松嫩平原西部1～5年苏打碱化稻田的渗透性研究

罗金明[1,3],邓　伟[2],张晓平[1],李秀军[1],孙广友[1]

(1.中国科学院东北地理与农业生态研究所,吉林 长春 130012;2.中国科学院成都山地灾害与环境研究所,四川 成都 610041;3.中国科学院研究生院,北京 100039)

摘　要:运用亚甲基蓝着色和溴离子穿透实验两种方法,对连续种稻1年和5年的苏打碱土0～30 cm的透水性进行分析。结果表明:碱化稻田耕作层的质地和结构发生明显变化,并且土壤溶液下渗的深度和速率有明显的增加;1年稻田中染料可以下渗到20 cm;而5年稻田则可以渗透到整个耕作层。溴离子的穿透实验表明:经过16 h后,入渗溶液只有82%溴离子渗出1年稻田的土柱;在5年稻田的土柱中,溴离子渗出浓度/入渗溶液浓度只需8 h即可达95%,离子穿透过程近似达到平衡。

关键词:苏打碱土;染料指示剂;离子穿透实验,渗透特征

中图分类号:S287　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-7601(2008)05-0134-05

松嫩平原西部属于半干旱～半湿润气候带,是我国苏打碱土面积最大的分布地区[1]。由于原生苏打碱土碱化层高度分散,土体坚实,毛管孔隙缺乏,渗透性极差[1,2]。研究证实,种稻能打破碱化层,把碱土的盐分淋洗到区外或下移至心土层,因而成为改良碱土的科学方法之一[3]。然而,以往的研究大多集中在碱土的盐分的变化状况,尚缺乏对苏打碱土稻田化过程的透水性进行探讨,这显然不利于了解苏打碱土种稻行为下水分和养分迁移特征,也将限制对苏打碱土向水稻土转化机理的认识。

本试验在中科院东北地理与农业生态研究所所属的大安地区古河道实验基地,进行了1～5年苏打碱化稻田的渗透性研究,旨在探讨苏打碱土稻田化过程中耕作层的渗透性特征。本研究可为该地区农业水资源的合理配置提供参考。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区位于吉林省大安市月亮泡镇(45°36′42″N,124°03′01″E)。海拔142～143 m,属于半湿润半干旱气候,多年平均降雨量460±150 mm,集中在7、8月,蒸发量高达1450±300 mm。种稻前,土壤0～30 cm的pH平均值为9.69,碱化度77%,总盐分含量1.54%,$(CO_3^{2-}+HCO_3^-)/(Cl^-+SO_4^{2-})$为23.17,属于典型的苏打碱土[4],土壤剖面可分为4层:白盖层(Aa,0～12 cm),碱化层(AB,12～28 cm),盐化层(B,28～100 cm),母质层(Cg,100～120 cm)。白盖层呈黄棕色,棱块结构,干、硬、无根系,有显著石灰反应,渗透性差。碱化层呈灰棕色,棱块结构,石灰反应强烈,渗透性差。盐化层表现出棱块结构,有铁锰锈斑,过渡明显。

实验处理:选择连续种稻1年的稻田(1-year)和5年稻田(5-year)的耕作层(0～30 cm)作为研究对象,面积为30 m×20 m,没有耕作过的苏打碱土为对照(control)。对照与稻田相互毗邻,实验前具有相同的土壤背景。

1.2　染料指示实验

染料示踪法被国外公认为是指示土壤溶液迁移特征最直观和有效的方法之一[5,6]。本文在每种处理中各选2个40 cm×40 cm作为染料示踪区,除去地表的植被,用刀片平整土壤表面。用手动喷洒器以20 mm/h的速度向样区喷洒8.6 mmol/L的亚甲基蓝溶液,整个过程持续30 min,喷洒结束时土壤表面积水深度约为2 cm,用塑料盖上。24 h后沿染料样区周围向下挖50 cm深的沟槽,形成40 cm×40 cm的染料单元。用特制的钢架保持相机(Nikon 5600,日本生产)在1.25 m高度,拍摄被染的土壤单元,然后沿着染料样区的对角线方向布设3个取样点,分别取20 g土样回室内测量染料浓度。取完后用刀片去除该层土壤,进行下一土层的拍摄和取样过程。沿着土壤剖面,每5 cm取一层,取样深度0～30 cm。

土样自然风干后,配制成1:2的土壤溶液,用高速离心机以10 000 r/min的速度分离10 min,然后

收稿日期:2007-11-09
基金项目:中科院重大创新项目(KZCX1-SW-19-02)
作者简介:罗金明(1977—),男,博士研究生,四川省成都市人,主要从事土壤盐渍化机理及水环境研究。E-mail:Luojm1000@hotmail.com。

万方数据

用分光光度计(UV－2550,日本生产)在 630 nm 波长测量溶液的吸光度,经转化得到染料的浓度[7]。

1.3　溴离子穿透实验

在 3 种处理中,选择 30 m×20 m 大小的样区,按照"X"形布设原状土柱取样点。每种处理各布设 5 个未扰动土柱取样点。取样前先用淡水浇灌土壤,使土壤充分湿润,并在 PVC (10 cm 长,Ø5.7 cm)管壁涂抹液体石蜡,避免土体变形,然后轻轻压入土体,取出土柱,削去两端多余的土壤,用纱布包住[6]。在土柱顶端套上 3 cm 长的橡皮圈,使土柱上端保持 3 cm 的水头。用改造后的医用点滴管控制水流下滴的速度,下端放置烧杯,收集土柱下端渗出的土壤溶液。

首先用去离子水下滴,当水分下渗到原状土柱下端,把下滴溶液换成 0.05 mol/L 的溴化钾溶液(C_0),开始记录不同时刻(t)土柱下渗溶液中溴离子的浓度〔$C_{out}(t)$〕。当渗出溶液中溴离子的浓度达到稳定后停止实验[8]。

1.4　图像处理

在 Photoshop 软件中把田间拍摄的染料图像转换成 CMYK 模式,保存青色通道,再调整阈值把图像转化为黑白格式。利用 Matlab6.5 的图像工具箱,把黑白图像转换成二值图像,每帧数字图像的矩阵的平均值代表染料的相对浓度[9,10]。

2　结果与讨论

2.1　染料的分布特征

图 1 为田间拍摄的染料图像。由图可见,土壤溶液并不是均匀的沿着土体下渗,而是主要沿着裂隙迅速下渗,导致裂隙边缘分布大量的染料,而土壤基质部分分布较少。图 1 还揭示出土壤 溶液渗透的深度与种稻年限成正相关的规律:对照 0～5 cm 土层染料分布较多,10 cm 土层仅有少量染料分布的痕迹,10 cm 以下几乎没有分布。1 年稻田的染料主要分布在 0～20 cm 土层中,其中 10 cm 深度染料分布最明显,在 20 cm 土层可见到染料下渗的界限,20～30 cm 土层几乎没有分布;5 年稻田的表层染料浸染程度较轻,15～20 cm 土层染料浸染程度最重,向下逐渐减弱,30 cm 土层仍然有清晰的染料分布痕迹,说明在 5 年稻田中染料下渗的深度可以达到甚至超过 30 cm。

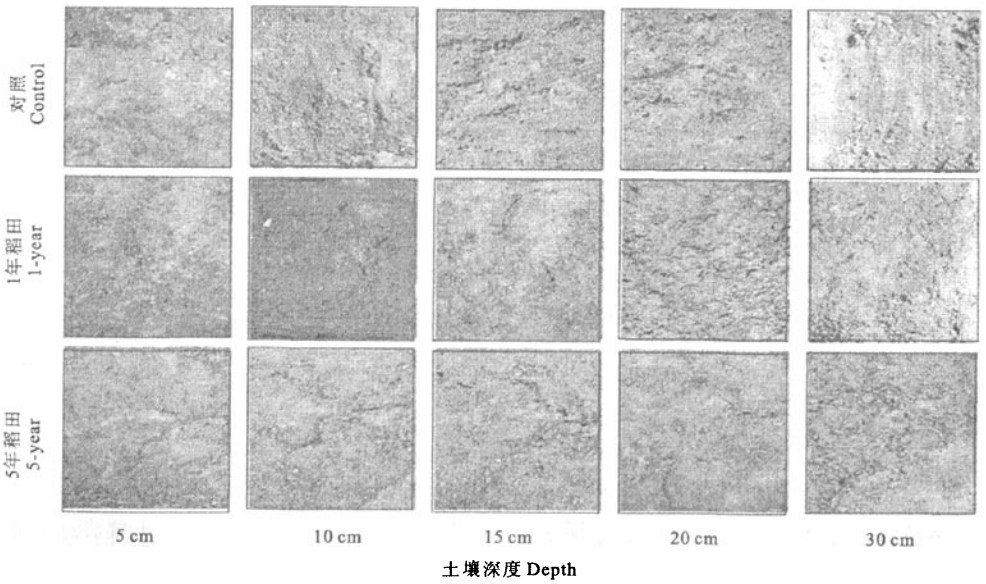

图 1　染料渗透随深度变化的图像(每帧 40 cm×40 cm)

Fig.1　Images of dye variation with depth(Each picture represents an area of 40 cm×40 cm)

在染料示踪法中,常用染料的相对覆盖度/土壤深度图来量化土壤溶液分布特征[6,10]。图 2 是田间拍摄的染料分布图片经过 Matlab 转化后得到的染料相对覆盖度图。从图可见,尽管 3 种处理具有相同的土壤背景,但是染料分布的模式却截然不同。受碱化层的影响,对照中染料的相对覆盖度较小,且沿着土壤剖面向下迅速减小为零。1 年稻田的染料相对覆盖度的最大值出现在 5～10 cm,耕作层(0～

万方数据

30 cm)可以见到染料下渗的界限,呈现3次方函数变化规律;5年稻田染料相对覆盖度从表层向下以抛物线的形式逐渐减小,整个耕作层不能观测到下渗界限。

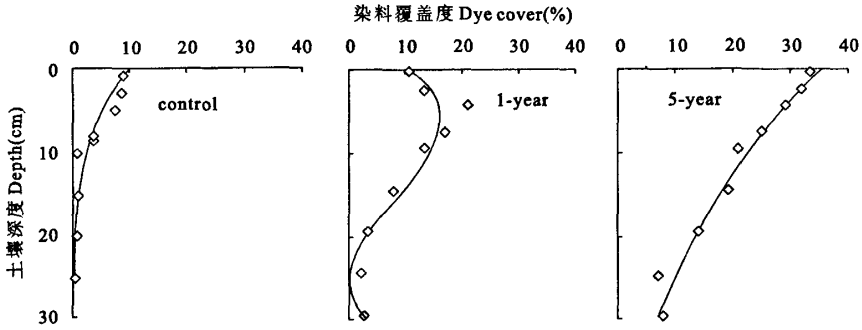

图2 三种处理的土壤染料相对覆盖度随土壤深度变化(每个点代表两个测量值的平均数)

Fig.2 Change in the area covered by dye along soil profile in the control(no rice cultivation), 1-year rice cultivation and 5-year rice cultivation treatments. (Each point represents a mean of two measurements)

为了进一步分析3种处理在40 cm×40 cm尺度内染料浓度沿土壤深度分布的差异,将染料浓度进行T检验($P<0.05$)分析,发现:1年稻田与对照染料的分布差异主要在10~20 cm土层;5年稻田的表层和15 cm以下的染料分布与对照的差异达到显著性水平;25 cm以下5年稻田与1年稻田的染料分布差异达到显著水平。

通过分析不难看出,1年稻田10 cm以上的土壤的透水性增强,土壤溶液渗透较快,10 cm以下渗透系数逐渐减小,土壤溶液渗透较缓慢,导致染料停滞时间较长,染料覆盖度较高;5年稻田0~20 cm土层的透水性比原生苏打碱土和1年稻田有很大改善,20 cm以下仍然有较大的渗透性。

2.2 溴离子的穿透特征

离子的穿透实验可用来表征土壤溶液的迁移过程[11]。图3可见,苏打碱土经过不同年限的种稻处理,溴离子的穿透过程存在明显的差异。对照溴离子的穿透过程表现出长长的"拖尾"现象,30 h后相对浓度仅达到78%,尚未能与输入溶液中的溴离子浓度达到平衡。1年稻田中溴离子在较短时间(约60 min)下渗到土柱下端,经过约16 h渗出溶液达到稳定,相对浓度为83%,入溶液的溴离子达到平衡。5年稻田的溴离子的穿透速率更快,经过8 h相对浓度可达95%,近似与入渗溶液中的溴离子达到平衡。

分析可见,原生苏打碱土的渗透性差,土壤溶液需要较长时间才能渗透到土柱下端;随着种稻年限的增加,土壤渗出溶液达到稳定时间变短,土壤下渗速率不断增大。5年稻田的渗透性已经明显改善,较短时间内大部分溶质可以运移到犁底层。

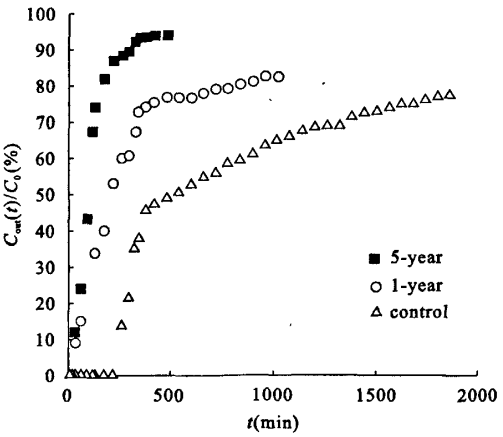

图3 三种处理中溴离子相对浓度随时间变化特征

Fig.3 Changes of relative concentration(C/C_0) of bromide ion with time(t) in 3 treatments

2.3 讨 论

研究表明,合理的田间耕作和科学的管理措施能改善土壤的物理结构,促进土壤渗透性增加[11]。在研究区,稻田每年春耕秋收,田间灌水浸泡和排水收割使土壤处于干湿交替的环境中,导致土壤的物理和化学性质发生改变。研究表明,原生苏打碱土稻田化过程中,钠离子被淋洗到心土层或被带到区外,碱化层消失,有机质含量增加[2];另一方面,灌溉作用把细粘粒(土壤胶体)淋洗到土壤剖面中部,并在底土层聚集,形成致密的犁底层,使土壤结构发生显著的变化[12]。这种变化对土壤耕作层的渗透

万方数据

性起着促进作用。

图 4 可见,虽然 1 年稻田的土体构型与对照相同,都是 Aa－AB－B 的结构,但碱化层(Aa) 厚度明显变薄,AB 层土体的颜色加深,且有明显向下淋洗的痕迹。5 年稻田的土体构型发生根本变化,碱盖层(Aa)已完全被耕作层(A)代替,盐化层被犁底层(P)取代,整个剖面耕作层颜色最深,有明显的土壤溶液向下淋溶痕迹。

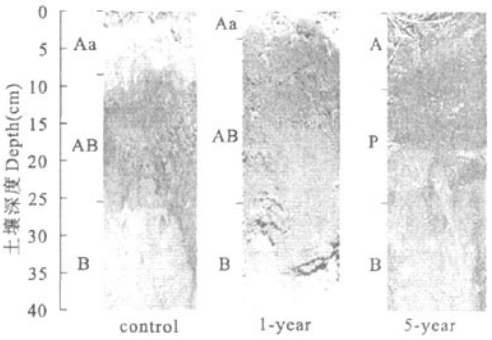

图 4　三种处理的剖面分层特征

Fig. 4　Soil profile classification under three treatments

表 1 反映了土壤的容重、机械组成以及有机质含量。由表可见,两种稻田的容重、粒径分布以及有机质含量都发生了不同程度的变化。与对照相比,连续种稻 5 年后,苏打碱土 0～10 cm 土层的容重减小,且达到显著水平。与容重变化规律不同,种稻使苏打碱土有机质含量呈现不同程度的增加,且与年限成正比,通过检验发现,种稻 5 年后 20～30 cm 的有机质含量与对照差异达到显著性水平。受灌溉淋溶的影响,5 年稻田表层的粘粒含量为 12.64%,明显小于对照的含量。大量水稻的根系残留在耕作层导致有机质含量达到 2.76%。

此外,优先路径对土壤溶液迁移的影响十分显著[9,10,13]。受土壤有机质含量不同、质地的差异、耕作方式和植被根系等因素的作用而形成的优先路径[5,13,14],常常决定着土壤溶液的下渗深度以及速度,由此而引起的优先流(Preferential flow)在接近饱和或饱和初期是土壤溶液下渗的主要方式[7~9]。连续种稻处理导致耕作层残存大量根系,增加了优先路径,大量土壤溶液可以沿着优先路径下渗到犁底层。这就解释了 5 年稻田中染料能够在短时间内下渗到 30 cm 深度,甚至更深的缘由。

溴离子为保守性离子,通常不与土壤发生反应,因此常用来指示非苏打碱化土壤的水分的迁移特征[6~8,10,14]。然而本研究发现,溴离子在穿透苏打碱化土柱时存在明显的损失,且碱化程度越重,损耗越大。原状苏打碱土经过 34 h 后相对浓度仅能达 78%,约 22% 的溴离子还滞留在土柱中。因此推测可能存在离子的吸附－解析反应。在苏打碱土中溴离子是否存在吸附－解析过程,尚待进一步证实。

表 1　三种处理的容重、机械组成以及有机质含量*

Table 1　Bulk density particle distribution and organic matter content of 3 treatments

项目 Items		深度 Depth(cm)	耕作处理 Cultivated treatment 对照 Control	1 年 1-year	5 年 5-year
容重 B. Density (g/cm^3)		0～10	1.56 (a)	1.56	1.43 (a)
		10～20	1.57	1.57	1.56
		20～30	1.63	1.63	1.58
有机质 Organic matter (%)		0～10	1.25	1.78	2.76
		10～20	0.95	1.54	1.85
		20～30	0.42 (a)	0.94	1.51 (a)
粒径分布 Particle Distribution (%)	砂质 Sand	0～10	69.33	70.13	72.55
		10～20	70.73	70.50	71.00
		20～30	75.59	75.38	74.71
	粉砂 Silt	0～10	12.50	12.19	15.41
		10～20	13.13	12.53	14.08
		20～30	14.38	14.46	14.74
	粘粒 Clay	0～10	18.17	17.68	12.64
		10～20	16.14	16.97	15.92
		20～30	10.03	10.16	10.55

注:* 每个值代表 3 个重复。a 代表种稻 5 年和对照存在显著差异($P<0.05$)。

Note: * Each figure represents a mean of 3 measurements and which followed by letter(a) is significantly different($P<0.05$).

3　结　论

1) 苏打碱土连续种稻后,耕作层的质地和结构发生显著变化,并由此导致土壤溶液迁移的方式发生变化。实验发现:大部分土壤溶液并不是沿着土体均匀下渗,而是沿着裂隙迅速下渗,导致裂隙边缘分布大量染料,而土壤基质部分分布较少。

2) 连续种稻能够促使苏打碱土溶液的下渗的深度和速率增加。1 年稻田中染料可以下渗到 20 cm;而 5 年稻田中染料可以渗透到整个耕作层。溴离子的穿透实验表明:土壤溶液下渗速率随种稻年限而增大,对照中溴离子的穿透过程表现出长长的"拖尾"现象,土壤溶液需要较长时间才能渗透到土柱下端;1 年稻田的渗透性已经明显改善,80% 以上的溴离子在较短时间可以穿过土柱;5 年稻田中溴离子的穿透速率最快,溴离子经过约 8 h 即可穿透

万方数据

土柱与入渗溶液达到平衡。

参考文献:

[1] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.64—65,372—374.

[2] 俞仁培.碱土的形成与防止[M].北京:科学出版社,1982.4—19.

[3] 陈恩凤,王汝橱,胡思敏,等.吉林省前郭灌区苏打盐渍土的改良[J].土壤学报,1962,10(2):201—214.

[4] 张晓平,李 梁.吉林省大安地区盐渍土的性质与研究进展[J].土壤通报,2001,(32):26—30.

[5] Ohrstrom P, Persson M, Albergel J, et al. Field-scale variation of preferential flow as indicated from dye coverage[J]. Journal of Hydrology, 2002,25(7):164—173.

[6] ÖOhrstroom P, Hamed Y, Persson M, et al. Characterizing unsaturated solute transport by simultaneous use of dye and bromide [J]. Journal of Hydrology, 2004,289:23—35.

[7] Allaine-lenry S E, Gupta S C, Moncrief J F. Water and solute movement in soil as influenced by macropores characteristics : macropores tortuosity[J]. Journal of Hydrology, 2000,41:283—301.

[8] Lee J, Horton R, Noborio K, et al. Characterizing of preferential flow in undisturbed, structured soil columns using a vertical TDR probe[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2001,51:131—144.

[9] Kamra S K, Michaelsen J, Wichtmann W. Preferential solute movement along the interface of soil horizons[J]. Pergamon, 1999,(2):61—68.

[10] Hangen E, Gerke H H, Schaaf W, et al. Flow pathway visualization in a lignitic mine soil using iodine-starch staining[J]. Geodema, 2004,126:121—135.

[11] 叶自桐.利用盐分迁移函数模型研究入渗条件下土层的水盐动态[J].水利学报,1990,(2):1—9.

[12] B A柯夫达著.席承藩,赵仲武,王遵亲,等译.盐渍土的发生与演变[M].北京:科学出版社,1957.289.

[13] Wahl N A, Bens O, Buczko U, et al. Effects of conventional and conservation tillage on soil hydraulic properties of a silty-loamy soil[J]. Physical and Chemistry of the Earth, 2004,29:821—829.

[14] Beven K, Germann P. Macropores and water flow in soils[J]. Water Resource Research, 1982,18:1311—1325.

Infiltration property of 1～5 year sodic alkaline paddy in west Songnen Plain

LUO Jin-ming[1,3], DENG Wei[2], ZHANG Xiao-ping[1], LI Xiu-jun[1], SUN Guang-you[1]

(1. *Northeast Institution of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Science, Changchun, Jilin* 130012, *China*;
2. *Institute of Mountain hazards and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu, Sichuan* 610041, *China*;
3. *The Graduate Department of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: By applying Brilliant Blue FCF as dye tracer and bromide ion for breakthrough test, the infiltration property of sodic alkaline soil after 1 year and 5 years rice cultivation practice were studied. The results showed that the texture and structure of cultivation layer had significant changes after continuously rice-growing practice. Influenced by physical property of cultivated layer, the penetration depth and infiltration rate of soil solution increased significantly in contrast with control. Dye could infiltrate to 20 cm in 1-year rice plot and the whole cultivated layer after 5-year rice plot. The breakthrough experiment revealed that only 82% influent could penetrate the soil cores in 1-year paddy after 16 h, nevertheless, 95% after 8 h in cores of 5-year paddy, to reach balance with influent approximately.

Keywords: soda alkali soil; dye tracer; breakthrough experiment; infiltration property

万方数据