

## 免耕施肥条件下冬小麦季土壤呼吸速率及影响因素

王雪<sup>1</sup>, 李景<sup>2</sup>, 汪俊玉<sup>1</sup>, 刘东阳<sup>1</sup>, 武雪萍<sup>2\*</sup>, 李晓秀<sup>1\*</sup>,  
席吉龙<sup>3</sup>, 李永山<sup>3</sup>, 张建诚<sup>3</sup>, 杨娜<sup>3</sup>, 郝佳丽<sup>3</sup>

- (1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048;  
2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/耕地培育技术国家工程实验室, 北京 100081;  
3. 山西省农业科学院棉花研究所, 山西 运城 044000)

**摘要:** 基于连续 8 年的田间试验, 研究分析了不同耕作施肥措施下冬小麦农田土壤呼吸的季节变化及影响因素。结果表明: 不同耕作施肥处理可以显著影响土壤呼吸速率, 与传统耕作相比, 免耕覆盖处理显著降低了旱地农田土壤呼吸速率; 而相同耕作处理下, 增施有机肥会显著提高土壤呼吸速率, 说明翻耕和增施有机肥均会促进土壤呼吸。冬小麦季土壤温度和水分是土壤呼吸的主要影响因素, 其中土壤温度可以解释土壤呼吸变化的 83.2% ~ 93.7%, 土壤水分可以解释 44.0% ~ 76.5%, 土壤温度对土壤呼吸的影响大于土壤水分; 土壤温度对土壤呼吸的影响程度因不同耕作施肥处理而异, 翻耕和增施有机肥均会提高土壤呼吸的温度敏感性 ( $Q_{10}$ ), 免耕覆盖条件下减小了土壤呼吸受温度的影响程度。

**关键词:** 免耕施肥; 土壤呼吸; 土壤温度; 土壤水分

**中图分类号:** S152.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1673-6257(2017)03-0105-06

农田是陆地碳循环中最大的有机碳库, 农业生态系统中的碳库是全球碳库的重要组成部分也是最活跃的部分<sup>[1]</sup>, 土壤呼吸则是农田碳库向大气碳库输入碳的主要途径, 土壤呼吸相对微小变化就会导致大气中  $\text{CO}_2$  的浓度的巨大改变, 从而加剧或减缓全球气候变暖<sup>[2-5]</sup>。有研究表明, 土壤水分、土壤温度等是影响土壤呼吸的重要因素<sup>[2,6-7]</sup>。深入研究土壤呼吸排放特征以及各影响因素对土壤呼吸的贡献, 对明确减缓土壤有机碳分解的对策和措施以及评估全球碳收支具有重要的指导意义。

耕作施肥措施可强烈影响土壤呼吸。保护性耕作措施可以抑制地表水分蒸发, 防止表土板结, 使得土壤结构良好, 从而改善肥力条件, 改变土壤温度和土壤湿度, 调节农田土壤碳循环、降低  $\text{CO}_2$  排放、增加碳吸收<sup>[4,8]</sup>。张宇等<sup>[9]</sup>研究表明, 全年土

壤呼吸通量均值免耕比翻耕降低了 18.1%。增施有机肥可以提高土壤的有机碳含量、微生物数量和微生物量碳含量, 进而增加土壤呼吸。臧逸飞等<sup>[10]</sup>研究表明, 在 26 年的长期试验田中有机肥的施用对于提高土壤呼吸有很大的作用, 增长幅度在 15.91% ~ 75.73%。吴会军等<sup>[11]</sup>研究表明, 冬小麦生长后期有机肥改善了土壤结构, 促进了小麦生长, 增加了小麦根系呼吸速率, 显著影响土壤呼吸速率。

目前, 我国对农田土壤呼吸的研究多集中在黄淮海和长江中下游一带地区, 冬小麦是我国北方主要的旱地种植作物之一, 其农田土壤呼吸对碳排放的影响不可忽视; 免耕条件下配套施肥措施尤为重要, 目前关于旱地农田的免耕或施肥对土壤呼吸的研究较多<sup>[3,12-14]</sup>, 但多为单一耕作处理或施肥处理条件下的土壤呼吸动态变化, 关于旱地免耕配套施肥对土壤呼吸影响因素及其土壤呼吸温度敏感性等研究较少。因此本研究以冬小麦旱作农田为研究对象, 系统研究了不同耕作配套施肥方式下土壤呼吸排放特征及其与土壤温度、水分之间的相互关系, 为区域大面积估算不同耕作施肥条件下土壤呼吸排放量、制定科学有效的土壤碳调控管理措施提供理论依据。

收稿日期: 2016-07-15; 最后修订日期: 2016-09-01

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0300804); 国家科技支撑计划 (2015BAD22B03); 国家“863”计划 (2013AA102901); 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201203077, 201203030)。

作者简介: 王雪 (1989-), 女, 河南沈丘人, 硕士研究生, 从事温室气体排放与碳固定研究。E-mail: lsr428snow@foxmail.com。

通讯作者: 武雪萍, E-mail: wuxueping@caas.cn; 李晓秀, E-mail: lxiaoxiu0548@sina.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验区位于山西省农业科学院棉花研究所牛家凹试验基地(东经 111°05′15.12″, 北纬 35°11′28.33″), 该基地位于山西省西南部运城市夏县, 地处黄河北干流中游以东, 华北平原的丘陵区, 全年受季风活动影响, 属暖温带大陆性季风气候。气候特点是“十年九旱”。年均气温 13.3 ℃, 一月均温 -2.2 ℃, 七月均温 27.4 ℃; 日照时长 2 039 h; 霜冻期为 10 月下旬至次年 4 月上旬, 无霜期 212 d。多年平均降水量为 525 mm, 降水年际变化大。降水量年内分配极不均匀, 冬春较少, 占全年 20% 左右, 夏秋季特别集中, 约占全年的 70% 左右, 7、8、9 三个月降水量占全年的 60% 左右。

### 1.2 试验设计

试验开始于 2008 年, 种植作物为冬小麦, 夏季休闲。一般于 10 月上旬种植小麦, 次年 6 月上旬收获。设 4 个处理: 传统耕作施用化肥 (CT), 传统耕作有机肥化肥配施 (CTM), 免耕覆盖施用化肥 (NT), 免耕覆盖有机肥化肥配施 (NTM)。每个处理 3 次重复, 每个重复小区面积为 60 m<sup>2</sup>。具体试验设置见表 1。

表 1 试验处理描述

代码	处理	耕作措施	施肥措施
CT	常规耕作施用化肥	收获后, 留茬 15 cm 将秸秆粉碎, 伏前直接翻耕到土壤中, 翻耕耕深 20 cm, 播种时施肥、旋耕, 机械播种。	施肥为二铵与尿素, 施肥量: 二铵 45.5 kg · hm <sup>-2</sup> 、尿素 49.5 kg · hm <sup>-2</sup> 。
CTM	常规耕作有机肥化肥配施	收获后, 留茬 15 cm 将秸秆粉碎, 伏前直接翻耕到土壤中, 翻耕耕深 20 cm, 播种时施肥、旋耕, 机械播种。	施化肥为二铵与尿素, 施肥量: 二铵 45.5 kg · hm <sup>-2</sup> 、尿素 49.5 kg · hm <sup>-2</sup> ; 施有机肥: 腐熟鸡粪 1 500 kg · hm <sup>-2</sup> 。
NT	免耕覆盖施用化肥	收获后, 留茬 15 cm 将秸秆粉碎覆盖在农田表面 (6~9 月), 播种时施肥、旋耕, 机械播种。	施肥为二铵与尿素, 施肥量: 二铵 45.5 kg · hm <sup>-2</sup> 、尿素 49.5 kg · hm <sup>-2</sup> 。
NTM	免耕覆盖有机肥化肥配施	收获后, 留茬 15 cm 将秸秆粉碎覆盖在农田表面 (6~9 月), 播种时施肥、旋耕, 机械播种。	施化肥为二铵与尿素, 施肥量: 二铵 45.5 kg · hm <sup>-2</sup> 、尿素 49.5 kg · hm <sup>-2</sup> ; 施有机肥: 腐熟鸡粪 1 500 kg · hm <sup>-2</sup> 。

### 1.3 观测指标和方法

#### 1.3.1 土壤呼吸测定

本试验采用动态密闭气室分析法 (IRGA) 测定土壤呼吸速率, 测定仪器型号为 LI-6400-09 (LI-COR, Lincoln, NE, USA)。于冬小麦播种后将 PVC 圈嵌入土壤中, PVC 圈为直径为 25 cm, 高 13 cm 的聚乙烯圆柱体, 嵌入土壤 10 cm, 在整个观测期间 PVC 圈的位置不变。分别在冬小麦越冬前 (2014 年 12 月 1 日)、拔节期 (2015 年 3 月 15 日)、抽穗期 (2015 年 4 月 16 日)、灌浆期 (2015 年 5 月 9 日) 和成熟期 (2015 年 6 月 1 日) 测定土壤呼吸, 每个生育期重复测量 3 次。测定均限定在 8:00~11:00 之间, 此时土壤呼吸速率最为接近 24 h 均值<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.2 土壤温度测定

在测定土壤呼吸的同时, 在 PVC 圈附近选择 1 个点将土壤热电偶探针 (Li-6400-09TC) 插入 10 cm 深度的土壤, 测定土壤温度。

#### 1.3.3 土壤水分测定

在测定土壤呼吸的同时, 在 PVC 圈附近随机选取 3 个点测定土壤水分, 取样深度为 10 cm, 用烘干法测定土壤含水量。

### 1.4 数据分析与处理

土壤呼吸与温度之间的关系采用指数方程进行拟合, 方程如下:

$$y = aT^b \quad (1)$$

式中:  $y$  为土壤呼吸速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $T$  为土壤温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $a$ 、 $b$  为模拟计算值。

土壤呼吸速率随温度变化程度使用温度敏感性系数  $Q_{10}$  表示, 即温度每升高 10 ℃ 土壤呼吸增加的倍数<sup>[16]</sup>, 公式<sup>[17]</sup>为:

$$y = ae^{cT}, Q_{10} = e^{10d} \quad (2)$$

式中:  $y$  为土壤呼吸速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $T$  为土壤温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $c$ 、 $d$  为模拟计算值。

试验数据采用 Excel 软件进行数据、图表处理, 利用统计软件 SAS 9.2 和 SPSS 19.0 进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育时期土壤呼吸速率的变化

由表 2 可知, 不同耕作施肥方式下土壤呼吸速率的季节性变化规律基本一致, 冬小麦越冬前土壤呼吸速率较低, 拔节期后随着气温的回升, 冬小麦

迅速生长，土壤生物活动旺盛，土壤呼吸速率开始逐渐增大，在成熟期各耕作措施下土壤呼吸速率均达到峰值。

表 2 不同耕作和施肥措施下土壤呼吸速率的季节变化 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

生育期	处理			
	CT	CTM	NTM	NT
越冬前	0.301a	0.303a	0.267a	0.260a
拔节期	2.051b	2.134a	2.010ab	1.809c
抽穗期	1.931ab	2.107a	1.907b	1.597c
灌浆期	2.664ab	2.723a	2.507b	2.367c
成熟期	3.514ab	3.553a	3.467ab	3.437b

注：表中大小写字母不同表示同一生育期不同处理数据差异显著 ( $P < 0.05$ )。

在冬小麦的整个生长季中，不同耕作施肥处理间土壤呼吸速率存在一定的差异，并在拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期各处理间差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ )。在拔节期、抽穗期和灌浆期，以 NT 处理的土壤呼吸速率最低，与 CT 处理相比，3 个时期降低了 10.23% ~ 22.06%，总体来看，整个生育期各处理平均土壤呼吸速率依次表现为 CTM >

CT > NTM > NT，免耕覆盖 (NT) 显著降低了旱地农田平均土壤呼吸速率，与 CT 相比降低了 14.21%，与 NTM 相比降低了 10.97%；而在同一种耕作处理下，增施有机肥处理的土壤呼吸速率显著高于单施化肥的处理，CTM 比 CT 提高了 4.34%，NTM 比 NT 整个生育期提高了 10.12%。说明翻耕和施用有机肥均会促进土壤呼吸速率。

### 2.2 土壤呼吸速率与土壤温度的关系

基于土壤温度的单因素模型 ( $y = aT^b$ ) 拟合结果显示，冬小麦整个生育期内土壤呼吸和 0 ~ 10 cm 土层土壤温度之间均呈极显著相关关系 ( $P < 0.01$ )，土壤温度可以解释土壤呼吸变化的 83.2% ~ 93.7%。不同处理间，CT 处理下土壤呼吸与温度的相关性最高，决定系数达到 0.93，CTM、NTM、NT 的决定系数分别为 0.91、0.88 和 0.83。

土壤呼吸速率随温度的变化程度使用温度敏感性系数 ( $Q_{10}$ ) 表示，由公式计算可得，CT、CTM、NTM 和 NT 处理的温度敏感性系数  $Q_{10}$  分别为 2.14、2.19、2.09 和 2.07，说明传统耕作的温度敏感性高于免耕覆盖处理，有机肥无机肥配施的温度敏感性高于单施化肥。

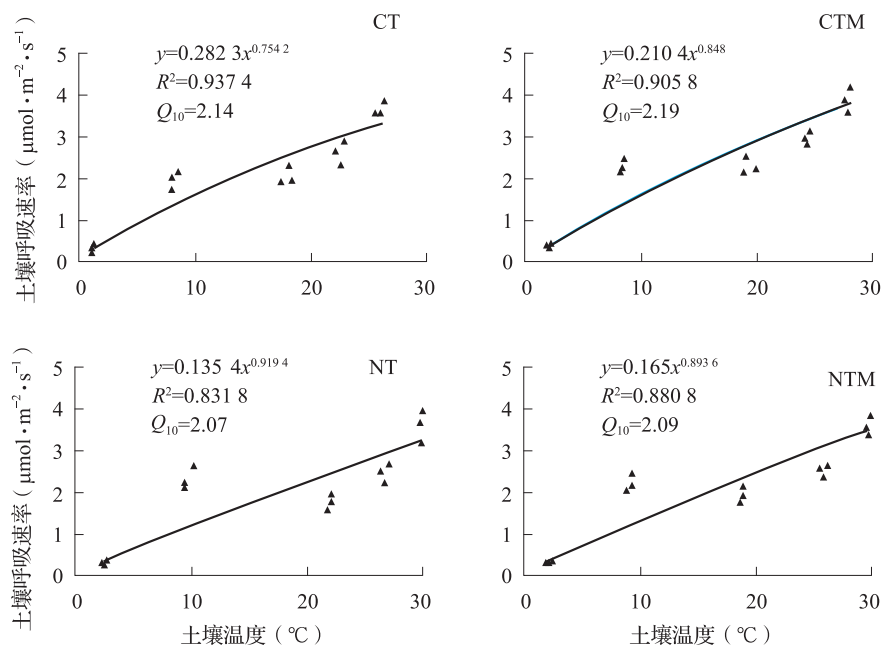


图 1 冬小麦生育期内土壤呼吸与温度的关系

### 2.3 土壤呼吸速率与土壤水分的关系

土壤呼吸和水分之间的拟合方法很多，本试验使用一元二次方程  $y = aW^2 + bW + c$  的拟合效果最好。由图 2 可见，土壤呼吸和表层 0 ~ 10 cm 水

分之间在一定范围内呈现出了良好的倒“U”型曲线关系，此时土壤水分能够解释 44.0% ~ 76.5% 的土壤呼吸季节变化。图 2 中土壤呼吸与水分的关系可以看出，CT、CTM、NT、NTM 土壤

含水率 (0~10 cm) 在 10% 左右时各处理的土壤呼吸达到峰值。不同耕作施肥处理之间, 决定系数 ( $R^2$ ) 表现为 CTM > CT > NTM > NT, CTM 处理下土壤呼吸与土壤水分的相关性最高, 决定系数达到 0.765 2, CT、NTM、NT 的决定系数分

别为 0.720 1、0.609 6 和 0.440 4, 说明相同施肥处理下, 与免耕覆盖处理相比, 传统耕作下土壤呼吸与土壤水分的相关性更高; 与单施化肥相比, 有机肥无机肥配施处理下土壤呼吸与土壤水分的相关性更高。

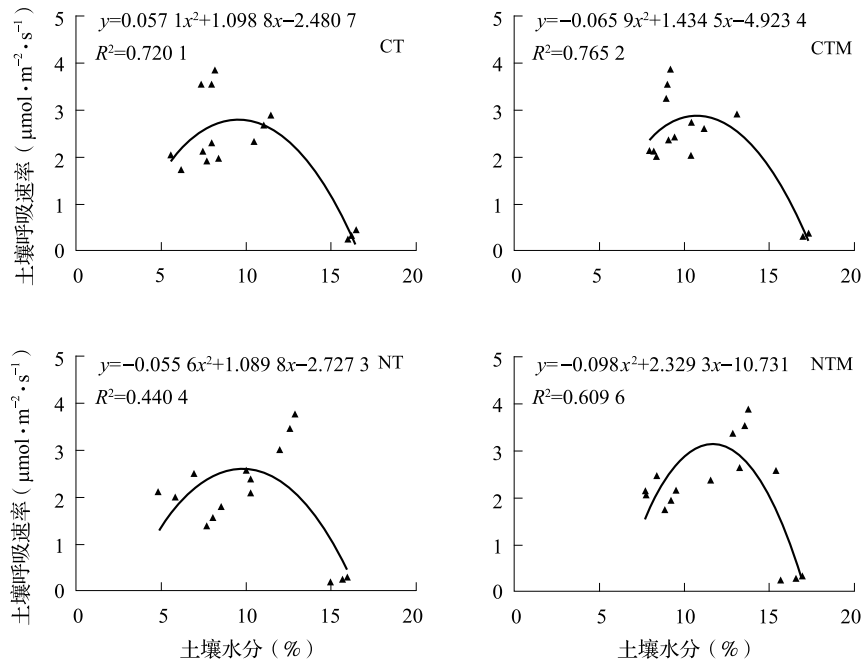


图2 冬小麦生育期内土壤呼吸与土壤水分的关系

### 3 讨论

#### 3.1 土壤温度、水分对土壤呼吸速率的影响

众多研究已表明, 土壤温度和土壤水分是影响土壤呼吸的最主要的两个因素<sup>[18-19]</sup>。本研究结果显示土壤呼吸速率季节变化与土壤温度之间均呈极显著相关关系, 决定系数在 0.83~0.94 之间。土壤呼吸速率的季节变化主要受土壤温度的影响, 冬小麦越冬期的土壤呼吸较弱, 这是由于这段时间土壤呼吸主要来源于土壤微生物呼吸<sup>[6]</sup>, 而冬季温度较低, 土壤微生物的活性也较低, 一定程度抑制了土壤呼吸。拔节期后随着气温的回升, 冬小麦迅速生长, 土壤生物活动旺盛, 土壤呼吸速率开始逐渐增大, 在灌浆期各耕作措施下土壤呼吸速率均达到峰值。通常用土壤呼吸的温度敏感性系数  $Q_{10}$  来衡量土壤温度与土壤呼吸间的关系,  $Q_{10}$  指温度每升高 10℃ 土壤呼吸速率增加的倍数,  $Q_{10}$  越大, 说明温度对土壤呼吸的影响越大, 有研究表明, 旱地农田在浅旋耕、秸秆还田、常规耕作、免耕覆盖措施下土壤呼吸的温度敏感系数  $Q_{10}$  值在 2.19~3.07 之

间<sup>[2]</sup>。本研究结果显示, 4 种农田管理措施下土壤呼吸的温度敏感性系数在 2.07~2.19, 相比较敏感系数略低可能是由于本研究不是仅有耕作处理而是耕作条件配套施肥处理。各处理土壤呼吸速率的温度敏感性系数 ( $Q_{10}$ ) 大小依次为 CTM > CT > NTM > NT, 传统耕作措施下土壤呼吸对温度的敏感性最强, 免耕覆盖处理下最小。已有研究表明, 免耕覆盖条件下土壤表层温度降低幅度最大, 且变异性减小, 其土壤呼吸速率表现为最弱<sup>[7,12]</sup>。

本研究中 4 种耕作施肥措施下冬小麦生长季平均土壤湿度在 9.95%~12.60% 之间, 其与土壤呼吸的决定系数在 0.440 4~0.765 2 之间, 土壤水分与土壤呼吸速率间呈倒“U”型相关关系, 说明土壤含水量较低时, 土壤水分的增加可以促进土壤呼吸作用, 但土壤湿度到达一定程度后, 土壤水分的增加会抑制土壤呼吸作用。有研究表明, 一般的降水促使土壤水分增加, 进而促进土壤的呼吸作用<sup>[20]</sup>, 但对于干旱半干旱地区的农田生态系统来说, 农田土壤湿度过低时会限制土壤微生物呼吸作用和根系呼吸作用, 而土壤水分过高会导致土壤通



透性变差, 从而减少土壤中  $\text{CO}_2$  的浓度, 限制  $\text{CO}_2$  的释放, 进而降低土壤的呼吸作用<sup>[21]</sup>。

### 3.2 耕作、施肥对土壤呼吸速率的影响

本研究结果表明, 传统耕作相对于免耕处理增加了土壤呼吸速率, 有机肥和无机肥配施相对于单施化肥增加了土壤呼吸速率, 这与前人的研究结果一致<sup>[2,4,11]</sup>。传统翻耕措施使土壤受到频繁扰动, 引起土壤翻动和破碎, 造成土壤中滞留的  $\text{CO}_2$  迅速释放, 加快了土壤呼吸速率, 增加  $\text{CO}_2$  排放, 导致土壤有机质含量下降, 翻耕措施也破坏了土壤团聚体, 使得被稳定吸附的有机质暴露在大气环境中, 加速这部分有机碳的分解。免耕处理能够减少对土壤的扰动及对微生物环境的破坏, 减缓土壤有机质的分解速率, 从而降低土壤呼吸速率<sup>[4,9]</sup>。有机肥的施入为微生物活动提供了大量的营养和能源, 促进了微生物的活动以及根系的生长, 进而影响土壤呼吸速率<sup>[11,22]</sup>。

耕作与施肥措施对越冬期的土壤呼吸没有显著影响, 这是由于此时土壤呼吸来源于微生物呼吸, 受温度影响最大。随着土壤温度的升高, 耕作施肥措施对土壤呼吸的影响越来越明显, 这是由于此时土壤呼吸来源于土壤微生物呼吸和根呼吸, 土壤温度和水分较为适宜, 受温度影响较小, 主要受耕作、微生物碳源和根系生长的影响<sup>[2,12]</sup>。在拔节期、抽穗期、灌浆期, 冬小麦生长迅速, 根呼吸增强, 并且底肥的施入为微生物活动提供了大量的营养和能源, 各处理间土壤呼吸表现出显著差异。冬小麦进入成熟期, 发育成熟, 受耕作措施影响较小, 所施加的化肥和有机肥已消耗达到相对平衡, 各处理的微生物呼吸和根呼吸趋于一致, 受温度影响大, 各处理间未表现出明显差异。

综上所述, 从各因素与土壤呼吸的相关分析可以看出, 土壤温度和土壤水分是影响土壤呼吸速率的重要因素, 土壤耕作和施肥方式可显著影响土壤呼吸。但土壤呼吸是多个因子互相作用的结果, 且不同的生育期优势因素不同, 说明各因素之间有某种交互作用。因此, 在后续研究中, 需要综合考虑植物根呼吸和根际微生物呼吸等因素并将各个影响因素的贡献率指标化, 将会使得土壤呼吸的研究更具有现实意义。

## 4 结论

(1) 连续 8 年的田间定位试验研究结果表明, 不同耕作施肥处理可以显著影响土壤呼吸速率。各处理平均土壤呼吸速率依次表现为  $\text{CTM} > \text{CT} >$

$\text{NTM} > \text{NT}$ , 免耕覆盖处理显著降低了旱地农田土壤呼吸速率; 而相同耕作处理下, 增施有机肥会显著提高土壤呼吸速率。

(2) 土壤温度和土壤水分是影响土壤呼吸的两个重要因素, 土壤温度可以解释土壤呼吸变化的 83.2% ~ 93.7%, 土壤水分可以解释 44.0% ~ 76.5%, 土壤温度对土壤呼吸的影响大于土壤水分。土壤温度对土壤呼吸的影响程度因不同施肥耕作处理而异, 翻耕和施用有机肥均会提高土壤呼吸的温度敏感性 ( $Q_{10}$ ), 免耕覆盖条件下减小了土壤呼吸受温度的影响程度。

### 参考文献:

- [1] Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change [J]. *Geoderma*, 2004, 123: 1-22.
- [2] 刘爽, 严昌荣, 何文清, 等. 不同耕作措施下旱地农田土壤呼吸及其影响因素 [J]. *生态学报*, 2010, 30 (11): 2919-2924.
- [3] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48: 7-20.
- [4] Gesch R W, Reicosky D C, Gilbert R A, et al. Influence of tillage and plant residue management on respiration of a Florida Everglades Histosol [J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 92: 156-166.
- [5] Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil  $\text{CO}_2$  evolution, water content, temperature, and bulk density [J]. *Applied Soil Ecology*, 1995, 2: 95-109.
- [6] 韩广轩, 周广胜, 许振柱. 玉米生长季土壤呼吸的时间变异性及其影响因素 [J]. *生态学杂志*, 2008, 27 (10): 1698-1705.
- [7] Wang D, He N P, Wang Q. Effects of temperature and moisture on soil organic matter decomposition along elevation gradients on the Changbai mountains, Northeast China [J]. *Pedosphere*, 2016, 26 (3): 399-407.
- [8] 伍芬琳, 张海林, 李琳, 等. 保护性耕作下双季稻农田甲烷排放特征及温室效应 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41 (9): 2703-2709.
- [9] 张宇, 张海林, 陈继康, 等. 耕作措施对华北农田  $\text{CO}_2$  排放影响及水热关系分析 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25 (4): 47-53.
- [10] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26 年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响 [J]. *生态学报*, 2015, 35 (5): 1445-1451.
- [11] 吴会军, 蔡典雄, 武雪萍, 等. 不同施肥条件下小麦田土壤呼吸特征研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2010, (6): 70-74.
- [12] 张丁辰, 蔡典雄, 代快, 等. 旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应 [J]. *生态学报*, 2013, 33 (6): 1916-1925.

- [13] 张俊丽, Tanveer S K, 温晓霞, 等. 不同耕作方式下旱作玉米田土壤呼吸及其影响因素 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (18): 192 - 199.
- [14] Frank A B, Liebig M A, Tanaka D L. Management effects on soil CO<sub>2</sub> efflux in northern semiarid grassland and cropland [J]. Soil & Tillage Research, 2006, 89 (1): 78 - 85.
- [15] 韩广轩, 周广胜, 许振柱, 等. 玉米地土壤呼吸作用对土壤温度和生物因子协同作用的响应 [J]. 植物生态学报, 2007, 31 (3): 363 - 371.
- [16] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change [J]. Nature, 2006, 440: 165 - 173.
- [17] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie [J]. Nature, 2001, 413 (6856): 622 - 625.
- [18] Maestre F T, Cortina J. Small - scale spatial variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in a Mediterranean semiarid steppe [J]. Applied Soil Ecology, 2003, 23: 199 - 209.
- [19] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate [J]. Tellus Series B: Chemical and Physical Meteorology, 1992, 44 (2): 81 - 99.
- [20] Keith H, Jacobsen K L, Raison R J. Effects of soil phosphorus availability, temperature and moisture on soil respiration in Eucalyptus pauciflora forest [J]. Plant and Soil, 1997, 190: 127 - 141.
- [21] Pangle R E, Seiler J R. Influence of seedling roots, environmental factors and soil characteristics on soil CO<sub>2</sub> efflux rates in a 2 - years - old loblolly pine plantation on the Virginia Piedmont [J]. Environment Pollution, 2002, 116: S85 - S96.
- [22] Luo Y, Zhou X. 土壤呼吸与环境 [M]. 姜丽芬, 曲来叶, 周玉梅, 等译. 北京: 高等教育出版社, 2007.

### Seasonal change and effecting factors on soil respiration of winter-wheat farmland under no-tillage and fertilizing

WANG Xue<sup>1</sup>, LI Jing<sup>2</sup>, WANG Jun-yu<sup>1</sup>, LIU Dong-yang<sup>1</sup>, WU Xue-ping<sup>2\*</sup>, LI Xiao-xiu<sup>1\*</sup>, XI Ji-long<sup>3</sup>, LI Yong-shan<sup>3</sup>, ZHANG Jian-cheng<sup>3</sup>, YANG Na<sup>3</sup>, HAO Jia-li<sup>3</sup> (1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Laboratory for Improving Quality of Arable Land, Beijing 100081; 3. Institute of Cotton, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng 044000)

**Abstract:** Based on the 8-year field experiment, this research analyzed the seasonal variations and effecting factors under different tillage and fertilization treatments. The results indicated that different tillage and fertilization treatments significantly affected the soil respiration rate, compared with conventional tillage, no-tillage with straw mulching treatment obviously decreased the respiration rate of dry farmland soil. Under the equivalent tillage treatment, the soil respiration rate was distinctly improved when manure increased applied. On account of the above aspects, it showed that both tillage and manure application contributed to the soil respiration. Seasonal soil temperature and moisture of winter-wheat were the main factors to influence soil respiration of which soil temperature and soil moisture explained 83.2% ~ 93.7% and 44.0% ~ 76.5% respectively of soil respiration. The effect of soil temperature on soil respiration was fairly greater than that of soil moisture. Meanwhile, the effect degree of the soil temperature on soil respiration varied from different tillage and fertilization treatments. In addition, tillage and manure raised the temperature sensitivity of soil respiration, and no-tillage with straw mulching reduced the impact of temperature.

**Key words:** no-tillage and fertilizing; soil respiration; soil temperature; soil moisture