

董秋瑶, 宋超, 温皓天, 等. 皖西大别山农耕区表层土壤养分地球化学综合评价及影响因素[J]. 岩矿测试, 2024, 43(2): 344–355. DOI: [10.15898/j.ykcs.202206180117](https://doi.org/10.15898/j.ykcs.202206180117).

DONG Qiuyao, SONG Chao, WEN Haotian, et al. Comprehensive Geochemical Evaluation and Influencing Factors of Topsoil Nutrients in a Farming Area of Dabie Mountain in Western Anhui, China[J]. Rock and Mineral Analysis, 2024, 43(2): 344–355. DOI: [10.15898/j.ykcs.202206180117](https://doi.org/10.15898/j.ykcs.202206180117).

皖西大别山农耕区表层土壤养分地球化学综合评价及影响因素

董秋瑶^{1,2}, 宋超^{1,2*}, 温皓天³, 向娇⁴, 王攀^{1,2}, 严明疆^{1,2}

- (1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061;
2. 中国地质调查局第四纪年代学与水文环境演变重点实验室, 河北 正定 050083;
3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
4. 重庆市地质矿产勘查开发局 107 地质队, 重庆 401120)

摘要: 土壤养分是影响农作物产量的重要指标, 掌握中国主要农业生产区的土壤养分时空演变特征对合理使用农业土地资源具有重要的意义。本文以中国重要农耕区皖西大别山六安地区为研究区, 采集浅层土壤(0~20cm)样品 1295 组, 采用硫碳仪、X 射线荧光光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法等技术进行测试。应用统计学分析方法, 在分析 pH 值的基础上, 对总氮(TN)、总磷(TP)和钾(K)和土壤有机质(SOM)四个地球化学养分指标进行单指标养分等级划分和土壤养分综合等级评价, 并探讨了各项指标的影响因素。结果表明: 研究区 98.88% 的土壤为酸性土壤(其中 8.03% 为强酸性土壤), 受地貌类型影响较大; TN 分布以中等丰富为主, 受土壤类型影响较大; TP 以中等含量和缺乏为主, 受地貌类型的影响较大; K 是最为丰富的元素, 其含量在中等及以上的比例达 97.81%, 主要受地貌类型的影响; SOM 以中等和较缺乏为主, 受土壤类型、土地利用方式和地貌类型的共同影响, 且 SOM 含量与 TN 含量呈高度正相关。全区土壤养分等级以中等为主, 占全区总面积的 60.10%, 其次是较缺乏土壤, 占 25.27%, 南部山区养分状况优于北部平原区。整体上, 研究区土壤具有养分较差、养分分布不均匀、普遍酸化的特点, 部分地区应按需调整肥料的使用平衡土壤养分。可通过农田养分的管理, 提高农业产量。

关键词: 表层土壤; 电感耦合等离子体发射光谱法; 土壤养分地球化学综合等级评价; 土地利用方式; 土壤类型; 地貌类型

要点:

- (1) 单指标养分等级划分和土壤养分综合等级评价可用于分析土壤养分状况。
- (2) 皖西大别山区土壤养分地球化学综合等级以中等为主, 较缺乏次之。pH 值分布以酸性为主, TN 以中等丰富为主, TP 中等偏缺乏, K 以丰富为主, SOM 中等偏缺乏。
- (3) 土地利用方式、土壤类型和地貌类型对 pH 值、养分元素和有机质的空间分布有不同程度的影响。

中图分类号: P59; S158.4

文献标识码: A

土壤养分是农作物生长所必需的营养元素, 是影响粮食产量的重要指标, 了解土壤养分分布状况是发展精准农业的前提^[1-3]。土壤养分空间变异性特征近年来成为研究的热点, 其丰缺程度受土壤酸碱

收稿日期: 2022-06-18; 修回日期: 2022-08-07; 接受日期: 2022-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目“黄土塬区包气带-饱水带界面碳的迁移转化及其控制因素”(41877398); 中国地质调查局地质调查项目“豫西南中低山丘陵耕地区土地质量地球化学调查”(DD20221773-4), “内蒙古高原湖泊萎缩生态风险评估与预警”(DD20221773-2)

第一作者: 董秋瑶, 硕士, 副研究员, 环境工程专业, 主要从事土壤环境地质调查研究。E-mail: 64965341@qq.com。

通信作者: 宋超, 博士, 副研究员, 地球化学专业。E-mail: songchao@mail.cgs.gov.cn。

度的影响^[4-6]。因此,共同分析土壤 pH 值和土壤养分元素可更好地了解土地状况,对合理开发利用研究区土地资源、完善农业种植种类、管理施肥情况和提高农业产量等方面都具有一定的科学意义。

中国各地土壤养分时空变异与施肥^[4]、地形地貌^[7-8]、土壤类型^[9]、土地利用方式^[10-12]等因素有关。张晗等^[10]在江西省、朱永青等^[11]在太滬运河流域、刁二龙等^[12]在祁连山地区发现不同的土地利用方式对土壤肥力的影响较大;蒋文惠^[8]在南京栖霞市研究发现不同的地形地貌对土壤养分空间变异有显著的影响;王剑等^[9]在四川凉山地区研究发现不同土壤类型的土壤氮、磷、钾含量均存在广泛的变异;唐贤等^[4]通过综合研究发现长期施用化肥对农田土壤 pH 值有显著的影响;王亚男等^[13]研究发现贵州毕节市耕地土壤 pH 受结构性因素和人为因素的共同作用。总之,影响土壤养分空间变异的因素较多,不同地区土壤养分的作用因素不同。

目前有关大别山农耕区的土壤养分综合信息较少,皖西地区作为中国重要的农耕区,了解其土壤养分分布状况对提高当地粮食产量有重要的意义。本

文选取了地貌类型较齐全、土壤类型较丰富的安徽省六安市裕安区—霍山县—金寨县为研究区,以 1:25 万土地质量地球化学调查数据为基础。分析了土壤 pH 值与养分总氮(TN)、总磷(TP)、钾(K)和土壤有机质(SOM)的空间分布特征,并根据《土地质量地球化学评价规范》进行土壤养分地球化学综合评价,同时分析了不同因素(土壤类型、地貌类型和土地利用方式)对以上指标分布的影响,为该地区农业土地资源的合理开发利用提供科学依据。

1 研究区概况

工作区位于安徽省西部,行政区划包括六安市所辖裕安区全区、霍山县全县,以及金寨县部分地区(图 1),工作区面积 5113km²。工作区地形南高北低,地貌类型主要分为两大类:①南侧为山地,占比约为 60%,包括霍山县、金寨县以及裕安区西南小部分地区,属于大别山北部;②北侧为长岗状梁的波状平原,占比约为 40%,包括裕安区内、霍山县城北部至大别山北缘,区内海拔高差可达 1700 多米。

研究区属亚热带湿润季风气候和温带半湿润季

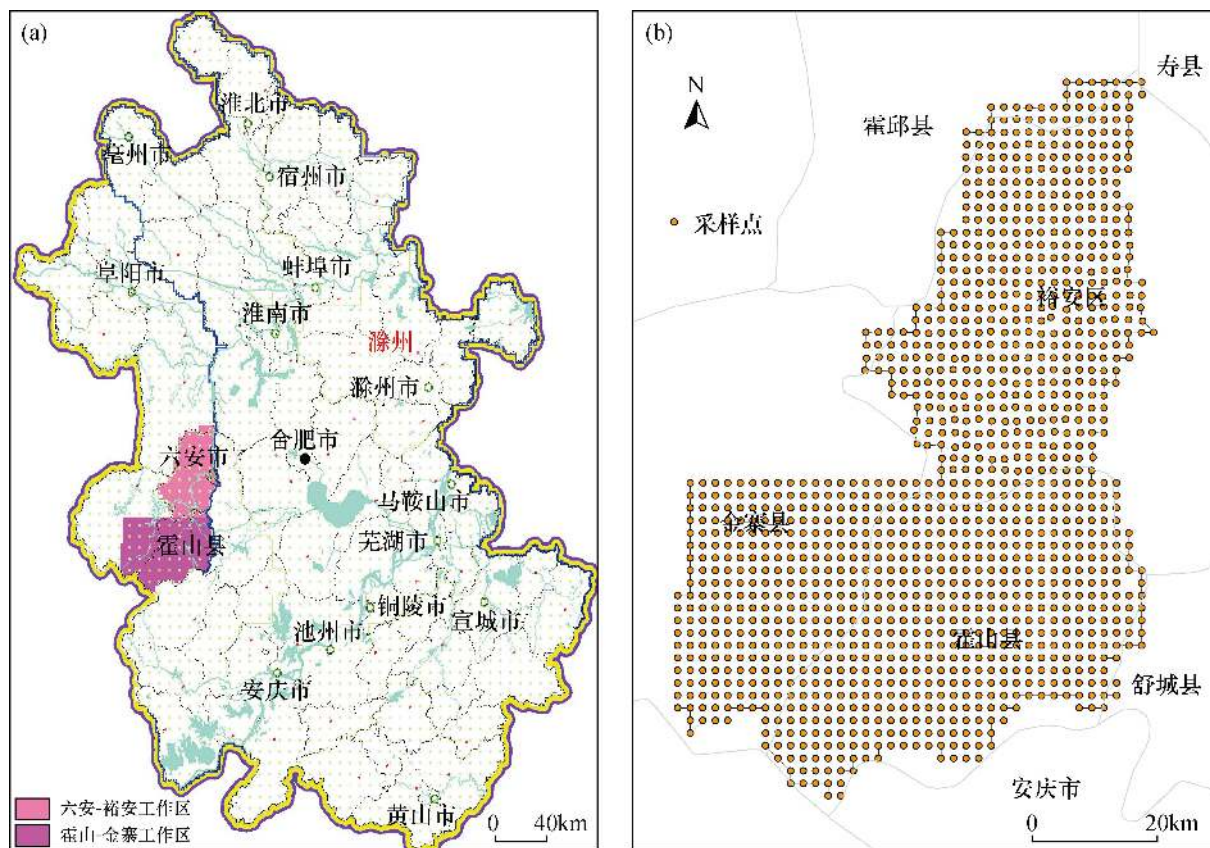


图1 (a)研究区地理位置图;(b)区域点位分布图

Fig. 1 (a)Geographic map of the study area; (b)Distribution map of the regional points.

风气候的过渡地带,季风显著,气候湿润,四季分明,无霜期长,光、热、水条件优越。常年平均气温为 15℃,平均无霜期为 220 天。区内的常年平均降雨量为 1423mm,其中中山区 1400~1600mm,丘陵区 1100~1300mm,平原区 900~1400mm。研究区内水资源较丰富,淮河一级支流淠河上游均位于其中。生态环境方面,工作区境内植被丰富,物种众多,在南侧山区森林覆盖率达 75.92%,生物物种多达 6500 余种,生态系统相对完备,而在北部平原内则主要为农田,绝大部分种植水稻,少部分区域种植玉米^[14]。

2 实验部分

2.1 土壤样品采集与测试方法

样品采集严格按照《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》(DZ/T 0258—2016)中的土壤地球化学样品采集和布设工作方法进行。表层土壤(0~20cm)测量以 1:5 万地形图为一个连续编号单元,采样密度为 1 个点/km²,以偶数方里网按 4km²(2km×2km)为一个采样大格,采样时避开垃圾堆、新近堆积土、明显点状污染地段及田埂等,并且要保证采样点距离主干公路、铁路在 100m 以外,表层土壤按照每 4km²组合一个分析样(边界地区 1~3km²组合一个分析样),共测试分析样 1295 个。土壤样品自然风干后,过 20 目尼龙筛。

土壤样品分析测试工作在湖北省地质实验室进行,各元素的测试仪器、检出限和测定范围列于表 1,所有指标均优于或等于 DZ/T 0258—2016 的要求。

表 1 样品测试指标与对应测试方法

Table 1 Analysis parameters and methods.

元素/指标	测试仪器/测试方法	要求检出限	本实验检出限	测定范围
pH	pH 计(ISE)	0.1	0.1	0.1~14.0
N	凯氏氮蒸馏酸碱滴定容量法(VOL)	20mg/kg	15mg/kg	15~5000mg/kg
P	X 射线荧光光谱法	10mg/kg	8mg/kg	8~4500mg/kg
K	电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)	5.0×10 ⁻⁴	5.0×10 ⁻⁴	2.0×10 ⁻⁴ ~7.0×10 ⁻²
SOM	硫酸亚铁铵容量法(VOL)	1.0×10 ⁻³	5.0×10 ⁻⁴	5.0×10 ⁻⁴ ~1.0

表 2 土壤养分和 pH 值的分级划分标准

Table 2 Standards for classification of the soil nutrient and pH.

养分等级	丰缺程度	TN 含量(mg/kg)	TP 含量(mg/kg)	K 含量(mg/kg)	SOM 含量(%)	$f_{综合}$	酸碱等级	pH
I 级	丰富	≥2000	≥1000	≥25	≥4	≥4.5	强酸性	<5.0
II 级	较丰富	1500~2000	800~1000	20~25	3~4	4.5~3.5	酸性	5.0~6.5
III 级	中等	1000~1500	600~800	15~20	2~3	3.5~2.5	中性	6.5~7.5
IV 级	较缺乏	750~1000	400~600	10~15	1~2	2.5~1.5	碱性	7.5~8.5
V 级	缺乏	≤750	≤400	≤10	≤1	≤1.5	强碱性	>8.5

2.2 数据分析与处理

使用 Excel 与 SPSS22.0 软件对土壤数据进行统计分析,使用 MapGIS 方块填充和 ArcGIS 10.6 软件中的地统计学模块的 Kriging 插值方法绘制图件。所有指标划分等级均依据《土壤质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016),具体划分情况列于表 2。

根据《土地质量地球化学评价规范》,在 TN、TP、K 土壤单指标养分等级划分的基础上进行土壤养分地球化学综合等级评价。按照公式 $f_{综合} = \sum_{i=1}^n k_i f_i$ 计算评价单元(即 4km²)养分总得分。式中: $f_{综合}$ 为 TN、TP、K 评价总得分; k_i 为 TN、TP、K 权重系数,分别为 0.4、0.4、0.2; f_i 为 TN、TP、K 单指标等级得分,单指标评价结果 5 级、4 级、3 级、2 级、1 级所对应的 f_i 值分别为 1、2、3、4、5,依据养分得分值应用上述公式进行养分综合等级划分评价。每个单元值计算出综合值后应用 MapGIS 进行填充绘图。

3 结果与讨论

3.1 土壤 pH 值分布特征

土壤酸碱度直接影响着土壤中各类元素的丰缺,控制土壤 pH 值、减少耕地酸化目前是中国耕地面临的主要问题^[15-17]。研究区表层土壤(0~20cm)共 1295 个样品的 pH 值特征为:pH 值变幅为 3.97~8.09,平均值为 5.38,中位数为 5.34。按表 2 的划分标准,90.85% 属于酸性土壤,强酸性土壤占比 8.03%,中性土壤占比 0.77%,变异系数为 7%,属弱变异性,受人

为活动影响较小。全区表层土壤 pH 值整体上呈现北低南高的空间分布趋势, 8.03% 的强酸性土壤呈零星分布, 主要分布在南部山区响洪甸镇附近(图 2)。全区只有 1.11% 的土壤呈中性和弱酸性, 位于平原区六安市区附近, 研究区酸化的主控因素是土壤类型和成土母质, 详见本项目组已发表文献 [18], 研究区土壤普遍酸化, 建议应用熟石灰调整土壤酸碱度 [19]。

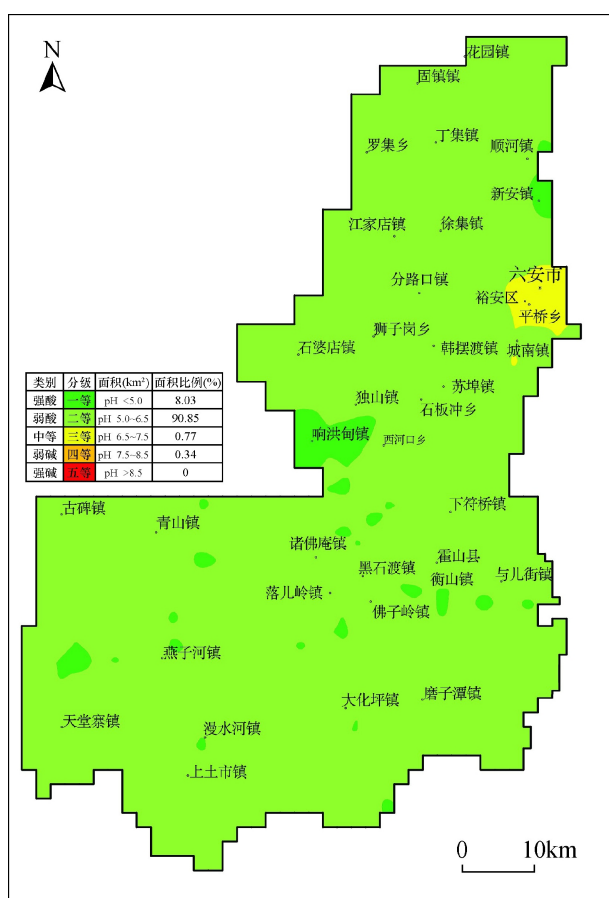


图2 研究区土壤 pH 值空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of soil pH in the study area.

3.2 主要养分指标分布特征

土壤 TN 指土壤中各种形态的氮素集合,是植物生长最重要的养分之一,同时也是土壤养分地球化学综合等级评价的重要指标之一^[20-22]。研究区土壤养分指标统计特征见表 3。

TN 的分布范围为 222.60~3195.42mg/kg, 平均值为 1182.94mg/kg, 以中等范围居多。TN 的变异系数为 28.39%, 属中等变异(表 3)。研究区北部平原区(裕安区)的 TN 含量较南部(霍山县)和西部(金寨县)高(图 3a), 这与平原区耕作土地较多、施肥强度较高有关, 全区 TN 缺乏区主要分布在六安市周围和诸佛庵镇西北部。

TP 在土壤中含量较高,是植物正常生长所必需的大量营养元素之一,其含量的丰缺会影响农作物产量及品质^[23-24]。研究区 TP 含量分布在 267.10~2249.70mg/kg 范围,平均值 633.72mg/kg,变异系数 43.06%,属中等变异,51.58% 的土壤 TP 处在缺乏与较缺乏水平,需要在进行农业生产时适当施加含磷肥料(表 3)。全区土壤的全磷分布具有差异性,从东北到西南呈逐渐升高的趋势。TP 缺乏区主要分布在平原区裕安区,中等以上分布区主要为山区金寨县和霍山县(图 3b)^[25-26]。

K 是土壤中的主量元素,是植物生长所必须的养分,具有促进光合作用、促进植物蛋白质合成和新陈代谢等重要作用^[27]。本文测试指标为 K_2O ,通过质量分数计算: $K \text{ 的质量} = 0.829787 \times K_2O \text{ 的质量}$,研究区 K 元素含量范围在 10.24~42.86mg/g,平均值为 20.41mg/g(表 3),工作区整体富钾,处中等及以上等级占比 97.81%,富钾土地占比 47.96%,达 2453km²(图 3c)。在区域分布上,富钾区域主要分布在山区霍山—金寨县,以漫水河—黑石渡—下符桥一线的东南侧土壤 K 含量最为丰富,北部裕安区农业耕种区除零星地点 K 较为缺乏以外,其余大部分地区土

表3 研究区土壤养分指标统计特征

Table 3 Statistics of soil nutrients in the study area.

养分	样本量 (件)	含量范围	平均值	中位数	标准差	变异系数 (%)	样品分布范围占比(%)				
							丰富	较丰富	中等	较缺乏	缺乏
TN	1295	222.60~3195.42	1182.94	1149.23	335.89	28.39	2.03	14.00	49.6	28.42	5.94
TP	1295	267.10~2249.70	633.72	584.20	272.87	43.06	10.40	14.78	23.23	26.60	24.98
K	1295	10.24~42.86	20.41	19.66	4.61	22.59	12.83	35.13	49.85	2.19	0
SOM	1295	0.35~3.57	1.19	1.16	0.38	31.47	1.79	3.05	45.34	49.11	0.70

注: TN 和 TP 单位为 mg/kg; K 单位为 mg/g; SOM 单位为 %。

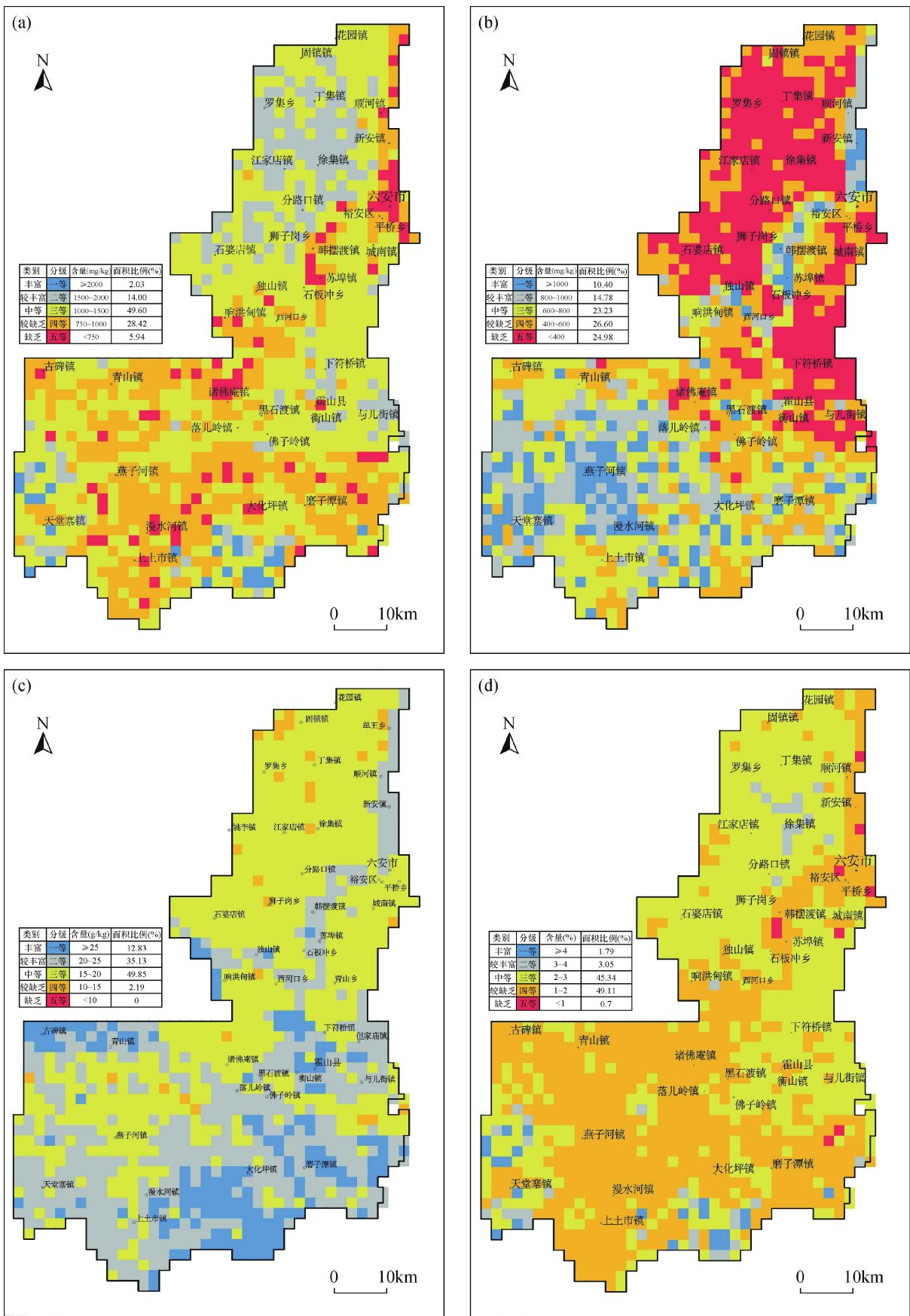


图3 研究区土壤(a)TN、(b)TP、(c)K、(d)SOM 空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution maps of soil (a)TN, (b)TP, (c)K and (d) organic matter in the study area.

铝含量高, 吸附能力较强, 促进了 TP 和 K 的积累^[26]。SOM 在黄棕壤和紫色土中含量较高, 在潮土和粗骨土中含量较低; 紫色砂页岩中含有铁、硅、碳酸盐等复杂化合物, 它们以较稳定的胶膜覆被在矿粒表面, 在一定程度上削弱了化学风化作用, 减少了 SOM 的流失; 黄棕壤是发育良好的土壤, 营养成分丰富, 其各项养分成分均较高; 粗骨土土壤发育弱, 固碳能力差, 潮土受地下水影响造成其 SOM 含量低。pH 值在不同土壤类型中差别不大。

(2) 土地利用方式

土地利用方式是影响其养分含量的重要因素。本研究区以水田(水浇地)为主, 主要分为旱地、林地、水田(水浇地)和园地 4 种土地利用类型(表 5)。在不同的土地利用方式下, 不同的养分元素含量差别较大。TN 和 SOM 含量分布都是: 林地>水田(水浇地)>园地>旱地; TP 含量分布: 旱地>林地>园地>水浇地; K 含量分布: 林地>旱地>园地>水田(水浇地); pH 值分布: 林地>水田(水浇地)>旱地>园地。林地具有重要的作用, 同时由于长期的枯枝落叶积累, 在成土过程中增加了腐植质的归还量, 并且人为扰动少, 促进了养分的积累, 其养分含量普遍较高; 水田以黏土为主, 其固碳能力强, 迁移性弱, 以致其 SOM 含量较高。磷钾肥的施肥量: 旱田>园地>水田, 以致 TP 和 K 含量在水田最低, 在旱地较高。水田与旱田的养分差异较大, 可采取水旱轮作的耕作方式, 在旱地轮作中安排一茬水稻, 或在水田轮作中

夏季安排一茬旱作物的轮作换茬制度。通过土壤环境的水旱更替, 可以明显改善土壤结构, 是提高土壤肥力和作物增产的一项有效措施。近年大量施肥造成了旱地和园地的土壤酸性过大, 因此, 注重合理地增施磷肥以及水田和旱田的轮作方式十分重要^[33-36]。

(3) 地貌类型

地貌类型对土壤养分的分布有明显的影响^[37]。研究区属皖西大别山地区, 地势特征为东北低、西南高, 划分为 4 种地貌类型: 盆地、平原、丘陵和山地。各养分指标含量如表 6 所示。TN 含量分布: 山地>丘陵>平原>盆地, TN 含量与地势成反比, 地势越高人为干扰越少, 受降雨和地下水的影响最小; TP 含量分布: 盆地>山地>平原>丘陵, 丘陵地区 TP 最低, 由于丘陵的植被遭受破坏严重, 水土流失较为严重; K 含量分布: 山地>盆地>平原>丘陵, 山地人为干扰少, 腐植质高, K 最为丰富; SOM 含量分布: 山地>丘陵>平原>盆地, SOM 含量与 TN 含量一致; pH 值分布: 山地>丘陵>盆地>平原, 平原和盆地区主要分布在裕安区北部, 是研究区人类农业活动的集中区域, 农业发展伴随大量化肥的施用, 导致土壤普遍酸化。

3.5 各研究指标的相关性分析

为探讨不同影响因素对养分元素的影响, 将土壤类型、土地利用方式和地貌 3 种因素分别进行了等级赋值, 并与养分元素进行皮尔森相关分析, 同时对养分元素彼此的自相关性进行分析, 1295 组样品分析结果见表 7。

表 5 研究区不同土地利用方式下养分含量(平均值)对照

Table 5 Soil factor data statistics under different land utilization types in the study area.

土地利用方式	样本数量 (件)	TN		TP		K		SOM		pH	
		平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)
旱地	262	972.19	0.26	804.51	0.30	22.07	0.21	0.98	0.30	5.34	0.07
林地	133	1340.41	0.41	745.75	0.29	23.80	0.22	1.43	0.47	5.48	0.11
水田(水浇地)	684	1286.48	0.21	530.93	0.50	18.84	0.20	1.28	0.23	5.41	0.06
园地	216	1007.29	0.23	677.65	0.29	21.43	0.23	1.03	0.24	5.28	0.06

表 6 不同地貌类型养分含量(平均值)对照

Table 6 Soil factor data statistics under different geomorphic types in the study area.

地貌类型	样本数量 (件)	TN		TP		K		SOM		pH	
		平均值	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)	平均值 (mg/kg)	变异系数 (%)
盆地	249	972.19	0.26	804.51	0.30	22.07	0.21	0.98	0.30	5.34	0.07
平原	216	1007.29	0.23	677.65	0.29	21.43	0.23	1.03	0.24	5.28	0.06
丘陵	684	1286.48	0.21	530.93	0.50	18.84	0.20	1.28	0.23	5.41	0.06
山地	133	1340.41	0.41	745.75	0.29	23.80	0.22	1.43	0.47	5.48	0.11

表 7 研究区各研究指标及影响因子的皮尔森相关性分析

Table 7 Pearson correlation analysis of each research index and influence factor in the study area.

指标	相关性	土壤类型	土地利用	地貌	TN	TP	K	SOM
TN	皮尔森相关	0.13**	0.10**	-0.28				
	显著性(双尾)	0.00	0.00	0.00				
TP	皮尔森相关	-0.01	-0.01	0.54**	-0.3**			
	显著性(双尾)	0.70	0.63	0.00	0.00			
K	皮尔森相关	-0.15	0.11**	0.40**	-0.15**	0.25**		
	显著性(双尾)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
SOM	皮尔森相关	0.13**	0.14**	-0.16**	0.95**	-0.21**	-0.09**	
	显著性(双尾)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
pH	皮尔森相关	-0.02	0.02	-0.16**	-0.11**	-0.06*	-0.17**	-0.14**
	显著性(双尾)	0.44	0.39	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00

注: “**”表示相关性在 0.01 层上显著(双尾); “*”表示相关性在 0.05 层上显著(双尾)。

5 个分析指标含量均受地貌因子的影响最大, 因分析指标除受成土矿物影响外, 受自然因素影响较大(温度、降水), 同时海拔的变化造成气候条件的不同^[7-8]。

TN 含量受地貌因子影响较大, 受另两种地形因子影响较小。因 TN 以有机氮为主, TN 与 SOM 呈高度相关, 相关系数达 95%($P<0.01$)。

TP 来源主要是成土母质和施用的肥料, 在土壤中的迁移率很低, 几乎不受其他两种因子的影响。本研究区调查结果与朱永青等^[11]在太滠运河流域的土壤调查结果相似, 不同用地之间 TP 累积量差异并不明显。TP 含量与 TN、K 和 SOM 的相关系数均 >0.2 , 说明养分元素之间具有互相影响, 但该影响并不强烈。TP 与众不同的稳定性是其与其他养分指标都不呈现高度相关的原因。

K 含量受除地貌因子外的另两种因子的影响较弱, K 与其他养分元素和 pH 值都呈现低的相关性。K 与 SOM 的相关性最低, 因土壤中 90%~98% 的 K 主要来源于矿物, 很难被植物吸收, 这也是 K 与 TN 相关性较低的原因。

SOM 含量除了与 TN 有较高的相关性外, 与 3 种影响因子和其他 3 种养分元素均呈现低相关性, 说明 SOM 受 3 种影响因子的共同影响。TP 和 K 在土壤中的有机态存在较少, 这也是其与 SOM 相关性

较低的重要原因。

pH 值与 3 种影响因子的相关性均不高, 说明研究区土壤具有普遍长期酸化的问题, 在小范围内的差距已不明显, pH 值和 4 种养分元素都呈低度负相关关系, 说明土壤酸化是影响每个养分元素含量的因素之一, 控制土壤酸化程度可提高土壤养分含量。

4 结论

基于 1 : 25 万土地质量地球化学调查数据, 分析了土壤 pH 值与养分指标(TN、TP、K 和 SOM)的单指标空间分布特征, 进行了土壤养分地球化学综合等级评价, 并探讨了影响研究区土壤养分的主要因素。研究区养分等级以中等为主, 占全区总面积的 60.10%, 零散分布于全区, 南部山区较北部地区平原区养分含量高; 土壤普遍酸化、有机质含量低、钾资源丰富; 影响分析指标的主要因素是地貌类型。

研究区土壤严重酸化和有机质含量低都是制约农业发展的重要因素, 提高粮食产量需减少酸性化肥、增加有机肥和碱肥的使用, 根据各地区养分分布情况建议按需施加氮肥和磷肥。需要指出的是, 本文仅讨论了 5 项影响土壤养分的地球化学指标, 后期应增加养分指标的有效态共同分析, 方能更深入地了解研究区的土壤养分状况。

Comprehensive Geochemical Evaluation and Influencing Factors of Topsoil Nutrients in a Farming Area of Dabie Mountain in Western Anhui, China

DONG Qiuyao^{1,2}, SONG Chao^{1,2*}, WEN Haotian³, XIANG Jiao⁴, WANG Pan^{1,2},
YAN Mingjiang^{1,2}

- (1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China;
2. Key Laboratory of Quaternary Chronology and Hydro-Environmental Evolution, Chinese Geological Survey, Shijiazhuang 050083, China;
3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;
4. The 107 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Chongqing 401120, China)

HIGHLIGHTS

- (1) The single index nutrient grade and comprehensive evaluation of soil nutrient grade are often used to analyze soil nutrient status.
- (2) The comprehensive grade of soil nutrient geochemistry in the Dabie Mountain area of Western Anhui Province is mainly medium, followed by relatively deficient. The soil in the area is acidic, TN content is medium abundant, TP content is medium to lacking, K content is the most abundant, and organic matter content is medium to lacking.
- (3) Land use, soil type and geomorphic type have different effects on the spatial distribution of pH, nutrient elements and organic matter.

ABSTRACT: Western Anhui is an important precision agricultural area in China, characterized by diverse landforms and multiple soil types. To determine the spatial distribution of soil nutrient elements and their controlling factors, we analyzed 5 nutrient indicators by collecting 1295 groups of shallow soil (0-20cm) samples and conducted a comprehensive soil nutrient geochemical grade evaluation on the basis of single indicator analysis. The results show that soil nutrients are poor in the cultivated lands of the northern region. The use of fertilizer should be adjusted as needed to balance the soil nutrients in some areas, and the management of farmland nutrients is suggested for improving the agricultural yield. The BRIEF REPORT is available for this paper at <http://www.ykcs.ac.cn/en/article/doi/10.15898/j.ykcs.202206180117>.

KEY WORDS: topsoil; inductively coupled plasma-optical emission spectrometry; soil nutrient geochemical comprehensive grade evaluation; land use pattern; soil type; geomorphic type

BRIEF REPORT

Significance: Precision agriculture, as an emerging farm management strategy, is partly tasked with ensuring optimal plant nutrition and proper fertilizer application, including accurate dosage, an appropriate nitrogen (N)-phosphorus (P)-potassium (K) ratio, and efficient storage and distribution of nutrition, while also preventing environmental problems such as soil acidification, the “chemical time bomb” effect, phosphorus load of surface waters, eutrophication, rapid siltation of canals and reservoirs, nitrate pollution of drinking water resources, and the accumulation and mobilization of potential toxic compounds, etc. Western Anhui is an important precision agricultural area in China, characterized by diverse landforms and multiple soil types. We find that the Dabie

Mountain area of Western Anhui exhibits poor soil nutrient levels, particularly within the cultivated lands of the northern region. To ameliorate this, it is advisable to judiciously augment the application of organic fertilizers, nitrogen, and phosphorus. The implementation of a rotational system between paddy and dry fields is suggested for enhanced soil nutrient content. It is also recommended to regulate soil pH through the utilization of matured lime to facilitate increased grain production. Additionally, exploiting potassium-enriched land resources is recommended. This study provides crucial scientific evidence for establishing large-scale, concentrated, and contiguous national commodity grain production bases.

Methods: A total of 1295 topsoil samples (0-20cm) were collected in the Dabie Mountain area of Western Anhui. Soil pH was determined in a 1 : 2.5 ratio of soil to water using a glass electrode. TN and TP were determined using the Kjeldahl method and X-ray fluorescence spectrometry, respectively. K and soil organic matter (SOM) were analyzed by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) and ammonium ferrous sulfate volumetric method, respectively. The comprehensive geochemical grade evaluation of soil nutrients was conducted. The impact factors of these five geochemistry indexes were studied based mainly on the correlation analysis.

Data and Results: The comprehensive geochemical grade evaluation of soil nutrients in the region showed that the overall soil nutrient classifications in the region were medium, accounting for 60.10% of the total area, mainly distributed in the southern parts of Huoshan County and the northeastern forest area of Jinzhai County. The second prevalent category was moderately deficient soil, constituting 25.27%, scattered sporadically in a non-contiguous manner primarily in the northern part of the surveyed area in Yu'an district. Results from the analysis of 5 various indexes indicated that 98.88% of the soils in the study area were acidic, with a significant influence from geomorphic types. TN distribution was mainly medium to rich, significantly affected by soil types. TP content was primarily medium and deficient, with a significant influence from geomorphic types. K content was the most abundant element, with 97.81% having medium or higher content, mainly influenced by geomorphic types. SOM content was primarily medium to relatively deficient, influenced by soil types, land use patterns, and geomorphic types, and shows a highly positive correlation with TN content.

参考文献

- [1] 邓小华, 张瑶, 田峰, 等. 湘西植烟土壤pH和主要养分特征及其相互关系[J]. 土壤, 2017, 49(1): 49-56.
Deng X H, Zhang Y, Tian F, et al. pH and main nutrients of tobacco-growing soils and their relations in Western Hunan[J]. Soils, 2017, 49(1): 49-56.
- [2] 张子璐, 刘峰, 侯庭钰. 我国稻田氮磷流失现状及影响因素研究进展[J]. 应用生态学报, 2019, 30(10): 3292-3302.
Zhang Z L, Liu F, Hou T Y. Current status of nitrogen and phosphorus losses and related factors in Chinese paddy fields[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(10): 3292-3302.
- [3] 陆保国. 霍山县耕地土壤养分现状及施肥对策[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(17): 73-75.
Lu B G. Present situation of soil nutrients and fertilization countermeasures in Huoshan County[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2013, 19(17): 73-75.
- [4] 唐贤, 梁丰, 徐明岗, 等. 长期施用化肥对农田土壤pH影响的整合分析[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(3): 316-321.
- [5] 解庆锋, 周小果, 马振波, 等. 南阳盆地农耕地表层土壤酸碱度现状研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(5): 69-71, 75.
Xie Q F, Zhou X G, Ma Z B, et al. Study on the status of surface soil acidity and alkalinity in agricultural areas of Nanyang Basin[J]. Anhui Agriculture Science, 2021, 49(5): 69-71, 75.
- [6] Eich-Greatorex S, Sogn T A, Øgaard A F, et al. Plant availability of inorganic and organic selenium fertiliser as influenced by soil organic matter content and pH[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2007, 79(3): 221-231.
- [7] 梁俊捷. 气候、地形和土壤性质对我国农田土壤有效钾分布的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2018.
Liang J J. Effects of climate, topography and soil properties on soil available potassium across China[D].

- Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [8] 蒋文惠. 地形和土地利用对山区土壤养分空间变异的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- Jiang W H. Effects of land use and topographic factors on soil nutrients variability in mountain area[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014.
- [9] 王剑, 周琳, 李志伟, 等. 凉山主要植烟土壤类型氮、磷、钾分布特征差异分析[J]. *山西农业科学*, 2012, 40(11): 1191-1194.
- Wang J, Zhou L, Li Z W, et al. Analysis of nitrogen and phosphorus potassium distribution characteristics variance for the main tobacco soil type profile in Liangshan[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2012, 40(11): 1191-1194.
- [10] 张晗, 赵小敏, 欧阳真程, 等. 江西省不同农田利用方式对土壤养分状况的影响[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(6): 53-60.
- Zhang H, Zhao X M, Ouyang Z C, et al. Effectors of different farmland use types on soil nutrients in Jiangxi Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(6): 53-60.
- [11] 朱永青, 崔云霞, 李伟迪, 等. 太滹运河流域不同用地方式下土壤pH值、有机质及氮磷含量特征分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(2): 171-178.
- Zhu Y Q, Cui Y X, Li W D, et al. Analysis of soil pH, organic matter, nitrogen and phosphate characteristics under different land use types in Taige Canal Valley[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(2): 171-178.
- [12] 刁二龙, 曹广超, 曹生奎, 等. 祁连山南坡不同土地利用方式下土壤理化性质及空间变异性分析[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(8): 1864-1871.
- Diao E L, Cao G C, Cao S K, et al. Analysis of soil physical and chemical properties and spatial variability under different land use patterns in southern slope of Qilian Mountains[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(8): 1864-1871.
- [13] 王亚男, 徐梦洁, 代圆凤, 等. 毕节市耕地土壤pH的空间变异特征与影响因素[J]. *土壤*, 2018, 50(2): 385-390.
- Wang Y N, Xu M J, Dai Y F, et al. Spatial characteristics and influential factors of arable soil pH in Bijie, Guizhou[J]. *Soils*, 2018, 50(2): 385-390.
- [14] 王祚林, 陈莉. 六安市农业现代化发展水平评价[J]. *合作经济与科技*, 2019(2): 36-38.
- Wang Z L, Chen L. Evaluation of agricultural modernization development level in Lu'an City[J]. *Cooperative Economy and Technology*, 2019(2): 36-38.
- [15] 张孝存, 崔格冲, 杨丽, 等. 商洛金凤山地区人工林土壤pH值及养分特征分析[J]. *辽宁农业科学*, 2020(3): 9-12.
- Zhang X C, Cui G C, Yang L, et al. Analysis on soil nutrient properties and pH of different forest land in Jinfeng Mountain in Shangluo[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2020(3): 9-12.
- [16] 周子方, 解燕, 易克, 等. 马龙植烟土壤pH值分布特征及其主控因素研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(5): 8-13.
- Zhou Z F, Xie Y, Yi K, et al. Distribution characteristics and influencing factors of pH value in tobacco growing soil in Malong[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(5): 8-13.
- [17] 张驭航, 李玲, 王秀丽, 等. 河南省土壤pH值时空变化特征分析[J]. *土壤通报*, 2019, 50(5): 1091-1100.
- Zhang Y H, Li L, Wang X L, et al. Temporal and spatial variation of soil pH in Henan[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2019, 50(5): 1091-1100.
- [18] 向娇, 宋超, 石迎春, 等. 安徽省六安地区土壤pH空间变异特征及其影响因素[J]. *土壤通报*, 2021, 52(1): 34-41.
- Xiang J, Song C, Shi Y C, et al. Spatial variation characteristics and influencing factors of soil pH in the Lu'an area of Anhui Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(1): 34-41.
- [19] 闫志浩, 胡志华, 王士超, 等. 石灰用量对水稻油菜轮作区土壤酸度、土壤养分及作物生长的影响[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(23): 4285-4295.
- Yan Z H, Hu Z H, Wang S C, et al. Effects of lime content on soil acidity, soil nutrients and crop growth in rice-rape rotation system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(23): 4285-4295.
- [20] 姬王佳. 陕北黄土区深剖面土壤水和氮素来源及其对土地利用变化的响应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- Ji W J. Sources of soil water and nitrogen and their response to land use change in deep deposits of Northern Shaanxi, China[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2021.
- [21] 张洋洋. 白龙江流域土壤碳氮磷含量及空间分布特征研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- Zhang Y Y. Study on contents and spatial distribution characteristics of soil carbon, nitrogen and phosphorus in Bailing River Basin[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2017.
- [22] 李龙, 姚云峰, 秦富仓. 黄花甸子流域土壤全氮、速效磷、速效钾的空间变异[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(2): 373-379.
- Li L, Yao Y F, Qin F C. Spatial variability of soil total nitrogen, available phosphorus and available potassium in Huanghuadianzi Watershed[J]. *Chinese Journal of*

- Ecology, 2015, 34(2): 373–379.
- [23] 顾涛, 朱晓华, 赵信文, 等. 广州新垦莲藕产区莲藕品质与地球化学条件的关系[J]. 岩矿测试, 2021, 40(6): 833–845.
- Gu T, Zhu X H, Zhao X W, et al. Relationship between lotus root quality and geochemical conditions in the Xinken lotus root producing area of Guangzhou[J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(6): 833–845.
- [24] 许春雪, 袁建, 王亚平, 等. 沉积物中磷的赋存形态及磷形态顺序提取分析方法[J]. 岩矿测试, 2011, 30(6): 785–794.
- Xu C X, Yuan J, Wang Y P, et al. Speciation and release mechanism of phosphorus in sediments and analysis methods for sequential extraction[J]. Rock and Mineral Analysis, 2011, 30(6): 785–794.
- [25] 董秋瑶, 赖书雅, 宋超, 等. 南阳盆地东部山区土壤锗分布特征及其影响因素分析[J]. 环境科学, 2022, 43(6): 442–452.
- Dong Q Y, Lai S Y, Song C, et al. Distribution characteristics and influencing factors of germanium in soil in the eastern mountainous area of the Nanyang Basin[J]. Environmental Science, 2022, 43(6): 442–452.
- [26] 王辉. 皖西大别山区土壤磷、硒分布特征及影响因素[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- Wang H. The distribution of phosphorus and selenium and their controlling factors of soils in Dabie Mountain, West Anhui Province[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [27] 夏炎, 宋延斌, 侯进凯, 等. 河南洛阳市土壤和农作物中钼分布规律与影响因素研究[J]. 岩矿测试, 2021, 40(6): 820–832.
- Xia Y, Song Y B, Hou J K, et al. Distribution law and influencing factors of molybdenum in soils and crops in Luoyang, Henan Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 2021, 40(6): 820–832.
- [28] 白娜, 王立, 孔东升. 黑河自然保护区沼泽湿地土壤化学性质的空间分布特征研究[J]. 草业学报, 2017, 26(5): 15–28.
- Bai N, Wang L, Kong D S. Spatial distribution and chemical properties of marsh wetland soil in the Heihe Nature Reserve[J]. Acta Prataculture Sinica, 2017, 26(5): 15–28.
- [29] 郭安廷, 崔锦霞, 许鑫, 等. 基于GIS与地统计的土壤养分空间变异研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(23): 72–79.
- Guo A T, Cui J X, Xu X, et al. Spatial distribution of soil nutrients based on GIS and geostatistics[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(23): 72–79.
- [30] 梁斌, 齐实. 北京山区土壤养分空间变化特征研究[J]. 土壤, 2018, 50(4): 769–777.
- Liang B, Qi S. Spatial distributions of soil nutrients in Beijing mountainous area[J]. Soils, 2018, 50(4): 769–777.
- [31] 杨东伟. 水田改旱作后土壤性态与土壤类型演变研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- Yang D W. Evolution of soil characteristics and soil types after land-use conversion from paddy field to upland[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [32] Dong Q Y, Xiang J, Song C, et al. Spatial distribution characteristics and main controlling factors of germanium in soil of Northern Dabie Mountains, China[J]. China Journal of Groundwater Science and Engineering, 2022, 10(4): 381–392.
- [33] 周殷竹, 王彪, 刘义, 等. 青海囊谦县城周边农耕区土壤质量地球化学评价及富硒土地利用分区[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(10): 93–101.
- Zhou Y Z, Wang B, Liu Y, et al. Geochemical evaluation of soil quality and land-use regionalization of selenium-rich soils in cultivated area around Nangqian County, Qinghai[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(10): 93–101.
- [34] 杨红, 徐唱唱, 赛曼, 等. 不同土地利用方式对土壤含水量、pH值及电导率的影响[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(11): 1922–1927.
- Yang H, Xu C C, Sai M, et al. Effects of land use on soil moisture, pH and electrical conductivity[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(11): 1922–1927.
- [35] 董秋瑶, 温皓天, 宋超, 等. 河南南阳盆地东南耕区表层土壤养分地球化学综合评价及影响因素[J]. 现代地质, 2022, 36(2): 449–461.
- Dong Q Y, Wen H T, Song C, et al. Comprehensive evaluation and influencing factors of surface soil nutrient chemistry in southeastern cultivated area of the Nanyang, Henan Province[J]. Geoscience, 2022, 36(2): 449–461.
- [36] Wang Y, Zhang X, Huang C. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China[J]. Geoderma, 2009, 150(1): 141–149.
- [37] 张阳, 屠乃美, 谢会雅, 等. 茶陵县烟稻复种区土壤养分时空变异特征[J]. 土壤通报, 2021, 52(2): 297–305.
- Zhang Y, Tu N M, Xie H Y, et al. Spatial and temporal variation of soil nutrients in tobacco-rice multiple-cropping area of Chaling[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(2): 297–305.