

陶涣壮,甘磊,马蕊,等. 桂林地区不同土地利用方式下土壤热导率空间变化[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):226-230.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.060

桂林地区不同土地利用方式下土壤热导率空间变化

陶涣壮¹, 甘磊¹, 马蕊¹, 张中彬², 程芳丽³

(1. 桂林理工大学/广西岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心/广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 广西桂林 541004;
2. 中国科学院南京土壤研究所/土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏南京 210008; 3. 桂林市农业科学院, 广西桂林 541004)

摘要:以广西桂林市农业科学院大豆种植地、甘蔗种植地、梨树种植地为例,对3种土地利用方式下干旱、中等、湿润土壤水分情况中土壤热导率的空间变化进行研究。结果表明:在干旱和湿润水分条件下,土壤热导率表现为梨树地>甘蔗地>大豆地,而中等水分条件下梨树地>大豆地>甘蔗地;土壤热导率的大小变化趋势与含水量相一致,说明土壤热导率的大小主要受土壤含水量的影响;土壤热导率的地统计分析表明,在3种土壤水分条件下,大豆地的土壤热导率空间结构比在50%~65%范围内,属于中等相关性,而甘蔗地和梨树地的空间结构比大于75%,空间相关性很强;大豆地的土壤热导率的高阈值空间分布比甘蔗地的稳定性好,主要是因为甘蔗地受垄沟灌溉的影响;而梨树地是免耕地,其空间分布稳定性较弱。研究结果说明,在研究区域土壤对其热导率空间相对稳定性具有一定维持能力,但土壤热导率的稳定性受耕作和灌溉等人因素为影响。

关键词:土地利用方式;土壤热导率;土壤水分;地统计分析;空间变化

中图分类号: S152.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)11-0226-04

“温室效应”引起的全球变暖现象,导致气温、降水量、蒸发速率发生变化,从而对土壤性质产生直接影响^[1]。土壤热特性主要包括热导率、热容量等特性^[2]。其中,热导率反映土壤热量传输能力的大小,一直是研究热点^[3]。土壤热导率不仅引起土壤温度发生变化,也对各种物质迁移转化的程度、数量以及植物生长及其对水肥吸收产生直接影响,同时也影响土壤水、气在土壤中的分布及其传输特征,进而影响土壤中各种物理化学过程发生及其程度^[4]。通常影响土壤热导率的因素有土壤含水量、质地、容重、有机质、孔隙度^[5]。降水与土壤含水量、热导率也存在一定的相关性,降水会增加土壤含水量,而土壤含水量的迅速增加使得土壤热导率明显升高^[6]。各种土地利用方式下的土壤理化性质存在着不同程度的差异^[7],土壤容重大则孔隙度小,土壤越紧实,土壤热导率越大。土壤质地越粗,热导率随含水量改变而变化的速度越快。当土壤质地相同时,含水量增大,热导率也迅速升高^[8-9]。结合地理信息系统(GIS)技术与地统计学方法可以较好地模拟土壤热导率的空间结构和变异特征,同时土地利用方式对土壤热导率空间分布有着较强的关联性^[10-11]。因此,对土壤热导率的研究能够提高土壤水分、养分高效利用率及土壤质量等。本研究以种植大豆、甘蔗、梨树3种土地利用方式为对象,分析干旱、中等、湿润土壤水分条件下土壤热导

率的变化以及空间分布,以期对广西喀斯特地区农业干旱应对、农田合理灌溉制度的制定以及水土流失治理等问题提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区域位于广西桂林市雁山区的桂林市农业科学院(25°4'N,109°44'E),属于亚热带季风气候。试验区地势较为平坦,平均海拔约为160 m。该区多年平均降水量约为1 894 mm,降水量全年分布不均,雨季为4—9月,降水量占全年的60%左右。其中年平均蒸发量1 490~1 905 mm,多年平均气温为18~19℃。利用手持全球定位系统(GPS)分别在大豆、甘蔗、梨树种植地选取面积为14 175 m²(135 m×105 m)的试验区,每个测量点间相隔15 m,共设置80个测量点。同时在每个试验区内随机设置20个次级测量点,整个试验区共设置100个测量点。

1.2 采样与分析

试验开始前,分别用环刀采集3个试验区表层土样(0~6 cm),带回实验室测定土壤质地、容重、总孔隙度、有机质含量。土壤含水量利用手持土壤水分测定仪(HH2 Moisture Meter,英国)测定,测量前设备已标定。每次测定均是在1 d内完成,当遇到降水发生时,再测1次。测量时段为2014年8月至2015年3月。根据不同土地利用方式的土壤含水量大小进行分析,分别选取干旱、中等、湿润3种土壤水分状态对土壤热导率进行分析。

按照Campbell^[12]经验公式计算土壤热导率 $\lambda(\theta)$:

$$\lambda(\theta) = 1 + B\theta - (A - D) \exp[-(C\theta)^E] \quad (1)$$

其中,A、B、C、D、E是与土壤性质有关的系数,具体关系如下:

$$A = 0.65 - 0.78\rho_b + 0.60\rho_b^2; \quad (2)$$

$$B = 1.06\rho_b; \quad (3)$$

收稿日期:2016-04-29

基金项目:国家自然科学基金(编号:41501230);广西自然科学基金(编号:2016GXNSFAA380197);广西矿冶与环境科学实验中心项目;广西高等学校高水平创新团队及卓越学者计划。

作者简介:陶涣壮(1991—),男,广西桂平人,硕士研究生,研究方向为农田水土。E-mail:799634972@qq.com。

通信作者:甘磊,博士,研究方向为土壤物理性质及土壤水热运动模拟。E-mail:allen_gl2006@163.com。

$$C = 1 + \frac{2.6}{m_e^{0.5}}; \quad (4)$$

$$D = 0.03 + 0.10\rho_b^2; \quad (5)$$

$$E = 4.0. \quad (6)$$

式中: ρ_b 为土壤容重; m_e 为黏粒含量分数。 ρ_b 、 m_e 是方程中的 2 个常量。

土壤热导率的地统计分析中,利用半变异函数方法进行数据空间变化的分析,计算公式如下^[13]:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2. \quad (7)$$

式中: $r(h)$ 是空间间隔为 h 的半变异函数; $N(h)$ 为被间隔 h 分割的数据点对数; $Z(x_i)$ 为随机变量 Z 在点 x_i 处的值; $Z(x_i + h)$ 为 Z 在相距点 x_i 为 h 远处的值。

Zhao 等研究表明,半变异函数的指数模型能很好地进行插值^[14],因此本研究选取指数模型进行地统计分析。块金值(C_0)、基台值($C + C_0$)、偏基台值(C)以及最大相关距离是在指数模型拟合中得到的 4 个重要参数。块金值(C_0)表示区域化变量在小于试验研究尺度时非连续变异,受区域化变量属性以及测量误差共同制约;基台值($C + C_0$)表示当采样点

间的距离 h 增大时,半变异函数 $r(h)$ 从初始的块金值达到一个相对稳定的常数;偏基台值(C)是基台值与块金值的差值;最大相关距离表示变异函数由初始块金值达到基台值时的测量点之间的间隔距离。空间结构比直接反映了空间相关性的强弱,即偏基台值(C)与基台值($C + C_0$)的比值,该值越大,空间相关性越强。根据 Cambardella 等的研究^[15],当 $C/(C + C_0) > 75\%$ 时,变量之间空间相关性十分强烈;当 $C/(C + C_0)$ 为 25% ~ 75% 时,变量之间空间相关性是中等程度;当 $C/(C + C_0) < 25\%$ 时,变量的空间相关性变得很微弱。

所有测量数据运用 SPSS 13.0 软件进行分析,土壤热导率的地统计分析和空间分布制图运用 ArcGIS 10.0 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤属性基本情况

由表 1 可见,3 个试验区土壤质地差异不大;从土壤容重方面看,大豆地显著大于其他 2 个试验区($P < 0.05$),甘蔗地、梨树地相似;3 个试验区中甘蔗地的总孔隙度最大,为 47.78%,但 3 个试验区无显著性差异;就土壤有机质含量而言,梨树地有机质含量最高,大豆地最低。

表 1 3 个试验区的土壤质地、容重(BD)、总孔隙度(TP)和有机质(SOM)含量

试验区	沙粒含量 (%)	粉粒含量 (%)	黏粒含量 (%)	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	土壤有机质含量 (g/kg)
梨树地	41.99 ± 1.42a	20.92 ± 1.60a	37.09 ± 1.94a	1.27 ± 0.03b	45.84 ± 0.05a	15.29
甘蔗地	35.67 ± 2.11b	26.28 ± 1.83a	38.05 ± 2.21a	1.29 ± 0.04b	47.78 ± 0.60a	13.36
大豆地	37.11 ± 1.72b	25.68 ± 1.31a	37.21 ± 2.10a	1.38 ± 0.02a	45.17 ± 0.71a	11.41

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 土壤含水量和土壤热导率的统计描述

由表 2 可见,在干旱和湿润的水分条件下,土壤含水量都是梨树地 > 甘蔗地 > 大豆地,但在中等水分条件下,土壤含水量表现为梨树地 > 大豆地 > 甘蔗地。干旱条件下大豆地土壤含水量最小,为 0.037 cm³/cm³,湿润条件下梨树地土壤含水量最大,为 0.282 cm³/cm³。在土壤热导率方面,同样是在干旱和湿润的水分条件下梨树地 > 甘蔗地 > 大豆地,中等水分条件下梨树地 > 大豆地 > 甘蔗地。最小土壤热导率值出现在干旱条件下的大豆地,为 0.277 W/(m · K);最大值出现在湿润条件下的梨树地,为 0.986 W/(m · K)。

表 2 3 种土壤水分条件下土壤含水量和热导率

土壤水分 条件	试验区	含水量(cm ³ /cm ³)		热导率[W/(m · K)]	
		均值	标准误差	均值	标准误差
干旱	大豆地	0.037	0.002	0.277	0.003
	甘蔗地	0.056	0.002	0.279	0.004
	梨树地	0.095	0.003	0.355	0.008
中等	大豆地	0.119	0.005	0.501	0.018
	甘蔗地	0.117	0.004	0.432	0.012
	梨树地	0.166	0.003	0.610	0.013
湿润	大豆地	0.163	0.003	0.675	0.017
	甘蔗地	0.191	0.005	0.727	0.021
	梨树地	0.282	0.006	0.986	0.011

2.3 土壤热导率的地统计分析

由表 3 可见,在 3 种水分条件下,土壤热导率的最大相关距离为 27.50 ~ 207.20 m,大于试验区观测点之间的距离,证

明这些观测值之间存在空间相关性。从块金值和偏基台值来看,3 个试验区在干旱、中等水分、湿润条件下,块金值都比偏基台值小。从空间结构比可知,在 3 种水分条件下,甘蔗地和梨树地的空间结构比都大于 75%,说明空间相关性很强。而大豆地的空间结构比都大于 50%,在 25% ~ 75% 范围内,属于中等的空间相关性。

从 ArcGIS 软件对土壤热导率进行地统计分析的成图中,可以知道土壤热导率在试验区的空间分布情况。每幅图中颜色深浅代表土壤热导率的高低,颜色越深,土壤热导率就越高,每幅图中颜色深浅的变化都有各自的变化阈值。图 1 代表大豆地分别在干旱、中等水分、湿润的土壤水分条件下的土壤热导率空间分布。如图 1 - a 所示,在干旱水分条件下,土壤热导率以中等阈值为主,土壤热导率的高阈值分布于图中的东北角,低阈值分布在西南角。如图 1 - b 所示,在中等水分条件下,土壤热导率的低阈值从中部逐渐向东北角和东南角递增,高阈值位于图中东北角。如图 1 - c 所示,在湿润条件下,土壤热导率的高阈值位于东北角,低阈值分布于西北角。在 3 种土壤水分条件下,大豆地土壤热导率的高阈值都位于试验区的东北部,说明土壤热导率的空间分布具有很好的稳定性。图 2 表示甘蔗地在干旱、中等水分、湿润的水分条件下土壤热导率的空间分布图。如图 2 - a 所示,在干旱条件下,土壤热导率在图中中部以 2 个高阈值为圆心向四周递减,低阈值出现于图中西北角。如图 2 - b 所示,在中等水分条件下,土壤热导率的高阈值位于南部,但比较分散,低阈值分布于北部。如图 2 - c 所示,在湿润条件下,土壤热导率的阈值

表 3 土壤热导率在 3 种土壤湿度状态下的地统计分析结果

土壤水分条件	试验区	最大相关距离 (m)	块金值	偏基台值	基台值	空间结构比 (%)
干旱	大豆地	207.20	5.79×10^{-4}	6.25×10^{-4}	1.20×10^{-3}	51.94
	甘蔗地	43.51	8.59×10^{-5}	1.42×10^{-3}	1.50×10^{-3}	94.28
	梨树地	36.20	1.02×10^{-3}	4.36×10^{-3}	5.38×10^{-3}	80.96
中等	大豆地	194.46	1.14×10^{-2}	2.11×10^{-2}	3.25×10^{-2}	64.86
	甘蔗地	27.50	9.25×10^{-4}	9.55×10^{-3}	1.05×10^{-2}	91.17
	梨树地	207.20	2.98×10^{-3}	1.85×10^{-2}	2.14×10^{-2}	86.08
湿润	大豆地	103.17	1.08×10^{-2}	1.49×10^{-2}	2.57×10^{-2}	58.02
	甘蔗地	37.60	5.69×10^{-4}	3.44×10^{-2}	3.49×10^{-2}	98.37
	梨树地	53.28	1.42×10^{-3}	9.56×10^{-3}	1.10×10^{-2}	87.08

分布比较明显,高阈值分布于东南角,低阈值位于西北角。在 3 种土壤水分条件下,甘蔗地土壤热导率的高阈值在南部都有出现,同样具有一定稳定性。图 3 表示梨树地在干旱、中等水分、湿润的水分条件下土壤热导率的空间分布。如图 3-a 所示,在干旱条件下,土壤热导率的高阈值分布于图中东北角和南部,以圆圈的形式向四周辐射减少,低阈值位于西北角。如图 3-b 所示,在中等水分条件下,土壤热导率的高阈值位于西北角,低阈值位于东南角,从整体上看,北部的土壤热导率比南部高。如图 3-c 所示,在湿润条件下,土壤热导率高

阈值零散分布于西北角、西南角、东南角,低阈值位于东南角,以圆形为中心向四周递增。从干旱到湿润中,梨树地土壤热导率的高阈值空间分布较为零散,稳定性相较于其他 2 个试验区较弱。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究分析了桂林地区 3 种土地利用方式在干旱、中等、湿润的土壤水分条件下,土壤热导率的大小和空间结构变化

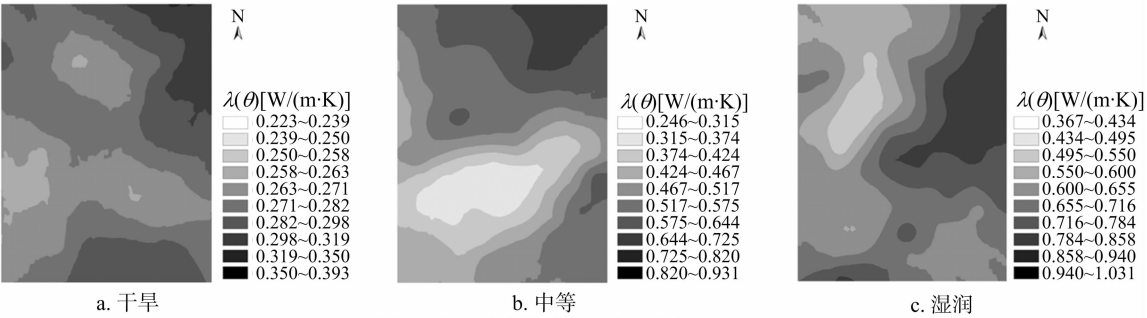


图1 大豆地土壤热导率空间分布

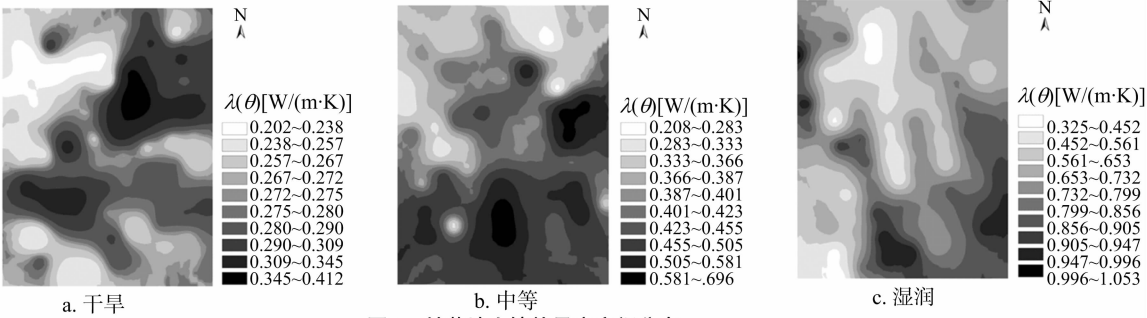


图2 甘蔗地土壤热导率空间分布

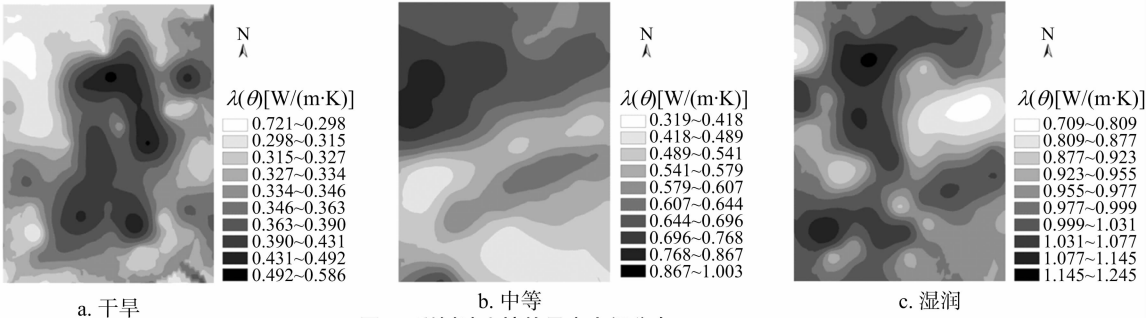


图3 梨树地土壤热导率空间分布

情况。在干旱、湿润水分状态下,土壤热导率的大小都表现为梨树地>甘蔗地>大豆地,而在中等水分条件下,土壤热导率的大小表现为梨树地>大豆地>甘蔗地,其变化与土壤含水量的变化趋势相一致,说明土壤含水量是引起土壤热导率变化的主要因子。从土壤热导率的地统计分析结果可以看出,在3种土壤水分状态下,所有块金值都比偏基台值小,说明土壤热导率的空间变化主要受土壤属性和降水等非人为因素的影响,其中土壤含水量是引起土壤热导率空间变化的主要因子。大豆地的土壤热导率空间结构比范围是50%~65%,属于中等相关性,而甘蔗地、梨树地的空间结构比大于75%,空间相关性很强。大豆地的土壤热导率的高阈值分布较稳定,而甘蔗地受垄沟灌溉的影响,其稳定性比大豆地略差。由于梨树地是免耕地,其土壤热导率的高阈值分布零散,稳定性较弱。研究结果说明土壤对其热导率空间相对稳定性具有一定维持能力,但土壤热导率的稳定性受耕作和灌溉等人为因素的影响。

3.2 讨论

土壤热导率的大小受到土壤颗粒组成、含水量、容重、孔隙率的影响^[16]。在干旱和湿润水分条件下,土壤热导率表现为梨树地>甘蔗地>大豆地,而中等水分条件下梨树地>大豆地>甘蔗地。同时土壤热导率的大小变化趋势与含水量相一致,说明土壤热导率的大小主要受土壤含水量的影响,并且随着含水量的增加而呈幂函数增加趋势^[2]。土壤含水量的变化主要受蒸散发和降水等因子制约,其中降水是调节土壤含水量变化的主要方式^[17]。在3种水分条件下,梨树地的土壤含水量之所以大于大豆地、甘蔗地,主要原因是甘蔗地和大豆地的地表覆盖物较少,对土壤水分的蒸发作用较强以及对降水反应较为敏感,使土壤含水量相较于梨树地低;而梨树地有机质含量高以及枝叶覆盖面积较大,调蓄水分的能力较强,从而保证土壤含水量较高,相对应的土壤热导率就会升高^[18]。同时梨树地属于长期免耕地,而大豆地、甘蔗地遭受长期翻耕。这与赵君等关于免耕和留茬的耕作方式可以提高土壤含水量的研究成果^[19]相符合。这也间接说明耕作也影响土壤热性质。相比传统耕作系统,长期免耕的土壤扰动少,在有机质、土壤粒径分布、土壤储水能力上都将发生改变,而这些改变都会影响土壤热导率^[20]。在干旱土壤水分状态下,3个试验区的土壤含水量、热导率数值上相差不大;但在中等水分条件时,3个试验区土壤含水量差别不大,而热导率有差异。这主要是由3个试验区的容重、砂粒含量有差别而共同影响造成的。大豆地的土壤容重显著大于其他2个试验区($P<0.05$)。有研究表明,砂粒含量越高,粉粒含量越低,土壤热导率越大,土壤导热能力越强^[21]。Abuhamdeh 等认为,在2种类型土壤中热导率随容重的增大而增加^[22]。土壤热导率的计算公式是一个幂函数,因此自变量中土壤含水量、容重、质地的微小改变也会引起土壤热导率较大的变化。这种计算方法已经在其他研究中应用,被证明是合适的^[23],这与本研究结果相一致。

在3种水分条件下,3个试验区的块金值都小于偏基台值,其中甘蔗地、梨树地的块金值比偏基台值小了76%~98%,这表明土壤热导率空间变异主要是由土壤母质、地形、气候等非人为因素和空间自相关部分引起的^[24]。而降水对

土壤含水量的变化起非常强烈的反应^[25],导致土壤热导率的空间变化受到土壤含水量的影响,进而说明了降水等非人为因素影响了土壤热导率空间变化。大豆地的空间结构比小于其他2个试验区,主要原因是大豆地经常遭受耕作、锄草、灌溉等人为因素的影响,从而块金值增大,导致土壤热导率变小和空间相关性降低。从图1可以看出,从干旱到湿润过程,大豆地土壤热导率高阈值的分布很稳定,都位于在东北角,主要原因是大豆地的土壤含水量波动区间很小,数值间隔不大。从图2可看出,甘蔗地在干旱条件下土壤热导率高阈值在东北角;而在其他2个水分条件下,土壤热导率高阈值都分布在西南角。主要原因是甘蔗在种植时采用垄沟灌溉方式,储存水量多^[26],热导率随着含水量增加而增加,所以土壤热导率在中等水分和湿润条件下空间分布较稳定。梨树地从干旱到湿润过程中,土壤热导率高阈值的空间分布零散且不稳定。主要原因是梨树地是免耕地,造成地表凋落物的覆盖增多和有机质含量丰富等情况^[27],导致热导率空间变化不稳定。

参考文献:

- [1] Brinkman R, 胡钦红. 气候变化对土壤性质的影响[J]. 土壤学进展, 1991, 19(6): 23-25.
- [2] 邵明安, 王全九, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 162-175.
- [3] Lu S, Ren T, Gong Y, et al. An improved model for predicting soil thermal conductivity from water content at room temperature[J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(1): 8-14.
- [4] 李 婷, 王全九, 樊 军. 土壤热参数确定方法比较与修正[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 59-64.
- [5] 李艳杰, 邹平华. 土壤热导率对直埋蒸汽管道保温层厚度的影响[J]. 煤气与热力, 2006, 26(3): 56-58.
- [6] 贾东于, 文 军, 张堂堂, 等. 黄土高原降水对土壤含水量和导热率的影响[J]. 高原气象, 2014, 33(3): 712-720.
- [7] 贡 璐, 张雪妮, 吕光辉, 等. 塔里木河上游典型绿洲不同土地利用方式下土壤质量评价[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 120-127.
- [8] 李 毅, 邵明安, 王文焰, 等. 质地对土壤热性质的影响研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 62-65.
- [9] 苏李君, 王全九, 王 铄, 等. 基于土壤物理基本参数的土壤导热率模型[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 127-133.
- [10] 王卫华, 王全九, 武向博, 等. 黑河中游绿洲麦田土壤水气热参数田间尺度空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9): 94-102.
- [11] 王卫华, 李建波, 王 铄, 等. 省域尺度土壤水气热参数空间变异特征及主控因子分析[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(7): 626-633.
- [12] Campbell G S. Soil physics with BASIC - Transport models for soil-plant systems[J]. Journal of Hydrology, 1985, 90(3/4): 359-360.
- [13] 曾 艳, 张杨珠. 地统计学在土壤性状空间变异性研究中的应用[J]. 湖南农业科学, 2008(6): 51-53.
- [14] Zhao Y, Peth S, Krummelbein J, et al. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland[J]. Ecological Modelling, 2007, 205(1/2): 241-254.
- [15] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(5): 1501-1511.

陈忠婷,夏品华,卫晓松,等. 草海湿地不同植被区沉积物中孔隙水 CH_4 浓度分布与 CH_4 、 CO_2 排放通量研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):230-235.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.061

草海湿地不同植被区沉积物中孔隙水 CH_4 浓度分布与 CH_4 、 CO_2 排放通量研究

陈忠婷¹, 夏品华², 卫晓松², 葛 皓¹, 郭光霞³

(1. 贵州师范大学生命科学学院, 贵州贵阳 550001; 2. 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵州贵阳 550001;

3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏南京 210008)

摘要:利用静态暗箱-气相色谱法和顶空法测定了草海湿地 CH_4 、 CO_2 排放通量及沉积物孔隙水 CH_4 浓度。结果表明:草海湿地 CH_4 排放通量为 $0.50 \sim 8.57 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 浅水区轮藻(Chlorophyceae) + 水葱(*Scirpus validus* Vahl)群落最大, 落干区灯芯草(*Juncus effusus* L.)群落最低; CO_2 排放通量为 $-59.62 \sim 547.33 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 干湿过渡区蘆草(*Scirpus triquetus* L.)群落最大, 沉水区光叶眼子菜(*Potamogeton lucens* L.)群落最低; 沉积物孔隙水 CH_4 浓度剖面均值为 $2.07 \sim 3.81 \mu\text{mol/L}$, 与 CH_4 排放通量变化规律基本一致, 即轮藻 + 水葱群落 > 蘆草群落 > 灯芯草群落 > 光叶眼子菜群落, 垂直剖面上从表层至底层逐渐降低, 不同区域沉积物孔隙水 CH_4 浓度剖面变化规律并不一致。Pearson 相关性分析表明, 沉积物 DOC、SOC 含量是影响草海湿地 CH_4 排放的重要因子, 水位、生物量、沉积物 pH 值是影响 CO_2 排放的重要因子。沉积物 DOC、容重、土壤 pH 值、 CO_2 通量、水位、土壤含水率、生物量、株高对沉积物孔隙水 CH_4 浓度分布有显著影响。

关键词:草海湿地; CH_4 通量; CO_2 通量; 孔隙水; CH_4 浓度

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)11-0230-06

湿地是介于水生生态系统和陆地生态系统之间的过渡性生态系统类型, 由于其具有很高的生产率及氧化还原能力而

收稿日期: 2016-12-27

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41401287); 湖泊与环境国家重点实验室开放基金(编号: 2014SKL010)。

作者简介: 陈忠婷(1991—), 女, 贵州黔南人, 硕士研究生, 主要从事退化湿地生态修复研究。E-mail: cz911002@163.com。

通信作者: 夏品华, 博士, 研究员, 主要从事湿地生态与环境研究。E-mail: pinhuayy@163.com。

成为极其重要的生物地球化学活跃的场所以^[1]。大多数湿地是碳汇^[2], 通过湿地生态系统的物质交换作用, 可将大气中大量的 CO_2 固定形成碳汇; 同时, 由于其低温和厌氧环境, 湿地生境又是全球大气 CH_4 主要的自然来源^[3-4], 天然湿地每年向大气排放的 CH_4 达到全球 CH_4 排放量的 15% ~ 40%^[5]。中国有着丰富的湿地资源, 但由于自然环境不同, CH_4 、 CO_2 的排放通量有强烈的时空异质性^[6-7]。虽然国内学者开展了大量研究, 但多数集中在三江平原沼泽湿地^[8-9]、闽江河口地^[10-12]、若尔盖高原湿地^[13-15]等地, 关于贵州省高原湖泊湿

[16] 王卫华, 李建波, 王 铎, 等. 土壤热特性参数空间变异性与拟合方法研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 120-125.

[17] Gan L, Peng X H, Peth S, et al. Effects of grazing intensity on soil water regime and flux in Inner Mongolia grassland, China [J]. Pedosphere, 2012, 22(2): 165-177.

[18] Gan L, Peng X, Peth S, et al. Effects of grazing intensity on soil thermal properties and heat flux under *Leymus chinensis* and *Stipa grandis* vegetation in Inner Mongolia, China [J]. Soil and Tillage Research, 2012, 118(5): 147-158.

[19] 赵 君, 张立峰, 刘景辉, 等. 几种保护性耕作对土壤含水量和风蚀量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(9): 4720, 4728.

[20] O'Donnell J A, Romanovsky V E, Harden J W, et al. The effect of moisture content on the thermal conductivity of moss and organic soil horizons from black spruce ecosystems in interior Alaska [J]. Soil Science, 2009, 174(12): 646-651.

[21] 王 铎, 王全九, 樊 军, 等. 土壤导热率测定及其计算模型的

对比分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 78-84.

[22] Abuhamdeh N H, Reeder R C. Soil thermal conductivity: effects of density, moisture, salt concentration, and organic matter [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(4): 1285-1290.

[23] Abuhamdeh N H. Effect of tillage treatments on soil thermal conductivity for some Jordanian clay loam and loam soils [J]. Soil & Tillage Research, 2000, 56(3/4): 145-151.

[24] 张仁陟, 李小刚, 李焕峰. 土壤水分变异规律的研究——I. 土壤水分空间变异的研究[J]. 西北农业学报, 1993(1): 21-26.

[25] 甘 磊, 马 蕊, 彭扬建, 等. 不同放牧强度下羊草和大针茅草原土壤含水量的空间变化[J]. 生态环境学报, 2015, 24(8): 1274-1279.

[26] 韦本辉, 甘秀芹, 申章佑, 等. 粉垄栽培甘蔗试验增产效果[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4544-4550.

[27] 张法升, 刘作新, 曲 威, 等. 长期耕作条件下小尺度农田土壤有机质空间变异性[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 167-171.