参考文献

[1] 江丽,钟九生,黄国金,等.贵州丹寨县铅锌矿区小流域土壤重金属污染特征及生态风险评价[J].有色金属(冶炼部分),2021(3):57-64.
[2] 张富贵,彭敏,王惠艳,等.基于乡镇尺度的西南重金属高背景区土壤重金属生态风险评价[J].环境科学,2020,41(9):4197-4209.
[3] 任加国,王彬,师华定,等.沱江上游支流土壤重金属污染空间相关性及其变异解析[J].农业环境科学学报,2020,39(3):530-541.

[4] 闫晓露,孙才志,胡远满,等.围垦对辽东湾北部滨海湿地土壤重金属含量的影响及生态风险评价[J].生态学报,2021,41(3):1055-1067.
[5] 费强,闫丽静.基于单因子分析法的表层土壤重金属污染的研究[J].南方农机,2020,51(17):19-28.
[6] 李阳.基于 PMF 模型的煤矿区重金属污染土壤修复研究[J].环境科学与管理,2020,45(6):121-125.
[7] 王娜.城市表层土壤重金属污染分析模型[J].硅谷,2014,7(13):180,169.
[8] 李一蒙,马建华,刘德新,等.开封城市土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J].环境科学,2015,36(3):1037-1044.
[9] 李姗姗,谭光超,彭晓晨,等.重要风险区域土壤重金属污染特征及来源分析[J].资源环境与工程,2019,33(4):495-498.
[10] 苏海民,孙朋,张勇.宿州市沱河城市景观河流重金属富集及污染评价[J].河南师范大学学报(自然科学版),2021,49(2):118-124.
[11] 李苏,闫志宏,徐丹,等.改进的内梅罗指数法在水库水质评价中的应用[J].科学技术与工程,2020,20(31):13079-13084.
[12] 尹国庆,江宏,王强,等.安徽省典型区农用地土壤重金属污染成因及特征分析[J].农业环境科学学报,2018,37(1):96-104.
[13] 颜浩,李法松,邓力,等.安徽省怀宁城区排污河道底泥重金属污染特征分布及潜在生态风险评价[J].安徽化工,2020,46(4):85-89.
[14] 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:山西寿阳县为例[J].中国土壤与肥料,2020(6):246-253.
[15] 王磊,向甲甲,殷瑶,等.河道底泥重金属的含量特征与潜在生态风险[J].净水技术,2020,39(10):162-167,172.
[16] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach[J]. Water research,1980,14(8):975-1001.
[17] 盛维康.海水入侵对土壤重金属元素的影响:以珠江三角洲为例[D].北京:中国地质大学(北京),2020.

(上接第 81 页)

[10] 孙慧静,温远豪,罗苏杰.广西来宾市现代特色农业发展研究[J].农村经济与科技,2019,30(13):171-173.
[11] 谢如林,谭宏伟,周柳强,等.广西来宾市兴宾蔗区土壤养分丰缺状况分析[J].甘蔗糖业,2004(1):6-10.
[12] 曾艳,黄金生,周柳强,等.广西桂南蔗区土壤养分状况调查分析[J].南方农业学报,2014,45(12):2198-2202.
[13] 周敏,杨国顺.葡萄园土壤养分状况分析与肥力评价[J].安徽农业科学,2019,47(22):164-169.
[14] 师晨迪,李娟,程杰.渭北台塬区废弃宅基地整治前后土壤总碳变化研

究:以陕西省澄城县为例[J].西部大开发(土地开发工程研究),2018,3(10):26-29.
[15] 李志强.山西庞泉沟落叶松林土壤理化性质分析[J].山西林业科技,2020,49(2):22-25,54.
[16] 何天春,闫青云.来宾市兴宾区蔗区土壤养分普查结果简报[J].广西蔗糖,2004(2):12-16.
[17] 杨积涛,许静,蔡江桥,等.深圳市公园绿地土壤理化性质研究[J].安徽农业科学,2019,47(18):52-55,77.
[18] 范海荣,常连生,王洪海,等.昌黎县葡萄沟土壤肥力综合评价与对策研究[J].安徽农业科学,2011,39(4):2169-2173.