

不同水耕年限稻田土壤水分渗漏与保持特征

张君^{1,2}, 易军^{1,2}, 刘目兴^{1,2}, 李胜龙^{1,2}, 杨燕^{1,2}, 朱钊岑^{1,2}

(1. 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 武汉 430079; 2. 华中师范大学城市与环境科学学院, 武汉 430079)

摘要: 以江汉平原连续水耕年限大于100年(老稻田)和由旱耕改为水耕17年(新稻田)的稻田为研究对象, 通过测定土壤剖面基本理化性质和水力学参数, 揭示了2种稻田土壤水分渗漏和保持特征差异。结果表明: (1) 新稻田土壤的平均饱和导水率(K_s)为32.05 cm/d, 显著高于老稻田(17.91 cm/d)。新、老稻田土壤 K_s 均表现为耕作层>底土层>犁底层, 新稻田耕作层 K_s 分别为犁底层和底土层的6.3倍和5.7倍, 老稻田耕作层 K_s 分别是犁底层和底土层的6.9倍和4.0倍。(2) 老稻田土壤持水能力高于新稻田, 同一剖面不同土层持水能力表现为耕犁底层>底土层>耕作层。>0.03 mm当量孔径的孔隙比例随土壤剖面深度的增加而降低, 新稻田各层土壤比例大于老稻田。(3) 新、老稻田最大有效水含量随土壤深度的增加而降低, 老稻田各土层(32.25%~46.59%)均高于新稻田(26.99%~36.74%)。老稻田平均总库容(135.8 mm)大于新稻田(124.4 mm), 新稻田滞洪库容(11.21~38.74 mm)大于老稻田(8.1~60.74 mm)。旱耕改水耕加重了水资源的消耗, 增加了浅层地下水污染风险。

关键词: 稻田; 水耕年限; 饱和导水率; 持水性; 土壤孔隙; 水分库容

中图分类号: S125.7⁺2; S511

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)06-0090-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.06.016

Characteristics of Soil Water Percolation and Conservation in Different Aged Paddy Field

ZHANG Jun^{1,2}, YI Jun^{1,2}, LIU Muxing^{1,2},

LI Shenglong^{1,2}, YANG Yan^{1,2}, ZHU Zhaocen^{1,2}

(1. Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation Hubei Province, Wuhan 430079;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079)

Abstract: Based on the profiled soil physical/chemical and hydraulic properties measurement, the characteristics of water percolation and conservation in different aged paddy fields in the Jianghan Plain were identified, was 17 years (new paddy field, NF) and more than 100 years (old paddy field, OF), respectively. The results were shown as follow: (1) Water percolation was more likely to occur in the NF. Which was identified by the higher average saturated hydraulic conductivity (K_s) in the NF (32.05 cm/d) than that in the OF (17.91 cm/d). Highest K_s was observed in the plow layer, followed by the subsoil layer, and the lowest K_s was in the plough pan. The K_s of plow layer was 6.3 and 5.7 times of the plough pan and subsoil layer for the NF, and 6.9 and 4.0 times for the OF, respectively. (2) Higher water capacity was observed in the OF than that in the NF. The highest water capacity was identified in the plough pan, followed by the subsoil layer, and the lowest was found in the plow layer. However, the macropore distribution in the opposite law. (3) The available water content decreased with the decreasing soil depth in the NF and OF, with higher values observed in the OF. In addition, higher total water capacity and flooding control capacity were also observed in the OF. The water shortage stress and groundwater pollution risk were increased by the land transformation from the non-irrigated farmland to the paddy field.

Keywords: paddy field; paddy plantation age; saturated hydraulic conductivity; water characteristic curve; soil porosity; water capacity

收稿日期: 2016-07-07

资助项目: 湖北省自然科学基金重点项目“三峡库区上地土壤大孔隙流的发生机制研究”(2015CFA141)

第一作者: 张君(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事水土保持与土壤水文研究。E-mail: zhangjun@mails.ccnu.edu.cn

通信作者: 刘目兴(1979—), 男, 副教授, 研究生导师, 主要从事土壤水文和生态水文研究。E-mail: liumuxing@mail.ccnu.edu.cn

水分是农业生产重要的环境限制因子,水资源紧张和季节性干旱等问题导致水稻种植面临巨大挑战^[1]。在稻田生态系统中,水分损失除了蒸散和径流以外,绝大部分以渗漏形式流失。稻田水分的大量渗漏不仅降低了水分利用效率,加剧水资源紧缺现状,还会携带大量养分元素下渗,造成地下水污染^[2]。

除气象、灌溉和作物类型等因素外,稻田水分的渗漏过程主要受其土壤水分渗漏和保持特征影响。长年耕作方式的差异会显著影响土壤的理化性质和水力学参数^[3-4],从而导致不同的土壤水分渗漏和保持特征。王辉等^[5]对紫鹊界地区的旱地和水田土壤入渗特征研究发现,耕作方式的不同造成水田和旱地土壤理化性质存在较大差异,进而导致水田土壤的水分累积入渗量、土壤吸渗率和导水率均小于旱地;杨东伟等^[6]通过研究发现水田改旱地后,土壤的含水量、水稳定性团聚体、有机质等土壤理化指标随着年限的延长而显著降低,进而降低了土壤的持水性能;卢小遮等^[7]研究了上海郊区地带不同土地利用类型土壤的持水特性,表明不同的土地利用方式引起土壤容重、孔隙和有机质含量存在较大差异,从而导致土壤持水特性差异显著。受水稻种植机械化水平不断提高和高经济效益驱使,江汉平原地区近年来“旱改水”(旱地改为水田)的面积不断增加,稻田的高需水特征导致水资源紧缺矛盾进一步加剧^[8]。受长年耕作和灌溉等农田管理方式差异影响,新改水田和原有水田土壤理化和水力学性质可能存在显著差异,进而会导致不同的水分渗漏和保持特征。

本文以江汉平原地区“旱改水”条件下的新稻田与长年水耕的老稻田为研究对象,在测定其土壤理化性质和水力学参数的基础上,揭示其水分渗漏特征和持水性能差异,为稻田水分运动的数值模拟提供基础数据,为制定合理的灌溉管理制度、缓解水资源短缺矛盾提供科学依据。

1 研究区概况

江汉平原位于长江中游湖北省中南部地区,总面积约 $3.8\times10^4\text{ km}^2$,是我国重要的商品粮生产基地。该地区为北亚热带季风气候,具有雨量充沛、日照充

足、四季分明等特点。年均降水量 $1\ 100\sim1\ 400\text{ mm}$,70%分布在气温较高的 4—9 月。无霜期 243~275 d, $\geq10\text{ }^\circ\text{C}$ 积温为 $5\ 100\sim5\ 300\text{ }^\circ\text{C}$,1 月平均气温为 $2\sim4\text{ }^\circ\text{C}$,7 月均温在 $28\text{ }^\circ\text{C}$ 以上^[9]。

在现有土地利用构成中,耕地比重接近 70%,水耕稻田占总耕地面积的 60%^[10]。近年来,由于农业结构的宏观调整以及经济效益驱使,该地区棉花种植面积逐渐减少,旱耕改水耕的面积增加。本区多年平均浅层地下水位在 0.5~2 m 间,降雨集中或灌溉时期水位抬升明显,浅层地下水污染风险高^[11]。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集与分析

采样时间为 2015 年 10 月,采样点位于江汉平原中部湖北省公安县($29^\circ58'26.44''\text{N}$, $112^\circ20'23.58''\text{E}$),该地区土壤母质以近现代河流冲积物和湖相沉积物为主。选择连续水耕年限大于 100 年的老稻田和由旱耕(连续旱耕大于 60 年)改水耕 17 年左右的新稻田作为研究样地,土壤类型为典型人为土。在各稻田中间区域挖取 70 cm 深的土壤剖面(地表至地下水深度),在耕作层、犁底层和底土层分别采集扰动和原状土壤样品,每层 5 个重复,分别用于土壤基本理化性质和水力学参数的测定。

土壤基本理化性质测定方法:土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定;土壤容重和饱和含水量用烘干法测定;土壤颗粒分析用吸管法(国际制)测定。土壤水力学参数测定方法:土壤饱和导水率采用定水头法测定;土壤水分特征曲线采用离心机法(吸力值为 $0\sim100\text{ kPa}$)^[12]测定。土壤基本理化性质见表 1。

由表 1 可知,老稻田容重在耕作层小于新稻田,犁底层、底土层则大于新稻田。新、老稻田土壤容重分别介于 $0.98\sim1.54\text{ g/cm}^3$ 和 $1.09\sim1.46\text{ g/cm}^3$ 之间,垂直剖面上均表现为耕作层最小,底土层其次,犁底层最大。老稻田土壤有机质平均含量为 18.0 g/kg ,大于新稻田(15.4 g/kg),有机质含量均在耕作层富集,随剖面深度的增加骤减。老稻田各土层的粘粒含量(25.7%)均高于新稻田(17.6%),耕作层、犁底层和底土层粘粒含量分别为新稻田的 1.3、1.6、1.5 倍。

表 1 土壤基本理化性质

稻田类型	土层深度/cm	发生层	有机质/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	饱和含水量/ ($\text{cm}\cdot\text{cm}^{-3}$)	机械组成/%		
						$>0.02\text{ mm}$	$0.002\sim0.02\text{ mm}$	$<0.002\text{ mm}$
老稻田	0—18	耕作层	$33.3\pm0.92\text{a}$	$0.98\pm0.10\text{b}$	$0.66\pm0.02\text{a}$	14.69a	60.55a	24.76a
	18—37	犁底层	$11.61\pm0.83\text{a}$	$1.54\pm0.03\text{a}$	$0.45\pm0.01\text{a}$	17.7a	62.07a	20.23a
	>37	底土层	$8.99\pm0.61\text{a}$	$1.38\pm0.04\text{a}$	$0.47\pm0.03\text{a}$	14.24a	53.58a	32.18a
新稻田	0—16	耕作层	$28.76\pm1.08\text{b}$	$1.09\pm0.07\text{a}$	$0.61\pm0.06\text{b}$	42.88a	38.74a	18.38a
	16—28	犁底层	$8.12\pm0.67\text{a}$	$1.46\pm0.05\text{a}$	$0.40\pm0.03\text{a}$	27.56b	59.84a	12.60b
	>28	底土层	$9.45\pm0.64\text{a}$	$1.37\pm0.04\text{a}$	$0.43\pm0.02\text{a}$	18.61a	59.4a	21.98a

注:相同层次不同小写字母表示 LSD 0.05 水平差异显著。

2.2 土壤水分库容计算

0 吸力下的含水量为饱和含水量(θ_s),在 33 kPa 吸力时的含水量为田间持水量(θ_f),在 1 500 kPa 吸力时的含水量为凋萎含水量(θ_w)。通过这 3 个基本土壤水分常数,计算在不同水分状态下的水分库容。具体计算方法:

$$W_t = 0.1 \times h \times \theta_s$$
$$W_f = 0.1 \times h \times \theta_f$$
$$W_d = 0.1 \times h \times \theta_w$$
$$W_y = 0.1 \times h \times \theta_d$$
$$W_h = W_t - W_f$$

式中: W_t 为某土层土壤水库的总库容(mm); h 为某土层的厚度(cm); W_f 为田间持水量对应的库容,相当于有效库容和死水库容之和; W_d 为死水库容; W_y 为有效水库容; W_h 为滞洪库容。

由于本研究 θ_w 未能直接测定,因此采用吸湿系数进行估计^[12]:

$$\theta_w = 1.5\theta_h$$

式中: θ_h 为吸湿系数,通过烘干法测定。

2.3 土壤水分特征曲线测定

土壤水分特征曲线:使用 HR 21 型赫西高速离心机测量,用称重法得出土壤水吸力与土壤体积含水量相对应的脱湿曲线。具体做法是将环刀取得的原状土加水 24 h 至饱和,取 4 个土样为一组加滤纸放置于离心盒内,称重配平后放置于离心机之中,分别设置离心机转速为 500,598,854,1 103,1 305,1 560,2 702,3 821,4 932 r/min 共 9 个等级,其对应的土壤水吸力分别为 1,1.47,3.5,7,10,30,60,100 kPa,设置平衡时间为别为 10,12,15,17,22,27,42,52,59 min,离心机每次运行结束之后,取出土样称重并测量下陷深度,每组试验做完后,把土样置于烘箱,在 110 ℃ 的恒温下烘 8 h 后称重,计算减少的土壤含水量。计算出土样含水量,与对应的水吸力,绘制出水分特征曲线。

2.4 数据处理分析

采用 Origin 9.0 进行绘图,用 SPSS 19.0 软件进行相关性和方差分析。

3 结果与分析

3.1 饱和导水率及其影响因素分析

土壤饱和导水率(K_s)是土壤水分运动研究中的关键参数, K_s 决定水分在土壤中的渗漏速率。由图 1 可知,新稻田的土壤 K_s 明显大于老稻田,表明新稻田土壤水的渗漏速率大于老稻田。新稻田垂直剖面平均 K_s 为 32.05 cm/d,远高于老稻田的 17.91 cm/d,为老稻田的 1.8 倍。新稻田耕作层、犁底层和底土层的 K_s 均大于老稻田。随着土壤深度的增加,新、

老稻田 K_s 均急剧减小。新稻田耕作层 K_s (59.28 cm/d)分别是犁底层和底土层的 6.3 和 5.7 倍,老稻田耕作层 K_s (49.37 cm/d)分别是犁底层和底土层的 6.9 倍和 4.0 倍。

各地土壤因其基本性质的不同构成独特的渗漏特点,土壤容重、有机质含量等是影响土壤水分特征的重要参数,颗粒组成作为最基本的物理性质,其决定了土壤蓄水、保水、保肥、通气性等特性。由表 1 可知,新、老稻田在土壤基本理化性质上存在明显差异,通过对新老稻田土壤有机质含量、粘粒含量、土壤容重与 K_s 进行相关性分析,结果表明,土壤容重与 K_s 为显著负相关关系($R^2=0.62,n=58$);有机质含量与 K_s 为极显著正相关关系($R^2=0.86,n=14$),而粘粒含量则与 K_s 没有表现出相关性。说明有机质含量与土壤容重是新、老稻田土壤水分渗漏影存在差异的主要因素。

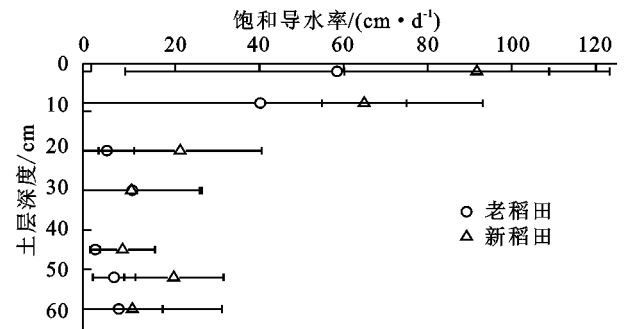


图 1 新、老稻田土壤剖面饱和导水率

3.2 土壤水分特征曲线与孔隙分布状况

新、老稻田不同土层的水分特征曲线表明(图 2),随着吸力值的增加,土壤含水量呈现逐渐降低的趋势。当吸力值从 0 增加到 30 kPa 时,土壤含水量下降迅速;随着吸力值的继续增加,土壤含水量缓慢降低。同一吸力值下,不同土层体积含水量(θ_v)差异显著,耕作层最高,底土层其次,犁底层最低;老稻田各土层含水量均高于新稻田同层土壤。

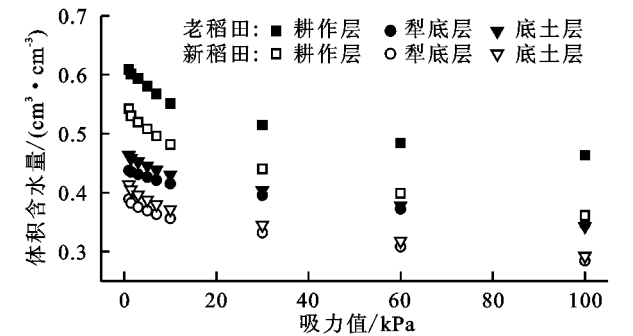


图 2 新、老稻田不同发生层水分特征曲线

土壤水分特征曲线下降速度越快,表征其持水能力越弱。老稻田各土层持水能力均强于新稻田,垂直剖面持水能力表现为犁底层>底土层>耕作层。新、老稻田各土层初始 θ_v 范围分别为 0.38~0.54 cm³/

cm³ 和 0.4~0.61 cm³/cm³。随着吸力值增大, θ_v 不断下降,在 0~100 kPa 范围内,新稻田各土层 θ_v 的下降速度均快于老稻田;新稻田耕作层 θ_v 下降幅度为 33%,大于老稻田(24%),犁底层下降幅度(27%)是老稻田的 1.3 倍,底土层(29%)则是老稻田的 1.1 倍。

土壤水分特征曲线可以间接反应土壤孔隙分布特征,土壤当量孔径(d ,mm)和土壤吸力(s ,cm)之间存在的关系为: $d=3/s$ 。对于 $d>0.3$ mm 的孔隙,水可自由通过,当 d 值在 0.03~0.3 mm 的孔径范围内,水在重力作用下较易通过。从表 2 可以看出,对于 $d>0.3$ mm 的土壤孔隙,新稻田各土层孔径所占比例均大于老稻田;新、老稻田耕作层均显著高于犁底层和底土层,新稻田底土层大于犁底层,老稻田则是犁底层大于底土层。0.03~0.3 mm 直径范围内孔隙比例分布规律与 >0.3 mm 孔隙分布相似:均表现出随土壤剖面深度增加而降低、新稻田各土层高于

老稻田的规律。

3.3 土壤水分常数与库容

土壤的持水量是评价土壤调节水分能力的重要指标,不同吸力值条件表征不同的水分存在状态。通常能被植物所吸收的水分是有效含水量,一般认为最大有效水含量即田间持水量与凋萎含水量之差。有效水含量老稻田各土层均高于新稻田;垂直剖面各层次新、老稻田最大有效水含量范围分别为 26.99%~36.74%和 32.25%~46.59%,其中耕作层最高,犁底层略高于底土层(表 3)。新、老稻田有效水含量与容重的关系呈显著负相关关系($R^2=0.90,n=48$),与孔隙度呈现显著正相关关系($R^2=0.94,n=24$)。由于耕作层容重较小,毛管含量丰富,田间持水量和凋萎含水量较大,在犁底层和底土层土壤中,粘粒含量远大于耕作层,总孔隙度和毛管含量减少,土壤中的田间持水量和凋萎含水量最小。

表 2 不同土层当量孔径分布 %

当量孔径/mm	老稻田			新稻田		
	耕作层	犁底层	底土层	耕作层	犁底层	底土层
>0.3	7.70±2.17	2.45±1.04	2.05±2.91	10.90±6.38	3.19±3.28	5.50±2.07
0.03~0.3	8.70±0.71	4.70±1.20	6.76±0.72	9.96±0.63	8.18±0.44	9.66±0.60

表 3 土壤水分及其库容

土壤类型	土层深度/cm	θ_f /%	θ_w /%	W_t /mm	W_f /mm	W_d /mm	W_y /mm	W_h /mm
老稻田	0—18	52.00	5.41	118.82	93.60	9.74	83.86	25.22
	18—37	38.94	5.12	85.20	73.99	9.73	64.26	11.21
	>37	38.28	6.03	203.35	164.6	25.93	138.68	38.74
新稻田	0—16	42.16	5.42	97.38	67.46	8.67	58.78	29.92
	16—28	33.45	5.10	48.24	40.14	6.12	34.02	8.10
	>28	32.08	5.09	227.55	166.82	26.47	140.35	60.74

注: θ_f 为田间持水量; θ_w 为凋萎系数; W_t 为某土层土壤水库的总库容; W_f 为田间持水量对应的库容; W_d 为死水库容; W_y 为有效水库容; W_h 为滞洪库容。

土壤水分库容是反映土壤储水和导水性能的一项重要指标,是指土壤剖面中各土层总孔隙的容积部分,根据不同的水分存在状态可以划分不同库容类型。凋萎含水量是植物所不能利用的含水量,由此产生的库容被认为是死水库容。田间持水量和凋萎含水量之间蓄水量为有效库容。当土壤含水量大于田间持水量时,多余水量只能短时间地蓄存于土壤中,最终经入渗补给地下水或蒸发消耗掉,该部分库容只起滞蓄作用,称为滞洪库容。土壤完全饱和时的蓄水量是总库容。垂直剖面上老稻田平均总库容为 135.80 mm,大于新稻田(124.39 mm)。老稻田耕作层和犁底层总库容均大于新稻田,分别为新稻田的 1.2 倍和 1.8 倍,而底土层(203.35 mm)则小于新稻田(227.55 mm)。有效水库容可以作为作物生长直接吸收水量的重要指标,新、老稻田有效水库容(W_y)范围分别为 34.02~140.35 mm 和 64.26~138.68 mm,均表现出底土层最大,耕作层其次,犁底层最

小;老稻田耕作层、犁底层分别是新稻田的 1.4 倍和 1.9 倍,底土层略小于新稻田。

4 讨论

土壤水分渗漏和保持特征是影响水稻生长和水分利用的重要因素。适宜的土壤渗漏和保持特性有利于调节水稻根区的水、肥、气、热状况和根际化学环境,促进水稻的生长^[13]。但是过高的渗漏或较低的持水能力容易造成稻田水分和养分的流失,在增加灌溉用水的同时还可能造成浅层地下水污染。研究发现,不同地区稻田水分渗漏过程差异显著,土壤理化性质、水力学特征、灌溉方式和地下水位等因素是造成这种差异的主要原因^[14]。受耕作和灌溉等因素影响,土壤性质发生显著改变,从而影响了土壤的水分渗漏和保持特征。

统计分析发现(表 1),新、老稻田表层有机质含量、土壤容重以及土壤含水量均有显著差异,犁底层土壤砂粒和粘粒含具有显著差异,新、老稻田也表现

出不同的导水率和持水性。除有机肥施用外,稻田土壤有机质主要来源于地表的水稻残茬和浅层根系,导致有机质在耕作层富集,且随着土壤深度的增加显著降低。水稻收割后残留的秸秆较早作条件多,导致更多的有机质来源;另外,稻田长期处于淹水条件,土壤矿化作用较弱,更利于有机质积累^[5];以上两种因素共同导致老稻田更高的土壤有机质含量。土壤有机质可以改善土壤的胶体状况,增强土壤吸附性能^[15],从而导致老稻田各土层表现出更高的持水能力。有机质除了影响土壤的持水能力外,还会影响其渗漏性能。有研究表明,土壤有机质的存在可以导致表层土壤 K_s 的进一步增加^[16]。粘粒含量的差异也会影响稻田土壤的渗漏和持水能力,老稻田长年的淹水条件导致其粘粒含量较新稻田高,这种差异也会影响新、老稻田土壤的水分渗漏和保持性能。高粘粒含量会导致土壤的大孔隙和中等孔隙减少,小孔隙数量增加^[17],从而提高了毛管的持水性能。另外,粘粒颗粒的比表面积远大于粉粒和砂粒,粘粒含量的增加还会导致高吸力段的持水量增加。

农业生产过程中受耕作方式、年限以及农田管理方式等综合因素的影响,表层土壤结构被破坏,导致耕层土壤基本性质存在较大的差异。耕作层以下土壤受耕作器具压实影响,导致土壤容重增加,从而形成犁底层。而更深层次的土壤受耕作等人为活动影响较小,土壤性质与母质较为接近。Chen 等^[18]对台湾地区的稻田土壤进行了研究,发现受土壤容重影响,犁底层 K_s (0.82~1.99 cm/d) 分别是耕作层和底土层的 1/30 和 1/20 左右;花伟东等^[19]和郑丽萍等^[20]也得到类似的结果。另外,由于稻田耕作和收割的机械化程度较早地高,表明长年水耕的老稻田犁底层受到的机械压实作用更强,导致老稻田犁底层更厚、容重更高,这与张中彬^[15]的研究结果一致。张勇等^[16]对太湖地区水稻土的研究发现,各土层持水性随着土壤深度的增加而变弱;随深度的增加,土壤容重逐渐增大,孔隙度越小,同一吸力条件下的持水量降低。新、老稻田孔隙的分布与土壤容重变化规律也具有 consistency,表层土壤容重较小,土体疏松,各种尺度孔隙含量均比较丰富,因此具有较大的储水空间;下层土体容重增加,导致土壤孔隙减小,从而降低土壤低吸力段的持水能力。

由于长年的旱作条件,新稻田除降水外不进行额外灌溉,土壤通气条件好,动物孔穴较老稻田多,加上旱作条件种植的棉花和油菜等作物具有比水稻更发达的根系,根系的死亡也会导致更多的大孔隙^[21]。尽管老稻田的生物活动也会导致大孔隙($d > 0.3$ mm)的形成,但水耕条件的泥浆化操作和大量灌溉,

会导致土壤细颗粒随着水流下渗,大孔隙被逐渐填充。Alaoui 等^[22]在研究中发现,大孔隙的存在对 K_s 有很大影响。新、老稻田大孔隙含量与 K_s 的相关性分析表明,新、老稻田大孔隙含量与 K_s 呈显著正相关($R^2 = 0.61, n = 49$),这与陆斌等^[23]的研究结果一致。土壤大孔隙特征除了影响 K_s ,还会影响土壤的持水能力。王君厚等^[24]研究表明,孔隙越大,土壤持水能力越低。大孔隙的存在主要影响低吸力段的土壤持水能力,随着吸力值增加,大孔隙分布较多的新稻田持水量下降速度明显快于老稻田;耕作层也快于其它土层。

旱地改水田加剧了水资源紧缺的矛盾,增加了地下水污染的风险,因此需要适当控制这种耕作方式的转变。在当前耕作制度下,新老稻田应该采取不同的灌溉策略。新稻田渗漏能力强,持水能力弱,单次灌溉量的增加只会导致更大的渗漏量并不能提高作物对水分的吸收,因此适合采取少量多次的灌溉方式;老稻田土壤渗漏性能弱,持水能力强,为减少劳力成本可以适当提高单次灌溉量,从而减少灌溉次数。尽管新稻田已水耕 17 年,但过去长年不同的耕作和灌溉方式所造成的土壤性质差异未能消除,还需要更多的水耕年限才能逐渐减小这种差异。为进一步量化两种稻田水量平衡各分支项,需要通过开展田间原位监测和模型模拟的方式实现。

5 结论

水耕年限不同导致新、老稻田土壤理化性质和水力学参数差异显著,从而影响其水分渗漏和保持能力,主要结论为:

(1)新稻田 K_s 大于老稻田,新稻田平均 K_s 为 32.05 cm/d,是老稻田的 1.8 倍。在垂直剖面上, K_s 均随着土壤深度增加急剧减小;新稻田度耕作层 K_s (59.28 cm/d) 分别是犁底层和底土层的 6.3 倍和 5.7 倍,老稻田耕作层 K_s 分别是犁底层和底土层的 6.9 倍和 4.0 倍。新、老稻田土壤 K_s 变异系数范围为 0.43~1.53,为中等较强变异性,表征有明显的优先流存在。

(2)在同一土壤水吸力水平下,老稻田各土层土壤持水量高于新稻田;老稻田持水性能高于新稻田。土壤剖面大孔隙分布表现为耕作层远大于犁底层和底土层,老稻田各对应土层例大孔隙所占比例明显高于新稻田。

(3)新、老稻田最大有效水含量范围分别为 26.99%~36.74% 和 32.25%~46.59%。老稻田各土层有效水含量均高于新稻田。老稻田各对应土层总库容、有效水库容、滞洪库容均大于新稻田。

参考文献:

[1] 邓宏兵,蔡述明,杜耘,等.近 50 年来江汉湖群水域演化定量研究[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):244-248.

[2] 刘丙军,陈晓宏,张灵,等.中国南方季节性缺水地区水资源合理配置研究[J].水利学报,2007,38(6):732-737.

[3] Belefant-Miller H, Beaty T. Distribution of arsenic and other minerals in rice plants affected by natural straight-head[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(6):1675-1681.

[4] Dunn B W, Dunn T S. Influence of soil type on severity of straighthead in rice[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2012, 43(12):1705-1719.

[5] 王辉,杨小宝,田大作,等.紫鹊界梯田区不同土地利用类型土壤入渗特征研究[J].灌溉排水学报,2012,31(5):123-126.

[6] 杨东伟,章明奎.水田改果园后土壤性质的变化及其特征[J].生态学报,2015,35(11):3825-3835.

[7] 卢小遮,柳云龙,施振香,等.上海城郊低吸力段土壤持水供水特性的研究[J].水土保持学报,2010(6):231-235.

[8] 闫加力,李懋,熊双莲,等.旱改水对水稻幼苗生长的影响及秸秆的改良作用[J].中国生态农业学报,2015,23(5):554-562.

[9] 王学雷,吕宪国,任宪友.江汉平原湿地水系统综合评价与水资源管理探讨[J].地理科学,2006,26(3):311-315.

[10] 陈芳,张海涛,王天巍,等.江汉平原典型土壤的系统分类及空间分布研究[J].土壤学报,2014,51(4):761-771.

[11] 赵德君,刘正平,熊启华.江汉平原浅层地下水污染脆弱性评价[J].资源环境与工程,2007(S1):64-67.

[12] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海科学技术出版社,1978.

[13] 张玉平,刘强,荣湘民,等.有机无机肥配施对双季稻田土壤养分利用与渗漏淋失的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):22-27.

[14] Janssen M, Lennartz B. Water losses through paddy bunds: Methods, experimental data, and simulation studies[J]. Journal of Hydrology, 2009, 369(1):142-153.

[15] 张中彬.红壤性水稻土裂隙特征及其对优势流的影响[D].北京:中国科学院大学,2013.

[16] 张勇,陈效民,林洁.太湖地区典型水稻土水力学特征及土壤库容研究[J].水土保持通报,2011,31(6):64-67.

[17] 李卓,吴普特,冯浩,等.不同粘粒含量土壤水分入渗能力模拟试验研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):71-77.

[18] Chen S K, Liu C W. Analysis of water movement in paddy rice fields (I) experimental studies[J]. Journal of Hydrology, 2002, 260(1):206-215.

[19] 花伟东,郭亚芬,张忠学.坡耕地局部打破犁底层对水分入渗的影响[J].水土保持学报,2008,22(5):213-216.

[20] 郑丽萍,徐海芳.犁底层土壤入渗参数的空间变异性[J].地下水,2006,28(5):55-56.

[21] 王伟,张洪江,程金花,等.四面山阔叶林土壤大孔隙特征与优先流的关系[J].应用生态学报,2010,21(5):1217-1223.

[22] Alaoui A, Goetz B. Dye tracer and infiltration experiments to investigate macropore flow[J]. Geoderma, 2008, 144(1):279-286.

[23] 陆斌,张胜利,李侃,等.秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响[J].生态学报,2014,34(6):1512-1519.

[24] 王君厚.近 50 年来我国沙化土地动态变化分析[J].林业资源管理,2008(2):23-27.

(上接第 89 页)

[17] 刘士余,左长清,朱金兆.地被物对土壤水分动态和水量平衡的影响研究[J].自然资源学报,2007,22(3):424-433.

[18] van Genuchten M T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(5):892-898.

[19] 张磊,齐瑞鹏,张应龙,等.砒砂岩风化物对土壤水分特征曲线及蒸发的影响[J].土壤学报,2015,52(1):77-86.

[20] 谢颂华,莫明浩,涂安国,等.自然降雨条件下红壤坡面径流垂向分层输出特征[J].农业工程学报,2014,30(19):132-138.

[21] 杨永辉,赵世伟,刘娜娜,等.宁南黄土丘陵区不同植被措施的土壤水分特征[J].中国水土保持科学,2006,4(2):24-28.

[22] 谢静,关文彬,崔国发,等.锡林郭勒草原不同植被类型的土壤水分特性[J].东北林业大学学报,2009,37(1):45-48.

[23] 吴文强,李吉跃,张志明,等.北京西山地区人工林土壤水分特性的研究[J].北京林业大学学报,2002,24(4):51-55.