

5 种不同植被下的土壤呼吸特征及其影响因素

曹诗瑜¹, 郭全恩¹, 南丽丽², 刘海建³, 康发云⁴

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 玉门市农业技术推广中心, 甘肃 玉门 735211; 4. 永靖县农业技术推广中心, 甘肃 永靖 731600)

摘要: 土壤呼吸速率是反映陆地生态系统功能的重要指标之一。采用土壤碳通量测量系统 LI-8100A 对甘肃省玉门镇饮马农场 5 种不同植被类型土壤 (裸地、葵花、小麦、孜然、茴香) 呼吸速率、空气湿度、土壤温度、水分等影响因素的日动态变化规律进行了监测, 分析了不同植被类型土壤呼吸速率的日变化特征及与环境因素的相关关系。结果表明, 不同植被类型土壤呼吸速率明显不同, 5 种植被类型土壤呼吸速率的日平均值大小顺序为: 茴香 [$7.710 \pm 1.705 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 小麦 [$5.266 \pm 0.953 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 葵花 [$5.237 \pm 0.568 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 孜然 [$3.504 \pm 0.431 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] > 荒地 [$2.567 \pm 0.666 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。对于有植被覆盖的地块, 土壤呼吸速率的日变化呈现先减小, 后逐渐增大, 在 13:00—15:00 时达到峰值, 随后逐渐减小的趋势, 大致呈“S”型曲线; 而对于裸地, 土壤呼吸速率的日变化呈现先增大后逐渐减小的趋势, 大致呈“M”型或倒“V”型。

关键词: 植被; 土壤呼吸; 影响因素

中图分类号: S154.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2018)11-0032-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2018.11.010

Soil Respiration Characteristics of 5 Different Vegetation Types and Its Influence Factors

CAO Shiyu¹, GUO Quanen¹, NAN Lili², LIU Haijian³, KANG Fayun⁴

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. College of Pratacultural, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Yumen Agricultural Technology Extension Center, Yumen Gansu 735211, China; 4. Yongjing Agricultural Technology Extension Center, Yongjing Gansu 731600, China)

Abstract: The soil respiration rate is one of the important indices for terrestrial ecosystem. This paper studied the dynamic variation of soil respiration rate, air relative humidity, soil temperature and soil moisture under different vegetation condition (wasteland, sunflower, wheat, cumin, aniseed) by soil carbon flux measurement system (LI-8100A) in Yinma farm of Yumen County of Gansu province in July 2012, and the correlation between the change of the soil respiration rate and the environment factors. The result indicated that there were significant differences in soil respiration among the various vegetation types, and the soil respiration rate of different vegetation were in the sequence of aniseed ($7.710 \pm 1.705 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) > wheat ($5.266 \pm 0.953 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) > sunflower ($5.237 \pm 0.568 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) > cumin ($3.504 \pm 0.431 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) > wasteland ($2.567 \pm 0.666 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$). The diurnal variation of soil respiration rate under vegetation cover presented a decrease with time, and then increased, and the maximum value of soil respiration rate appeared at 13:00—15:00 pm, and then decreased. The daily variation of soil respiration rate can be described approximately as curve of “S”; The diurnal variation of soil respiration rate under uncovered land presented a increase with time, and then decreased, the daily variation of soil respiration rate can be described approximately as curve of “M” or an inverted “V”.

Key words: Vegetation; Soil respiration; Influence factors

土壤呼吸是指土壤产生 CO₂ 的过程, 它包括植物根系呼吸、土壤动物呼吸、土壤微生物呼吸和含碳物质的化学氧化作用等生物学和非生物学部分^[1], 它是陆地生态系统碳循环的一个重要环

节。土壤通过呼吸作用排放到大气中的 CO₂ 高达 68 ~ 100 Pg C/a^[2], 约占大气中 CO₂ 总量的 1/10, 而因燃烧化石燃料排放到大气中的 CO₂ 约为 5 Pg C/a, 不到前者的 10%^[3]。因此, 土壤呼吸对全球

收稿日期: 2018-09-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41163002, 41363004)共同资助。

作者简介: 曹诗瑜(1974—), 男, 甘肃天水人, 助理研究员, 主要从事盐碱土改良等方面的研究工作。

通信作者: 郭全恩(1974—), 男, 甘肃天水人, 副研究员, 博士, 主要从事盐渍化土壤研究工作。Email: qnguo@sina.com。

气候变化和碳循环产生着重大影响。

土壤呼吸不仅受生物因素影响,而且还受环境因素(土壤水分、温度、气候等)的影响。近年来在土壤呼吸方面国内外已有大量报道。刘四义等^[4]研究了玉米和大豆秸秆还田对黑土呼吸速率的影响。李琳等^[5]研究了华北平原不同耕作措施下冬小麦生育期农田 CO₂ 排放速率,表现为翻耕>旋耕>免耕。陈全胜等^[6]报道指出,在湿润生态系统,降水对土壤呼吸会产生比较明显的抑制现象,而在干旱的生态系统,降水会强烈地激发土壤呼吸。谢静霞等^[7]研究认为,农田土壤 CO₂ 通量远高于盐生荒漠。林丽莎等^[8]报道,土壤 CO₂ 排放通量与 5 cm 土层温度和 0~20 cm 土层的平均含水量(体积比)呈显著正相关。王丰川等^[9]研究认为,芦苇、怪柳、碱蓬 3 种植物群落土壤呼吸速率日变化曲线都呈单峰形式。黄斌等^[10]研究认为,农田 CO₂ 释放主要受有机物投入量、土壤水分和气温等因素的影响。然而,有关不同植被对土壤呼吸特征的影响还鲜见报道。我们开展不同植被土壤呼吸特征及其影响因素的研究,旨在为全球环境变化和碳循环研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省河西走廊西端疏勒河流域的玉门市饮马农场,多年平均年降水量 47~63 mm,年蒸发量 2 897~3 042 mm,年平均气温 6.9~8.8 ℃,属典型的内陆干旱性气候。

1.2 试验设计

试验共设 5 个处理,分别为 I 未种植荒地、(CK)、II(葵花)、III(小麦)、IV(孜然)、V(茴香)。试验随机区组排列,3 次重复,共 15 个小区,小区面积 20 m²。在作物旺盛生长期用土壤碳通量仪测定各处理下的土壤呼吸速率的日变化(每隔 1~2 h 测定 1 次,每个监测点共测定 7 次),每个样地

选取 3 个监测点作为 3 次重复,每个监测点每次测定 4 个观察值。

1.3 土壤呼吸速率及环境因子的测定

于 2012 年 7 月 7 日,采用土壤碳通量测量系统 LI-8100A 红外气体分析仪(IR-GA)在田间原位测定 5 个处理下的土壤呼吸速率日变化^[11]。从 9:00 时开始至 18:00 时结束,每间隔 1~2 h 测定 1 次土壤呼吸速率。同时用 LI-8100A 仪器携带探头自动监测大气湿度、土壤温度和土水分。

1.4 数据分析

应用 SPSS 20.0 统计软件对土壤呼吸速率描述性统计,用 Microsoft Excel 2003 作图。

2 结果与分析

2.1 不同植被下土壤呼吸速率的描述性统计

由表 1 可知,茴香地土壤呼吸速率日平均值最大,为(7.710±1.705) μmol/(m²·s);其次是小麦、葵花和孜然,土壤呼吸速率日平均值从大到小依次为(5.266±0.953) μmol/(m²·s)、(5.237±0.568) μmol/(m²·s)和(3.504±0.431) μmol/(m²·s);荒地土壤呼吸速率最小,为(2.567±0.666) μmol/(m²·s)。在 5 个处理中,土壤呼吸速率的日平均值从大到小依次为:茴香、小麦、葵花、孜然、荒地,这说明土壤呼吸速率与地上植被类型有关。

2.2 不同植被土壤呼吸速率的日变化

从图 1 可以看出,不同植被土壤呼吸速率日变化曲线各不相同,且峰值出现的时间也不一致。总体上各处理土壤呼吸速率从大到小依次为:茴香、小麦、葵花、孜然、荒地。对于有植被覆盖的地块,土壤呼吸速率的日变化呈现先减小(9:00—10:00 时)后逐渐增大(10:00—15:00 时),13:00—15:00 时达到峰值,然后再减小的趋势,在 18:00 时呼吸速率最小,基本呈现“S”型曲线。而对于荒地和小麦地,土壤呼吸速率的日变化呈现先增大后逐渐减小的趋势,基本呈现“M”型或倒“V”型。

表 1 不同植被土壤的呼吸速率

植被类型	最大值 /[μmol/(m ² ·s)]	最小值 /[μmol/(m ² ·s)]	平均值±标准差 /[μmol/(m ² ·s)]	变异系数 /%	峰度	偏度	95%置信区间	
							最大 /[μmol/(m ² ·s)]	最小值 /[μmol/(m ² ·s)]
I(荒地)	3.345	1.375	2.567±0.666	25.95	0.99	-0.64	3.345	1.375
II(葵花)	6.115	4.85	5.237±0.568	10.84	-1.12	0.30	6.115	4.580
III(小麦)	6.475	3.785	5.266±0.953	18.09	-0.96	-0.27	6.475	3.785
IV(孜然)	4.220	3.030	3.504±0.431	12.31	-0.34	0.76	4.220	3.030
V(茴香)	9.430	4.975	7.710±1.705	22.11	-0.86	-0.78	7.975	1.500

这是由于观测期大气温度日变化幅度大, 14:00 时温度达到最高、植物的光合作用最强、根系的呼吸代谢旺盛, 故土壤呼吸速率在此时段也达到峰值。18:00时空气湿度较大、地表温度较低、根系活动和呼吸作用较弱, 因此土壤呼吸速率较低。

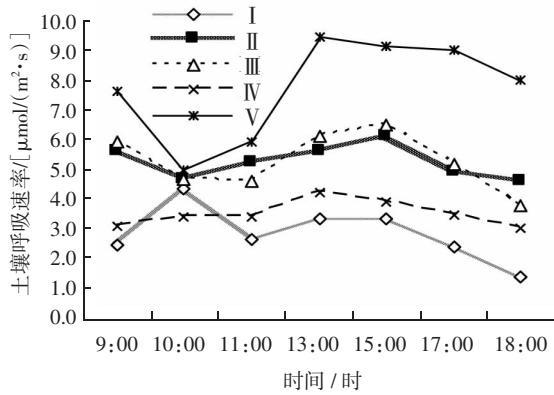


图1 不同植被土壤呼吸速率的日动态变化规律

2.3 不同植被群落环境因子的日动态变化规律

2.3.1 大气湿度 由图 2A 可知, 各处理下的大气湿度从大到小依次为: 孜然、茴香、葵花、小麦、荒地。从日变化的趋势来看, 孜然和茴香地的近地面大气湿度的日变化趋势基本呈现波浪型, 而荒地、葵花和小麦地的近地面大气湿度的日变化趋势基本呈现“V”型, 在 13:00 时最小, 且小麦地和荒地的近地面大气湿度的日变化幅度要大于葵花田。

2.3.2 土壤温度 由图 2B 可以明显看出, 在相同时段, 荒地土壤温度最高, 其次是葵花和小麦地, 茴香和孜然地土壤温度最低。从日变化峰值来看, 各植被下均在9:00 时左右土壤温度最低, 在15:00 时土壤温度最高, 之后基本呈现下降趋势。总体而言, 土温变化为: 荒地>葵花>小麦>茴香>孜然。

2.3.3 土壤水分含量 从图 2C 可以看出, 5 个处理的土壤湿度日变化趋势不太一致: 荒地 > 孜然地的土壤水分变化不是很明显; 小麦地的土壤水分含量大致呈现出先减小后增大的变化趋势, 在13:00 时左右达到最小; 而葵花地和茴香地土壤水分的变化幅度相对较大, 且没有明显的变化规律。总的来说, 土壤水分含量荒地>孜然>茴香>小麦>葵花。

2.4 土壤呼吸速率与环境因子关系分析

土壤呼吸速率与环境因子(空气相对湿度、土壤温度、土壤含水量)的相关关系见图 3。从图 3 可以看出, 土壤呼吸速率与大气湿度的相关系数从大到小依次为葵花(0.127)、孜然(0.036)、小麦

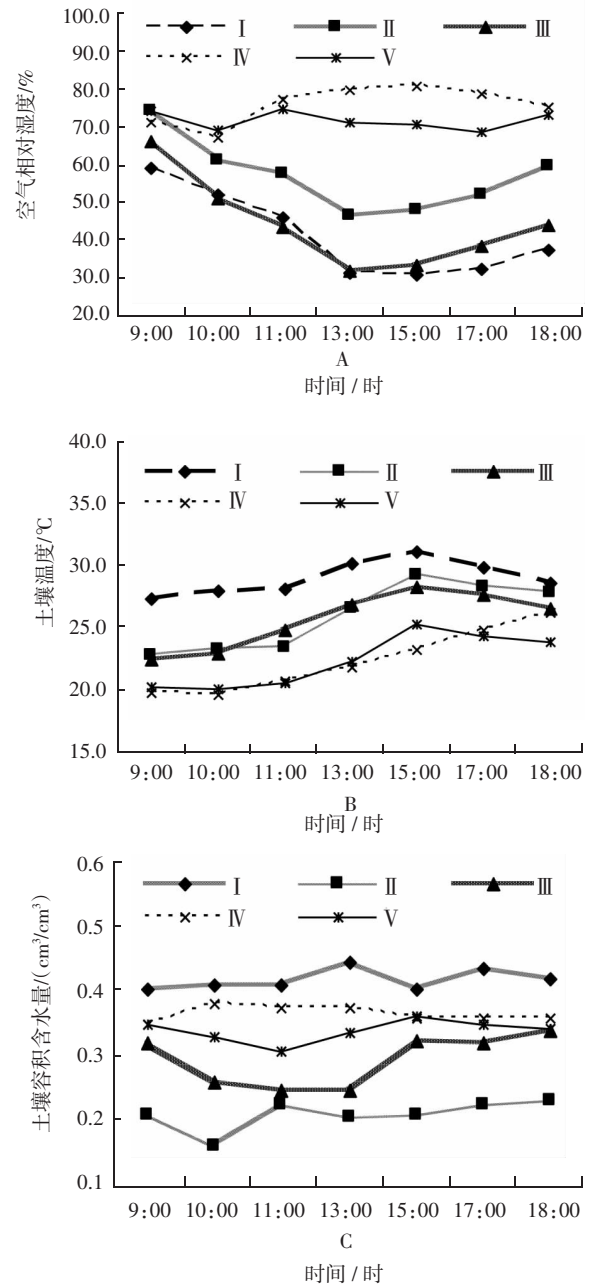


图2 环境因子的日动态变化规律

(0.027)、茴香(0.011)、荒地(0.010)。且荒地 > 孜然处理的土壤呼吸速率与大气湿度呈正相关, 而葵花、小麦、茴香 3 个处理的土壤呼吸速率与大气湿度呈负相关。不同处理下土壤呼吸速率与土壤含水量的相关性是: 葵花的相关系数最大(0.652), 孜然群落的次之(0.373), 茴香的最小(0.011)。且荒地、葵花、小麦 3 个处理下土壤呼吸速率均与土壤水分含量呈现正相关, 而孜然 > 茴香地土壤呼吸速率与土壤水分含量呈现负相关。葵花的土壤呼吸速率与土壤温度相关系数最大(0.652), 茴香的最小(0.011)。

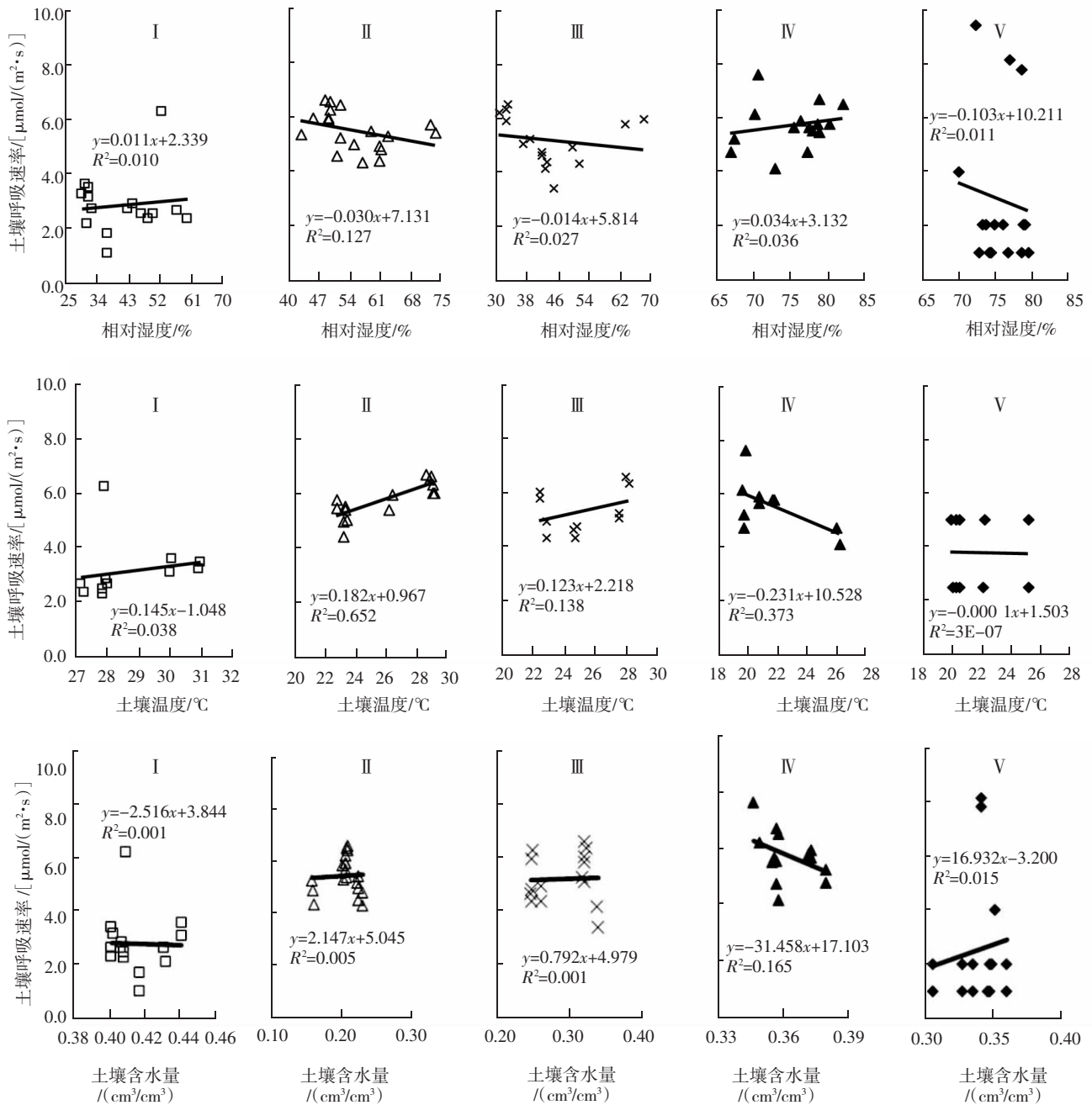


图 3 土壤呼吸速率与环境因子的相关关系

3 结论与讨论

5 种植被下的土壤日平均呼吸速率从大到小依次为：茴香(7.710 ± 1.705) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、小麦(5.266 ± 0.953) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、葵花(5.237 ± 0.568) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、孜然(3.504 ± 0.431) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 、荒地($2.5672.567 \pm 0.666$) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。5 种植被下土壤呼吸速率日变化曲线各不相同，且峰值出现的时间也不一致。对于有植被覆盖的地块，土壤呼吸速率的日变化呈现先减小（在 9:00—10:00

时），后逐渐增大（在 10:00—15:00 时），在 13:00 时—15:00 时达到峰值，再减小的趋势，在 18:00 时呼吸速率最小，基本呈现“S”型曲线；而对于荒地和小麦地，土壤呼吸速率的日变化呈现先增大后逐渐减小的趋势，基本呈现“M”型或倒“V”型。

不同植被条件下，环境因子对土壤呼吸的影响不同。荒地的土壤呼吸速率与土壤温度、水分含量、空气湿度呈现正相关；葵花和小麦地的土

壤呼吸速率与空气湿度呈负相关,与土壤温度、水分含量呈正相关;孜然地的土壤呼吸速率与空气湿度呈正相关,与土壤温度、水分含量呈负相关;茴香地的土壤呼吸速率与空气湿度、土壤温度、水分含量均呈负相关。影响土壤呼吸的因素很多,例如土壤温度、湿度、质地、有机质含量、土地利用、施肥、作物品种、土壤生物等^[12]。因此,影响土壤呼吸的各项因素之间并不是孤立的,而是相互也有影响^[12]。

5种植被中茴香地的土壤呼吸速率的日变化明显高于其他植被,这主要是由于在7月下旬茴香正处于旺盛生长的花期,根系呼吸作用较强所致。其次,小麦和葵花地块土壤呼吸速率较高,且二者相比,尽管葵花处于现蕾期,而小麦处于成熟期,但小麦地块土壤呼吸速率略高于葵花地块,这主要是由于小麦属于单子叶植物须根系,根系活力较强,而葵花属于双子叶植物直根系,根系活力不及小麦。孜然地的土壤呼吸速率较低,其原因是孜然本身根系较浅,且孜然处于成熟期根系生长趋于停止,根系对土壤呼吸的贡献减弱所致。而裸地土壤呼吸速率最低,这主要是由于荒地土壤植物根系和微生物数量较少所致。

土壤温度和水分是土壤呼吸最重要的影响因素^[13-16]。本研究发现,水热环境因子与土壤呼吸速率之间存在着弱的线性相关关系。从相关系数来看,葵花地的土壤温度与土壤呼吸速率的相关性最好,土壤水分对土壤呼吸速率也有较大影响;茴香地的土壤呼吸速率与土壤水分的相关性最差,土壤温度对该处理土壤呼吸速率贡献较大。孜然地土壤水分充足,水分对土壤呼吸的影响往往被温度的影响所遮盖^[17]。综上所述,茴香地土壤呼吸速率受大气湿度的影响较大,其他处理土壤呼吸速率受空气湿度、土壤温度、土壤水分的共同影响;温度与湿度是影响土壤呼吸最主要的因素,它们共同对土壤呼吸起作用,土壤呼吸的大部分变化可由温度和湿度的共同作用来解释^[18]。这也说明不同植被生长显著地改变了土壤呼吸速率与水热环境因子的关系。

参考文献:

- [1] SINGH J S, GUPTA S R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems[J]. *The Botanical Review.*, 1977, 43: 449-528.
- [2] RAICH J W, SCHLESINGER W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate[J]. *Tellus*, 1992, 44(B): 81-99.
- [3] RAICH J W, POTTER C S. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, 9(1): 23-26.
- [4] 刘四义, 贾淑霞, 张晓平, 等. 玉米和大豆秸秆还田对黑土微生物量及呼吸的影响[J]. *土壤与作物*, 2014, 3(3): 105-111.
- [5] 李琳, 张海林, 陈卓, 等. 不同耕作措施下冬小麦生长季农田二氧化碳排放通量及其与土壤温度的关系[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2765-2770.
- [6] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 水分对土壤呼吸的影响及机理[J]. *生态学报*, 2003, 23(5): 972-978.
- [7] 谢静霞, 翟翠霞, 李彦. 盐生荒漠与绿洲农田土壤 CO₂ 通量的对比研究[J]. *自然科学进展*, 2008, 18(3): 262-268.
- [8] 林丽莎, 韩士杰, 王森, 等. 温度与土壤含水量对阔叶红松林土壤呼吸影响[J]. *辽宁工程技术大学学报*, 2006, 25(2): 297-300.
- [9] 王丰川, 刘加珍, 陈永金. 黄河三角洲湿地土壤呼吸及其环境因子分析[J]. *人民黄河*, 2013, 35(1): 81-84.
- [10] 黄斌, 王敬国, 龚元石, 等. 冬小麦夏玉米农田土壤呼吸与碳平衡的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(1): 156-160.
- [11] 郭全恩, 李保国, 南丽丽, 等. 疏勒河流域绿洲荒漠过渡带土壤呼吸特征及其影响因素[J]. *生态环境学报*, 2016, 25(6): 934-938.
- [12] 张赛, 罗海秀, 王龙昌, 等. 保护性耕作下大豆农田土壤呼吸及影响因素分析[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(8): 913-920.
- [13] 刘绍辉, 方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响[J]. *生态学报*, 1997, 17(5): 469-476.
- [14] 戴万宏, 王益权, 黄耀, 等. 农田生态系统土壤 CO₂ 释放研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2004, 32(12): 1-7.
- [15] 郑聚锋, 张旭辉, 潘根兴, 等. 水稻土基底呼吸与 CO₂ 排放强度的日动态及长期不同施肥下的变化[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 485-494.
- [16] 朱咏莉, 吴金水, 童成立, 等. 稻田 CO₂ 通量对光强和温度变化的响应特征[J]. *环境科学*, 2008, 29(4): 1040-1044.
- [17] 王世言, 杨永兴, 杨波. 三江平原典型湿地土壤温度变化及其影响因子分析[J]. *地理研究*, 2003, 22(3): 389-396.
- [18] 李兆富, 吕宪国, 杨青, 等. 湿地土壤 CO₂ 通量研究进展[J]. *生态学杂志*, 2002, 21(6): 47-50.

(本文责编: 杨杰)