

## 土地利用变化对土壤类型的影响——以太仓和昆山两市为例<sup>①</sup>

赵治东<sup>1,2,3,4</sup>, 孙龙辉<sup>1,5</sup>, 赵明松<sup>2,3,4</sup>, 刘峰<sup>1,5\*</sup>, 徐胜祥<sup>1,5</sup>, 李德成<sup>1,5</sup>

(1 土壤与农业可持续发展重点实验室(中国科学院), 南京 211135; 2 安徽理工大学空间信息与测绘工程学院, 安徽淮南 232001; 3 矿山采动灾害空天地协同监测与预警安徽省教育厅重点实验室, 安徽淮南 232001; 4 矿区环境与灾害协同监测煤炭行业工程研究中心, 安徽淮南 232001; 5 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 选取江苏省太仓市和昆山市作为研究区域, 结合当前土地利用方式和历史土壤图资料, 通过室内分析确定土地利用方式的变化区域, 并设置典型的调查样点, 通过野外踏勘确定土地利用方式改变对土壤类型的潜在影响。结果表明: 近 40 年来, 太仓和昆山的主要土地利用变化方式是水改旱(即由水田转变为水浇地、旱地、园地、林地和草地等), 这一变化分别占据了两市土地利用方式变化的 98.92% 和 98.15%。这种显著的土地利用变化对土壤类型产生了明显影响, 导致土壤性质发生改变, 包括水稻土的犁底层逐渐减少, 甚至消失, 使其失去了典型的水稻土特征。研究区内土壤类型变化规则的确定主要由土壤质地和人为土地改造方向所影响。值得注意的是, 水改旱后如继续旱作, 土壤类型可能会由水稻土转为其他类型土壤(如潮土等), 但这需要进一步的研究来验证其效果。

**关键词:** 土地利用变化; 水改旱; 土壤类型; 土壤调查

中图分类号: S155 文献标志码: A

### Effects of Land Use Type Changes on Soil Types: A Case Study of Taicang and Kunshan Cities

ZHAO Zhidong<sup>1,2,3,4</sup>, SUN Longhui<sup>1,5</sup>, ZHAO Mingsong<sup>2,3,4</sup>, LIU Feng<sup>1,5\*</sup>, XU Shengxiang<sup>1,5</sup>, LI Decheng<sup>1,5</sup>

(1 Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China; 2 School of Spatial Information and Surveying and Mapping Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001, China; 3 Key Laboratory of Aviation-Aerospace-Ground Cooperative Monitoring and Early Warning of Coal Mining-induced Disasters of Anhui Higher Education Institutes, Huainan, Anhui 232001, China; 4 Coal Industry Engineering Research Center of Collaborative Monitoring of Mining Area's Environment and Disasters, Huainan, Anhui 232001, China; 5 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** In this study, Taicang and Kunshan cities of Jiangsu Province were taken as the study areas, by integrating current land use types with historical soil map data, indoor analysis used to identify the regions experienced obvious changes in land use types. Additionally, field typical survey points were established through reconnaissance to assess the latent impacts of the conversion from paddy fields to other agricultural fields on soil types. The results showed that over the past four decades, the predominant land use change in Taicang and Kunshan was paddy fields changed into other agricultural fields (such as water-irrigated fields, dryland, orchards, forests and grasslands), accounting for 98.92% and 98.15% of the land use changes in each city, respectively. These substantial shifts in land use types significantly influenced soil types, leading to alterations in soil properties, including the gradual reduction and even disappearance of the plow-pan in paddy soils. The determination of soil type variations within two study areas was primarily influenced by soil texture and the direction of human-induced land transformations. It is worth noting that further research is required to validate the potential evolution of soil types (for example from paddy soil to fluvo-aquic soil) after paddy fields changed into other agricultural fields for a certain time.

**Key words:** Land use type change; Paddy field changed into other agricultural land; Soil type; Soil survey

土壤类型的分布差异是自然成土环境和长期人类活动共同作用的结果。土地利用方式的显著改变

可能导致特定的土壤类型变化。然而, 尚未有研究充分揭示县域尺度土壤类型变化与土地利用方式变

①基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42071072)和面向三普调查的土壤类型图数字制图与更新方法研究项目(ISSASIP2202)资助。

\* 通讯作者(fliu@issas.ac.cn)

作者简介: 赵治东(1998—), 男, 四川宜宾人, 硕士研究生, 主要从事数字土壤制图和土壤分类研究。E-mail: 846248418@qq.com

化之间的潜在联系。现代土壤发生学认为风化成土过程受物理、化学和生物作用影响,其中气候、地形、母质、生物和成土时间是控制土壤形成的五类自然因素<sup>[1-2]</sup>。事实上,土壤学家早已认识到人类活动对土壤的重要影响,并将其视为第六大成土因素。由于人工搬运、堆垫、施肥、灌溉等人类活动,使原有的土壤形成过程加速或被阻滞甚至逆转,会形成有别于同一区域其他自然土壤的新类型<sup>[3]</sup>。

人类活动对土壤的影响可以体现在改变土地的利用方式上。由于人为活动的影响,土地利用方式的改变可以重塑土壤环境和土壤过程<sup>[4-5]</sup>,人为影响剧烈的情况下可使土壤类型在短时间尺度内发生改变<sup>[6]</sup>。对于同一区域的土壤,不同的土地利用方式会导致其化学指标产生差异<sup>[7-8]</sup>;在水田改为园地后,会导致土壤部分理化性质发生变化<sup>[9-10]</sup>,并且导致土壤微生物群体结构发生显著改变<sup>[11]</sup>。在平原区水田改林地后,土壤有机质含量明显下降,土壤逐渐酸化,其土壤发生学性质发生显著变化<sup>[12]</sup>。水田改为菜地后,土壤的微生物数量和活性明显下降<sup>[13]</sup>,土壤容重变大,土壤水分吸持性能下降<sup>[14]</sup>,并且水田改为大棚蔬菜地5年后,土壤微量元素含量会达到一个相对稳定的阶段<sup>[15]</sup>。而当耕地(水田、旱地、水浇地)转换为非耕地(林地、园地、草地)之后,土壤有机碳含量会降低<sup>[16]</sup>。土壤无机碳含量变化的幅度和方向会随土地利用变化差异有所不同<sup>[17]</sup>。对于不同的土壤类型,其土地利用方式变化的趋势即使相同,也会导致其最终的土壤属性产生差异<sup>[18]</sup>。当一个区域的土壤性状及土地利用方式发生改变后,会导致土壤类型改变<sup>[19]</sup>。

水稻土是一种耕作方式影响下的土壤类型,因此其分布范围会随着水稻耕种面积的变化而变化,当不在种植水稻时,水稻土的性状会发生改变,其犁底层逐渐变薄<sup>[20]</sup>,直至消失<sup>[21]</sup>。当水耕改为旱耕时,其土壤类型会被人为地定向培育成一种当地特有的旱耕土壤,该土壤类型不同于无旱耕历史的土壤<sup>[22]</sup>。当旱地改水田后,由于长期种植水稻,频繁的淹水耕作会使土壤发生层、pH、有机质组成、铁锰氧化物、新生体和颜色等方面发生显著的变化<sup>[23-24]</sup>,在经过一定年限的培育之后会形成具有特定发生学特性的水稻土。

距离20世纪80年代进行的全国第二次土壤普查(以下简称“二普”)已经过去40多年,这期间我国的土地利用方式发生了巨大变化<sup>[25-26]</sup>。二普时期分别

在太仓市挖掘了4296个剖面<sup>[27]</sup>、昆山市挖掘了5033个剖面<sup>[28]</sup>,以确定这两个地区的土壤类型。当时,基于这些剖面样本数据,制作了精度较高的1:50000历史土壤图。为了充分利用这些宝贵的数据,本研究将历史土壤图与2019年第三次全国国土调查(以下简称“国土三调”)生成的土地利用数据进行了叠加,以提取土地利用方式发生变化的区域,在此基础上,通过野外实地踏勘的方式,研究了太仓市和昆山市土地利用方式变化对土壤类型的影响及其变化规律。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

太仓市位于 $31^{\circ}20' \text{ N} \sim 31^{\circ}45' \text{ N}$ 、 $120^{\circ}58' \text{ E} \sim 121^{\circ}20' \text{ E}$ ,地处长江三角洲冲积平原。该市地势平坦,自东北向西南略有倾斜,平均海拔约为3 m。东部为沿江平原,而西部则为低洼的圩区。气候类型属于北亚热带南部湿润气候,年平均气温约为 $15.3^{\circ}\text{C}$ 。主要土壤母质为长江冲积物和湖泊沉积物,包括2个土类,5个亚类,9个土属,29个土种,陆地总面积约为 $665.96 \text{ km}^2$ 。

昆山市位于 $31^{\circ}06' \text{ N} \sim 31^{\circ}32' \text{ N}$ 、 $120^{\circ}48' \text{ E} \sim 121^{\circ}09' \text{ E}$ ,地处长江三角洲太湖平原。该市水系发达,地势平坦,自西南向东北略有倾斜,自然坡度较小,平均海拔约为3.4 m,仅有孤立的马鞍山孤丘一座。北部为低洼的圩区,中部为半高田地区,南部为濒湖的高田地区。气候类型属于北亚热带南部季风气候,年平均气温约为 $17.6^{\circ}\text{C}$ 。主要土壤母质为湖泊沉积物,包括4个土类,6个亚类,10个土属,25个土种,陆地总面积约为 $707.6 \text{ km}^2$ 。

### 1.2 数据收集

研究区的土地利用图和行政区划图是由江苏省第三次全国土壤普查办公室协调后,从江苏省自然资源厅获取的比例尺为1:10000的国土三调数据以及截止至2022年的新增耕地数据。历史土壤图源自太仓市和昆山市的二普成果,比例尺为1:50000。该土壤图已由第三次全国土壤普查办公室进行了地理配准。遥感影像数据来自欧空局发射的高时空分辨率多光谱成像卫星Sentinel-2,卫星的重访周期为5 d。该数据的空间分辨率最高可达10 m,并通过欧空局哥白尼数据中心共享网站(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)免费下载。

### 1.3 土地利用变化区域提取与运用

在本研究中,采用了1:50000的二普土壤图,

其中将水稻土区域定义为二普时期的水田区域,而将非水稻土的区域定义为旱作用地区域。此外,对林地、草地和园地进行了一级地类方式的合并,同时也对耕地进行了分类,包括旱地、水浇地和水田。这一方法能够更有效地与现有的地类数据进行对比,从而更精确地划分出水田改为旱作和旱作改为水田区域的空间分布。

在待调查区域的筛选方法方面,首先,对国土三调的土地利用类型图和二普土壤类型图进行了空间叠加分析,利用ArcGIS10.7软件提取了符合要求的地块;然后进行人工筛选,优化地块的边界,形成了土壤类型可能发生变化的地块分布图。筛选操作流程包括地块初筛、地块归并、面积筛选和信息提取4个步骤,均通过ArcGIS10.7软件实现。

本研究选择了研究区域内的耕、园、林、草地总面积作为土壤类型的总面积。土壤类型可能发生变化的面积比例( $D$ )是指耕、园、林、草地变化的总面积( $A$ )与该区域内耕、园、林、草地的总面积( $S$ )的比值。这一方法用于衡量各土壤类型内部地类变化的程度<sup>[29]</sup>,并解释了耕、园、林、草地变化面积整体情况。计算公式为:  $D=A/S \times 100\%$ 。

#### 1.4 典型调查样点设置

首先,对筛选出的地类变化区图斑进行分类,包括水田改林地、水田改水浇地、水田改旱地、水田改园地、水田改草地以及旱作用地改水田。确定每种地类变化情况的典型调查样点遵循以下步骤:①通过叠加最新的高分辨率遥感影像,对地类的实际变化模式进行室内预判,仅保留地类变化区域中属于耕、园、林、草地的部分;②根据各种土地类型的图斑面积排序,选择面积最大的两个图斑;③以选定图斑的几何中心作为该变化区的典型调查样点。对于地类未发生变化的区域,确定各种土地类型的图斑筛选按照以下步骤进行:①挖掘土壤图中蕴含的各种土地类型的土壤与环境关系,提取该土地类型的典型景观部位;②选择该土地类型中面积最大的图斑作为待调查图斑;③通过叠加最新的高分辨率遥感影像,选择可以便捷地利用交通工具到达的指定区域,作为未发生变化区的典型调查样点。

#### 1.5 土壤类型变化的野外踏勘

由经验丰富的土壤分类专家和土壤制图专家组成野外踏勘队伍,使用土钻钻取土壤并依靠专业经验现场鉴定土壤类型。同时,使用GPS记录检查点的经纬度坐标、景观特征以及土地利用情况等信息。通

过野外踏勘,整理并总结出研究区内土地利用变化导致土壤类型变化的相关知识规则。

## 2 结果与分析

### 2.1 太仓、昆山两市历史土壤类型分布

**2.1.1 太仓市历史土壤类型分布** 太仓市的水稻土起源于潮土。该市的地形自东北向西南逐步倾斜,导致水稻土的分布自东北向西南由渗育型逐渐过渡到脱潜型和潜育型。其西部地区的母质是泻湖堆积物亚黏土母质,导致土壤质地较黏,位于低洼圩田区域的土壤类型包括青泥土和乌棚土,平坦区域则为黄泥土;而在太仓东部,占据了市区大部分地区的母质类型主要是长江冲积物,其发育而来的土壤类型黏粒含量较低。由于冲积母质分布上的成带性,造成了土壤类型与河流距离相关。靠近大型河道的土壤富含砂粒和粗粉粒,土壤类型多为小粉土和砂土;而距离河流越远,受潮水的影响越小,其黏粒含量越高,土壤类型为块状土;而位于两者之间的地区则属于砂夹块土。水耕堆叠土则是由大河道两侧的堆叠土改种水稻而形成。各土种的具体区别是基于砂粉黏粒含量、是否存在明显的铁锰淀积层、是否有灰色腐泥埋藏层以及是否有灰色胶膜等因素来划分的。太仓市的二普土壤图以及野外踏勘点的分布,如图1所示。

太仓市的潮土土种类型是根据其质地和人为因素的影响而命名的。一般地,土壤的砂粒含量决定了是否称之为潮砂土,而黏粒含量则决定了是否为潮泥土。园田潮泥土之所以得名是因为多年来一直用于种植蔬菜,而砖屑潮泥土则因土体中含有大量砖屑而得名(值得注意的是,该土种在城镇周围的区域比较散乱,未能在二普土壤图中标注出来)。堆叠土具有较高的粉粒含量,是人为堆叠而成的,通常是在河道开发时形成的。

**2.1.2 昆山市历史土壤类型分布** 昆山市的土壤类型主要起源于沼泽土,其中少部分属于草甸土类型,经过人工耕作和培育,现逐渐脱离了沼泽土的影响。该市的地形自南向北倾斜,由湖滨地区向内陆延伸,逐渐地势递降。水稻土的分布呈现南北阶梯状分布,由潜育型逐渐过渡到脱潜型和潜育型。土属的分布主要受微地形的影响,从地势高的地区到低洼地带,依次为黄泥土、黄松土、乌山土、青紫土。青泥土主要分布于南部湖滩地区和阳澄湖低洼地带。而僵土则是由于人为挖土制砖瓦而形成的低产土壤。土种

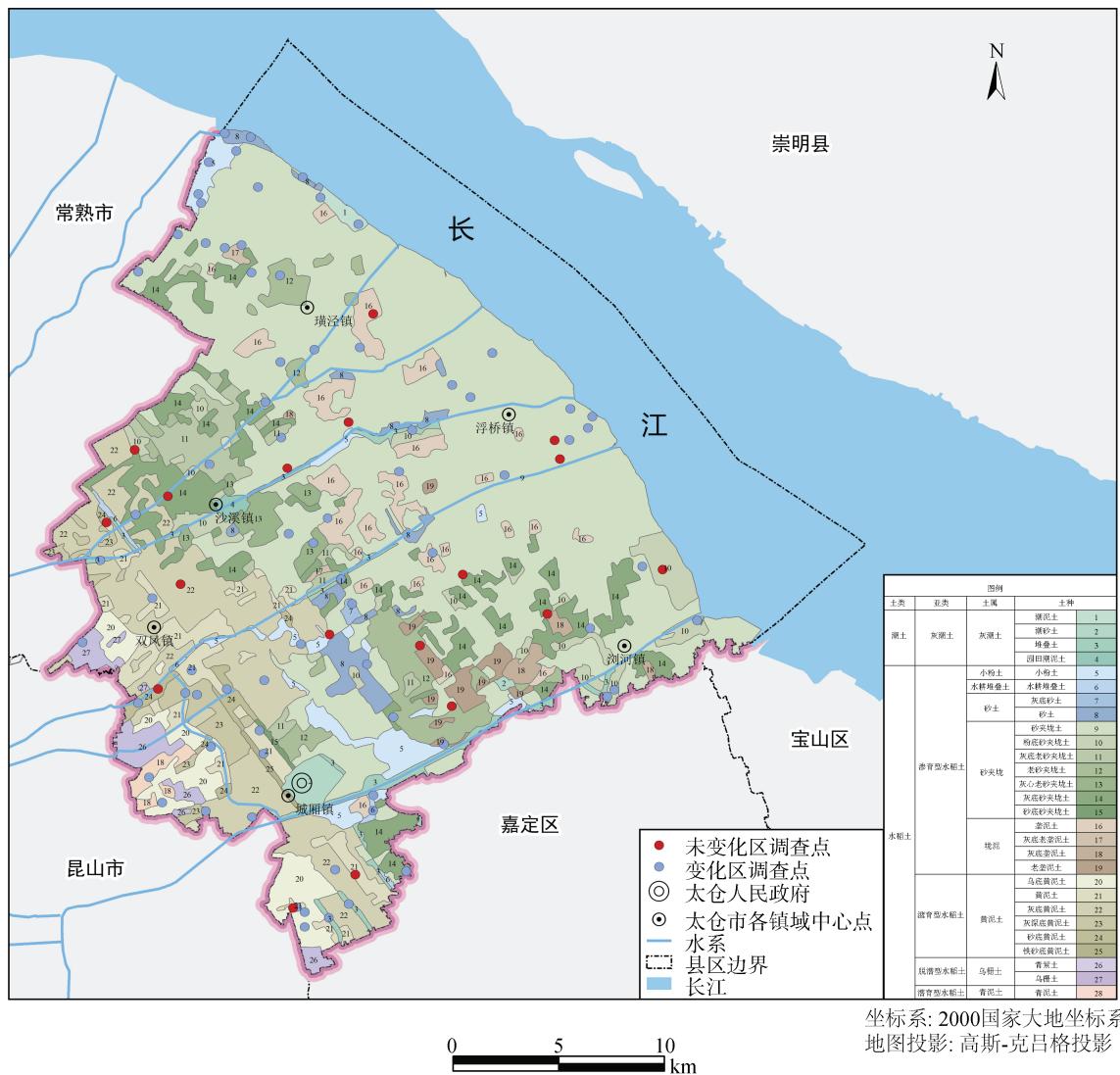


图 1 太仓市历史土壤图和野外踏勘调查点  
Fig. 1 Historical soil type map and field survey sites of Taicang

的具体划分基于土属的砂粉黏粒含量以及有无灰色胶膜等特征。昆山市的二普土壤图以及野外踏勘点的分布,如图 2 所示。

昆山市黄棕壤仅分布在中部的马鞍山上。沼泽土主要分布在南部湖滩地区和北部阳澄湖地区。潮土的土种类型则是根据土地利用方式命名的,园田土因为长期种植蔬菜而得名,但由于其连片分布较小,未能在二普土壤图中显示。园林土主要用于果园、林木和苗圃种植。旱地黄土零星散布在全市,而堆叠土的特征与太仓市的堆叠土相似。

## 2.2 太仓、昆山两市土地利用变化区域分布

**2.2.1 地类变化区域面积比** 根据国土三调地类数据,研究区的耕、园、林、草地面积总和分别为太仓市  $31\,645\text{ hm}^2$ 、昆山市  $29\,786\text{ hm}^2$ 。两市近 40 年来水改旱区域的占比最高,太仓市占比为 98.15%,昆山

市占总变化区域的 98.92%。太仓市的主要土地利用变化方式是将水田改为水浇地,占变化区域面积的 36.49%;而昆山市主要的土地利用变化方式是将水田改为林地,其占变化区域面积的 39.28%。各种变化模式的面积以及其在总变化区域中的比例如表 1 所示。

**2.2.2 土地利用变化区域空间分布** 综合野外调查结果和高分辨率遥感影像目视判读结果发现,太仓和昆山两市旱地和水浇地均被用于蔬菜种植。因此,本研究将之前标记为水田改旱地和水田改水浇地的区域归并为水田改菜地的区域。水改旱是昆山和太仓两市主要的地类变化模式。旱改水的区域相对较小,太仓市的旱改水图斑主要集中分布在堆叠土所在的靠近大型河道的地区;而昆山市的旱改水的图斑则主要位于南部靠近湖泊的地区,多数是通过治理沼泽土改成水田,变化区域如图 3 所示。

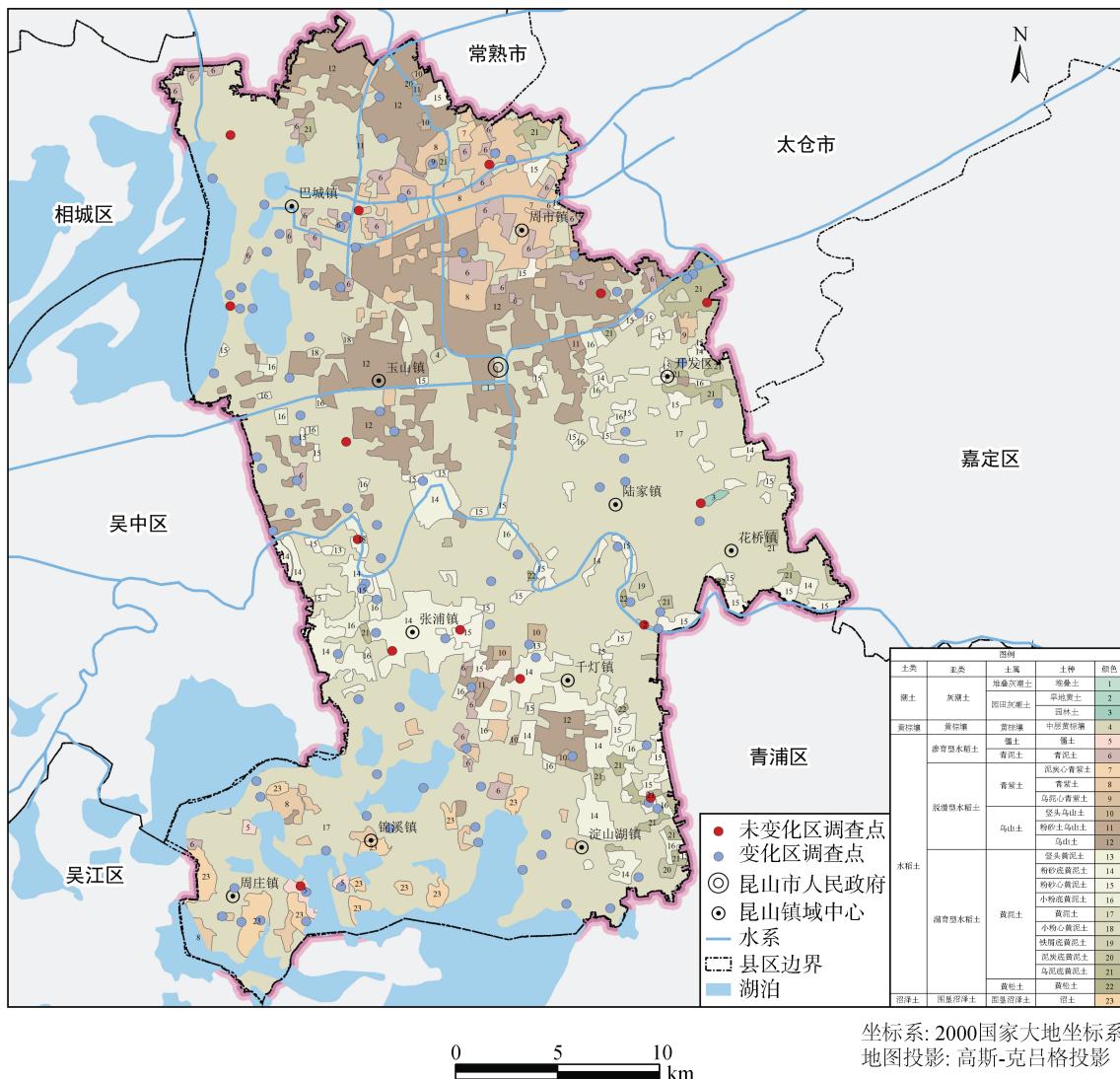


图2 昆山市历史土壤图和野外踏勘调查点  
Fig. 2 Historical soil type map and field survey sites of Kunshan

表1 近40年昆山、太仓两市的土地利用变化情况  
Table 1 Changes in land use types in Kunshan and Taicang in last four decades

地类变化模式	太仓		昆山	
	变化面积 (hm <sup>2</sup> )	占比 (%)	变化面积 (hm <sup>2</sup> )	占比 (%)
旱作用地改水田	215	1.85	160	1.08
水田改草地	1 008	8.67	2 579	17.39
水田改旱地	535	4.60	514	3.47
水田改林地	4 091	35.16	5 825	39.28
水田改水浇地	4 246	36.49	4 246	28.63
水田改园地	1 539	13.23	1 507	10.16
总变化区	11 636	100	14 830	100

太仓市最主要的土地利用变化方式是将水田改为菜地, 菜地图斑分布于靠近水系和城镇的地块上。其次是水田改林地, 该变化模式覆盖了全境, 数量是

改善生态环境的防护林和苗圃。水田改园地的图斑远离城镇, 主要集中分布在砂夹壤土属的区域。水田改为草地的图斑连片分布于北部靠近长江的地块。新增耕地的图斑零星分布于全市, 没有连片的分布图斑。

昆山市最主要的土地利用变化方式是将水田改为林地, 林地图斑大面积分布于昆山吴淞江以北, 多数是退耕还林后的生态防护林, 吴淞江以南的林地则靠近湖泊。其次是将水田改为菜地, 这一变化模式的图斑分布在城镇附近。水田改为草地的图斑零星分布于全市, 多数是绿化草坪或湖滨的生态草地。水田改为园地的图斑集中分布于西北部靠近湖泊地段以及中部地势较高的地块, 多为桃园。

### 2.3 太仓、昆山两市土壤类型的潜在变化规律

通过对地类变化区的214个图斑进行调查(太仓市118个, 昆山市96个), 以及对33个非变化区的

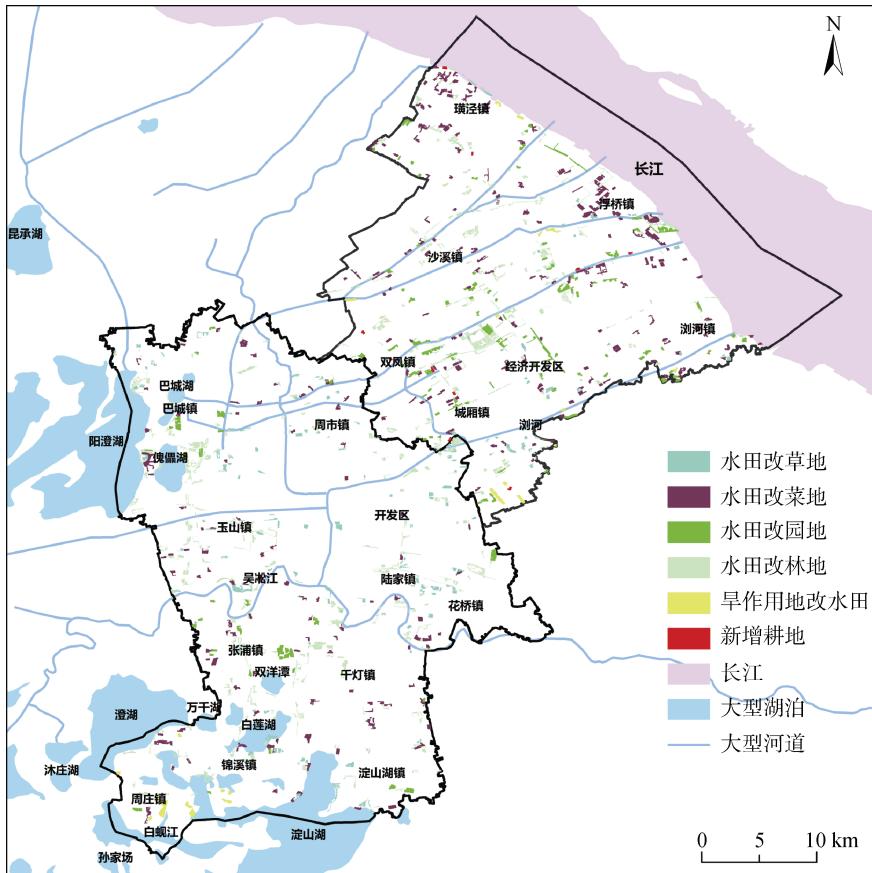


图 3 太仓、昆山两市农业用地中土地利用方式发生变化的区域

Fig. 3 Location of experienced land use changes from paddy fields to other agricultural lands in Taicang and Kunshan

图斑(太仓市 18 个, 昆山市 15 个)进行研究, 发现地类未发生变化的图斑其土种类型没有变化; 在地类发生变化的图斑中, 大多数土种类型已经发生了变化, 或者显示出了变化的趋势。尽管有一小部分土种在短期内保持不变, 但随着时间的推移, 它们的土种类型最终也会发生变化, 因为其土壤类型所处的外部环境已经无法维持原有的土壤性质。因此, 土地利用类型的改变会显著影响土壤类型的变化。

本研究还发现, 同一土壤类型在不同的土地利用方式下, 其土壤类型变化的规律存在差异, 尤其在水改旱方面表现得更为明显。综合太仓市和昆山市野外调查的实际结果, 发现以下地类变化导致土壤类型变化的规律(图 4):

1) 水改旱。太仓和昆山两市的水田改为旱作用地后, 土壤类型发生了变化, 原本的水稻土变成了潮土。尽管有些地块改造年限较短, 仍保留了一些水稻土的特征, 但由于缺乏长期淹水和水旱交替的条件, 土壤的发生层次显示出向潮土过渡的趋势。随着旱作年限的增加, 土壤性质将逐渐与潮土趋于一致。综合野外调查结果以及《太仓县土壤志》<sup>[27]</sup>和《昆山市土壤

志》<sup>[28]</sup>中对土壤类型的描述, 本研究认为在同一土种的水稻土经历水改旱后, 导致土壤类型变化方向存在差异的因素包括地理空间、灌溉措施、成土母质类型和人为因素。

首先, 在地理空间方面, 小尺度区域内水体因素对土壤形成的影响占比较大, 所以优先考虑水体的影响<sup>[30]</sup>。分布在大型河道两岸的水耕堆叠土在经历水改旱后其土壤类型会逐渐转变为堆叠土, 因为该土壤类型是由拓宽河道后堆积在两岸的堆叠土经水耕熟化后形成的, 且与堆叠土有着相似的空间分布规律。

其次, 菜地通常配有明显的灌溉设施, 这类地块的土壤旱耕熟化程度较其他地块更高, 仍然受到长期人为灌溉的影响。在菜地这种旱耕熟化的方式中形成的潮土, 接受的灌水和磷肥投入量较一般农田高<sup>[31]</sup>。因此在水田改为菜地后, 其土种类型会发生定向变化, 逐渐转变为园田潮泥土(太仓)或菜园土(昆山)。如果没有灌溉措施, 那么土壤类型将逐渐转变为旱地黄土(昆山)。

不同的成土母质类型也会影响土壤类型的演变与形成<sup>[32]</sup>。太仓市的砂土、砂夹壤土和小粉土下的

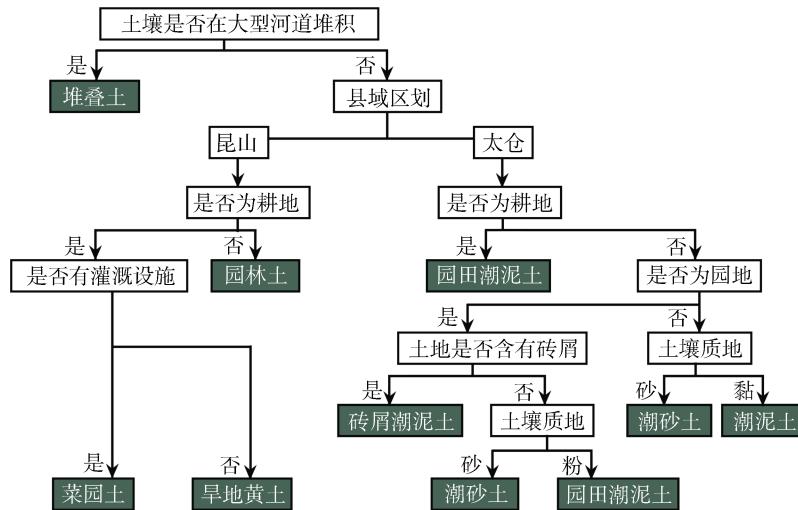


图4 水改旱后野外土壤类型的判定流程

Fig. 4 Field determining framework for soil types after paddy fields changed into other agricultural lands

土种类型砂粒含量较高,当改为林地、园地、草地或旱地后,土壤类型会变成砂粒含量较高的潮砂土。相比之下,青泥土、乌壤土、黄泥土和壤泥土下的土种类型砂粒含量较低,改为林地、草地后土壤类型会逐渐变成潮泥土,改为园地时会逐渐变成园田潮泥土。昆山市的土壤母质类型除马鞍山地区外,几乎都是湖积物,砂粒含量较低,因此,昆山市潮土的土种类型是根据土地利用方式的差异性分类的,在考虑昆山市旱改水后对应的土壤类型时,只需考虑土地利用方式即可。改为林地或园地后,土壤类型都会逐渐变成园林土,而改为草地后会逐渐成为旱地黄土。

最后,根据土壤本身受人为影响的程度,如果改为稳定的旱作用地后,土壤中含有较多的建筑材料砖屑,则可以命名为砖屑潮泥土(太仓)。

2)旱作用地改为水田。太仓、昆山两市的旱作用地改为水田后,需长期人为培育,土壤类型才能逐渐转变为水稻土<sup>[33]</sup>。而水稻土的土种划分依据在于其所处的微地形与环境条件<sup>[34]</sup>。由于太仓和昆山两市的历史水稻土类型覆盖了整个市区,各水稻土类型所处的空间位置反映了微地形和环境条件的多样性。因此,在确定旱地改为水田后的具体水稻土类型时,首先应优先考虑该地点周围水稻土的类型。然后,可以根据旱地土壤的理化性质来确定转变为水稻土后的土种类型。

3)新增耕地的土壤类型确定规则。太仓和昆山两市的新增耕地主要是通过废弃的工矿地、宅基地的复垦以及坑塘填埋等方式形成。这些新增耕地的土壤通常是由客土而来,因此受到其周围环境条件

的影响,最终土壤的理化性质与周围土壤相似。然而,复垦地块的土壤在短期内难以转变为适合水稻种植的水稻土,因为在复垦过程中,土壤会受到机械碾压的影响,导致土壤容重增大、孔隙度减小,使得新增耕地的土壤相对于耕地更加紧实<sup>[35-36]</sup>。此外,这些土壤中可能还含有大量的砖屑和碎块,不利于水稻的生长,因此应将其归类为旱作土壤类型或相应的技术人为土类型。

土壤类型的判定通常依赖于土壤发生层次的差异。如果土壤在0~50 cm深度范围内显示出明显的发生层次,那么可以根据存在的发生层次来确定土壤类型。如果土壤没有明显的分层,那么可以根据当地不同土地利用方式下的旱作土壤类型来划定该土壤的类型名称。

### 3 讨论

#### 3.1 太仓、昆山两市土壤类型变化成因

本研究结果表明,太仓和昆山两市长期水改旱引发水稻土的土壤类型逐渐演变为潮土。这一土壤类型的演变过程与土壤的发生层次以及犁底层的演变密切相关。水稻土和潮土的形成与频繁的还原淋溶和氧化淀积等物理化学过程密切相关。虽然潮土也会发生淋溶淀积现象,但这种现象不如水稻土显著<sup>[37]</sup>。这两种土壤类型都包含耕作层,但在长期水稻种植的过程中,土壤经历了长期的灌溉和黏粒淀积,导致犁底层的形成。犁底层的土壤密度较大,孔隙度较小,这会限制田间水的渗透,因此土壤保持了长期的还原淋溶状态。然而,一旦不再进行长期的水稻种植,失去长期灌溉和水旱交替的条件,犁底层逐

渐减小甚至消失, 土壤的结构和孔隙分布也会发生变化。这导致土壤出现氧化状态, 使水分更容易渗透, 下层土壤的结构和孔隙分布也相继发生变化,

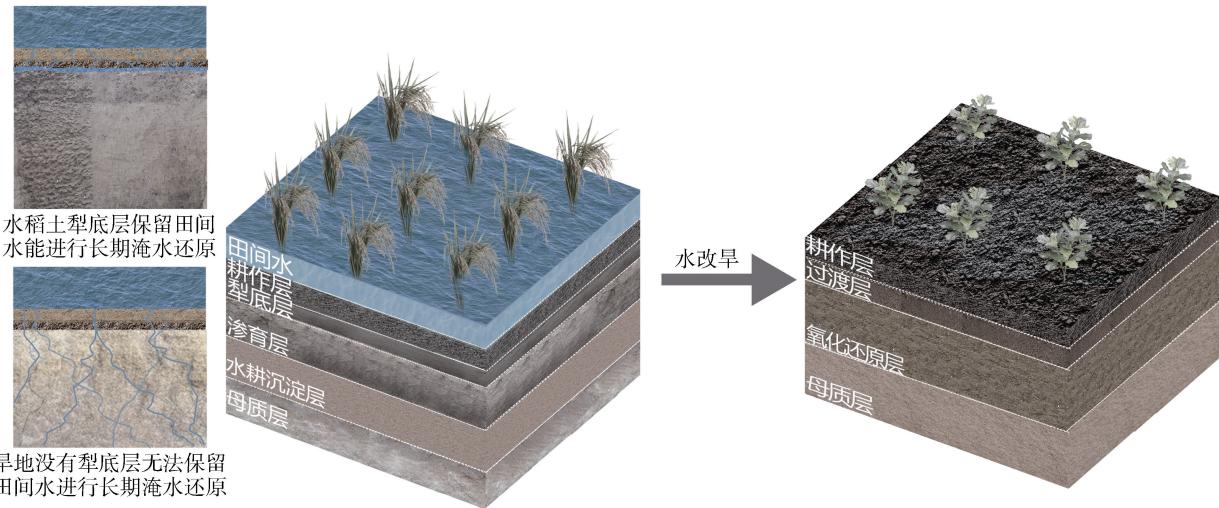


图 5 水改旱后土体结构变化示意图

Fig. 5 Schematic diagram of change in soil horizon structure after paddy fields transferred into other agricultural lands

### 3.2 水改旱后水稻土变化趋势

水稻土是经过长期的人为培育和改良的土壤类型, 其性质已经受到了人为因素的深刻影响, 使其逐渐脱离了自然土壤的属性, 演变成为一种专门用于农耕的土壤类型。即使不再进行水稻种植, 转为旱作农耕, 水稻土的土壤类型也不会自发地转变为自然土壤, 而是会继续受到人为因素的影响, 逐渐演变成一种特定的旱作土壤类型。甚至当土壤所处的环境完全回归到其最初形成成为水稻土之前的自然状态时, 由于曾经受到人为因素的深刻影响, 土壤的性质和特征也很难在短期内完全恢复到不受人为干预时的自然状态。因为土壤的质地和特性已经发生了一定程度的变化<sup>[38]</sup>。因此, 在确定土壤的种类时, 需要综合考虑当前土壤的性质以及人为改造土壤的方式和历史。这种综合分析有助于更准确地推断土壤的类型和性质, 特别是在考虑了人为因素的影响后。

## 4 结论

土地利用方式的变化在导致土壤类型发生变化中扮演了主要的驱动角色。母质类型的不同是导致土壤类型变化方向不同的根本原因。人为培育土壤的方向差异直接导致了研究区内潮土的土种类型差异。在进行野外土壤调查时, 土壤质地是判断土壤类型的最为可靠的方法。

在水改旱后, 当地的旱作农业种植方式对土壤类型的形成和演变产生了一定影响, 逐渐形成了适合于

从而无法维持土壤的长期还原淋溶状态, 最终, 水稻土的特征逐渐消失, 土壤类型逐渐演变为潮土, 土体结构变化如图 5 所示。

当地旱作农业的土壤类型。这种土壤类型与未经旱作农业处理的林地和草地土壤有所不同。因此, 在考虑土壤类型变化的方向时, 建议综合考虑当前县域尺度内已有的土壤类型, 并综合考虑地理空间、水文地质和土地利用等多种因素的影响, 以选择适合的目标土壤类型。

### 参考文献:

- [1] 龚子同. B.B 道库恰耶夫——土壤科学的奠基者——纪念 B.B 道库恰耶夫《俄罗斯黑钙土》发表 130 周年[J]. 土壤通报, 2013, 44(5): 1266–1269.
- [2] 张甘霖, 史舟, 朱阿兴, 等. 土壤时空变化研究的进展与未来[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1060–1070.
- [3] 龚子同, 陈鸿昭, 杨飞, 等. 地带性学说的建立及其在中国土壤科学中的实践和发展[J]. 土壤通报, 2020, 51(6): 1267–1274.
- [4] 张甘霖, 朱永官, 邵明安. 地球关键带过程与水土资源可持续利用的机理[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(12): 1945–1947.
- [5] 张甘霖, 宋效东, 吴克宁. 地球关键带分类方法与中国案例研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2021, 51(10): 1681–1692.
- [6] 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.
- [7] 袁大刚, 张甘霖. 不同利用方式下南京城市土壤碳、氮、磷的化学计量学特征[J]. 中国土壤与肥料, 2013(3): 19–25.
- [8] 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]. 土壤学报, 2023, 60(3): 685–693.
- [9] 翁倩, 袁大刚, 余星兴, 等. 稻田改为茶园后土壤铁形态与磁学性质演变特征[J]. 土壤, 2020, 52(5): 1076–1082.
- [10] 袁大刚, 蒲光兰, 程伟丽, 等. 川西稻田改为茶园后土

- 壤 pH 和腐殖质组成剖面分布变化特征[J]. 浙江农业学报, 2016, 28(1): 104–109.
- [11] 杨东伟, 章明奎, 张鹏启, 等. 水田改果园后土壤微生物学特性演变[J]. 土壤学报, 2018, 55(1): 182–193.
- [12] 杨东伟, 章明奎, 张鹏启, 等. 平原区水田改林地后土壤黏土矿物及氧化铁的变化[J]. 土壤, 2020, 52(3): 567–574.
- [13] 李忠佩, 吴晓晨, 陈碧云. 不同利用方式下土壤有机碳转化及微生物群落功能多样性变化[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8): 1712–1721.
- [14] 孔超, 王美艳, 史学正, 等. 低场核磁探测水稻田改蔬菜地土壤水分的相态变化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(24): 124–128.
- [15] 李德成, 花建明, 李忠佩, 等. 不同利用年限蔬菜大棚土壤中微量元素含量的演变[J]. 土壤, 2003, 35(6): 495–499.
- [16] 赵明松, 李德成, 张甘霖, 等. 1980—2010 年安徽省土壤有机碳密度及储量时空变化分析[J]. 地理研究, 2018, 37(11): 2206–2217.
- [17] An H, Wu X Z, Zhang Y R, et al. Effects of land-use change on soil inorganic carbon: A meta-analysis[J]. Geoderma, 2019, 353: 273–282.
- [18] Li W W, Jia S N, He W, et al. Analysis of the consequences of land-use changes and soil types on organic carbon storage in the Tarim River Basin from 2000 to 2020[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2022, 327: 107824.
- [19] 王宗明, 刘殿伟, 宋开山, 等. 土壤类型对三江平原土地利用/覆盖变化的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(5): 694–701.
- [20] 方利平, 章明奎. 利用方式改变对水稻土发生学特性的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 815–816.
- [21] 姚玉才, 邱志腾, 陈小梅, 等. 水耕人为土长期改旱后土壤类型演变的探讨[J]. 土壤通报, 2016, 47(5): 1029–1035.
- [22] 章明奎, 杨东伟. 南方丘陵地水改旱后土壤发生学性质与类型的变化[J]. 土壤通报, 2013, 44(4): 786–792.
- [23] 霍莉莉, 吕宪国, 邹元春. 三江平原水稻田耕层土壤铁随开垦年限的动态变化[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 22–25, 51.
- [24] 陈浮, 李肖肖, 马静, 等. 旱改水型农田整治对土壤碳排放的短期影响[J]. 生态学报, 2021, 41(19): 7725–7734.
- [25] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3–14.
- [26] 匡文慧, 张树文, 杜国明, 等. 2015—2020 年中国土地利用变化遥感制图及时空特征分析[J]. 地理学报, 2022, 77(5): 1056–1071.
- [27] 太仓县土壤普查办公室. 江苏省太仓县土壤志[M]. 江苏: 太仓县土壤普查办公室, 1986.
- [28] 昆山县土壤普查办公室. 江苏省昆山市土壤志[M]. 江苏: 昆山县土壤普查办公室, 1983.
- [29] 罗娅, 杨胜天, 刘晓燕, 等. 黄河河口镇—潼关区间 1998—2010 年土地利用变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 42–53.
- [30] 段金龙, 张戈, 任圆圆, 等. 土壤与地表水体空间分布格局的交互关系研究[J]. 土壤, 2021, 53(5): 1072–1080.
- [31] 王瑞, 仲月明, 李慧敏, 等. 高投入菜地土壤磷素环境与农学阈值研究进展[J]. 土壤, 2022, 54(1): 1–8.
- [32] 李松, 慈恩, 连茂山, 等. 水耕条件下两类富钙母岩发育土壤的系统分类归属及成因探讨[J]. 土壤学报, 2022, 59(3): 678–687.
- [33] 王秋菊, 宫秀杰, 曹旭, 等. 三江平原草甸土不同种稻年限土壤理化性质演变特征[J]. 中国土壤与肥料, 2020(5): 10–16.
- [34] 杜国华, 张甘霖, 龚子同. 长江三角洲水稻土主要土种在中国土壤系统分类中的归属[J]. 土壤, 2007, 39(5): 684–691.
- [35] Huang Y H, Cao Y G, Pietrzykowski M, et al. Spatial distribution characteristics of reconstructed soil bulk density of opencast coal-mine in the loess area of China[J]. CATENA, 2021, 199: 105116.
- [36] 王悦颖, 丛海涛, 李勇, 等. 新增耕地土壤的理化特征研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2022, 53(6): 845–849.
- [37] 张凤荣. 土壤地理学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [38] 章明奎, 邱志腾, 毛霞丽. 长期水耕植稻对水稻土耕层质地的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 249–253.