

doi: 10.11720/wtyht.2023.1589

胡庆海,李俊华,王学求,等.河北省永清县农耕地土壤肥力主要指标现状评价[J].物探与化探,2023,47(6):1611-1619. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1589>

Hu Q H, Li J H, Wang X Q, et al. Evaluation of the primary soil fertility indices for the agricultural area of Yongqing County, Hebei Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(6): 1611-1619. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.1589>

河北省永清县农耕地土壤肥力主要指标现状评价

胡庆海^{1,2}, 李俊华^{1,3}, 王学求^{1,2}, 羿明璇³, 吴慧^{1,2}, 田密^{1,2}

(1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所 自然资源部地球化学探测重点实验室, 河北 廊坊 065000; 2. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北 廊坊 065000; 3. 中国地质调查局 廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊 065000)

摘 要:永清县作为京津冀地区重要的无公害蔬菜生产基地,保障该区域食品安全具有重要意义。但由于缺乏对永清县土壤肥力状况系统而全面的评价工作,制约了绿色食品产业的可持续发展。本次研究系统采集了全县范围内耕作层(0~20 cm)土壤样品共 338 件,其中旱地 155 件、菜地 84 件、园地 99 件,分析测定有机质、全氮、有效磷和速效钾共 4 种土壤养分要素。结果表明,永清县耕作层土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾平均含量依次为 5.29×10^{-3} 、 0.78×10^{-3} 、 41.8×10^{-6} 、 197×10^{-6} ;土壤肥力方面总体表现为有机质、全氮缺乏,有效磷、速效钾较为丰富;依据国家农业行业标准《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021),对该县土壤的肥力状况进行分级评价,土地利用类型为旱地、菜地、园地的土壤,其有机质和全氮含量大多处于Ⅲ级水平,有效磷和速效钾含量均以Ⅰ级水平为主;养分含量在空间分布上存在明显差异,西南区域的龙虎庄乡、刘街乡、养马庄乡等乡镇的土壤养分含量普遍高于东北区域的曹家务乡、韩村镇、里澜城镇等乡镇。为了更好地发展绿色食品产业,永清县应按照土地利用类型和实际种植情况,并考虑土壤质地、自然地理等因素,因地制宜地进行科学、合理的培肥,如增施有机肥和氮肥以提高土壤有机质和全氮含量,对缺乏有效磷和速效钾的土壤增施磷肥、钾肥,对富集有效磷和速效钾的土壤,则应该控制磷肥和钾肥的施用量。

关键词:永清县; 绿色食品; 土壤肥力; 土地利用类型; 评价

中图分类号: X53/P596

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2023)06-1611-09

0 引言

土壤肥力质量代表着土地提供植物养分和产生生物物质的能力,是土壤质量的重要内涵^[1]。土壤质量不仅影响农产品的品质,还可以直接或间接影响人体健康。较高的土壤肥力水平可以提升农作物的产量和质量,是绿色食品持续健康发展的必要保障。通常情况下,土壤肥力指标包括土壤化学指标、土壤物理指标、土壤生物指标和土壤环境条件^[2],其中,土壤养分指标中有机质、全氮、有效磷和速效

钾等受人类耕作影响较大,且能够准确反映土壤质量和评价土壤肥力水平^[3]。这些养分在植物的生长发育过程中发挥着重要的作用,如有机质通过矿质化过程释放植物所需的大量营养元素和某些微量元素;氮元素则是植物细胞中蛋白质和核酸的主要成分,还是叶绿素、酶和多种维生素的基本成分^[4];有效磷为土壤中可被植物吸收和利用磷的总称,其可参与植物的光合作用、呼吸作用以及糖、油脂等物质的合成与转化过程^[4];速效钾则为土壤中易被植物吸收和利用的钾素,可以改善植物细胞膜和细胞

收稿日期: 2022-11-27; 修回日期: 2023-03-15

基金项目:河北省重大科技成果转化专项(19057411Z);国家自然科学基金青年基金项目(41903025、41803048);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(AS2022P03);中国地质调查局地质调查项目(DD20221807);物化探所中央财政科研项目结余资金项目(JY202106);“化学地球”大科学计划(CHEMICAL EARTH)

第一作者:胡庆海(1989-),男,工程师,主要从事环境地球化学等研究工作。Email: huqinghai0616@foxmail.com

通讯作者:王学求(1963-),男,研究员,主要从事应用地球化学和全球地球化学基准研究工作。Email: wxueqiu@mail.cgs.gov.cn

质的生理状态^[4]。总之,相比于全磷和全钾含量只能体现土壤中磷和钾所具有的全部潜力,有效态(有效磷和速效钾)的含量更能直接反映当前土壤相应养分元素的丰缺,与作物生长密切相关。如果土壤养分发生缺失将会导致植物的生命活动受限、抗性减弱^[5-6]。长期耕作使得植物源源不断的从土壤中吸收养分,容易造成土壤肥力下降。但是,过量施肥也会危害植物健康,引起土壤次生盐渍化,还会污染大气和地下水环境^[7-9]。科学合理的施肥能够使得土地养分的供给水平处在最佳状态,并减少对环境的污染。

土壤肥力评价方法包含内梅罗指数法、地统计学法、主成分分析法、聚类分析法和因子分析法等一些综合评价方法,其直接影响着评价结果的正确性、客观性和指导性^[2]。依据 2021 年最新国家农业行业标准《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)^[10],影响绿色食品产地中土壤肥力等级划分的指标为有机质、全氮、有效磷和速效钾。因此,开展土壤肥力水平(有机质、全氮、有效磷和速效钾)的研究和评价,是了解一个地区土地肥力现状的重要途径,有助于指导农民进一步优化施肥措施,实现绿色可持续发展。

河北省廊坊市永清县是京津冀地区重要的无公害蔬菜生产基地,蔬菜种植品种达 120 多个,年产各类蔬菜 180 万 t,产值超过 38 亿元,蔬菜产业已经成为该县的支柱产业。永清县蔬菜产业发展势头良好,存在着广阔的发展空间^[11-12]。另外,永清县也向京津冀地区输送着大量的粮食、水果等农产品,为保障京津冀地区食品安全做出了巨大贡献。随着生活水平的不断提高和饮食理念的转变,人们越来越关注食品的营养和安全。绿色食品指的是优质、安全、无污染的食品,土壤养分的等级水平可以衡量产地是否可以持续发展绿色食品。以往工作缺乏对永清县土壤肥力状况的系统全面了解,只对部分乡村进行过少量研究^[13-14],本文选择河北省廊坊市永清县为研究区,旨在查明土壤养分的含量和空间分布特征,并依据《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)^[10],对永清县土地利用类型为旱地、菜地和园地的耕作层土壤肥力状况进行评价与研究,为以后的土壤培肥提供科学依据。

1 样品与方法

1.1 研究区概况

永清县是河北省廊坊市“南五县”北端的县级

行政单元^[15],地理位置介于东经 116°22′~116°43′,北纬 39°07′~39°28′之间,地处京畿重地。县域面积 776 km²,下辖永清镇等五镇、九乡、一个省级开发区,共计 386 个行政村。永清县属北温带亚湿润气候区,属大陆性季风气候,四季分明,光热资源充足,雨热同季,有利于农作物生长。地质构造属燕山褶皱断带,基底为太古潜山丘。县境处于永定河冲积扇前缘地带,为永定河冲洪沉积物、堆积物形成的微倾斜平原,永定河故道由西北向偏东贯穿全县^[16]。永清县境内有包括潮土、褐性土在内的 5 种土类,其中潮土面积占土地总面积的 96%。现有耕地面积 61.4 万亩。同时,永清县作为蔬菜种植大县,全县蔬菜种植品种包括黄瓜、番茄、速生菜、胡萝卜等,粮食作物以玉米、小麦为主,水果品种植包括葡萄、梨、桃等,县域境内的南部、西部和北部部分乡镇为蔬菜集中种植区^[12]。

1.2 样品采集与处理

土壤样品点的布设充分考虑样点的代表性,采用网格和土地利用方式相结合的原则布点,从而保证样品在空间上分布相对均匀,并且确保样点主要分布在农用地,但同时兼顾用地类型。布设底图以全国第二次土地调查的土地利用现状为主,参考卫星图像。野外工作于 2020~2021 年在永清县按照梅花点法共采集表层(0~20 cm)土样 412 件,其中旱地、菜地和园地土样共 338 件(如图 1 所示)。采集时将各分样点土壤掰碎,挑出根系、石块、虫体等杂物,充分混合后,四分法留取 1~2 kg 装入样品袋。野外样品采集后,及时梳理登记,并在通风无污染的环境中晾晒,晾晒过程中适时翻动、敲碎以加速干燥。经过初步处理后,过 10 目尼龙筛,称重后混匀,送实验室做进一步的分析测试。土壤样品的采集和加工流程、防污染措施等执行《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^[17]相关规定。

1.3 样品分析测试

分析测试工作均在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室完成。实验分析采用国家标准检测方法,依据《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)^[10]中规定的有关检验方法进行。其中土壤有机质的测定是在外加热条件下,用过量的重铬酸钾—硫酸溶液氧化试管中风干试样的有机碳,多余的重铬酸钾用硫酸亚铁标准溶液滴定,由消耗的重铬酸钾量按氧化校正系数计算出有机碳量,最后乘以 1.724 得出^[18]。全氮含量的测定采用凯氏法,主要分析步骤包括消解、蒸馏和滴定,分析

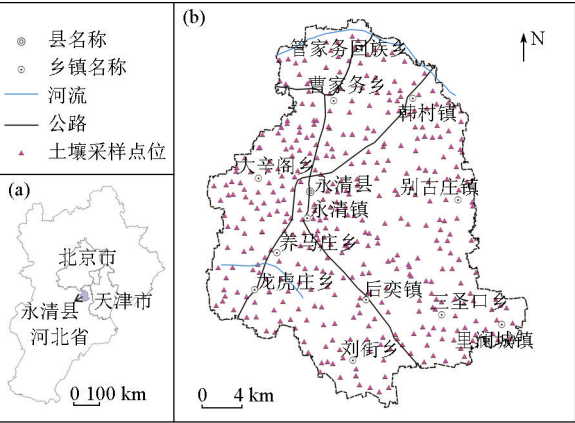


图1 永清县区域位置(a)及土壤肥力调查点位分布(b)
Fig.1 Regional location (a) and distribution of soil fertility survey sites (b) in Yongqing County

过程严格控制消解和蒸馏时的温度^[19]。有效磷的分析,对于酸性土壤,采用氟化铵—盐酸浸提法;对于碱性土壤,采用碳酸氢钠浸提法,浸提液中的磷用

表1 绿色食品产地土壤肥力分级标准

Table 1 Soil fertility grading standard of green food production area

土壤养分要素	有机质/ 10^{-3}			全氮/ 10^{-3}			有效磷/ 10^{-6}			速效钾/ 10^{-6}		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
旱地	>15	10~15	<10	>1.0	0.8~1.0	<0.8	>10	5~10	<5	>120	80~120	<80
菜地	>30	20~30	<20	>1.2	1.0~1.2	<1.0	>40	20~40	<20	>150	100~150	<100
园地	>20	15~20	<15	>1.0	0.8~1.0	<0.8	>10	5~10	<5	>100	50~100	<50

1.5 数据处理

采用 ArcGIS 和 Excel 2016 等软件对数据进行统计分析,再用 ArcGIS 软件中地学统计模块中 Kriging 插值法绘制相应地球化学图件。

2 结果分析

2.1 永清县土壤肥力现状

永清县耕作层土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾含量变化范围(平均值)依次为 $(0.91\sim13.5)\times10^{-3}$ 、 $(0.09\sim3.18)\times10^{-3}$ 、 $(0.39\sim554)\times10^{-6}$ 、 $(41.8\sim1439)\times10^{-6}$ 。根据永清县粮食、蔬菜和水果种植情况,可将评价区土地利用类型大体分为旱地、菜地和园地3类。旱地主要种植以小麦、玉米为主的粮食作物,菜地则包括黄瓜、豆角、白菜、萝卜、西红柿等,园地主要种植以葡萄、桃、梨为主的水果。其中旱地采样点数155个,菜地84个,园地99个。对不同土地利用类型的土壤养分数据进行了整理和统计(表2),以便进一步了解永清县土壤肥力现状。

根据分析结果可知,土地利用类型为旱地的土

钼锑抗比色法测定^[20]。速效钾采用中性乙酸铵溶液浸提剂,将风干土样加入浸提瓶中,加入乙酸铵溶液制备待测液,采用火焰光度计法测定^[21]。

有机碳、全氮、有效磷、速效钾4种化学组分检出限依次为 $1\,000\times10^{-6}$ 、 20×10^{-6} 、 0.25×10^{-6} 、 1.25×10^{-6} 。GSS4、GSS17、GSS37和GSS41作为有机碳和全氮的外部标准物质,AR3和ARA8作为有效磷和速效钾的外标参与数据质量检测,标准物质和重复样合格率均为100%,表明分析数据质量可靠。

1.4 评价方法

永清县土壤样品的土地利用类型包括旱地、菜地、园地和林地,本文土壤肥力评价主要以《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)^[10]中的旱地、菜地和园地标准作为评价指标进行评价,并参考全国第二次土壤普查土壤养分分级标准和《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^[17]进行土壤养分含量特征的研究(表1)。

壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾含量变化范围(平均值)依次为 $(1.54\sim12.6)\times10^{-3}$ 、 $(0.09\sim1.7)\times10^{-3}$ 、 $(0.69\sim320)\times10^{-6}$ 、 $(22.5\sim857)\times10^{-6}$ 。菜地土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾含量变化范围(平均值)依次为 $(0.91\sim13.5)\times10^{-3}$ 、 $(0.37\sim3.2)\times10^{-3}$ 、 $(3.63\sim554)\times10^{-6}$ 、 $(89.4\sim1439)\times10^{-6}$ 。园地土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾含量变化范围(平均值)依次为 $(1.42\sim11.5)\times10^{-3}$ 、 $(0.12\sim3)\times10^{-3}$ 、 $(50.2\sim1081)\times10^{-6}$ 、 $(174\sim500)\times10^{-6}$ 。前人已对河北省耕作层土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾含量状况(2014年)进行了调查研究,平均值分别为 15.5×10^{-3} 、 0.87×10^{-3} 、 22.1×10^{-6} 、 116×10^{-6} ^[5]。相比河北省全省耕层土壤而言,永清县土壤有机质含量显著偏低,全氮含量略低,而有效磷和速效钾的含量则较高。

永清县旱地、菜地和园地的土壤养分含量在空间上存在明显变化。变异系数是评价土壤元素空间变异性的的重要参数,从表2中可以看出,土壤养分的变异系数均在中等及以上。有效磷的变异系数都在

100%以上,其中旱地为 166%,菜地为 112%,园地为 180%,属于高度变异,其他土地利用类型的土壤养分含量则属于中度变异。旱地的全氮含量变异系数最小,为 34.4%^[5],这说明土壤肥力情况可能受到了种植结构、施肥措施等因素的影响。有效磷含量波动最为显著。

依据全国第二次土壤普查土壤养分分级标准(表 3)^[22],旱地的有机质、全氮、有效磷、速效钾含

量分别为Ⅵ级、Ⅳ级、Ⅱ级、Ⅱ级;菜地的分别为Ⅴ级、Ⅳ级、Ⅰ级、Ⅰ级;园地的分别为Ⅵ级、Ⅴ级、Ⅱ级、Ⅱ级。整体来看,研究区永清县土壤的有机质和全氮含量普遍偏低,处于非常缺乏的状态,有效磷和速效钾含量较为丰富,但菜地的有机质、全氮、有效磷和速效钾含量一般要高于利用类型为旱地和园地的土壤,而园地的有机质和全氮含量、旱地的有效磷和速效钾含量分别相比其他土地利用类型偏低。

表 2 永清县各类土地利用类型的土壤养分数据统计

Table 2 Statistics of soil nutrients of various land-use types in Yongqing County							
用地类型	养分类别	平均值	最大值	最小值	中位数	标准偏差	变异系数/%
研究区	有机质/10 ⁻³	5.29	13.50	0.91	4.64	2.83	53.6
	全氮/10 ⁻³	0.78	3.18	0.09	0.74	0.35	45.2
	有效磷/10 ⁻⁶	41.80	554.00	0.39	15.50	68.90	165
	速效钾/10 ⁻⁶	197	1439.0	43.9	146.0	156.0	78.8
旱地	有机质/10 ⁻³	5.44	12.60	1.54	4.87	2.81	51.7
	全氮/10 ⁻³	0.76	1.70	0.09	0.76	0.26	34.4
	有效磷/10 ⁻⁶	22.50	319.70	0.69	11.90	37.20	166
	速效钾/10 ⁻⁶	161.4	857.0	43.9	134.0	101.0	62.5
菜地	有机质/10 ⁻³	6.07	13.50	0.91	5.58	3.15	51.8
	全氮/10 ⁻³	0.98	3.20	0.37	0.87	0.44	44.5
	有效磷/10 ⁻⁶	89.40	554.00	3.63	59.50	99.70	112
	速效钾/10 ⁻⁶	283.0	1439.0	87.2	215.0	213.0	75.2
园地	有机质/10 ⁻³	4.26	11.50	1.42	3.67	2.08	48.7
	全氮/10 ⁻³	0.63	3.00	0.12	0.59	0.31	49.6
	有效磷/10 ⁻⁶	31.40	500.00	0.39	11.30	56.40	180
	速效钾/10 ⁻⁶	174.0	1081.0	50.2	135.0	128.0	73.9

表 3 全国第二次土壤普查土壤养分分级标准

Table 3 Classification standards for the second national soil census						
指标	级别					
	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	V	Ⅵ
有机质/10 ⁻³	>40	30~40	20~30	10~20	6~10	<6
全氮/10 ⁻³	>2	1.5~2	1~1.5	0.75~1	0.5~0.75	<0.5
有效磷/10 ⁻⁶	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	<3
速效钾/10 ⁻⁶	>200	150~200	100~150	50~100	30~50	<30

根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)^[17],按照营养有益元素和有机质含量将土壤养分的丰缺程度划分为 5 个等级,据此绘制的土壤单指标地球化学等级图可以直观反映各养分的空间分布情况。从永清地区土壤养分的地球化学等级(图 2)可以看到,土壤养分含量在永清县西南部明显高于东北部;西南区域的刘街乡、养马庄乡、龙虎庄乡等乡镇土壤养分中有机质、全氮、有效磷、速效钾地球化学等级分别主要以四等、四等和三等、一等、三等和二等为主;东北区域的韩村镇、别古庄镇、三圣口乡等乡镇土壤养分中有机质、全氮、有效磷、速效钾地球化学等级分别主要以五等、五等、三

等和二等、三等为主。永清县有机质和全氮含量表现为明显缺乏,其中有机质含量等级为四等(较缺乏)的土壤面积占全县面积的 66.26%,等级为五等(缺乏)的土壤面积占 33.25%,三等及以上等级(中等到丰富)的土壤面积不足 0.5%;全氮含量等级为四等的土壤面积占全县面积的 31.66%,等级为五等的占 55.93%,三等及以上等级的只有 12.42%。另外,所研究的样本中,东北区域乡镇土地利用类型以园地、林地为主,而蔬菜和粮食作物主要种植于西南区域,这表明,土壤养分的丰缺程度与土地利用类型可能存在着密切联系。

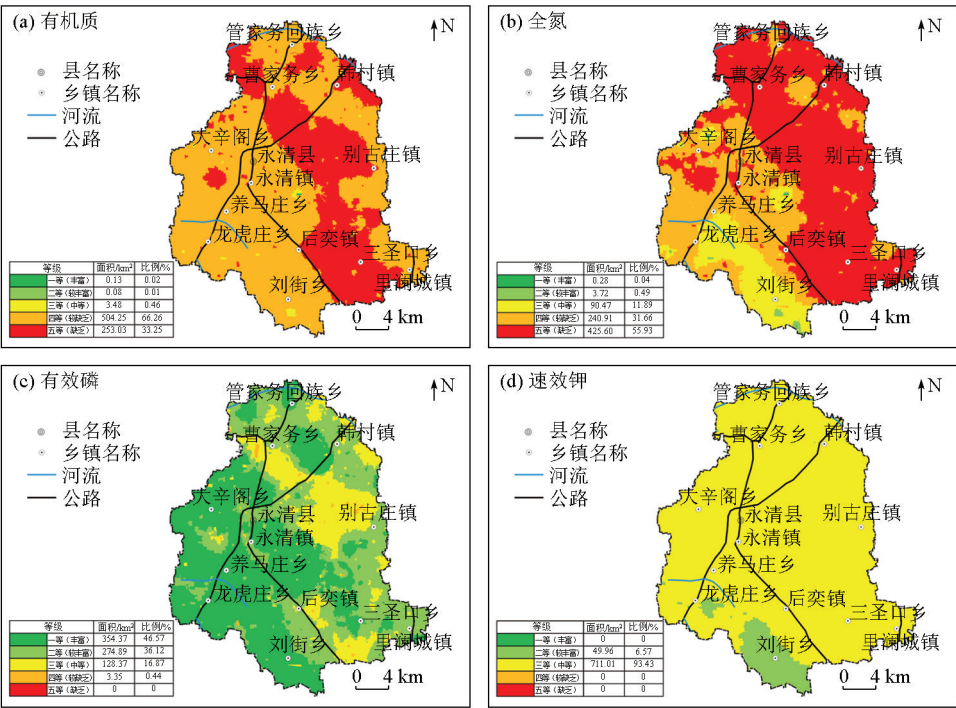


图2 永清县表层土壤有机质(a)、全氮(b)、有效磷(c)、速效钾(d)地球化学等级

Fig. 2 Geochemical map of organic matter (a), total nitrogen (b), available phosphorus (c) and available potassium (d) in surface soils in Yongqing County

2.2 土壤肥力状况评价

土壤的肥力水平决定了土地提供植物以必需营养成分的能力,显著影响着农作物的生长过程,是土壤质量的重要内涵^[1]。绿色食品是指产地的生态环境优良,生产过程中严格按照绿色食品标准,进行全程质量控制并获得绿色食品标志使用权的安全、优质的农产品及相关产品^[10]。因此,产地优良的环境质量是绿色食品发展的基本保障。按照《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)中旱地、菜地和园地的评价标准,对永清县所有样点土壤肥力指标的分级进行统计(表4)。结果表明,菜地和园地

所有样点的有机质含量均处于Ⅲ级水平,而旱地也有92%的样点有机质含量处于Ⅲ级水平,这也说明永清地区土壤有机质明显缺乏。同时,永清地区土壤还表现为全氮含量的不足,旱地、菜地和园地全氮含量处于Ⅲ级水平的样点分别占各自样点总和的57%、68%和84%。但是可以看到,菜地有25%的样点的全氮含量处于Ⅰ级状态,这可能与部分菜地更注意施加氮肥有关。与有机质和全氮含量不同的是,这3种土地利用类型的土壤中有有效磷、速效钾含量在永清县普遍较为丰富,只有在少数样点中表现为缺乏状态。

表4 不同土地利用类型的所有样点土壤肥力分级统计

土地利用类型		各级别样品数(占比)			
		Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	合计/个
旱地	有机质	142 (92%)	13 (8%)	0 (0)	155
	全氮	88 (57%)	43 (28%)	24 (15%)	155
	有效磷	22 (14%)	46 (30%)	87 (56%)	155
	速效钾	10 (6%)	50 (32%)	95 (61%)	155
菜地	有机质	84 (100%)	0 (0)	0 (0)	84
	全氮	57 (68%)	6 (7%)	21 (25%)	84
	有效磷	25 (30%)	10 (12%)	49 (58%)	84
	速效钾	5 (6%)	20 (24%)	59 (70%)	84
园地	有机质	99 (100%)	0 (0)	0 (0)	99
	全氮	83 (84%)	12 (12%)	4 (4%)	99
	有效磷	24 (24%)	19 (19%)	56 (57%)	99
	速效钾	1 (0)	24 (24%)	74 (75%)	99

注:括号中的数据为不同土壤肥力分级水平的总样点占各自土地利用类型所有样点的比例。

3 讨论

对土壤肥力有重要影响的因子主要包括有机质、全氮、有效磷、速效钾,这4项指标是影响农作物基础产量的关键限制因子^[23]。其中,永清县土壤肥力水平整体表现为有机质、全氮缺乏,这有可能成为限制该地区生产高品质农产品的主要因素。有“中国蔬菜之乡”之称的山东省寿光市,设施蔬菜种植区耕层土壤有机质含量接近 32×10^{-3} ,全氮平均含量为 1.3×10^{-3} ,有效磷、速效钾含量均值为 109×10^{-6} 和 447×10^{-6} ^[24]。永清县菜地土壤有机质和全氮含量分别只占到寿光市设施菜田的19%和75%。河北省保定市清苑、涿州等潮土分布区的蔬菜主产区中设施菜田的土壤养分含量均要高于露地菜田,其中露地菜田的有机质、全氮、有效磷和速效钾含量分别为 19.3×10^{-3} 、 1.03×10^{-3} 、 88.7×10^{-6} 和 203×10^{-6} ^[25]。一般来说,设施大棚中土壤养分含量要比露地菜田高^[26-27],但永清县蔬菜大棚中土壤有机质和全氮含量表现为明显缺乏,大部分大棚分别不超过 10×10^{-3} 和 1×10^{-3} 。有研究认为,理想设施菜地有机质含量应在 30×10^{-3} 以上,有效磷应在 $(60\sim130)\times10^{-6}$,速效钾含量应在 $(150\sim250)\times10^{-6}$ ^[24,28-29]。

东北黑土区是我国重要的粮食生产基地,玉米是该区域的主要作物,对从1988~2013年以来的土壤养分演变情况进行监测^[4],发现随着长期耕作,土地肥力在监测后期得到显著改善,有机质、全氮、有效磷和速效钾含量分别达到了 31.0×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 37.2×10^{-6} 和 216×10^{-6} ,这除了因为黑土地的先天优势外,还与农民注意秸秆还田、习惯施肥有关。永清县旱地的有机质含量和全氮含量均值分别只有东北黑土区的17.6%和38.2%。刘佳^[13]对京津冀地区葡萄园土壤的研究表明,随着种植年限的增加,河北地区的有机质、有效磷和速效钾含量都在逐年上升。其中,种植年限为5年以下的最低:有机质、有效磷和速效钾含量分别为: 15.5×10^{-3} 、 36.3×10^{-6} 、 369×10^{-6} ,全氮含量处于良好水平。永清县园地有机质含量均值只有河北地区葡萄园土壤均值(种植5年以下)的27.5%。有研究表明,有机肥替代化肥有利于提高果园的肥力水平,同时还可以提升果实的产量和品质^[30]。因此,为了提高农作物的质量和产量、能够持续发展绿色食品,永清县亟待优化种植模式以提高土地的有机质和全氮含量。

河北省土壤有机质和氮素的缺乏是限制全省农

业发展的主要因素。有研究利用主成分分析法对河北省10个地级市进行土壤肥力评价,发现廊坊市的综合得分最低,处于极低水平,其中有机质、全氮和有效磷含量在10个市中处于倒数第二位^[5]。按照《绿色食品产地环境质量》(NY/T 391—2021)中的分级标准,永清县耕地土壤有机质和全氮含量仅处在Ⅲ级水平,这将影响绿色食品产业的长期持续健康发展。具体来看,永清县不同乡镇的土壤养分含量情况存在一定差异,尤其表现为“西南高,东北低”的差异化现象,西南区域的刘街乡土壤有机质和全氮含量处于最高水平(图2和表5)。永清县的龙虎庄乡、刘街乡、养马庄乡等乡镇是全县重要的生态农业发展区,该区域土壤相对肥沃,这与种植过程中重视培肥、大棚土壤的耕层结构性好、持水性强有关^[28],其中龙虎庄乡和刘街乡的蔬菜产业最具规模,尤其是大棚蔬菜^[31]。但按照肥力评价标准,蔬菜种植区土壤有机质和养分含量依然处于明显缺乏状态,建议加大有机肥料和氮肥的投入,特别是增施有机碳含量高的有机肥^[26]。东北区域的曹家务乡、韩村镇、里澜城镇等乡镇以发展果业、林业为主,土壤肥力状况相对较差。永定河道由西北到东南经过曹家务、韩村、别古庄、三圣口、里澜城等乡镇,故道两侧的土壤含沙量高,导致水土流失严重,土地肥力减退^[31]。因此东北区域的乡镇同样应该注意增加土壤中有有机质和氮肥的含量。为了提升土地肥力,可以推广秸秆还田技术,发展饲养业、沼气业,依据作物需肥情况和土壤肥力状况等进行科学、有针对性的施肥^[10,32-33],不仅要用地,还要养地。

表 5 永清县各主要乡镇土壤肥力含量均值统计

Table 5 Average statistics of soil fertility contents of the main towns in Yongqing County

乡镇	有机质 均值/ 10 ⁻³	全氮均 值/ 10 ⁻³	有效磷 均值/ 10 ⁻⁶	速效钾 均值/ 10 ⁻⁶	样本数
龙虎庄乡	7.50	0.98	70.10	320.0	22
刘街乡	9.90	1.17	41.10	315.0	25
养马庄乡	5.67	0.91	53.10	213.0	15
大辛阁乡	3.73	0.69	24.20	142.0	5
永清镇	4.92	0.81	46.20	187.0	87
后奕镇	6.48	0.74	33.10	165.0	17
曹家务乡	3.90	0.67	43.10	152.0	43
管家务乡	2.76	0.80	53.50	199.0	10
三圣口乡	4.44	0.52	29.40	150.0	33
韩村镇	4.65	0.66	37.10	144.0	21
别古庄镇	4.58	0.61	15.50	152.0	20
里澜城镇	4.51	0.67	22.30	160.0	27

永清县土壤有效磷、速效钾含量现状良好,大部分处于丰富状态,但空间上变化较大。如土地利用类型为菜地的土壤有效磷最小值只有 3.63×10^{-6} (刘其营乡李黄庄村),最大值达到 554×10^{-6} (永清镇中岔口村),速效钾最小值为 87.2×10^{-6} (曹家务乡张家务村),最大值达到了 $1\,439 \times 10^{-6}$ (刘街乡彩木营村);高新开发区张迁务村葡萄园的有效磷和速效钾分别达到了 500×10^{-6} 和 $1\,081 \times 10^{-6}$;而韩村镇韩村玉米地中的有效磷和速效钾分别只有 0.69×10^{-6} 和 43.9×10^{-6} 。这一现象除了与土壤质地、地理位置等自然因素的不同导致本底的差异性外,更可能是受到了人为因素的影响,如施肥措施缺乏科学性,盲目的持续增肥或者不注意施肥,农田技术推广执行情况不同等^[34]。建议永清县根据不同的土地利用方式和农作物种植情况科学合理的施肥,对缺乏有效磷和速效钾的土地,增加磷肥和钾肥的投入;对富集的土地,则应注意控制磷钾肥的用量,避免有效磷、速效钾的积累引起土壤次生盐渍化^[7]。

4 结论

1)首次通过永清县全域系统土壤地球化学调查,获得耕作层土壤中有机质、全氮、有效磷和速效钾平均含量依次为: 5.29×10^{-3} 、 0.78×10^{-3} 、 41.8×10^{-6} 、 197×10^{-6} 。

2)依据《绿色食品产地环境质量》(NY/T391-2021)对永清县旱地、菜地和园地土壤展开评价,有机质和全氮含量处于Ⅲ级水平,为缺乏状态,而有效磷和速效钾含量处于Ⅰ级水平,为丰富状态。土壤养分含量在空间上存在明显变化,永清县西南区域龙虎庄乡、刘街乡、养马庄乡等乡镇的土壤养分含量要高于东北区域曹家务乡、韩村镇、里澜城镇等乡镇,这可能与土地的利用类型有关。

3)为了改善土壤肥力现状,能够更好地适应绿色食品产业发展的需求,永清县应按照土地利用类型和实际种植情况,并考虑土壤质地、自然地理等因素,因地制宜地进行科学、合理的培肥,如增施有机肥和氮肥以提高土壤有机质和全氮含量,对缺乏有效磷和速效钾的土壤,增施磷肥、钾肥,对富集有效磷和速效钾的土壤,则应该控制磷肥和钾肥的施用量。

4)本次工作基本查明了永清县土壤肥力现状,为该县接下来合理施策、指导农民科学施肥提供了有益的探索。后续工作将综合分析其他有关肥力指标,并综合选取化学和物理指标进行统计分析,以全

面了解永清县土壤肥力状况。

致谢:对参与本项目野外调查和室内辛苦工作的采样人员和实验室分析测试人员表示诚挚的谢意。同时,衷心感谢各位匿名专家及编辑在论文评审阶段对本文提出的宝贵修改意见。

参考文献 (References):

[1] 孟娟. 河北平原区无公害蔬菜基地土壤质量评价研究[D]. 保定:河北农业大学,2009.
Meng J. Study on soil quality eEvaluation of non-environmental pollution vegetable base in plain area of Hebei[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei,2009.

[2] 骆东奇,白洁,谢德体. 论土壤肥力评价指标和方法[J]. 土壤与环境,2002,11(2):202-205.
Luo D Q, Bai J, Xie D T. Research on evaluation norm and method of soil fertility[J]. Soil and Environmental Sciences,2002,11(2):202-205.

[3] 孔祥斌,刘灵伟,秦静,等. 基于农户行为的耕地质量评价指标体系构建的理论与方法[J]. 地理科学进展,2007,26(4):75-85.
Kong X B, Liu L W, Qin J, et al. Theory and methodology for the construction of arable land quality evaluation system based on household behaviors[J]. Progress in Geography,2007,26(4):75-85.

[4] 康日峰,任意,吴会军,等. 26年来东北黑土区土壤养分演变特征[J]. 中国农业科学,2016,49(11):2113-2125.
Kang R F, Ren Y, Wu H J, et al. Changes in the nutrients and fertility of black soil over 26 years in Northeast China[J]. Scientia Agricultura Sinica,2016,49(11):2113-2125.

[5] 朱永磊. 河北主要土壤肥力质量时空变异及评价研究[D]. 保定:河北农业大学,2014.
Zhu Y L. Studies on temporal and spatial variability of the major soil fertility in Hebei Province[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei,2014.

[6] 李菊梅,王朝辉,李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. 土壤学报,2003,40(2):232-238.
Li J M, Wang Z H, Li S X. Significance of soil organic matter, total N and mineralizable nitrogen in reflectiong soil N supplying capacity[J]. Acta Pedologica Sinica,2003,40(2):232-238.

[7] 郭巨秋. 河北省苹果园土壤养分状况与变化研究[D]. 保定:河北农业大学,2020.
Guo J Q. Study on soil nutrient status and change of apple orchard in Hebei Province[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei,2020.

[8] 纪梦梦,吴晓刚,吴欣欣,等. 过量施肥对设施菜田土壤菌群结构及 N₂O 产生的影响[J]. 微生物学通报,2018,45(6):1323-1332.
Ji M M, Wu X G, Wu X X, et al. Effect of overuse nitrogen fertilizer on bacterial community and N₂O emission from greenhouse soil [J]. Microbiology China,2018,45(6):1323-1332.

[9] 肖阳. 农业绿色发展背景下我国化肥减量增效研究[D]. 北京:中国农业科学院,2018.

- Xiao Y. Reduction and efficiency of chemical fertilizer under the background of agricultural green development in China: An empirical study of Henan Province [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [10] NY/T 391—2021 绿色食品产地环境质量标准[S].
NY/T 391—2021 Green food-environmental quality for production area[S].
- [11] 魏晓涵. 永清县设施蔬菜发展现状及融入京津冀农业协同的对策研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
Wei X H. Yongqing facilities vegetables developping status and agricultural integration strategies of Beijing-Tianjin-Hebei circle [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2015.
- [12] 郭丽菱, 邵岩, 王永江, 等. 永清县蔬菜产业发展现状及展望[J]. 蔬菜, 2019(8): 38-41.
Guo L X, Shao Y, Wang Y J, et al. Current situation and prospect of vegetable industry in Yongqing County [J]. Vegetables, 2019 (8): 38-41.
- [13] 刘佳. 京津冀地区葡萄园土壤养分分布特征及绿色施肥技术研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2021.
Liu J. Study on soil nutrient distribution characteristics and green fertilization technology of grape garden in Beijing-Tianjin-Hebei Region [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2021.
- [14] 王双双. 河北省设施蔬菜土壤质量调查及改良技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2019.
Wang S S. Investigation on soil quality of vegetable field in Hebei Province research on improvement technology [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2019.
- [15] 孟祥林. 京津冀协同发展背景下“广域永清城市团”发展构想[J]. 北方工业大学学报, 2021, 33(3): 82-90.
Meng X L. “Wide-Area Yongqing City Group” development ideas under the background of the coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei [J]. North China Univ. of Tech., 2021, 33(3): 82-90.
- [16] 江勇, 付梅臣, 杜春艳, 等. 基于 DPSIR 模型的生态安全动态评价研究——以河北永清县为例[J]. 资源与产业, 2011, 13(1): 61-65.
Jiang Y, Fu M C, Du C Y, et al. A case study on Yongqing county: Dynamic assessment of ecological safety based on DPSIR model [J]. Resources & Industries, 2011, 13(1): 61-65.
- [17] DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S].
DZ/T 0295—2016 Specification of land quality geochemical assessment[S].
- [18] NY/T 1121. 6—2016 土壤检测 第 6 部分: 土壤有机质的测定[S].
NY/T 1121. 6—2016 Soil testing Part 6: Method for determination of soil organic matter[S].
- [19] HJ 717—2014 土壤质量 全氮的测定 凯氏法[S].
HJ 717—2014 Soil quality-determination of total nitrogen-modified Kjeldahl method[S].
- [20] LY/T 1232—2015 森林土壤磷的测定[S].
LY/T 1232—2015 Phosphorus determination methods of forest soils[S].
- [21] LY/T 1234—2015 森林土壤钾的测定[S].
LY/T 1234—2015 Potassium determination methods of forest soils [S].
- [22] 黄先飞, 王莉霞, 龚宁, 等. 剑河县水田及旱地的土壤肥力特征与评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(7): 1510-1516.
Huang X F, Wang L X, Gong N, et al. Soil fertility characteristics and evaluation of paddy field and dry land in Jianhe County [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(7): 1510-1516.
- [23] 孙彦铭, 黄少辉, 刘克桐, 等. 土壤肥力差异对冀中南山前平原与低平原夏玉米产量的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(35): 35-42.
Sun Y M, Huang S H, Liu K T, et al. Effects of soil fertility difference on summer maize yield in piedmont plain and low plain in Central and Southern Hebei [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022, 38(35): 35-42.
- [24] 高新昊, 刘苹, 刘兆辉, 等. 寿光设施菜地土壤养分累积与农产品硝酸盐污染研究[J]. 江西农业学报, 2013, 25(6): 125-128, 136.
Gao X H, Liu P, Liu Z H, et al. Studies on soil nutrient accumulation in protected vegetable land and nitrate pollution of agricultural products in Shouguang City [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2013, 25(6): 125-128, 136.
- [25] 王倩姿, 王书聪, 张书贵, 等. 潮土区菜田土壤肥力现状评价[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(5): 645-653.
Wang Q Z, Wang S C, Zhang S G, et al. Evaluation on fertility status of fluvo-aquic soil in a vegetable field [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2020, 37(5): 645-653.
- [26] 乔德波. 施用有机肥对设施菜地土壤养分、重金属含量及其分布特征的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
Qiao D B. Effects of organic fertilizer application on the accumulation and distribution of nutrients and heavy metals in greenhouse vegetable system [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014.
- [27] 张绪美, 沈文忠, 胡青青. 太仓市郊大棚菜地土壤盐分累积与分布特征研究[J]. 土壤, 2017, 49(5): 987-991.
Zhang X M, Shen W Z, Hu Q Q. Accumulation and regional distribution of salinity in greenhouse soils in Taicang suburban area [J]. Soils, 2017, 49(5): 987-991.
- [28] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(2): 332-335.
Zhou J B, Zhai B N, Chen Z J, et al. Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental impacts [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2004, 23(2): 332-335.
- [29] 王柳, 张福漫, 高丽红. 京郊日光温室土壤养分特征的研究[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 62-66.
Wang L, Zhang F M, Gao L H. Characteristics of soil nutrients in solar greenhouse in Beijing suburb [J]. Journal of China Agricultural University, 2003, 8(1): 62-66.
- [30] 俞巧钢, 孙万春, 叶静等. 有机肥替代化肥对橘园土壤培肥及果实产量品质的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(4): 755-762.

Yu Q G, Sun W C, Ye J, et al. Effects of organic manure substituting chemical fertilizer on soil fertility and fruit yield and quality in citrus orchard[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023, 40(4): 755–762.

[31] 赵丽. 区域土地利用空间格局与统筹研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008.

Zhao L. Research on the spatial structure of land-use planning at the overall area: A case of Yongqing County[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2008.

[32] 单燕, 李水利, 李茹, 等. 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1430–1437.

Shan Y, Li S L, Li R, et al. Analysis of soil fertility and fertilizer efficiency of maize field in Shanxi[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(6): 1430–1437.

[33] 聂扬眉, 步连燕, 陈文峰, 等. 高量秸秆还田配施芽孢杆菌对沙化土壤细菌群落及肥力的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(9): 5176–5185.

Nie Y M, Bu L Y, Chen W F, et al. Effect of returning high amount of straw and applying bacillus on bacterial community and fertility of desertification soil[J]. Environmental Science, 2023, 44(9): 5176–5185.

[34] 解文艳, 周怀平, 杨振兴, 等. 山西省农田土壤肥力现状及近 10 年变化特征[J]. 中国土壤与肥料, 2022, 306(10): 1–10.

Xie W Y, Zhou H P, Yang Z X, et al. Current situation and change characteristics in recent 10 years of farmland soil fertility in Shanxi province based on location monitoring[J]. Soil and Fertilizers Sciences in China, 2022, 306(10): 1–10.

Evaluation of the primary soil fertility indices for the agricultural area of Yongqing County, Hebei Province

HU Qing-Hai^{1,2}, LI Jun-Hua^{1,3}, WANG Xue-Qiu^{1,2}, YI Ming-Xuan³, WU Hui^{1,2}, TIAN Mi^{1,2}

(1. Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Natural Resources, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 2. International Centre on Global-Scale Geochemistry, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 3. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang 065000, China)

Abstract: Yongqing County, as a pivotal pollution-free vegetable production base in the Beijing-Tianjin-Hebei region, has made significant contributions to ensuring the food safety of this region. However, there has been no systematic and comprehensive evaluation of Yongqing County’s soil fertility, hindering the sustainable development of its green food industry. This study collected 338 soil samples from the arable layer (depth: 0~20 cm) throughout the county, including 155 from dry land, 84 from vegetable plots, and 99 from garden plots. Four soil nutrient elements including organic matter, total nitrogen, available phosphorus and potassium were determined using these samples. The results show that: The average contents of organic matter, total nitrogen, available phosphorus, and rapidly available potassium in the soil samples from Yongqing County’s arable layer were 5.29×10^{-3} , 0.78×10^{-3} , 41.8×10^{-6} , and 197×10^{-6} , respectively. The soil fertility generally exhibited deficient organic matter and total nitrogen and abundant available phosphorus and potassium. In addition, the soil fertility of Yongqing County was graded and evaluated according to China’s agricultural standard Green food-Environmental quality for production area (NY/T 391—2021). For land-use types like dry land, vegetable and garden plots, their organic matter and total nitrogen contents were mostly at level Ⅲ, and available phosphorus and potassium contents were primarily at level I. The soil nutrient contents differed significantly in spatial distributions. Specifically, Longhuzhuang, Liujie, and Yangmazhuang townships in the southwest generally had higher soil nutrient contents than Caojiawu Township, Hancun and Lilancheng towns in the northeast. To efficiently develop the green food industry, Yongqing County needs to apply fertilizers scientifically and properly according to land-use types and actual planting situations and considering the soil texture and natural geographical factors. The specific measures are as follows: increasing the organic matter and total nitrogen contents in the soil by applying more organic and nitrogen fertilizers; applying more phosphate and potassium fertilizers to soil lacking available phosphorus and potassium, otherwise, the application of such fertilizers should be controlled.

Key words: Yongqing County; green food; soil fertility; land-use type; evaluation

(本文编辑:蒋实)