

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2022.06.006

郭绍义, 王红新, 刘文彬, 等. 升金湖沿湖不同土地利用方式下土壤有机质和养分变化特征. 土壤, 2022, 54(6): 1132–1137.

升金湖沿湖不同土地利用方式下土壤有机质和养分变化特征^①

郭绍义¹, 王红新^{1*}, 刘文彬^{1,2}, 陈 云¹

(1 池州学院材料与环境工程学院, 安徽池州 247000; 2 浙江农林大学土壤污染生物修复重点实验室, 杭州 311300)

摘 要: 为探讨升金湖沿湖不同土地利用方式土壤养分含量特征, 以林地、农田、菜地和草地为研究对象, 测定土壤有机质、pH、C/N 以及氮磷钾元素含量。结果表明: ①4 种土地利用方式下, 土壤 pH 大小顺序为: 农田>草地>林地>菜地, 菜地和林地 pH 均为弱酸性; ②土壤有机质含量顺序为: 菜地>林地>农田>草地, 菜地和林地有机质含量丰富, 农田和草地稍欠缺; 菜地 C/N 最高, 农田 C/N 最低; ③土壤全氮含量顺序为: 菜地>林地>农田>草地; 全磷、全钾含量没有明显差异, 土地利用方式对二者影响不大; 菜地中碱解氮和速效钾含量最高, 农田中有效磷含量最高。本研究结果可为升金湖湖区土地资源的合理利用、保持和提高土壤肥力以及区域生态协调提供参考。

关键词: 土地利用方式; C/N; 土壤有机质; 升金湖

中图分类号: X53 文献标志码: A

Characteristics of Soil Organic Matter and Nutrient Contents Under Different Land Use Types Along Shengjin Lake

GUO Shaoyi¹, WANG Hongxin^{1*}, LIU Wenbin^{1,2}, CHEN Yun¹

(1 College of Materials and Environmental Engineering, Chizhou University, Chizhou, Anhui 247000, China; 2 Key Laboratory of Soil Contamination Bioremediation of Zhejiang Province, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: To explore the characteristics of soil organic matter and nutrient contents under different land use types along the Shengjin Lake, the content of soil organic matter, soil pH, C/N and the contents of nitrogen, phosphorus and potassium under farmland, grassland, forest land and vegetable land were surveyed and determined. The results show that: 1) The order of soil pH value is as follows: farmland>grassland>forest land>vegetable land, and the soils of vegetable land and forest land are weakly acidic. 2) The order of soil organic matter content is as follows: vegetable land>forest land>farmland>grassland. Soil organic matter is rich in vegetable land and forest land while slightly insufficient in farmland and grassland. C/N is the highest in vegetable land while the lowest in farmland. 3) The order of soil total nitrogen content is as follows: vegetable land>forest land>farmland>grassland. There is no significant difference in total phosphorus and total potassium contents among different land use types, indicating land use type has little impact on them. The contents of soil available nitrogen and potassium are the highest in vegetable land, while the content of soil available phosphorus is the highest in farmland. The results of the study can provide scientific references for the rational utilization of soil resources, the maintenance and improvement of soil fertility, and the coordination of ecology in the Shengjin Lake District.

Key words: Land use types; C/N; Soil organic matter; Shengjin Lake

土地利用方式是影响土壤养分的主要人为因素, 土地利用方式合理与否, 对土壤质量的好坏、生物多样性的多寡有重要影响。合理的土地利用方式可以改善土壤结构、降低水土流失程度、提高植物养分的供

给能力。李泽霞等^[1]研究了不同土地利用方式下, 黄土区梯化坡地对土壤理化性质的影响, 指出耕地中速效钾的含量显著高于荒草地。李珊等^[2]以 4 种土地利用方式(荒地、草地、耕地、林地)为研究对象, 探讨

①基金项目: 安徽高校自然科学研究项目(KJ2017A580)、池州学院校级自然重点项目(CZ2018ZRZ01)和安徽省级大学生创新训练计划项目(S202111306064)资助。

* 通讯作者(wanghxx2000@163.com)

作者简介: 郭绍义(1977—), 男, 河北滦南人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为土壤污染与防治。E-mail: jwcsbk2006@163.com

不同土地利用方式对滨海盐碱土基本理化性质的影响,研究表明土壤的全氮和总有机碳含量表现为林地>草地>耕地>荒地。李秀芝等^[3]研究了土地利用方式改变对紫色水稻土不同形态钾演变特征的影响,研究结果表明不同土地利用方式下紫色水稻土表层土壤的全钾含量变化显著。张晗等^[4]研究表明,不同土地利用方式土壤中有机碳、全氮和 C/N 存在显著差异。由此可见,深入研究不同土地利用方式下土壤养分含量变化有助于了解土地利用变化对土壤质量的影响。

升金湖是以保护珍稀水禽为主要目标的国家级自然保护区,也是长三角地区重要的湿地生态系统。1986 年安徽省政府批准建立“升金湖省级水禽自然保护区”,1997 年国务院批准建立“安徽省升金湖国家级自然保护区”,主要保护对象为白头鹤、白鹤、灰鹤等越冬稀有鸟类及淡水湿地生态系统。该保护区以升金湖为主体,由升金湖湖区、沿湖土壤和沿湖滩地组成。沿湖土壤按土地利用方式主要可分为:农田、林地、菜地和草地。近年来,随着本地社会经济的迅速发展,渔业养殖在湖区日渐密集,对不同类型土地的利用强度也有所增加。这些行为对不同土地利用方式下的土壤养分变化、保护区生态环境及自然资源的保护和利用产生一定影响。

目前,对升金湖的研究主要集中在利用遥感影像对土地利用过程中产生的生态风险进行评价,分析重金属以及持久性有机污染物在表层沉积物中的残留特征、土地利用变化及其驱动力以及湖区中栖息鸟类的行为,但有关该区域不同土地利用方式下沿湖土壤有机质和养分含量特征的研究鲜见报道^[5-8]。本研究通过采集并分析不同土地利用方式下升金湖沿湖土壤有机质和养分含量特征,对土壤的养分状况予以合理评估,为湖区土地的合理利用及区域生态协调提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

升金湖自然保护区地理位置在皖南地区的池州市。从气候方面来看,该区域属于亚热带季风气候,有明显的雨季和旱季。升金湖湖区从外向内主要由 3 部分组成:实验区、缓冲区和核心区,总面积三万公顷,面积广阔。在升金湖自然保护区沿湖区域内,农田面积最多,其次是林地,草地主要分布在沿湖范围内。菜地主要是当地农户为满足日常生活所需,在庭院旁边开辟一小块菜地,自给自足。湖区范围内土壤种类较单一,主要包括潮土、水稻土、黄红壤等。近年来,湿地内农业耕作及渔业养殖强度不断增大,生

态环境保护面临更多挑战。

1.2 样品采集与制备

该研究于 2018 年 5 月对升金湖沿湖土壤进行布点采样,采样点位置如图 1 所示。在考虑空间分布均匀性和样点代表性的前提下,在沿湖范围内根据土壤的成土母质、地形地貌、土壤质地、土壤类型等自然条件来选择样地,并利用手持 GPS 记录该样点的经纬度。本次研究共布设 42 个样点,土地利用方式分为农田、林地、菜地和草地 4 种。其中,农田样点 14 个,包括水田 8 个、旱田 6 个,水田种植水稻,旱田主要种植油菜、玉米和大豆;林地样点共 12 个,主要有毛竹、构树、香樟、水杉等树种;菜地样点 8 个,主要种植豆角、茄子、空心菜、小青菜等蔬菜;草地样点 8 个,植被长势较好,主要以禾本科、苔草类为主,草地盖度大于 80%。采样时设置大小为 20 m × 20 m 的地块,应用蛇形采样法取 5 个点作为一个混合样品,深度 0 ~ 20 cm,利用四分法保留 1 kg。然后将样品运回实验室,剔除碎石子、植物凋落物等杂质,自然风干,最后过 1 mm 和 0.149 mm 孔筛,用于土壤养分的测定。

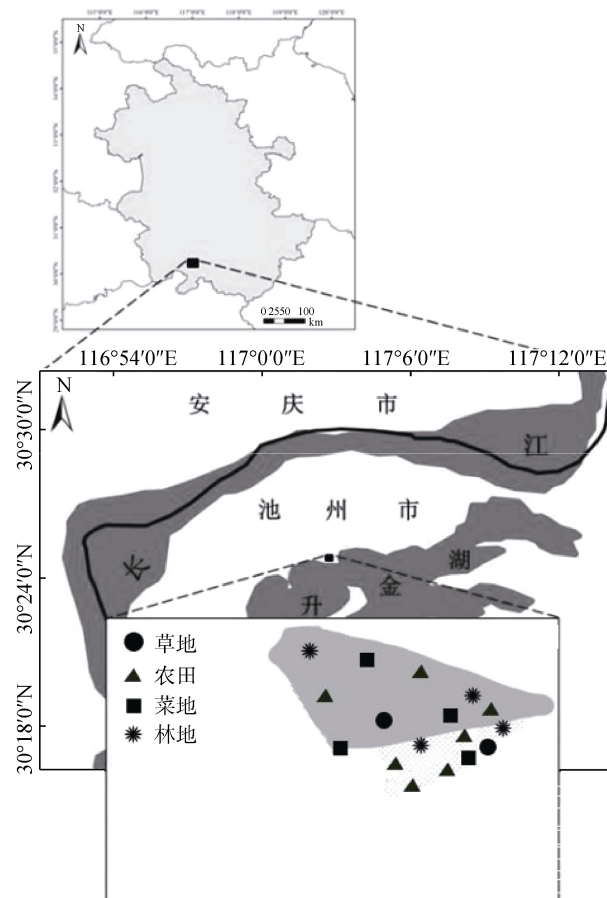


图 1 升金湖沿湖土壤采样点位置图

Fig. 1 Location of soil sampling sites along Shengjin Lake

1.3 样品测定与分析

土壤酸碱度采用 pH 计测定；有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法测定；全氮含量采用半微量凯氏定氮法测定；全磷含量采用碱熔-钼锑抗比色法测定；全钾含量采用碱熔法测定；碱解氮含量采用碱解扩散法测定；有效磷含量采用 Olsen 法测定；速效钾含量采用醋酸铵浸提法测定^[9]。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤 pH

升金湖沿湖不同土地利用方式下土壤样品的 pH 见表 1。4 种土地利用方式下土壤 pH 介于 5.77 ~ 7.04，其中农田的 pH 最高，为 7.04，其次是草地，为 6.51，研究区土壤 pH 由酸性至中性均有分布。林地土壤 pH 的变化范围最大，为 5.41 ~ 7.20，菜地土壤变化最小，为 5.07 ~ 6.22。林地 12 个采样点中，11 个采样点的 pH 为 5.41 ~ 6.23，仅有 1 个样本为 7.20，表明林地的表层土壤已明显酸化。根据菜地土壤的酸碱度分级标准，菜地的 8 个采样点 pH 均为酸性，其中 3 个采样点为酸性，5 个为弱酸性，表明菜地土壤酸化程度加剧^[10]。各土地利用方式下土壤的 pH 变异系数均属于弱变异^[11-12]。

表 1 不同土地利用方式下土壤 pH
Table 1 Soil pH values under different land use types

土地利用方式	平均值	范围	标准差	变异系数(%)
农田	7.04	6.24 ~ 7.51	0.45	6.40
草地	6.51	6.03 ~ 7.21	0.44	6.78
林地	5.98	5.41 ~ 7.20	0.47	7.90
菜地	5.77	5.07 ~ 6.22	0.44	7.60

2.2 不同土地利用方式下土壤有机质、全氮含量及 C/N

4 种土地利用方式下土壤有机质、全氮含量及 C/N 变化如表 2 所示。菜地土壤有机质含量最高，为 30.41 g/kg，草地最低，为 13.17 g/kg。林地土壤有机质含量变化范围最大，为 15.27 ~ 40.12 g/kg，草地最小，为 8.51 ~ 18.12 g/kg。从变异系数来看，草地最高，为 55.4%，菜地最低，为 22.3%，4 种土地利用方式下，土壤有机质的变异程度均为中等程度变异。

就土壤全氮含量来看，菜地土壤全氮含量最高，为 1.63 g/kg，草地最低，为 0.84 g/kg；菜地土壤全氮含量变化范围最大，为 0.85 ~ 2.15 g/kg，草地最小，为 0.50 ~ 1.39 g/kg。另外，4 种土地利用方式下，菜地土壤 C/N 最高，林地和草地次之，农田最低；其

中，林地 C/N 的变异系数最高，农田最低，但都属于中等程度变异。

表 2 不同土地利用方式下土壤有机质、全氮含量及 C/N
Table 2 Soil organic matter, total nitrogen contents and C/N under different land use types

指标	土地利用方式	平均值	范围	标准差	变异系数(%)
有机质 (g/kg)	农田	15.31	9.80 ~ 22.80	4.61	30.1
	草地	13.17	8.51 ~ 18.12	7.23	55.4
	林地	25.46	15.27 ~ 40.12	10.49	41.2
	菜地	30.41	20.81 ~ 40.51	6.77	22.3
全氮 (g/kg)	农田	0.97	0.52 ~ 1.80	0.31	31.8
	草地	0.84	0.50 ~ 1.39	0.28	32.9
	林地	1.37	0.93 ~ 1.93	0.36	26.0
	菜地	1.63	0.85 ~ 2.15	0.38	23.7
C/N	农田	9.23	7.37 ~ 10.96	9.23	11.4
	草地	9.50	6.48 ~ 13.61	9.50	28.0
	林地	10.47	4.94 ~ 20.87	6.37	54.3
	菜地	11.01	9.38 ~ 14.20	4.21	36.7

2.3 不同土地利用方式下土壤全磷、全钾含量

由表 3 可以看出，4 种不同土地利用方式下，农田土壤全磷含量最高，为 0.98 g/kg，其次是菜地和林地，分别为 0.93、0.83 g/kg，草地土壤全磷含量最低，为 0.78 g/kg。草地土壤全钾含量最高，为 30.57 g/kg，菜地最低，为 25.71 g/kg；其中，林地土壤全钾含量变化范围最大，为 20.62 ~ 38.62 g/kg，农田最低，为 23.61 ~ 32.80 g/kg；从土壤中全钾含量的变异系数来看，林地最高，为 18.11%，农田最低，为 11.1%。

表 3 不同土地利用方式下土壤全磷、全钾含量
Table 3 Soil total phosphorus and total potassium contents under different land use types

指标	土地利用方式	平均值	范围	标准差	变异系数(%)
全磷 (g/kg)	农田	0.98	0.64 ~ 1.51	0.30	29.7
	草地	0.78	0.64 ~ 1.04	0.13	16.6
	林地	0.83	0.63 ~ 1.59	0.27	33.0
	菜地	0.93	0.59 ~ 1.26	0.19	20.4
全钾 (g/kg)	农田	27.22	23.61 ~ 32.80	3.03	11.1
	草地	30.57	25.36 ~ 41.53	5.05	16.5
	林地	28.68	20.62 ~ 38.62	5.19	18.11
	菜地	25.71	19.99 ~ 30.92	3.40	13.2

2.4 不同土地利用方式下土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量

4 种土地利用方式下土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量变化如表 4 所示。菜地土壤碱解氮含量最高，

表 4 不同土地利用方式下土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量

Table 4 Soil available nitrogen, available phosphorus and available potassium contents under different land use types

指标	土地利用方式	平均值	范围	标准差	变异系数(%)
碱解氮 (mg/kg)	农田	45.05	35.04 ~ 53.49	5.75	12.8
	草地	35.20	24.83 ~ 46.91	8.23	23.4
	林地	47.02	39.55 ~ 58.58	6.71	14.3
	菜地	63.12	47.12 ~ 80.32	11.22	17.8
有效磷 (mg/kg)	农田	21.77	17.49 ~ 24.79	2.05	9.4
	草地	11.70	9.70 ~ 14.65	2.1	17.9
	林地	10.53	8.15 ~ 16.59	2.31	21.9
	菜地	12.45	8.42 ~ 17.19	2.64	21.2
速效钾 (mg/kg)	农田	93.48	60.12 ~ 130.62	28.08	30.0
	草地	117.36	81.21 ~ 140.49	23.13	19.7
	林地	105.25	77.0 ~ 141.30	24.9	23.6
	菜地	140.25	124.40 ~ 161.95	11.23	8.0

为 63.12 mg/kg，草地最低，为 35.2 mg/kg；菜地土壤碱解氮含量变化范围最大，为 47.12 ~ 80.32mg/kg，农田最小，为 35.04 ~ 53.49 mg/kg。有效磷含量在不同土地利用方式土壤中与碱解氮规律不同，农田中有效磷含量最高，为 21.77 mg/kg，林地中有效磷含量最低，为 10.53 mg/kg；从变化范围来看，菜地变化范围最大，为 8.42 ~ 17.19 mg/kg，草地变化范围最小，为 9.7 ~ 14.65 mg/kg。由表 4 可以看出，速效钾含量在菜地中最高，为 140.25 mg/kg，农田中最低，为 93.48 mg/kg；农田中速效钾变化范围最大，为 60.12 ~ 130.62 mg/kg，菜地中最低，为 124.40 ~ 161.95 mg/kg。从变异系数来看，不同土地利用方式下土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量的变异程度都不高，除菜地速效钾含量为弱变异外，其余均为中等程度变异。

3 讨论

以土壤有机质含量 20.00 g/kg 作为丰缺标准，在本研究中，菜地和林地的有机质含量超过了 20.00 g/kg，分别为 30.41 g/kg 和 25.46 g/kg。菜地有机质含量最高，究其原因主要是受人为因素的影响。当地气候湿润多雨，蔬菜生长基本不受季节和气温的限制，一年可以多次种植。因此，种植户往往多施农家肥或有机肥料，不断提高地力以保证蔬菜产量，这与前人的研究结论相同^[13]。与农田相比，林地的凋落物较丰富，碳素向土壤的输入较多，对土壤碳库是非常有益的补充，故有机质含量也较高。农田作为人为扰动较多的土地利用方式，有机质含量较低的原因可能是频繁的表土耕作导致土壤团聚体颗粒间的胶结作用被破坏，

进而使土壤的保水保肥能力降低，故有机质的分解加快^[14]。同时，农田中大部分作物收获后被移出，只有少量凋落物还田，这也导致农田的有机质含量较低。

本研究中，菜田土壤的 pH 为 5.77，低于农田的 pH 7.04，有明显酸化趋势。根据实地走访调查，发现菜地 pH 偏低可能主要与当地的施肥习惯有关。由于菜地复种指数高，需肥量大，为降低成本，大多数农户施用腐熟或半腐熟的农家肥。农家肥属于强酸性肥料，pH 范围为 3.6 ~ 4.7，施用时需要调节其酸碱度，但当地农户都是直接施用。农家肥施用后，在腐熟与分解过程中会产生各种有机酸，造成土壤 pH 偏低。同时，农户为了使蔬菜增产，在蔬菜生长季节农户还大量使用复合肥，其主要成分包括硫酸铵、过磷酸钾以及氯化钾等。当氮、磷、钾等营养成分被蔬菜吸收利用后，残留在土壤中的硫酸根、氯离子等酸根离子加快了土壤酸化的进程，这与马群和赵庚星^[15]的研究结果一致。王东升等^[16]研究表明：化肥减施条件下，配施氨基酸叶面肥，可以明显提升鲜食玉米产量，有效提高肥料的农学利用率。鉴于此，建议农户在种植蔬菜时少施化肥，合理配施叶面肥，以降低化肥投入，减缓土壤酸化。韩沛华等^[17]通过对长三角地区设施蔬菜种植施肥情况的研究也提出了类似建议。另外，林地的 pH 为 5.98，也呈酸性。林地土壤表层有丰富的林木凋落物和果实，这些物质在腐烂后会生成各种有机酸进入土壤，从而导致林地土壤的 pH 降低。这与邱莉萍和张兴昌^[18]的研究结论一致。

氮素是土壤中最重要养分指标，也是植物生长发育所需的大量元素。土壤中氮素含量受人为因素的影响比较大，例如土地利用方式、耕作方式(连作或者轮作)、施肥习惯等^[19]。以土壤全氮含量是否超过 1.00 g/kg 作为丰缺指标，菜地和林地超过此标准，草地全氮含量最低，仅为 0.84 g/kg。按当地的种植习惯，在菜地上收获蔬菜后，蔬菜的老叶或者不能食用的根茎全部还田；另外，农民经常施用农家肥以不断补充地力，故菜地的全氮含量较高。在现场采样时发现，草地有两个采样点被动物啃食，植被较少，土壤透气性良好。在这种情况下，土壤表层的有机质分解速率提高，在降水的协助下通过淋溶进入深层土壤，产生氮素淋失。同时，草地由于放牧，部分生物量不能归还到土壤基质中，导致氮素含量偏低。

4 种土地利用方式下，土壤 C/N 的变化范围为 9.23 ~ 11.01，均小于 15。其中，菜地土壤最高，农田最低。与农田相比，菜地土壤的 C/N 增加了 1.95 个单位，有机质增加了 15.1 g/kg，全氮增加了 0.66 g/kg。

菜地土壤有机质含量是农田的 1.99 倍,全氮含量是农田的 1.68 倍。由此可以看出,菜地土壤 C/N 高于农田是因为菜地有机质含量的增速高于全氮含量的增速。因此,菜田土壤碳的投入比例比氮高可能是菜田 C/N 升高的重要原因。本研究中,林地和草地土壤的 C/N 也高于农田。其原因可能与不同土地利用方式下碳氮在土壤中的积累速度以及不同植物的木质素含量不同有关,这与前人的研究结果相似^[20-22]。采样的草地由于遭到动物啃食,导致部分生物量不能归还到土壤中,故草地的 C/N 偏低。这与张春华等^[23]、徐国策等^[24]的研究结果相似。另外,林地的 C/N 变异系数最高,可能与林地不同树种的碳氮积累量变化比较大有关。

按土壤养分含量丰缺标准,土壤中碱解氮含量小于 100 mg/kg 为缺乏,含量介于 100 ~ 200 mg/kg 为中等,大于 200 mg/kg 为含量丰富^[25]。本研究中 4 种土地利用方式下土壤中碱解氮含量都远小于 100 mg/kg,处于极度缺乏状态。原因可能是菜地和农田施肥的肥料结构不合理,含氮肥料施用量较少,同时作物收获时相当一部分氮素被带走,造成碱解氮含量偏低,这与郭巨先等^[26]的研究结论相似。另外,研究中发现,草地和林地的碱解氮含量也很低。草地和林地中的有效态氮含量主要来源于树木和杂草的枯枝落叶。因此,推测升金湖湖区的林地中存在砍伐枯木的情况。在草地的样点采样时,发现草地有明显的放牧迹象。因此,有必要加强林地和草地的自然封育,减少对其造成的扰动。

按全国第二次土壤普查结果,土壤有效磷的含量等级划分:5 ~ 10 mg/kg 为稍欠缺,10 ~ 20 mg/kg 为中等,20 ~ 40 mg/kg 为含量稍丰。根据此等级划分,4 种土地利用方式下土壤中有效磷含量范围在 11 ~ 22 mg/kg,其中农田含量最高,为 21.77 mg/kg。有研究表明,土壤中有效磷含量的高低主要与人为活动有关,如大量施用磷肥、农家肥等,这与当地农户的施肥习惯一致^[27]。严正娟等^[28]研究发现,动物粪便中含有大量磷,适量施用农家肥,既可减少化肥施用过多引起的土壤板结,也可避免由于粪肥随意排放造成的水体面源污染。因此,农田土壤中有效磷含量高与人为的施肥活动有关,这与高君亮等^[29]的研究结果一致。

速效钾作为土壤钾素的一个重要组成部分,能被植物直接吸收利用,其含量的高低能反映土壤供应植物生长所需钾素的情况^[30]。速效钾含量按在土壤中的丰缺状态可分为 4 个等级:<80 mg/kg 为严重缺钾,

80 ~ 125 mg/kg 为缺钾,125 ~ 155 mg/kg 为适中,>155 mg/kg 为富钾^[31]。4 种土地利用方式下土壤速效钾的含量范围为 90 ~ 140 mg/kg。从土壤速效钾含量的划分标准来看,菜地的速效钾含量适中(140.25 mg/kg),适合作物生长。根据当地的种植习惯,菜地一年种植多茬蔬菜,收获后相当一部分钾素随蔬菜带走。因此,菜地能保持较高的速效钾含量应该和农户施钾肥量较大有密切的关系,这 and 实际调研中了解的情况一致。除菜地外,草地、林地和农田土壤中都存在不同程度的缺钾问题,尤其是农田。当地一年种植两季作物,农作物成熟收割后,土壤中相当一部分钾被带走。因此,农田更应该适当增施速效钾肥料,以维持土壤中一定量的速效钾含量。

4 结论

升金湖沿湖不同土地利用方式下土壤以酸性为主,农田和草地有机质含量偏低。4 种土地利用方式下土壤全磷含量差异不大,碱解氮含量偏低,有效磷含量中等;除菜地速效钾含量较高外,其余均含量较低。建议农田耕作时应合理施肥,尤其是适当施用氮肥,以不断增加土壤养分含量,提升土壤肥力。菜地施用农家肥前应先腐熟,可适当配施叶面肥。草地应适当减少放牧,林地适当封山育林,减少人为扰动,以有利于有机质积累

参考文献:

- [1] 李泽霞,董彦丽,马涛.黄土区梯化坡地不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J].水土保持通报,2020,40(3): 43-49.
- [2] 李珊,杨越超,姚媛媛,等.不同土地利用方式对山东滨海盐碱土理化性质的影响[J].土壤学报,2022,59(4): 1012-1024.
- [3] 李秀芝,胡聪月,杨帆,等.土地利用方式改变对紫色水稻土不同形态钾演变特征的影响[J/OL].土壤学报,https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20211228.1428.002.html
- [4] 张晗,欧阳真程,赵小敏,等.江西省不同农田利用方式对土壤碳、氮和碳氮比的影响[J].环境科学学报,2018,38(6): 2486-2497.
- [5] 李胜生,谭浩,陈园园,等.升金湖湿地保护区表层沉积物中持久性有机污染物残留特征[J].安徽农业科学,2018,46(12): 69-73,117.
- [6] 盛书薇,董斌,李鑫,等.升金湖国家自然保护区土地利用生态风险评价[J].水土保持通报,2015,35(3): 305-310.
- [7] 叶小康,董斌,陈凌娜,等.升金湖湿地土地利用变化及其驱动力[J].福建农林大学学报(自然科学版),2018,47(2): 229-235.

- [8] 张明真, 周军, 葛方, 等. 升金湖国家级自然保护区湖泊沉积物重金属分布及污染评价[J]. 生态科学, 2019, 38(1): 9–16.
- [9] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [10] 官利兰, 张新明, 徐鹏举, 等. 广东省典型菜地土壤肥力调查与质量评价[J]. 广东农业科学, 2013, 40(14): 81–84.
- [11] 周文麟, 李仁英, 岳海燕, 等. 南京江北地区菜地土壤重金属污染特征及评价[J]. 大气科学学报, 2009, 32(4): 574–581.
- [12] 樊燕, 王伟, 刘洪斌. 土壤重金属与土壤理化性质的空间变异及研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, 32(4): 58–63.
- [13] 李慧, 王芳, 赵庚星, 等. 黄泛平原区不同土地利用方式下的土壤养分状况分析[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 154–158.
- [14] 王俊, 李强, 任禾, 等. 吉林省西部不同耕作模式下秸秆还田土壤团聚体特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(4): 603–612.
- [15] 马群, 赵庚星. 集约农区不同土地利用方式对土壤养分状况的影响[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1834–1844.
- [16] 王东升, 黄忠阳, 吴旭东, 等. 不同施肥对鲜食玉米生长及肥料农学利用率的影响[J]. 土壤, 2021, 53(2): 299–304.
- [17] 韩沛华, 闵炬, 诸海焘, 等. 长三角地区设施蔬菜施肥现状及土壤性状研究[J]. 土壤, 2020, 52(5): 994–1000.
- [18] 邱莉萍, 张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响[J]. 自然资源学报, 2006, 21(6): 965–972.
- [19] 张晗, 欧阳真程, 赵小敏. 不同利用方式对江西省农田土壤碳氮磷生态化学计量特征的影响[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3): 939–951.
- [20] 马玉红, 郭胜利, 杨雨林, 等. 植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 97–105.
- [21] O'Brien S L, Jastrow J D, Grimley D A, et al. Moisture and vegetation controls on decadal-scale accrual of soil organic carbon and total nitrogen in restored grasslands[J]. Global Change Biology, 2009, 16(9): 2573–2588.
- [22] 张彦军, 郭胜利, 南雅芳, 等. 黄土丘陵区小流域土壤碳氮比的变化及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1214–1223.
- [23] 张春华, 王宗明, 居为民, 等. 松嫩平原玉米带土壤碳氮比的时空变异特征[J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1407–1414.
- [24] 徐国策, 李占斌, 李鹏, 等. 丹江鹦鹉沟小流域土壤总氮空间变异特征研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 59–63.
- [25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] 郭巨先, 陈琼贤, 曹健, 等. 广东主要菜田土壤养分状况及施肥建议[J]. 中国蔬菜, 2010(8): 41–45.
- [27] 马琨, 马斌, 何宪平, 等. 宁夏南部山区不同土地类型土壤养分的分布特征研究[J]. 农业科学研究, 2006, 27(2): 1–5, 14.
- [28] 严正娟, 陈硕, 王敏锋, 等. 不同动物粪肥的磷素形态特征及有效性分析[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(1): 31–39.
- [29] 高君亮, 罗凤敏, 高永, 等. 阴山北麓不同土地利用类型土壤养分特征分析与评价[J]. 草业学报, 2016, 25(4): 230–238.
- [30] 万盼, 黄小辉, 熊兴政, 等. 农药施用浓度对油桐幼苗生长及土壤酶活性、有效养分含量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(1): 73–80.
- [31] 李灵. 南方红壤丘陵区不同土地利用的土壤生态效应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.