

三江平原不同稻田土壤化学性质演变特征

王秋菊^{1,2}, 焦峰^{3*}, 刘峰¹, 常本超¹, 姜辉⁴, 姜宇⁵, 米刚⁵, 周鑫⁵ (1. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 黑龙江哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150086; 3. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江大庆 163319; 4. 黑龙江省农业科学院科研处, 黑龙江哈尔滨 150086; 5. 黑龙江省农业科学院黑河分院, 黑龙江黑河 164300)

摘要 [目的]明确三江地区不同类型稻田土壤化学性质演变特征。[方法]以三江平原地区主要种稻土壤草甸土、草甸黑土、白浆土为调查对象,采集0~40年不同种稻年限的土壤样本,开展不同种稻年限水田土壤化学性质演变规律的研究。[结果]不同类型土壤种稻后,土壤化学性质演变规律存在异同;3类土壤耕层有机碳含量随种稻年限增加均呈上升趋势;草甸土心土层和犁底层土壤有机碳含量种稻后上升,白浆土犁底层土壤有机碳含量种稻后上升,随种稻年限延长无变化,心土层有机碳含量种稻后下降;草甸黑土心土层和犁底层有机碳含量种稻后无增加趋势;草甸土和草甸黑土土壤中还原性物质总量种稻后在各层均增加,随种稻年限增加有上升趋势,白浆土土壤中还原物质含量在耕层和犁底层随种稻年限增加呈上升趋势;草甸土种稻后各层土壤 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 含量均增加,在种稻10年后向下移动,可达到心土层;草甸黑土种稻后各层土壤 Fe^{2+} 含量增加, Mn^{2+} 仅在耕层有增加趋势;白浆土 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 含量在耕层和犁底层增加,在种稻10年后向下移动至犁底层。[结论]3类土壤在种稻过程中已具有向水稻土形成的一些特征。

关键词 稻田;土壤类型;年限;化学性质;演变特征;三江平原

中图分类号 S153 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)16-0118-03

Evolution Characteristics of Soil Chemical Properties in Different Types of Paddy Fields in Sanjiang Plain

WANG Qiu-ju^{1,2}, JIAO Feng³, LIU Feng¹ et al (1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Key Laboratory of Heilongjiang Soil Environment and Plant Nutrient, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319)

Abstract [Objective] To clarify the characteristics of soil chemical properties in different types of paddy fields in Sanjiang area. [Method] The main paddy soil in Sanjiang Plain was taken as the research object, including meadow soil, meadow black soil and planosol. The soil samples of different rice growing years during 0-40 were collected, and the soil chemical properties of different rice growing years were studied. [Result] After planting rice in different types of soil, the evolution of soil chemical properties was different. The organic carbon content of three soil plough layers increased with the growing number of years. The soil organic carbon in subsoil and plow layers of meadow soil increased after planting rice. In planosol plough layer soil organic carbon increased after planting rice with no change in planting years, and the organic carbon in the subsoil decreased after planting rice. The organic carbon content of the meadow black soil in subsoil and plow bottom layers did not increase after planting rice. The total reducing substances in each layer of the meadow soil and meadow soil were increased after planting rice, and there was a rising trend with the increasing number of years. The reducing substances in the planosol plough layer and the plow bottom layer increased with the growing number of years. Fe^{2+} and Mn^{2+} content in each layer of the meadow soil were increased after planting rice, and Fe^{2+} and Mn^{2+} moved down in 10 years after planting rice, and could reach the subsoil. After planting rice, the content of Fe^{2+} in the soil layer of the meadow black soil increased, and the Mn^{2+} only increased in the plough layer. The content of Fe^{2+} and Mn^{2+} increased in the plough layer and the plow bottom layer of the planosol, and Fe^{2+} and Mn^{2+} moved down to the plow bottom layer after planting rice for 10 years. [Conclusion] These three soils had some characteristics of paddy soil in the process of planting rice.

Key words Paddy field; Soil type; Years; Chemical properties; Evolution characteristics; Sanjiang Plain

三江平原位于黑龙江省东部,是由黑龙江、松花江和乌苏里江汇流冲积形成的低平原,总面积为10.89万 km^2 [¹]。三江平原主要土壤类型包括暗棕壤、黑土、白浆土、草甸土和沼泽土等[²]。由于积温少、降水多、地势低、坡降缓、土质黏等因素,农业生产经常受涝害威胁,有“十年九涝”之说,农业生产始终摆脱不了单产低、总产不稳的局面[³⁻⁴]。自20世纪90年代开始大面积实施“旱改水”工程,在发展水稻生产方面取得了举世瞩目的成就,为保障国家口粮安全做出了卓越贡献[⁵⁻⁶]。据统计,2015年三江平原水田总面积达236.81万 hm^2 ,占黑龙江省水田面积的60%以上[⁷]。三江平原水稻种植历史短,也有很多新开辟的水田,为研究水田开垦后土壤理化性质变化提供了很好的条件[⁸⁻⁹]。

我国学者认为,在种植水稻或以水稻种植为主的耕作制

度下,长期水耕作业等人为管理和淹水还原、排水氧化周期性变化,对土壤剖面特征、物质迁移以及养分有效性均会产生明显影响,最终形成水稻土[¹⁰]。国内外学者发现水稻土中有有机质、黏粒、Fe、Mn等变价元素有迁移现象,而Al迁移不明显,这些研究多数是以亚热带水稻土为样本,开展关于水稻土养分以及物质还原淋溶氧化淀积特征的研究[¹¹⁻¹³]。且研究较早。关于不同种稻年限与有机碳组分的研究较少[¹⁴]。很少涉及到水稻种植年限与土壤理化性质及养分移动特征方面的研究,也缺乏明确的研究结论。笔者通过研究三江平原几种不同土壤种植水稻后土壤化学性质的变化,明确不同土壤随种稻年限推移土壤理化性质和物质迁移规律,为开展高效水田土壤管理提供参考,同时为培肥和改良土壤提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 三江平原地区属于温带湿润、半湿润大陆性季风气候, $\geq 0^\circ C$ 积温大部分地区为3000 $^\circ C$ 左右, $\geq 10^\circ C$ 积温为2200~2500 $^\circ C$,年平均降雨量为500~600mm,全年日照时数为2300~2700h。土壤类型分别为草甸土、草甸黑

基金项目 农业部公益性行业专项(201503118-04);国家重点研发计划项目(2016YFD0300902-05,2017YFD030050)。

作者简介 王秋菊(1978—),女,黑龙江依兰人,副研究员,博士,从事土壤改良研究。*通讯作者,副研究员,博士,硕士生导师,从事土壤和作物营养生理研究。

收稿日期 2018-02-27

土、白浆土,其中草甸土采自黑龙江省桦南县曙光农场 3 作业区(SG),草甸黑土采自黑龙江省友谊县友谊农场 6 作业区(YF),白浆土采自黑龙江省富锦市青龙山农场场部西区

和 3 作业区(QLS)。分别在各个采样地邻近地块选择种稻 5~40 年的水田上采样,并以邻近的旱田地作为对照(记为 0 年)。具体采样位置及相关信息见表 1。

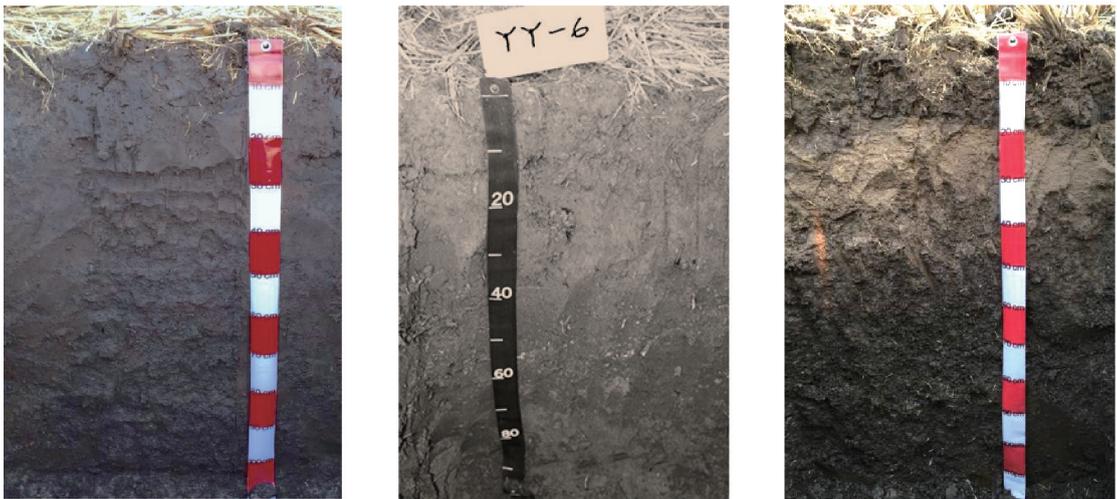
表 1 样品采集地点基本情况

Table 1 Basic situation of tested soil

| 土壤类型 Soil type | 种稻年限 Year//年 | 采样地点 Sampling site | 海拔 Height m | 坐标 Coordinates | 地势 Terrain | 深度 Depth//cm | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------------------|
| | | | | | | 耕层(TL) Top layer | 犁底层(PL) Plough layer |
| 草甸土 Meadow soil | 0 | 曙光农场 3 区 13 站 9-1 号地(大豆) | 81 | 130.42°E,46.28°N | 平坦 | 0~22 | 23~30 |
| | 6 | 曙光农场 3 区 13 站小号地 | 81 | 130.41°E,46.29°N | 平坦 | 0~18 | 19~22 |
| | 10 | 曙光农场 3 区 13 站 7 号地 | 81 | 130.41°E,46.28°N | 平坦 | 0~20 | 21~25 |
| | 23 | 曙光农场 3 区 13 站 10 号地 | 81 | 130.41°E,46.31°N | 平坦 | 0~20 | 21~25 |
| | 40 | 曙光农场 3 区 13 站 9-2 号地 | 81 | 130.40°E,46.28°N | 平坦 | 0~18 | 19~24 |
| 草甸黑土 Meadow black soil | 0 | 友谊农场 6 区 7 站 2 号地(玉米) | 71 | 131.89°E,46.67°N | 平坦 | 0~15 | 16~35 |
| | 6 | 友谊农场 6 区 9 站 6 号地 | 71 | 131.90°E,46.69°N | 平坦 | 0~19 | 20~34 |
| | 10 | 友谊农场 6 区 7 站 1 号地 | 71 | 131.86°E,46.66°N | 平坦 | 0~18 | 19~23 |
| | 20 | 友谊农场 6 区 7 站 5 号地 | 71 | 131.83°E,46.65°N | 平坦 | 0~16 | 17~28 |
| | 35 | 友谊农场 6 区 7 站 5 号地 | 71 | 131.83°E,46.65°N | 平坦 | 0~20 | 21~27 |
| 白浆土 Planosol soil | 0 | 青龙山农场场部西区(玉米) | 66 | 132.94°E,47.72°N | 平坦 | 0~18 | 19~34 |
| | 5 | 青龙山农场 3 区 11 连陈建国地 | 66 | 132.17°E,47.73°N | 平坦 | 0~20 | 21~33 |
| | 10 | 青龙山农场 3 区 18 连王海清地 | 66 | 133.04°E,47.73°N | 平坦 | 0~16 | 17~24 |
| | 15 | 青龙山农场 3 区 11 连李青霞地 | 66 | 132.99°E,47.72°N | 平坦 | 0~23 | 24~29 |
| | 25 | 青龙山农场 3 区 18 连谷德忠地 | 66 | 133.02°E,47.72°N | 平坦 | 0~24 | 25~32 |

水田土壤的典型剖面见图 1。草甸土黑土层较厚,腐殖质含量高,草甸黑土黑土层较厚,白浆土黑土层薄,约 20 cm,

有白浆层。土壤色系为 5YR~7YR,耕层颜色较暗,下层较明亮。



注:a.草甸土;b.草甸黑土;c.白浆土

Note:a.Meadow soil;b.Meadow black soil;c.Planosol soil

图 1 典型土壤剖面

Fig.1 Profile of typical soil

1.2 样品采集 土壤采样时间为 2015 年 10 月 10 日—11 月 10 日,水稻收获后,根据采样地的实际情况确定采集土壤样品,因为时间的局限性,用时空互代法^[15-16](空间置换时间)采取样品。采集土壤种稻年限为 0~40 年,同一土壤类型的旱田土壤视为栽培水稻 0 年的稻田,作为本底对照。样地面积一般在 1 000 m² 以上,在每一块样地中选取 3 个代表性的位置,挖掘 1 m 土壤剖面,确定耕层、犁底层厚度,按土壤耕层(TL)、犁底层(PL)和心土层(SL)上部 20 cm 采集剖面原

状土样品,同时采集化学混合样品 1.5 kg。每个年限选相邻 3 个田块(共用田埂)作为重复。采回的化学土样,除去土壤中混入的植物残体、石块等侵入体和铁、锰结核等新生体,自然风干后,根据实验测定项目需要,过 2.00、0.25 mm 筛,待测。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤剖面。包括经纬度、海拔高度、土壤类型、黑土层厚度、剖面层序、土壤水分状况、土壤颜色、地形地貌及土层

深度等^[17]。

1.3.2 土壤化学性质。土壤有机碳采用重铬酸钾容量法测定;还原物质总量、活性还原物质总量采用容量法测定; Fe^{2+} 采用邻啡罗琳比色法测定; Mn^{2+} 采用醋酸铵浸提-高锰酸钾比色方法测定^[18]。

1.4 数据处理 试验数据采用 Excel 2003 进行整理与分析。

2 结果与分析

2.1 不同种稻年限对土壤有机碳含量的影响 由图 2 可知,土壤有机碳含量在各类种稻土壤中均为耕层高于犁底层,白浆土和草甸黑土心土层土壤有机碳含量低于犁底层,草甸土心土层土壤有机碳含量与犁底层差异不大;3 类土壤有机碳

含量在耕层变化趋势一致,随种稻年限增加,土壤有机碳含量增加,草甸土土壤有机碳含量高于草甸黑土,白浆土土壤有机碳含量最低,相对于其他 2 类土壤,白浆土较贫瘠;在犁底层,草甸土和白浆土土壤有机碳含量在种稻后呈增加趋势,草甸黑土则无明显变化;在心土层,草甸土土壤有机碳含量随种稻年限增加呈增加趋势,白浆土和黑土土壤有机碳含量无变化;白浆土无变化可能由于此层是白浆层,草甸黑土心土层土壤有机碳含量无变化,可能与此类土壤地下水位低,与地上淹水未贯通,有机质未向下淋溶有关,而耕层土壤有机碳积累主要是由于耕层土壤长期处于淹水状态,植物残体分解慢,土壤有机碳得到积累。

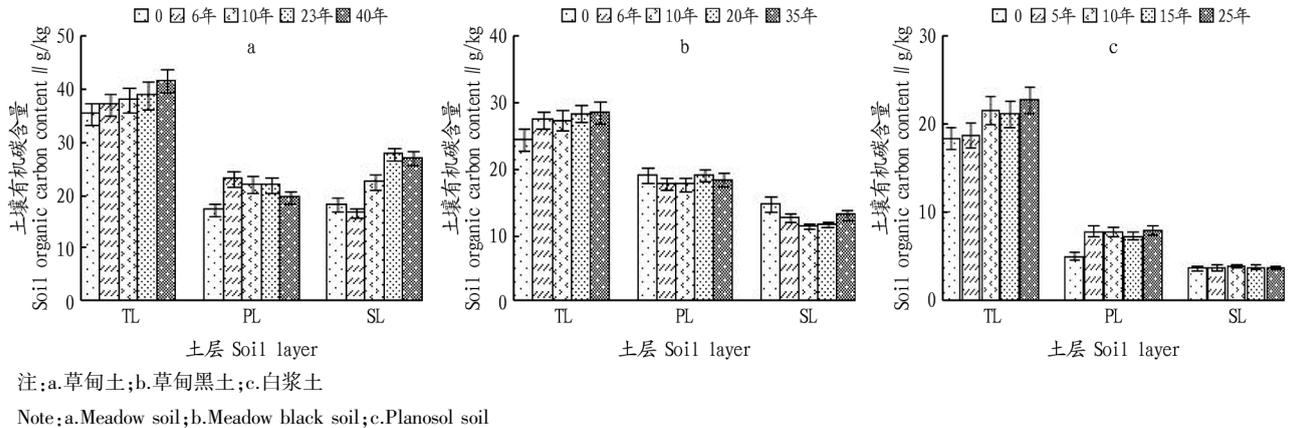


图 2 不同种稻年限土壤有机碳含量变化

Fig.2 Soil organic carbon content change in different rice planting year

2.2 不同种稻年限对土壤还原物质总量的影响 由图 3 可知,草甸土、草甸黑土、白浆土这 3 类土壤种植水稻后土壤中还原物质总量在耕层、犁底层和心土层土壤中明显增加,且种植水稻后耕层土壤还原性物质总量明显高于犁底层和心土层土壤中的还原物质总量;从种稻年限看,草甸土和草甸黑土土壤中还原物质总量在各层土壤中均表现随种稻年限

延长呈增加趋势,草甸土在种稻 40 年达最高,草甸黑土在 35 年达最高,白浆土耕层土壤还原物质总量随种稻年限增加呈规律性上升趋势,种稻后犁底层土壤还原物质总量整体表现为升高趋势,随种稻年限增加表现不规律,心土层土壤中的还原物质总量随种稻年限增加表现为先升高后降低的趋势,与前 2 种土壤变化趋势不一致。

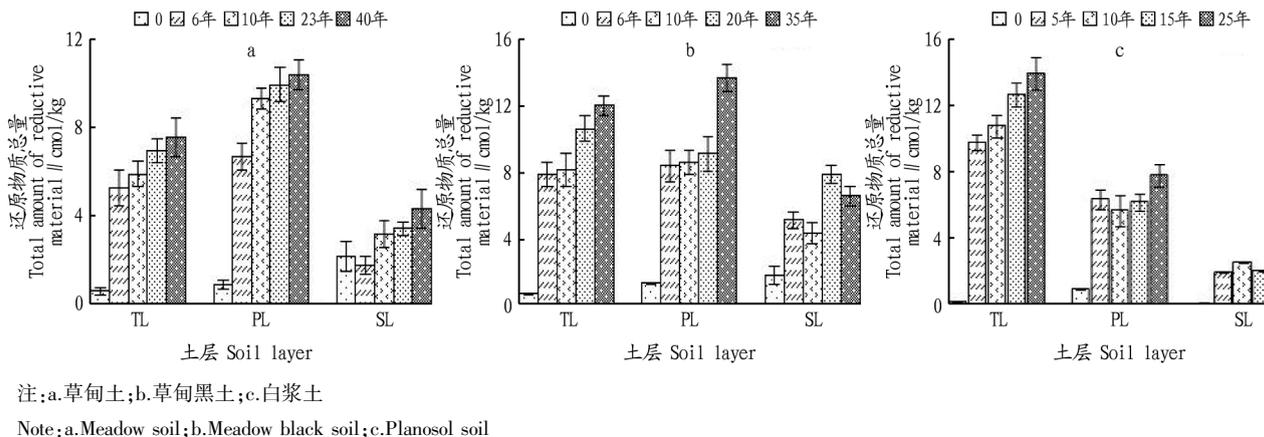


图 3 不同种稻年限土壤还原物质总量变化

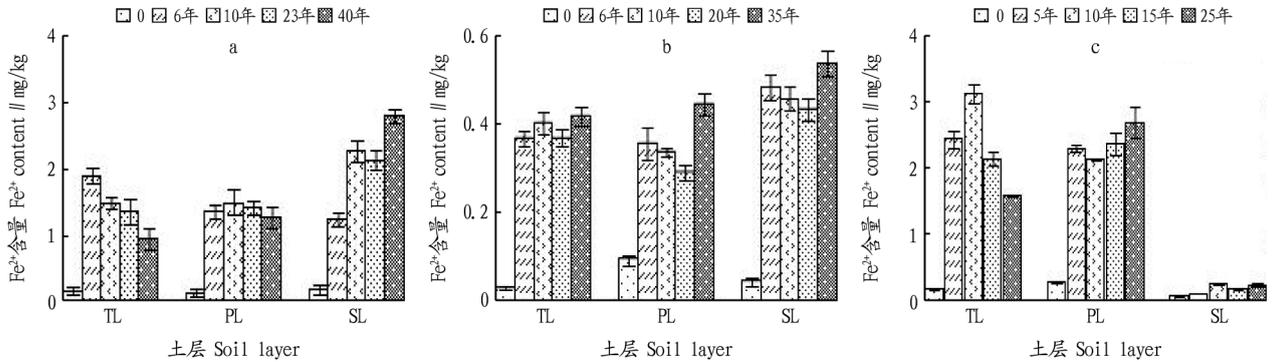
Fig.3 Soil reductive material change in different rice planting year

2.3 不同种稻年限对土壤 Fe^{2+} 含量的影响 由图 4 可知,与不种稻相比,草甸土、草甸黑土和白浆土种植水稻后各层土壤中 Fe^{2+} 含量明显增加,草甸土种稻 6 年后,耕层土壤中 Fe^{2+} 含量呈下降趋势,犁底层土壤中 Fe^{2+} 含量呈先升高再下降的趋势,心土层土壤中 Fe^{2+} 含量呈一直升高趋势,并在种稻 10

年后超过耕层和心土层土壤中 Fe^{2+} 含量,草甸土土壤中 Fe^{2+} 含量随种稻年限增加有向下迁移现象,种稻 10 年即可迁移到心土层,40 年在心土层达到最大积累量;白浆土耕层土壤中 Fe^{2+} 含量随种稻年限增加呈先升高后降低的趋势,犁底层和心土层土壤中 Fe^{2+} 含量随种稻年限增加呈逐渐升高趋势,

在种稻 15 年时,犁底层 Fe^{2+} 含量超过耕层并逐年增加,说明白浆土耕层土壤中的 Fe^{2+} 也有由表层向深层移动现象,由耕层向犁底层移动明显,由犁底层向心土层移动较慢;草甸黑土土壤种稻后,土壤中 Fe^{2+} 含量明显高于种稻前,心土层土

壤中 Fe^{2+} 含量一直高于耕层和犁底层,随种稻年限增加,土壤中 Fe^{2+} 含量无明显变化趋势,暂时没有发生 Fe^{2+} 向下迁移的现象。



注:a.草甸土;b.草甸黑土;c.白浆土

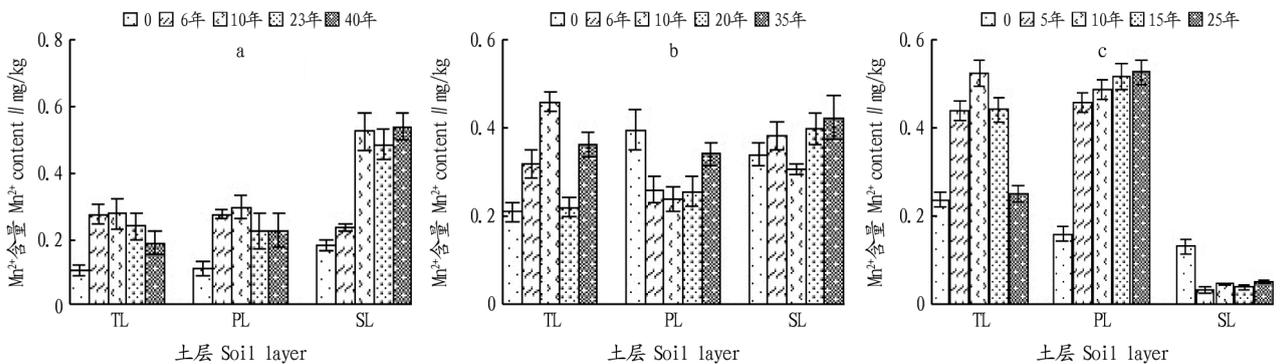
Note:a.Meadow soil;b.Meadow black soil;c.Planosol soil

图4 不同种稻年限土壤 Fe^{2+} 含量变化

Fig.4 Soil Fe^{2+} content change in different rice planting year

2.4 不同种稻年限对土壤 Mn^{2+} 含量的影响 由图 5 可知,与不种稻相比,草甸土和白浆土种植水稻后土壤 Mn^{2+} 含量明显增加,草甸土种稻 10 年后,耕层土壤中 Mn^{2+} 含量呈下降趋势,犁底层土壤中 Mn^{2+} 含量呈先升高再下降趋势,心土层土壤中 Mn^{2+} 含量一直呈升高趋势,并在种稻 10 年后明显超过耕层和心土层土壤中 Mn^{2+} 含量,草甸土土壤中 Mn^{2+} 含量变化趋势与 Fe^{2+} 含量变化有相似趋势,随种稻年限增加有向下迁移现象,在种稻第 10 年大量迁移到心土层,之后随种稻年限增加迁移趋于平衡;白浆土土壤中 Mn^{2+} 含量变化与 Fe^{2+} 变

化趋势较为一致,种稻 0~10 年,耕层土壤中 Mn^{2+} 含量明显增加,之后又下降,犁底层土壤中 Mn^{2+} 含量随种稻年限一直增加,从第 15 年开始,犁底层土壤中 Mn^{2+} 含量逐渐高于耕层,说明白浆土土壤中 Mn^{2+} 含量随种稻年限增加有向下层土壤淋溶现象,直到种稻 25 年,耕层土壤中的 Mn^{2+} 仅迁移到犁底层,心土层无任何迁移现象;与草甸土和白浆土相比,草甸黑土种稻后,土壤中 Mn^{2+} 含量在耕层和心土层有增加趋势,在犁底层未增加,与草甸土和白浆土表现不一致,且无 Mn^{2+} 迁移现象,与另 2 类土壤不一致,有待进一步研究。



注:a.草甸土;b.草甸黑土;c.白浆土

Note:a.Meadow soil;b.Meadow black soil;c.Planosol soil

图5 不同种稻年限土壤 Mn^{2+} 含量变化

Fig.5 Soil Mn^{2+} content change in different rice planting year

3 讨论

3 类土壤种稻后,土壤化学性质变化趋势存在异同。草甸土、草甸黑土、白浆土土壤有机碳含量在耕层土壤均表现随种稻年限增加呈上升趋势,主要是由于耕层土壤长期处于淹水状态,有机残体分解慢,导致土壤有机碳的积累,与前人研究结果一致^[19-20];而犁底层和心土层土壤有机碳含量在不同土壤间随种稻年限增加变化趋势不一致,草甸土犁底层和心土层土壤有机碳在种稻后有增加趋势,草甸黑土犁底层和

心土层土壤有机碳无增加趋势,可能与这 2 类土壤形成的地形及土壤本身质量特性有关。草甸土的形成一般地势低,地下水水位高^[21],经种稻后,灌溉水与地下水位相连,各层土壤均处于淹水还原状态,土壤中有有机物质分解慢,土壤有机碳在各层均得到积累,因此随种稻年限增加,各层土壤有机碳含量升高;草甸黑土形成于地势较高的地区,地下水水位低,与灌溉水无相连^[22],水稻灌溉时耕层土壤处于淹水状态,但由于犁底层的阻隔,犁底层下层和心土层仍处于氧化状态,有

机碳与旱田相比无明显变化;白浆土土壤犁底层有机碳含量有升高趋势,但随种稻年限增加无变化,心土层有机碳低于旱田土壤,主要是由于白浆土心土层是白浆层,白浆层本身有机质含量低^[23],第二白浆层是一类质地坚硬、紧实的障碍土壤,不透气、透水^[24],稻田灌溉水不能透过白浆层,水稻根系也无法穿透白浆层,此层土壤中残留有机残体少,因此有机碳与旱田相比降低,旱田整地一般较深,达到白浆层,有利于作物根系下扎,有机碳积累。3类土壤还原性物质总量在各土层表现一致,主要是由于土壤处于还原状态时间长,土壤中还原物质随种稻年限增加表现逐渐增加的趋势,这也是旱田土壤与水田土壤的差异,种稻年限越长,差异越明显,前人研究也证实了此结论^[25]。从土壤 Fe^{2+} 含量变化趋势看,种稻后3类土壤 Fe^{2+} 含量均明显增加,这是因为土壤中氧化还原电位下降所致,但随种稻年限延长 Fe^{2+} 在土壤剖面内的运移则不同。张甘霖等^[26]研究认为,淹水条件可促进土壤元素迁移,包括 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。草甸土随种稻年限延长出现 Fe^{2+} 下移现象,在种稻10年后即可下移到心土层,并逐渐积累,草甸土 Mn^{2+} 与 Fe^{2+} 变化趋势一致,下移速度相同,草甸土种稻后土壤有向水稻土演变的特征;草甸黑土未出现 Mn^{2+} 与 Fe^{2+} 运移现象,原因不明,有待于进一步研究;白浆土在种稻10年后出现 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 下移现象,但仅下移到犁底层,未有向心土层下移,可能与白浆层的特殊性有关,有待于随种稻年限的延长继续研究。

水稻土的形成过程受多种因素影响,既受人为因素影响,又受气候、温度及土壤特性的限制,因此,不同类型土壤形成水稻土的过程即具有共性,又具有个性,需要根据不同的土壤、气候条件开展长期研究才能了解其演变规律和特征。由于黑龙江种稻时间短,对水田土壤演变规律的研究也刚刚起步,限制了由时间尺度研究不同土壤向水稻土演变过程,因此,需要长期跟踪调查,了解土壤演变特性,为有目的地培肥和利用土壤提供理论依据。

4 结论

三江平原地区3类主要水田土壤草甸土、草甸黑土、白浆土种稻后,土壤化学性质演变特征存在异同。3类土壤耕层有机碳含量随种稻年限增加均呈上升趋势;犁底层和心土层表现不一致,草甸土心土层和犁底层土壤有机碳种稻后上升,白浆土犁底层土壤有机碳种稻后上升,随种稻年限延长无变化,心土层有机碳种稻后下降;草甸黑土有机碳含量种稻后无增加趋势。

草甸土和草甸黑土土壤中还原性物质总量在各层土壤

均增加,随种稻年限有上升趋势;白浆土土壤中还原物质在耕层和犁底层随种稻年限增加呈上升趋势,在白浆层无增加趋势。草甸土种稻后各层土壤 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 含量均增加,在种稻10年后向下移动,可达到心土层;草甸黑土种稻后各层土壤 Fe^{2+} 含量增加, Mn^{2+} 仅在耕层有增加趋势;白浆土 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 含量在耕层和犁底层增加,在种稻10年后向下移动到犁底层。3类土壤在种稻过程中已具有向水稻土演变过程的一些特性,不同土壤演变速度不同。

参考文献

- [1] 何琏.中国三江平原[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2000.
- [2] 黑龙江省土地管理局,黑龙江省土壤普查办公室.黑龙江土壤[M].北京:农业出版社,1992.
- [3] 栾兆擎,章光新,邓伟,等.三江平原50a来气温及降水变化研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(11):39-43.
- [4] 邹立尧,国世友,牛宁.三江平原1960-2004年农业气候环境年代际变化[J].地球科学进展,2010,25(8):844-850.
- [5] 黄妮,刘殿伟,王宗明.1986年~2005年三江平原水田与旱地的转化特征[J].资源科学,2009,31(2):324-329.
- [6] 罗奇云.三江平原水田适宜性评价[D].哈尔滨:东北农业大学,2016.
- [7] 黑龙江省统计局,国家统计局黑龙江调查总队.黑龙江统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2016.
- [8] 高亚光,田丽华,李大伟,等.发展水稻是三江平原低产田改造的有效措施[J].黑龙江水专学报,2004,31(2):79-80.
- [9] 王宗明,宋开山,刘殿伟,等.1954~2005年三江平原沼泽湿地农田化过程研究[J].湿地科学,2009,7(3):208-217.
- [10] 李庆逵.中国水稻土[M].北京:科学出版社,1992.
- [11] 龚子同,张甘霖.人为土壤形成过程及其在现代土壤学上的意义[J].生态环境,2003,12(2):184-191.
- [12] BIDWELL O W, HOLE F D. Man as a factor of soil formation[J]. Soil science, 1965, 99(1): 65-72.
- [13] AMUNDSON R, JENNY H. The place of humans in the state factor theory of ecosystems and their soils[J]. Soil science, 1991, 151(1): 99-109.
- [14] 刘鑫.水田不同开垦年限土壤腐殖质特征的比较[D].长春:吉林农业大学,2015.
- [15] 陈留美,张甘霖.土壤时间序列的构建及其在土壤发生研究中的意义[J].土壤学报,2011,48(2):419-428.
- [16] 焦峰,温仲明,从怀军,等.基于属性识别模型的退耕地土壤肥力综合评价[J].水土保持学报,2010,24(5):204-207,237.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室.土壤物理性质测定法[M].北京:科学出版社,1978.
- [18] 叶喜文,马德全.测土配方施肥技术手册[M].哈尔滨:哈尔滨地图出版社,2008.
- [19] 徐明岗,张文菊,黄绍敏.中国土壤肥力演变[M].北京:中国农业科学技术出版社,2015.
- [20] 王晋,庄舜尧,朱兆良.不同种植年限水田与旱地土壤有机氮组分变化[J].土壤学报,2014,51(2):286-294.
- [21] 中国科学院南京土壤研究所.中国土壤[M].北京:科学出版社,1976.
- [22] 龚子同.中国土壤系统分类[M].北京:科学出版社,1998.
- [23] 曾昭顺,徐琪,高子勤,等.中国白浆土[M].北京:科学出版社,1997.
- [24] 刘峰.心土混层改良白浆土的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2003.
- [25] 张甘霖,龚子同.水耕人为土某些氧化还原形态特征的微结构和形成机理[J].土壤学报,2001,38(1):11-16.
- [26] 张甘霖,龚子同.淹水条件下土壤中元素迁移的地球化学特征[J].土壤学报,1994,30(4):355-365.

科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据,只需强调或阐述其重要发现及趋势。