

浙北地区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响^①

鲁晨妮¹, 朱日清², 孙达³, 徐再萌¹, 朱静娜⁴, 胡文凌⁴, 章斐⁴, 陈贵^{1*}

(1 嘉兴市农业科学研究院, 浙江嘉兴 314016; 2 浙江省嘉兴市秀洲区农业种植业推广总站, 浙江嘉兴 314001; 3 浙江省嘉兴市南湖区农渔技术推广站, 浙江嘉兴 314051; 4 浙江省嘉兴生态环境监测中心, 浙江嘉兴 314000)

摘要: 为研究浙北地区不同土地利用方式下土壤理化性质的变化特征, 以水田、水浇地和果园为研究对象, 测定土壤 pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾和部分样品容重、阳离子交换量和水溶性盐含量。结果表明: ①土壤 pH 为果园>水田>水浇地, 且水浇地的土壤 pH 显著低于果园和水田; ②土壤有机质为水田>果园>水浇地, 且水田的土壤有机质显著高于果园和水浇地; ③3 种土地利用方式之间全氮含量没有显著性差异, 土壤有效磷为水浇地>果园>水田, 且水浇地和果园的有效磷含量均显著高于水田, 土壤速效钾为果园>水浇地>水田, 果园的速效钾含量显著高于水田; ④土壤容重、阳离子交换量和水溶性盐含量在水浇地和果园之间没有显著差异。本研究结果可以为浙北地区土地资源合理利用、科学施用肥料和农业高质量发展提供参考。

关键词: 土地利用方式; 土壤理化性质; 土壤养分; 浙北地区

中图分类号: S153; S158 文献标志码: A

Effects of Different Land-use Types on Soil Physiochemical Properties in Northern Zhejiang Province

LU Chenni¹, ZHU Riqing², SUN Da³, XU Zaimeng¹, ZHU Jingna⁴, HU Wenling⁴, ZHANG Fei⁴, CHEN Gui^{1*}

(1 Jiaxing Academy of Agricultural Sciences, Jiaxing, Zhejiang 314016, China; 2 Agricultural Planting Extension Station of Xiuzhou District, Jiaxing, Zhejiang 314001, China; 3 Agricultural and Fishery Technology Extension Station of Nanhу District, Jiaxing, Zhejiang 314051, China; 4 Zhejiang Jiaxing Eco-Environmental Monitoring Center, Jiaxing, Zhejiang 314000, China)

Abstract: In order to study the characteristics of soil nutrient changes under different land-use types in Northern Zhejiang Province, soil physiochemical properties of paddy fields, irrigable fields and orchards were measured, including pH, organic matter (OM), total nitrogen (TN), available phosphorus (AP), available potassium (AK), bulk density (BD), cation exchange capacity (CEC) and water-soluble salt. The results showed that: 1) pH was in an order of orchard>paddy field>irrigated field, pH of irrigated field was significantly lower than those of orchard and paddy field; 2) OM was in an order of paddy field>orchard>irrigated field, OM of paddy field was significantly higher than those of orchard and irrigated field; 3) There was no significant difference in TN among the different land-use types, AP was in an order of irrigated field>orchard>paddy field, AP of irrigated field and orchard were significantly higher than that of paddy field, AK was in an order of orchard>irrigated field>paddy field, AK of orchard was significantly higher than that of paddy field; 4) There was no significant difference in BD, CEC and water-soluble salt between irrigated land and orchard. These results can provide a reference for the rational use of land resources, scientific application of fertilizers and high-quality development of agriculture in Northern Zhejiang.

Key words: Land-use type; Soil physiochemical properties; Soil nutrients; Northern Zhejiang

土壤作为人类赖以生存的基础资源, 其理化性状直接影响农业生产、粮食安全^[1]。近年来, 社会和经济快速发展给自然资源带来巨大的压力, 其中人为因

素的干扰对土壤造成的影响远远超过了土壤自身的调节能力, 导致土壤质量下降等问题^[1]。土壤理化性状可以综合反映土壤质量, 而土地利用作为人类利用

^①基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LTGN23D010001)、嘉兴市科技计划项目(2022AZ10007)和浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划项目(2022C02035)资助。

* 通讯作者(chenzhao2004@163.com)

作者简介: 鲁晨妮(1993—), 女, 浙江嘉兴人, 硕士, 农艺师, 主要从事土壤肥料和土壤生态方面研究。E-mail: LCN2019@163.com

土地的综合反映,直接影响土壤水分、结构等物理性质和土壤养分等化学性质,影响土地不同用途的适用性^[1-2]。只有对土壤理化性质充分了解,才能充分发挥土壤作为基础资源的作用^[2],因此研究不同土地利用方式对土壤理化性状的影响,对土地资源利用、土壤健康培育有指导意义。

郭绍义等^[3]研究了不同土地利用下,升金湖沿湖土壤有机质变化特征,指出菜地和林地有机质含量高于农田和草地土壤。刘明庆等^[4]以水田、旱地、茶园和果园为研究对象,分析了4种土地利用方式下土壤养分指标,发现果园土壤综合肥力显著高于其他3种土地利用方式。杨佳等^[5]研究表明,不同土地利用类型(公园与绿地、耕地、林地、内陆滩涂)的土壤pH、含盐量、含水量、电导率、有机质、全氮和全磷均差异显著。由此可见,深入研究不同土地利用方式下土壤理化性质的变化,有助于了解土地利用方式对土壤肥力和生产力的影响,从而对合理利用土地资源提供科学依据^[2]。

位于浙江北部的嘉兴市土壤肥沃,农耕历史悠久,素有“鱼米之乡”“浙北粮仓”等美誉。作为传统水稻种植区,嘉兴市水稻种植占粮食种植的一半以上,稻田湿地系统对该地区的土壤改良、抗旱抗涝起到了非常重要的作用。除此以外,蔬菜和水果是嘉兴市传统种植的经济作物,也是农民增收的主要途径之一。近年来,随着本地社会经济的迅速发展,土地利用方式发生了巨大变化;在防止耕地“非粮化”、化肥减量等政策要求下,摸清不同土地利用类型下土壤理化性质变化特征对因地制宜推进高质量农业发展至关重要。

目前,对于浙北地区土壤养分的研究主要集中在单一的土地利用方式上,此前的报道主要集中在稻田土壤养分上,关于该地区不同土地利用方式,如水浇地和果园,对土壤养分变化特征的研究鲜见报道。本研究以浙北地区嘉兴市郊为研究对象,通过对区域内水田、水浇地和果园3种土地利用方式下的耕层土壤进行采样分析,结合第二次土壤普查评价标准对土壤养分进行分组统计和分析,为本地土地资源利用、土壤养分管理和科学施肥提供科学依据和理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为嘉兴市郊,位于浙江省东北部、杭嘉湖平原腹心地带,具体包括南湖区和秀洲区进行农业生产

的各5个乡镇。嘉兴市以粮食种植为主,占比长期在60%以上,粮食作物以水稻为主,此外还盛产蔬菜、瓜果。研究区年均气温为17.9℃,年降水量为1637.9 mm,属于典型的亚热带季风气候,土壤类型以水稻土和潮土为主。

1.2 样品采集

该研究于2019年12月进行布点采样,位置如图1所示。在综合考虑空间分布和样点代表性的前提下,结合实际生产状况选择采样地点。本次研究共489个样点,土地利用方式参照GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》^[6]分为水田、水浇地和果园,水田样点226个,种植水稻,其中33个样点为稻渔综合种养模式;水浇地样点108个,主要种植番茄、青菜等各种蔬菜;果园样点155个,主要种植葡萄、桃、槜李等水果。每个样点采用梅花形采集5个点,采用四分法留取500 g样品用于实验室分析。在室内对样品进行自然风干,除杂并过筛,用于理化性质测定。

1.3 测定方法

土壤pH采用pH计测定;有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;全氮采用硫酸-混合催化剂消解,凯氏定氮法测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定;阳离子交换量采用乙酸铵法测定;容重采用环刀法测定;水溶性盐总量采用质量法测定^[7]。

1.4 数据处理

采用Excel 2019和SPSS 26.0软件对数据进行整理和统计分析。运用SPSS 26.0对不同利用方式下的土壤理化性质进行方差分析(one-way ANOVA),并采用Scheffe法进行多重比较。采用SigmaPlot 15.0软件进行箱式图和柱形图绘制。有机质和氮、磷、钾养分指标分组范围参照全国第二次土壤普查的养分分级标准^[8],其他分组范围参考《土壤质量指标与评价》^[9]和《土壤农化分析》^[7]结合实际含量分布进行设置。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤pH

嘉兴市郊不同土地利用方式下土壤pH和分布见图2。水田、水浇地和果园的土壤pH平均值分别为6.22、6.04和6.30,其中水浇地土壤pH显著低于水田和果园土壤($P<0.01$)。水田和水浇地土壤以微酸性(5.5

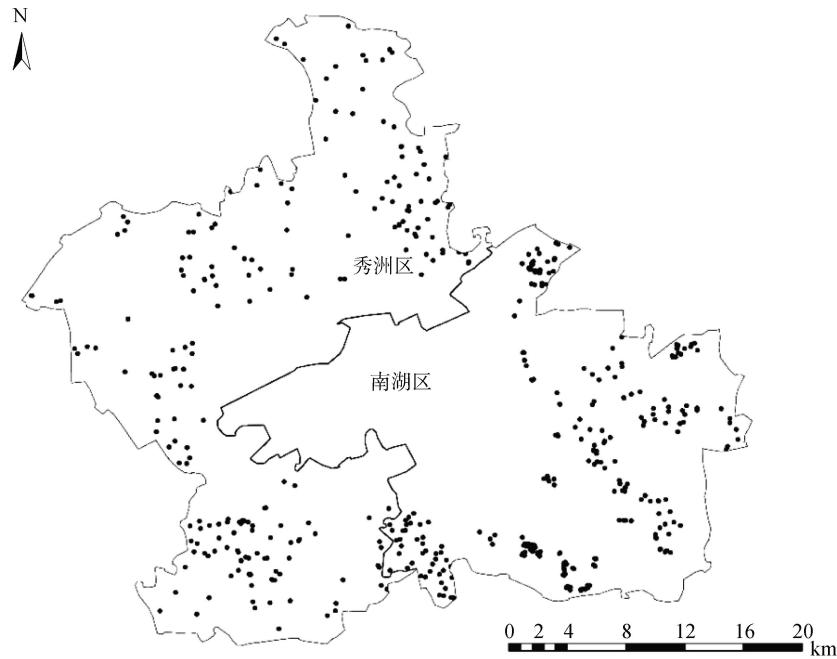
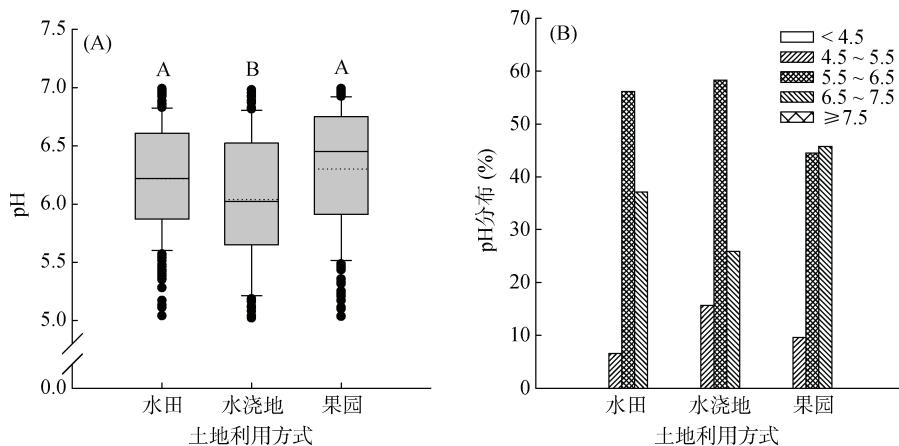


图 1 研究区土壤采集分布图
Fig. 1 Spatial distribution of sampling sites



(图 A 矩形盒中实线表示所有样本的中位值, 虚线表示平均值, 上边缘线为上四分位数(Q1), 下边缘线为下四分位数(Q3), Q1 和 Q3 之间的差值为四分位距(IQR), 箱式图中的实心点为异常值, 表示不在($Q1 - 1.5 \text{ IQR} \sim Q3 + 1.5 \text{ IQR}$)范围内的值; 大写字母不同表示土地利用方式间差异达 $P < 0.01$ 显著水平。下同)

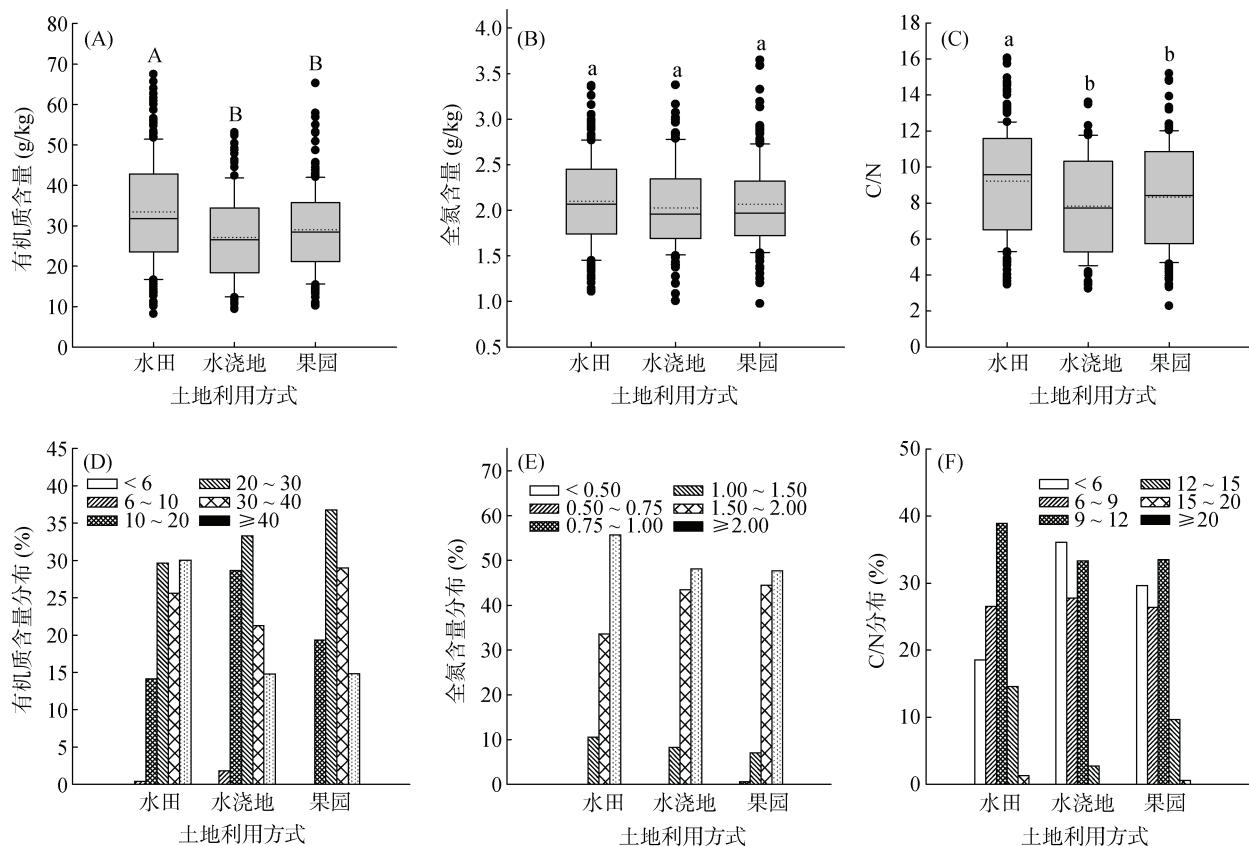
图 2 不同土地利用方式下土壤 pH 及其分布
Fig. 2 Soil pH values and distributions under different land-use types

类型中, 水浇地的酸性土壤($4.5 < \text{pH} < 5.5$)比例达到 15.74%, 是水田和果园的 2.37 倍和 1.63 倍。水田、水浇地和果园土壤属于微酸性和酸性的总和分别占 62.83%、74.07% 和 54.19%, 由此可见 3 种用地类型有不同程度的酸化, 其中水浇地利用方式土壤酸化最严重。

2.2 不同土地利用方式下土壤有机质、全氮含量和 C/N

土壤有机质含量如图 3A 所示, 分析发现研究区不同土地利用方式下土壤有机质平均含量表现为水

田(33.38 g/kg)>果园(29.00 g/kg)>水浇地(27.10 g/kg), 且水田土壤有机质含量显著高于水浇地和果园($P < 0.01$)。由图 3D 可知, 水浇地和果园土壤样品有机质含量以 20~30 g/kg 为主, 分别占 33.33% 和 36.77%, 而水田土壤有机质含量最多分布于 $\geq 40 \text{ g/kg}$ (30.09%)。水田、水浇地和果园 3 种土地利用方式土壤有机质含量达到中等以上($\geq 20 \text{ g/kg}$)的比例分别为 85.40%、69.44% 和 80.65%。由此可见, 3 种土地利用方式下土壤有机质含量主要处于中等以上水平, 且水田土壤有机质积累大于水浇地和果园。



(A、D: 土壤有机质含量和分布图; B、E: 土壤全氮含量和分布图; C、F: 土壤 C/N 和分布图。大写字母不同表示土地利用方式间差异达 $P<0.01$ 显著水平, 小写字母不同表示土地利用方式间差异达 $P<0.05$ 显著水平, 下同)

图 3 不同土地利用方式下土壤有机质、全氮含量和碳氮比值及其分布

Fig. 3 Contents and distributions of soil organic matter, total nitrogen and C/N under different land-use types

如图 3B 所示, 水田、水浇地和果园的土壤全氮含量平均值分别为 2.10、2.02 和 2.07 g/kg, 且 3 种利用方式间没有显著差异。从全氮含量的频率分布(图 3E)可以得出, 3 种利用类型土壤全氮含量均主要分布于 ≥ 2.00 g/kg, 氮素含量较为丰富。除了果园有 0.65% 的采样点全氮含量为 0.75~1.00 g/kg, 其他采样点的全氮含量均达到一般(≥ 1.0 g/kg)以上水平。

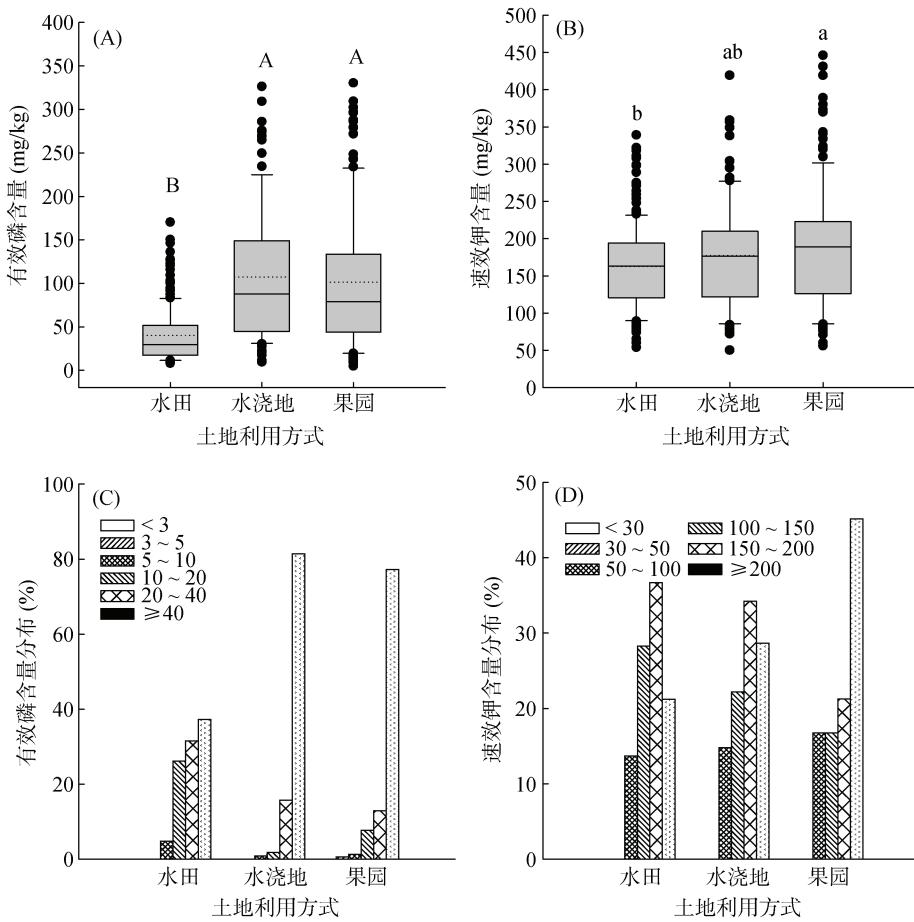
水田、水浇地和果园的平均 C/N 分别为 9.22、7.82 和 8.34(图 3C), 且水田 C/N 显著高于水浇地和果园土壤($P<0.05$)。水田和果园 C/N 主要介于 9~12, 占比分别为 38.94% 和 33.55%; 水浇地土壤 C/N 则 <6 占比最多(36.11%, 图 3F)。水田、水浇地和果园土壤 C/N ≥ 12 的比率分别为 15.93%、2.78% 和 10.32%。综上分析, 水田土壤 C/N 总体水平高于果园和水浇地。

2.3 不同土地利用方式下土壤有效磷和速效钾含量

图 4A 结果表明, 水田、水浇地和果园土壤有效磷平均含量分别为 40.08、107.30 和 101.20 mg/kg, 即水浇地和果园的有效磷平均含量分别达到水田

的 2.68 倍和 2.53 倍, 达到极显著差异水平($P<0.01$)。而水浇地和果园土壤有效磷最高值分别为 326.30 mg/kg 和 330.30 mg/kg, 是水田土壤有效磷含量最高值(170.30 mg/kg)的近两倍。由图 4C 结果可知, 水浇地和果园土壤有效磷含量 ≥ 40 mg/kg 的样本占比分别达到 81.48% 和 77.27%, 水田土壤超过 40 mg/kg 比例为 37.33%。3 种利用类型的土壤有效磷含量 ≥ 20 mg/kg 占比均超过 68%, 其中水浇地高达 97.22%。由此可见, 磷素在 3 种不同利用方式的土壤中富集程度均较高, 其中水浇地和果园尤为突出。

图 4B 和图 4D 为不同土地利用方式下土壤速效钾的含量和分布。结果显示, 水田、水浇地和菜地土壤速效钾含量平均值分别为 162.69、177.13 和 189.22 mg/kg, 其中果园土壤速效钾含量显著高于水田土壤($P<0.05$)。从速效钾含量分布分析, 水田和水浇地土壤类型速效钾含量主要分布于 150~200 mg/kg, 而果园土壤主要分布于 ≥ 200 mg/kg。由此可见, 3 种利用方式土壤的速效钾水平均处于较高水平, 其中果园土壤钾素含量最高。



(A、C: 土壤有效磷含量和分布图; B、D: 土壤速效钾含量和分布图)

图 4 不同土地利用方式下土壤有效磷和速效钾含量及其分布

Fig. 4 Contents and distributions of soil available phosphorus and potassium under different land-use types

2.4 不同土地利用方式下土壤容重、阳离子交换量和水溶性盐含量

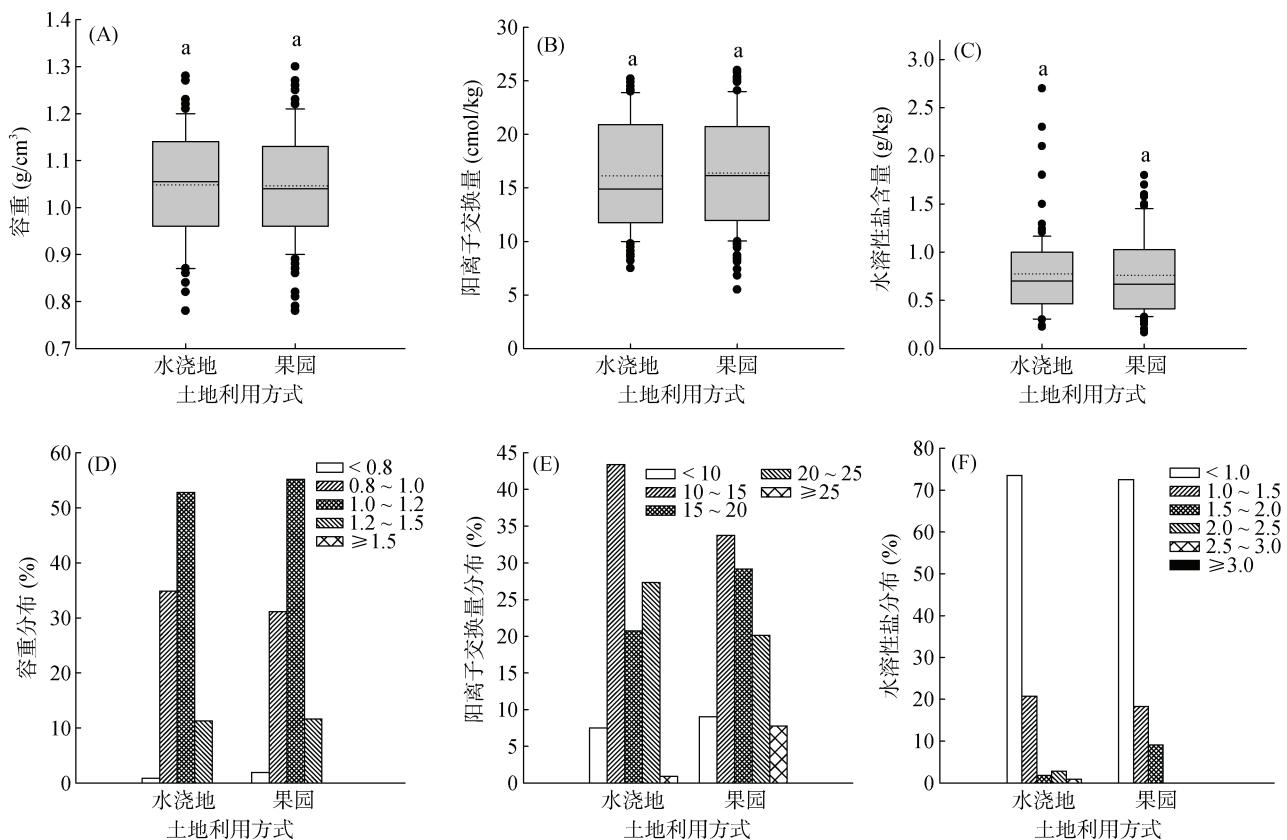
水浇地和果园土壤容重平均值均为 1.05 g/cm^3 (图 5A), 阳离子交换量平均值分别为 16.14 cmol/kg 和 16.39 cmol/kg (图 5B), 水溶性盐含量的平均值分别为 0.77 g/kg 和 0.76 g/kg (图 5C), 且均未发现显著性差异。从含量分布分析, 两种土地利用方式土壤容重主要分布于 $1.0 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ (图 5D), 阳离子交换量均主要分布于 $10 \sim 15 \text{ cmol/kg}$ (图 5E), 水溶性盐含量主要分布于 $<1.0 \text{ g/kg}$ (图 5F)。土壤水溶性盐含量 $1.0 \sim 3.0 \text{ g/kg}$ 为盐渍化土^[7], 本研究中, 水浇地和果园的盐渍化土的比例分别为 25.47% 和 27.45% 。

3 讨论

土壤 pH 受到母质、气候、植被等自然因素和土地利用等人为因素的共同影响。依据分级标准^[8], 研究区不同土地利用方式表层土壤 pH 平均值均属于微酸性, 各利用方式下的土壤均有不同程度的酸化, 其

中水浇地土壤 pH 显著低于水田和果园土壤 ($P<0.01$)。土壤普遍酸化的原因之一可能是因为研究区处于全年降水平均 $\text{pH}<5.6$ 的酸雨区, 雨水中的铵沉降对土壤酸化贡献较大^[10]。不合理的肥料使用也可能引起土壤 pH 的降低, 比如长期施用生理酸性肥料, 不注重有机肥的施用等^[11]。而水浇地土壤 pH 显著低的原因, 一方面是由蔬菜复种指数高; 另一方面可能因为农户直接施用酸性的农家肥, 导致土壤酸度增加^[4]; 另外水浇地相比果园, 更多采用设施栽培, 覆膜使土壤得不到雨水的淋洗, 加速了水浇地土壤的酸化程度^[11]。李艾芬等^[12]和朱日清等^[13]对嘉兴市郊水稻土壤酸碱度的研究结果发现, 嘉兴市郊水稻土壤的酸性($\text{pH } 4.5 \sim 5.5$)和微酸性($\text{pH } 5.5 \sim 6.5$)比例均有所降低, 这可能是因为嘉兴市自 2016 年起推广秸秆还田的措施。研究表明长期秸秆粉碎还田能抑制土壤 pH 下降^[14]。

土壤有机质不仅表征土壤碳库, 也是土壤养分供应能力的重要指标之一^[15]。本研究发现, 水田土壤



(A、D: 土壤容重和分布图; B、E: 土壤阳离子交换量和分布图; C、F: 土壤水溶性盐含量和分布图)

图 5 不同土地利用方式下土壤容重、阳离子交换量和水溶性盐含量及其分布

Fig. 5 Contents and distributions of soil bulk density, cation exchange capacity and water-soluble salt under different land-use types

有机质平均含量达到 33.38 g/kg, 显著高于果园和水浇地土壤。一般认为, 水稻土的固碳与减排潜力大于旱地土壤, 即积累有机质的能力更强^[16]。此外近年来嘉兴市大力推广提升耕地地力的措施, 如秸秆还田、施有机肥、种植绿肥, 均有助于稻田土壤有机质的积累^[17]。研究发现稻虾共作显著提高土壤有机碳和重组有机碳的含量^[18], 本研究水稻土壤样品中有 33 个样品(14.6%)为稻渔综合种养模式, 共作类型包括稻鳖、稻虾等, 可能起到了提高土壤有机质的作用。水浇地和果园土壤有机质积累较少也可能是因为农户种植过程中偏施化肥, 不注重施用有机肥^[19-20]。果园土壤有机质稍高于水浇地可能是因为菜地复种指数高, 收获物都从土壤中移走, 有机质积累有限, 而果园的枯枝落叶掉落补充了有机质的消耗^[11]。

氮素是植物生长的重要营养元素之一, 而土壤全氮含量是表征土壤氮素供应能力的重要化学指标^[11]。本研究中, 不同土地利用方式土壤全氮含量平均值都大于 2 g/kg, 处于养分分级的一级水平, 且 3 种土地利用方式之间没有显著差异, 这与朱永青等^[11]研究结果一致。氮素含量丰富可能与 3 种类型土地利用方式都以氮肥为基肥有关^[11], 且我国水稻^[21]、蔬菜^[19]

和果园^[22]种植仍普遍存在氮肥过量施用的情况。本研究的不足之一是未进行碱解氮含量的测定和分析, 不能直接反映 3 种土地利用方式土壤短期内的供氮能力。

C/N 可以衡量土壤有机碳和氮素之间的平衡关系^[23]。本研究中, 水田土壤 C/N 显著高于水浇地和果园, 这主要是由于水田处于淹水状态, 有机质分解缓慢、易于积累; 而水浇地和果园土壤通气状况较好, 土壤有机碳分解较快^[24]。据文献报道, 我国农田土壤 C/N 均值为 11.38^[25], 浙江省水稻田土壤的 C/N 均值为 10.13^[23]。本研究 3 种土地利用方式的土壤 C/N 均低于全国平均水平且水田 C/N 低于浙江省水稻田平均水平, 这可能是因为文献报道的数据较早, 以前的氮肥施用水平并没有近些年高, 从而影响了 C/N 的结果^[23]。过量施用的氮肥并没有被土壤积累, 而是进入环境中, 这是不同土地利用方式间土壤全氮含量没有差异且 C/N 趋于稳定的原因之一^[23]。

本研究水浇地和果园土壤有效磷含量显著高于水田, 且 3 种土地利用方式的土壤有效磷含量均属于养分分级中的一级($\geq 40 \text{ mg/kg}$), 箱型图反映水浇地和果园土壤磷素富集问题尤其突出。水浇地和果园的

土壤有效磷含量高主要由过量施用磷肥引起,研究发现我国设施蔬菜和露地蔬菜的磷肥投入量平均分别是各自推荐量的 5.4 倍和 5.9 倍^[19]。嘉兴地区葡萄园^[26]和太湖流域的桃园^[22]果实周年积累的磷素仅为投入肥料的 20% 和 31%, 减肥潜力巨大。水田的土壤有效磷含量虽然远低于水浇地和果园,但较往年的研究结果呈上升趋势。孙达和李艾芬^[27]和朱日清等^[28]研究发现南湖区和秀洲区土壤有效磷含量平均值分别为 35.23 mg/kg 和 12.1 ~ 34.2 mg/kg, 均小于本研究的 40.08 mg/kg。这可能与复合肥, 特别是氮磷钾比等量的复合肥广泛施用有关^[29]。近年来, 嘉兴大力推广水稻配方肥, 如氮磷钾比为 18 : 8 : 18^[30], 稻田土壤磷素富集的趋势未来可能缓解。

土壤速效钾受到土壤母质、土地利用方式、秸秆处理方式、水肥管理等措施的共同影响^[31]。本研究速效钾含量结果显示果园速效钾含量显著高于水田, 且 3 种土地利用方式土壤速效钾平均含量属于养分分级标准二级水平(150 ~ 200 mg/kg)。张丽君等^[32]对浙江省耕地(90% 样品为水稻土)土壤的速效钾分析发现, 秀洲区和南湖区的速效钾含量分别为 80 ~ 100 mg/kg 和 100 ~ 150 mg/kg, 小于本研究中水田速效钾的平均值(162.69 mg/kg)。这可能与持续推广秸秆还田有关, 因为秸秆在养分供应上的作用应主要归功于钾素^[32]。水田速效钾含量显著低于水浇地和果园, 可能是因为农民受到经济效益的驱使, 为了提高果树(需钾量相对较大)和蔬菜的产量而投入了大量的钾肥, 导致土壤的速效钾含量比水田高很多。除了施肥用量的差异, 也因为水耕条件下, 土壤中的钾矿物随着黏粒的下渗而造成淋失^[33], 而水浇地设施大棚或果园的避雨棚(如葡萄园)减少了雨水对土壤的淋洗, 使土壤速效钾养分积累。

考虑到水浇地和果园土壤的种植环境, 本试验对这两种土地利用方式的土壤样品进行了容重、阳离子交换量和可溶性盐含量的分析。结果发现水浇地和水田土壤在容重、阳离子交换量和水溶性盐含量上都没有显著差异, 其中水浇地和果园的部分土壤样品表现为盐渍化。土壤容重受到农业灌溉和翻耕作业、土壤中植物根系生长分布等活动的综合影响^[34]。本研究中水浇地和果园两种利用方式土壤容重平均值都为 1.05 g/cm³, 可能是由于水浇地根系分布在表层, 起到了疏松土壤的作用^[2]; 而果园的枯枝落叶量较大, 经微生物分解后的腐殖层有利于降低土壤容重^[35]。两种利用方式土壤水溶性盐含量均值都 < 3 g/kg, 但有部分土壤样品 ≥ 3 g/kg, 属于盐渍化土。这主要也

是由于化学肥料过量施用引起的, 水浇地设施栽培的环境使得土壤盐基离子随着水分蒸发迁移到土壤表层, 导致耕层土壤含盐量较高, 但水浇地和果园之间的差异并不显著。本试验的不足之处也体现在未将水田土壤的容重、阳离子交换量和水溶性盐测定分析, 无法同时比较 3 种土地利用方式的差异。

4 结论

浙北地区嘉兴市郊水田、水浇地和果园 3 种土地利用方式土壤均出现了轻度酸化现象, 水田的有机质水平显著高于水浇地和果园, 不同利用方式的土壤全氮含量接近, 水田土壤 C/N 显著高于水浇地和果园。土壤有效磷和速效钾含量富集程度较高, 尤其在水浇地和果园土壤中尤为突出。该区域应合理施用氮肥, 防止酸化土壤比例上升, 同时适当减少磷肥和钾肥的施用。对于蔬菜和水果的生产应更注重中微量矿质元素的补充, 科学按需补充养分。此外应继续推广秸秆还田、绿肥还田、增施有机肥等沃土措施。

参考文献:

- [1] 李子君, 郭佳怡, 王海军. 沂蒙山区不同土地利用方式下土壤理化性质及土壤质量的差异性[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2023, 51(2): 108–120.
- [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] 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[J]. 土壤, 2022, 54(6): 1132–1137.
- [4] 刘明庆, 韩笑, 杨育文, 等. 不同土地利用方式土壤肥力调查与评价: 以浙江省建德市葛塘村为例[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(3): 394–401.
- [5] 杨佳, 于志军, 王参, 等. 雄安新区不同土地利用方式土壤性状的空间分布特征——以容城县为例[J]. 生态学报, 2021, 41(17): 6764–6772.
- [6] 国土资源部. 土地利用现状分类: GB/T2010-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992.
- [9] 徐建明. 土壤质量指标与评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [10] 余倩, 段雷, 郝吉明. 中国酸沉降: 来源、影响与控制[J]. 环境科学学报, 2021, 41(3): 731–746.
- [11] 朱永青, 崔云霞, 李伟迪, 等. 太湖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.
- [12] 李艾芬, 范文俊, 陆建中, 等. 浙江省嘉兴市郊水稻土酸度比较研究[J]. 土壤, 2010, 42(4): 644–647.

- [13] 朱日清, 俞广力, 张建英, 等. 1984年与2007—2017年秀洲区水田土壤pH值时空分布特征的变化[J]. 浙江农业科学, 2018, 59(8): 1451—1453.
- [14] 陈红金, 陶云彬, 吴春艳. 长期秸秆粉碎还田对水稻产量和耕地质量的影响[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(12): 2342—2344, 2348.
- [15] 杨帆, 徐洋, 崔勇, 等. 近30年中国农田耕层土壤有机质含量变化[J]. 土壤学报, 2017, 54(5): 1047—1056.
- [16] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 901—914.
- [17] 常琳溪, 梁新然, 王磊, 等. 中国稻田土壤有机碳汇特征与影响因素的研究进展[J]. 土壤, 2023, 55(3): 487—493.
- [18] 厉宝仙, 王保君, 怀燕, 等. 水稻-红鳌鳌虾共作对稻田土壤养分、碳库与稻米品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(4): 688—696.
- [19] 黄绍文, 唐继伟, 李春花, 等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6): 1480—1493.
- [20] 史艺杰, 王美艳, 徐胜祥, 等. 太湖流域典型设施蔬菜地土壤结构特征研究[J]. 土壤, 2020, 52(5): 1050—1056.
- [21] 严如玉, 甘国渝, 赵希梅, 等. 我国水稻优势产区生产格局及施肥现状研究[J]. 中国稻米, 2023, 29(3): 1—8.
- [22] 郭智, 周炜, 陈留根, 等. 太湖流域桃园磷钾投入特征及其对果实品质的影响[J]. 中国南方果树, 2015, 44(6): 112—117.
- [23] 谢国雄, 楼旭平, 阮弋飞, 等. 浙江省农田土壤碳氮比特征及影响因素分析[J]. 江西农业学报, 2020, 32(2): 51—55.
- [24] 罗由林, 李启权, 王昌全, 等. 川中丘陵县域土壤碳氮比空间变异特征及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 177—185.
- [25] 江叶枫, 钟珊, 李婕, 等. 近30年余干县耕地土壤碳氮比时空变异特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2018, 39(3): 1386—1395.
- [26] 雷平. 我国南方葡萄设施栽培营养障碍诊断及优质施肥技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [27] 孙达, 李艾芬. 南湖区耕地地力现状及改良、培肥对策[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(2): 258—260.
- [28] 朱日清, 姚杰峰, 张磊, 等. 秀洲区第2次土壤普查与2007—2017年的水田土壤速效养分含量变化趋势分析[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(2): 328—330.
- [29] 张剑, 章明奎. 区域农田土壤有效磷的异质特性及其成因[J]. 农学学报, 2022, 12(8): 43—47.
- [30] 王婕, 牛文全, 张文倩, 等. 农田表层土壤养分空间变异特性研究[J]. 农业工程学报, 2020, 36(15): 37—46.
- [31] 张玲娥, 双文元, 云安萍, 等. 30年间河北省曲周县土壤速效钾的时空变异特征及其影响因素[J]. 中国农业科学, 2014, 47(5): 923—933.
- [32] 张丽君, 麻万诸, 项佳敏, 等. 浙江省耕地土壤速效钾状况及影响因素分析[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(4): 607—611.
- [33] 冀宏杰, 张怀志, 张维理, 等. 我国农田土壤钾平衡研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6): 920—930.
- [34] 李晓刚, 庞奖励, 黄春长, 等. 洛川塬土地利用变化对土壤肥力质量的影响[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 94—98.
- [35] 丁晨曦, 李永强, 董智, 等. 不同土地利用方式对黄河三角洲盐碱地土壤理化性质的影响[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(2): 84—89.