

# 寒地玉米秸秆还田条件下土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的关系

宋秋来<sup>1,2</sup>, 王峭然<sup>3</sup>, 冯延江<sup>2</sup>, 王 麒<sup>2</sup>, 孙 羽<sup>2</sup>, 曾宪楠<sup>2</sup>, 来永才<sup>1,2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 博士后科研工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江农垦勘测设计研究院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

**摘要:**为探讨寒地玉米秸秆还田条件下土壤 CO<sub>2</sub> 排放规律, 研究不同秸秆还田方式下农田土壤 CO<sub>2</sub> 与耕层土壤温度的关系, 采用静态箱法测定了不同秸秆还田方式下寒地黑土区春玉米生长季土壤 CO<sub>2</sub> 排放及土壤温度的变化情况。结果表明: 玉米生育期土壤 CO<sub>2</sub> 排放量与土壤温度均呈现明显的季节变化, 春季及秋季 CO<sub>2</sub> 排放通量小、土壤温度低, 而 CO<sub>2</sub> 排放峰值及土壤温度最高值均出现在夏季, 不同土层土壤温度在 6 月末达到最高值, 而排放峰值出现在 7 月末至 8 月初; 秸秆还田的排放通量显著高于不还田处理。对二者进行指数方程拟合, 发现秸秆不还田条件下土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的相关性要高于秸秆还田处理; 在 5~25 cm 耕层范围内, 随着土层深度的增加, 土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的相关性逐渐增加, 且 10、15、20、25 cm 四个层次的相关性显著高于 5 cm 土层, 表明 10~25 cm 土层的土壤温度变化能够更好地表述黑土农田 CO<sub>2</sub> 排放通量的变化趋势。

**关键词:**寒地; 玉米; 秸秆还田; 土壤 CO<sub>2</sub>; 土壤温度

**中图分类号:**S513; S141.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)01-0028-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.01.0028

农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放受多种因素制约, 土壤温度是土壤 CO<sub>2</sub> 排放的主要影响因子之一<sup>[1]</sup>, 土壤温度是大气与土壤表面能量及物质交换的综合结果, 对土壤物理、化学和生物等过程具有重要影响, 能够很好地指示气候变化。它影响土壤 CO<sub>2</sub> 排放的很多方面, 众多研究表明, 温度升高一般会促进土壤 CO<sub>2</sub> 的排放<sup>[2-3]</sup>, 还有部分研究认为, 生态系统 CO<sub>2</sub> 排放与温度的相关性很小, 而受光照辐射条件的影响却很大<sup>[4]</sup>。目前大部分学者认为土壤 CO<sub>2</sub> 排放与温度之间具有明显的相关关系<sup>[5-8]</sup>, 多数认为是显著的正相关<sup>[9-10]</sup>。更多的研究指出土壤 CO<sub>2</sub> 排放随温度增加呈指数增长<sup>[11-13]</sup>, 但也有人认为二者之间的关系可用二次方程来模拟<sup>[14-15]</sup>; 学者们在不同农业生产条件下

已开展了很多研究, 一般研究认为 10~15 cm 处土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 相关性最好<sup>[16-17]</sup>, 也有研究指出, 不同耕作条件下土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 相关性是变化的<sup>[18]</sup>。虽然关于土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 关系的研究较多, 但针对我国寒地黑土区土壤温度与 CO<sub>2</sub> 排放之间关系的研究较少, 而开展寒地秸秆还田条件下二者之间关系的系统研究鲜见报道。本研究基于不同秸秆还田条件的耕作措施长期试验, 对东北黑土区农田土壤 CO<sub>2</sub> 的排放及土壤温度连续监测, 系统分析土壤温度与农田 CO<sub>2</sub> 排放的相互关系, 进而对农田 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度进行拟合, 为黑土区制定合理的秸秆还田模式及预测不同秸秆还田条件下农田碳排放提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

本研究于 2015 年在黑龙江省哈尔滨市国家现代农业示范区进行, 该示范区位于松嫩平原中部哈尔滨市道外区民主乡, 所辖区域地理坐标为 N45°50', E126°50'。气候特征: 示范区属于寒温带大陆性气候, 四季变化明显, 春季多风少雨, 夏季温热多雨, 秋季较短, 冬季寒冷干燥, 年均气温 3.6 °C, 无霜期 135 d, ≥10°C 积温 2 780 °C, 年均

收稿日期: 2016-12-15

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31540039); 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201303126-1); 黑龙江省人民政府博士后资助项目(LBH-Z151196); 哈尔滨市科技创新人才项目资助项目(2016RAQYJ048); 黑龙江省农科院博士科研启动金项目(201507-10)

**第一作者简介:**宋秋来(1985-), 男, 黑龙江省勃力县人, 博士, 助理研究员, 从事农田温室气体排放研究。E-mail: sql142913@163.com。

**通讯作者:**来永才(1964-), 男, 博士, 研究员, 从事耕作栽培研究。E-mail: yame451@163.com。

降水量 500 mm。该区域为一年一熟制,旱作农田主要种植模式为玉米连作,土壤基础肥力为:有机质 37.8 g·kg<sup>-1</sup>,速效氮 140 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 72.6 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 206 mg·kg<sup>-1</sup>,pH7.09。

### 1.2 材料

供试玉米品种均为先玉 335,供试土壤类型为黑土。

### 1.3 方法

1.3.1 试验设计 在玉米连作模式下设置翻耕秸秆还田、翻耕、免耕秸秆还田、免耕 4 个处理,采用大区试验,各处理面积 667 m<sup>2</sup>,重复 3~4 次。于 5 月 4 日播种,10 月 3 日收获,4 个处理水肥等管理措施相同。

各处理分别为翻耕秸秆还田(CTS):玉米收获后,秋季翻耕,将秸秆切成 10~15 cm 段与根茬一同翻入农田 25~30 cm 处,起垄越冬,春季垄上播种。免耕秸秆还田(NTS):玉米收获后,将玉米秸秆切成 10~15 cm 段,均匀覆盖还田越冬,春季原垄播种。两个还田处理玉米秸秆还田量均为每 667 m<sup>2</sup> 600 kg。翻耕(CT):玉米收获后,秸秆移除农田,秋季翻耕,将根茬翻入农田 25~30 cm 处,起垄越冬,春季垄上播种。免耕(NT):玉米收获后,秸秆移除农田,春季原垄播种。

1.3.2 测定项目及方法 土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量测定:土壤 CO<sub>2</sub> 排放试验季节变化测定于 2015 年玉米生育期进行,取样间隔为 10~15 d,选择晴天的 9:00-11:00 进行样品采集。本研究采用静态箱法采集气体样品,试验的采样箱为有机玻璃箱体,箱体长 40 cm、宽 30 cm、高 50 cm,箱体一侧距顶部 25 cm 处设置三通阀采气孔,用于连通三通阀便于收集气体。采样箱内置风扇,用于采样时混匀箱内气体。底座为不锈钢材料,插入两垄中间,入土 5 cm,作物整个生长季节不再移动。底座上有盛水凹槽(水封槽),采样时将凹槽灌满水,利用水封原理隔绝室内外气体交换。每次采样时将采样箱置于底座后,开始取气并记录时间为第 0 分钟,在第 15 分钟、30 分钟再分别采集 1 次气体样品,用 100 mL 玻璃注射器将箱内气体转移到铝箔采样袋中,将采样袋带回实验室使用红外线气体分析仪测定。

土壤温度:采用曲管地温计测定,玉米播种后将曲管地温计埋至作物行间,每小区 3 套,测定 5、10、15、20、25 cm 土层土壤温度,每次气体采集时同步读取、记录。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆还田方式对土壤 CO<sub>2</sub> 排放季节变化动态的影响

本研究气体采集在玉米播种前进行,一直持续到玉米成熟期,取样期经过了春、夏、秋 3 个季节。由图 1 可知,各处理 CO<sub>2</sub> 排放均出现先升高后降低的规律,在玉米播种期和成熟期 CO<sub>2</sub> 排放均较低。在苗期,随着玉米的生长,各处理的 CO<sub>2</sub> 排放通量均有较大幅度增加,在 7 月下旬玉米拔节~抽雄期,各处理均出现排放高峰,秸秆还田(NTS、CTS)处理的 CO<sub>2</sub> 排放通量峰值明显高于两个不还田处理;之后各处理 CO<sub>2</sub> 浓度开始下降,但秸秆还田(NTS、CTS)较不还田处理下降缓慢。各处理 CO<sub>2</sub> 平均排放通量:免耕为 164 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、翻耕为 186 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、免耕秸秆还田为 239 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、翻耕秸秆还田为 228 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,CO<sub>2</sub> 排放通量大小依次为 NTS>CTS>CT>NT,可见免耕秸秆还田(NTS)与其相应的不还田处理(NT)相差较大,两个秸秆还田处理相差较小,免耕处理则低于翻耕处理,说明在秸秆不还田的条件下,减少对土壤的扰动能够适当减少 CO<sub>2</sub> 排放。

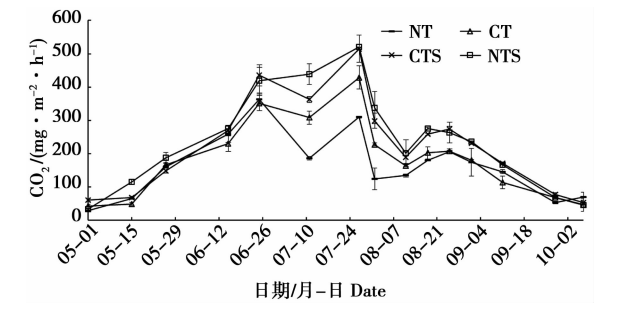


图 1 土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量的季节变化  
Fig. 1 Seasonal change of soil CO<sub>2</sub> emission fluxes

### 2.2 秸秆还田条件下土壤温度的季节动态变化

不同秸秆还田条件下不同深度土壤温度的变化趋势是一致的(见图 2)。春季玉米播种前温度较低,出苗后温度开始迅速上升,在 6 月 25 日各处理在不同土层的土壤温度都达到了最大值,之后各层次土壤温度呈现波动性下降趋势,至成熟期开始下降迅速,收获后略有回升。不同土层的温度比较,随着土层的加深,各处理的土壤温度达到峰值的时间有明显滞后性。5 cm 的土壤温度波动性最大,随着土层的加深,土壤温度的变化趋于平缓。不同秸秆还田方式及耕作措施下各土层温度未见明显差异,整体变化规律与土壤 CO<sub>2</sub> 排

放通量的季节变化相近。

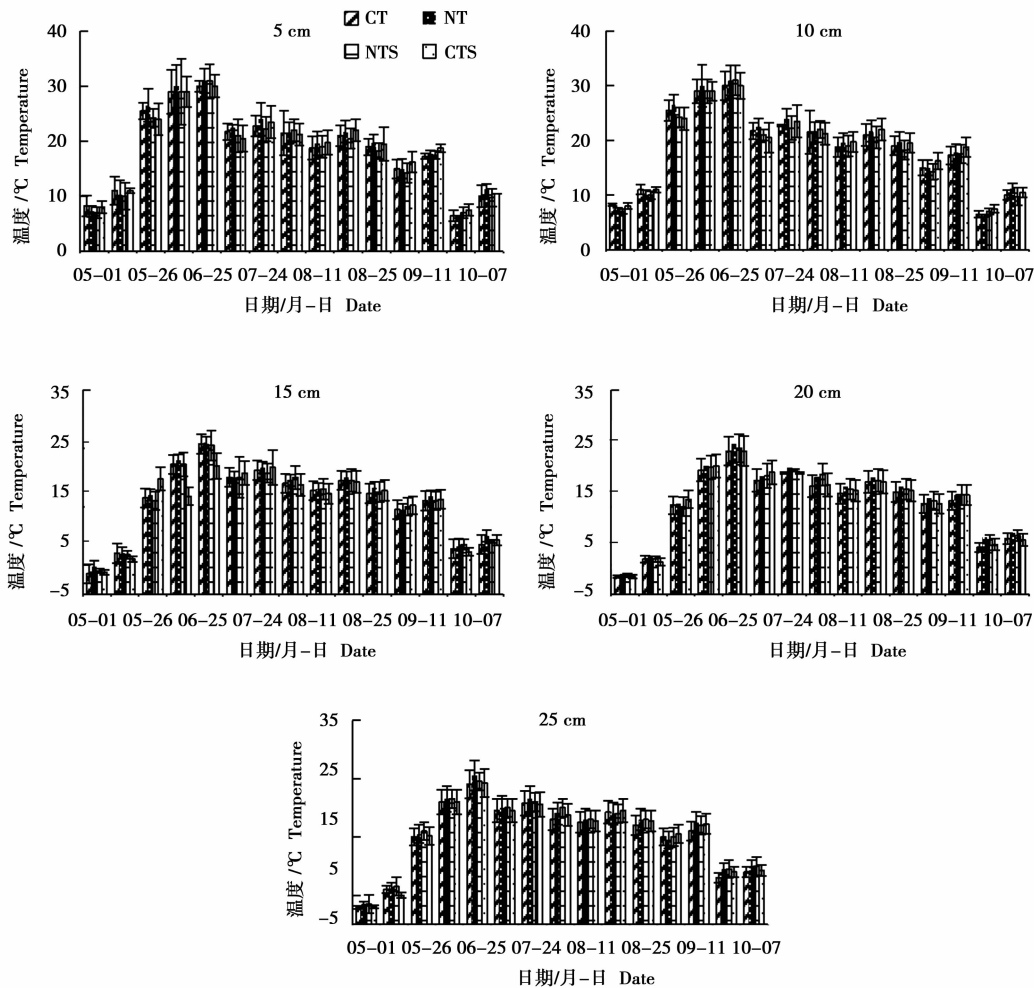


图 2 不同秸秆还田方式下 5、10、15、20、25 cm 土层土壤温度的季节变化

Fig. 2 Seasonal change of soil temperature in 5, 10, 15, 20 and 25 cm soil layer under different straw returning ways

2.3 土壤 CO<sub>2</sub> 排放与不同层次土壤温度的方程拟合

对不同秸秆还田方式下的土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度季节变化进行了回归分析,发现线性方程、二次方程和指数方程拟合效果均良好,但指数方程均优于二次和线性方程,故本研究采用指数方程表述二者之间的关系。

通过比较土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的拟合度 R<sup>2</sup> 值可知,不还田处理(免耕、翻耕)的 R<sup>2</sup> 均高于相应的还田处理,在 5 cm 和 10 cm 土层免耕处理 R<sup>2</sup> 最大,而在 15、20、25 cm 三个土层翻耕处理的 R<sup>2</sup> 最大,而免耕秸秆还田处理的 R<sup>2</sup> 在不同土层均最小,说明土壤温度能够更好地解释不还田的翻耕及免耕农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放。而不同土层间比

较,在 5 cm 土层的土壤温度可以解释土壤 CO<sub>2</sub> 排放的 67.22%~79.72%;在 10 cm 土层的土壤温度可以解释土壤 CO<sub>2</sub> 排放的 80.89%~88.14%;在 15 cm 土层的土壤温度可以解释土壤 CO<sub>2</sub> 排放的 83.18%~89.47%;在 20 cm 土层的土壤温度可以解释土壤 CO<sub>2</sub> 排放的 82.47%~89.56%;在 25 cm 土层的土壤温度可以解释土壤 CO<sub>2</sub> 排放的 82.51%~89.78%。同一还田方式下不同土层的 R<sup>2</sup> 均表现为:25 cm>20 cm>15 cm>10 cm>5 cm,说明在耕层内随着土层深度的增加,土壤 CO<sub>2</sub> 排放的温度敏感性逐渐增加,而 10、15、20、25 cm 四个层次显著高于 5 cm 土层,表明 10~25 cm 土层的土壤温度的变化能够更好地描述土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量的变化趋势。

表 1 不同秸秆还田方式下土壤 CO<sub>2</sub> 通量与土壤温度的方程拟合

Table 1 Fitting equation of soil CO<sub>2</sub> flux and soil temperature under different straw returning ways

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatments	拟合方程 Fitting equation	R <sup>2</sup>	P
5	CT	$Y=28.615e^{0.089x}$	0.7280	0.000
	NT	$Y=29.301e^{0.081x}$	0.7972	0.000
	CTS	$Y=34.835e^{0.089x}$	0.7103	0.000
	NTS	$Y=35.235e^{0.092x}$	0.6722	0.000
	平均		0.7269±0.0262 b	
10	CT	$Y=26.575e^{0.1059x}$	0.8389	0.000
	NT	$Y=28.262e^{0.0985x}$	0.8814	0.000
	CTS	$Y=33.231e^{0.1015x}$	0.8192	0.001
	NTS	$Y=31.850e^{0.1063x}$	0.8089	0.000
	平均		0.8371±0.0261 a	
15	CT	$Y=25.462e^{0.1117x}$	0.8947	0.000
	NT	$Y=23.981e^{0.1060x}$	0.8601	0.000
	CTS	$Y=32.061e^{0.1129x}$	0.8453	0.001
	NTS	$Y=26.877e^{0.1216x}$	0.8318	0.000
	平均		0.8580±0.0135 a	
20	CT	$Y=24.711e^{0.1160x}$	0.8956	0.001
	NT	$Y=23.900e^{0.1057x}$	0.8669	0.000
	CTS	$Y=33.557e^{0.1076x}$	0.8539	0.001
	NTS	$Y=27.058e^{0.1201x}$	0.8247	0.000
	平均		0.8603±0.0147 a	
25 cm	CT	$Y=24.919e^{0.1169x}$	0.8978	0.000
	NT	$Y=24.732e^{0.1074x}$	0.8895	0.000
	CTS	$Y=33.124e^{0.1101x}$	0.8650	0.000
	NTS	$Y=25.208e^{0.1252x}$	0.8251	0.000
	平均		0.8694±0.0163 a	

3 讨论

在各项研究中,都有观察到土壤 CO<sub>2</sub> 排放的季节变化<sup>[9,19]</sup>,在这种季节变化特征中,夏季土壤呼吸最多,春秋季次之,冬季最少。在多数研究中,大部分认为土壤 CO<sub>2</sub> 排放呈现季节变化单峰曲线,但峰值出现时间有所不同,戴万宏等认为土壤 CO<sub>2</sub> 排放的季节变化峰值多出现在温度与降水均较高的 7 月内,而也有部分研究结果认为夏玉米农田土壤呼吸速率在 8 月盛夏秋初期间出现最大值<sup>[20-21]</sup>。本研究结果表明,农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放呈单峰曲线,有明显的季节性,各处理均表现为先升高后降低的规律,在玉米播种期和成熟期 CO<sub>2</sub> 排放较低,在温度较高和雨水充沛条件下,各处理

在 7 月末至 8 月初达到峰值,其中,秸秆还田(NTS、CTS)的排放峰值明显高于两个不还田处理。

温度作为影响土壤呼吸的重要因子之一,通过对土壤中微生物及根生物量、根际活动等影响着土壤 CO<sub>2</sub> 的排放,二者之间的关系具有明显的规律性。王丙文等在不同玉米秸秆还田方式对冬小麦田土壤呼吸的影响研究中认为,在小麦整个生育期,土壤呼吸与土壤温度呈正相关关系<sup>[22]</sup>;赵亚丽等研究结果表明,土壤呼吸速率与土壤温度和有机碳含量呈正比例关系,与土壤紧实度呈负相关关系,其中土壤呼吸速率受土壤温度的影响显著<sup>[23]</sup>。本研究中,土壤温度的季节变化趋势

与土壤 CO<sub>2</sub> 排放的季节变化趋势基本一致,在玉米播种前期温度最低,随着出苗后气温的升高,土壤温度也逐渐上升,夏季温度较高,之后土壤温度呈现波动性下降趋势,至成熟期开始下降迅速,收获后略有回升。不同土层的温度比较,随着土层的加深,各处理的土壤温度达到峰值的时间有明显的滞后性。5 cm 的土壤温度波动性最大,随着土层的加深,土壤温度的变化趋于平缓。

土壤 CO<sub>2</sub> 排放与温度之间具有明显的相关关系<sup>[24]</sup>,大多数学者得到了土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量与土壤温度指数方程,本研究也表明指数方程能够更好地表达农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的关系。而对于不同层次土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 排放的相关性研究结果不尽相同,多数研究认为 5 cm 土壤温度与土壤 CO<sub>2</sub> 排放的相关性较高<sup>[25-27]</sup>, Rey 等和 Ussiri 等认为 10 cm 处土壤温度与土壤呼吸相关性最好<sup>[16-17]</sup>;马骏等利用 Van'tHoff 指数模型研究不同深度土壤温度对土壤呼吸速率的影响发现,10~15 cm 深度的土壤温度对土壤呼吸速率的影响最为显著<sup>[28]</sup>;本研究与以上研究结果有所不同,在 5~25 cm 耕层范围内,随着土层深度的增加,土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的相关性逐渐增加,且 10、15、20、25 cm 四个层次的相关性显著高于 5 cm 土层,表明 10~25 cm 土层的土壤温度的变化能够更好的表述土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量的变化趋势。也有研究指出,不同层次的相关性在不同耕作措施下表现不同,张宇等<sup>[18]</sup>的研究认为,翻耕处理的 CO<sub>2</sub> 排放通量与 10 cm 土壤温度相关性最高,旋耕和免耕则均与 20 cm 土壤温度相关性最高。李昌珍等针对关中灌区夏玉米田的研究表明,5 种处理下秸秆不覆盖不施肥处理、秸秆覆盖+施氮肥和夏闲处理土壤呼吸速率与 5 cm 耕层土壤温度的相关性最大,秸秆覆盖处理和施氮肥处理分别与 10 和 15 cm 耕层土壤温度的相关性最大<sup>[29]</sup>;而本研究中,通过比较所有层次土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的拟合度 R<sup>2</sup> 值可知,不还田处理(免耕、翻耕)的 R<sup>2</sup> 均高于相应的还田处理,在免耕处理 5 cm 和 10 cm 土层 R<sup>2</sup> 最大,而在 15、20、25 cm 三个土层翻耕处理的 R<sup>2</sup> 最大,而免耕秸秆还田处理的 R<sup>2</sup> 在不同土层均最小,说明土壤温度能够更好地解释不还田的翻耕及免耕农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放,而秸秆还田处理由于有秸秆覆盖其土壤呼吸温度敏感性有所降低。

## 4 结论

本研究结果表明,玉米生育期土壤 CO<sub>2</sub> 排放量呈现明显的季节变化:春季、秋季 CO<sub>2</sub> 排放通量小,在 7 月末至 8 月初达到峰值;秸秆还田的排放通量显著高于不还田处理。玉米生育期间土壤温度呈现明显的季节变化,春季玉米播种前及秋季收获后土壤温度较低,而在夏季 6 月末各处理在不同土层的土壤温度均出现最大值。表层土壤温度波动大,随着土层的加深,土壤温度的变化趋于平缓。秸秆不还田条件下土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的相关性要高于秸秆还田处理。在 5~25 cm 耕层范围内,随着土层深度的增加,土壤 CO<sub>2</sub> 排放与土壤温度的相关性逐渐增加,且 10、15、20、25 cm 四个层次的相关性显著高于 5 cm 土层,表明 10~25 cm 土层的土壤温度变化能够更好的表述黑土农田 CO<sub>2</sub> 排放通量的变化趋势。

## 参考文献:

- [1] Zhang L H, Chen Y N, Zhao R F, et al. Soil carbon dioxide flux from shelterbelts in farmland in temperate arid region, northwest China [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2012, 48: 24-31.
- [2] Schlesinger W H, Andrews J A. Soil respiration and the global carbon cycle [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 7-20.
- [3] Vicca S, Janssens I A, Wong S C, et al. Zea mays rhizosphere respiration, but not soil organic matter decomposition was stable across a temperature gradient [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(11): 2030-2033.
- [4] Raich J W, Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: correlations and controls [J]. *Biogeochemistry*, 2000, 48(1): 71-90.
- [5] 张晓龙, 赵景波, 马润花. 西安黄土塬区土壤碳释放规律研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(2): 327-331.
- [6] Kechavarzi C, Dawson Q, Bartlett M, et al. The role of soil moisture, temperature and nutrient amendment on CO<sub>2</sub> efflux from agricultural peat soil microcosms [J]. *Geoderma*, 2010, 154(3-4): 203-210.
- [7] Adviento-Borbe M A A, Haddix M L, Binder D L, et al. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems [J]. *Global Change Biology*, 2007, 13(9): 1972-1988.
- [8] Chavez L F, Amado T J C, Bayer C, et al. Carbon dioxide efflux in a rhodic hapludox as affected by tillage systems in southern Brazil [J]. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 2009, 33(2): 325-334.
- [9] 程建中, 李心清, 周志红, 等. 土壤 CO<sub>2</sub> 浓度与地表 CO<sub>2</sub> 通量的季节变化及其相互关系 [J]. *地球与环境*, 2011, 39(2): 196-202.
- [10] 车升国, 郭胜利, 张芳, 等. 黄土区夏闲期土壤呼吸变化特征及其影响因素 [J]. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1159-1169.
- [11] Jabro J D, Sainju U, Stevens W B, et al. Carbon dioxide

- flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(4): 1478-1484.
- [12] 王少杰, 高鹏程, 林文, 等. 氮肥与秸秆还田对陕西关中灌区冬小麦农田 CO<sub>2</sub> 排放的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(1): 117-121.
- [13] 莫琼, 郭忠录, 蔡崇法, 等. 等高绿篱-坡地农业复合系统土壤 CO<sub>2</sub> 排放特征[J]. *土壤通报*, 2011, 42(4): 967-972.
- [14] Mathes K, Schrieffer T. Soil respiration during secondary succession: influence of temperature and moisture[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1985, 17(2): 205-211.
- [15] 刘合明, 刘树庆. 不同施氮水平对华北平原冬小麦土壤 CO<sub>2</sub> 通量的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(3): 1125-1129.
- [16] Rey A, Pegoraro E, Tedeschi V, et al. Annual variation in soil respiration and its components in a coppice oak forest in Central Italy[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8(9): 851-866.
- [17] Ussiri D A N, Lal R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, 104(1): 39-47.
- [18] 张宇, 张海林, 陈继康, 等. 耕作措施对华北农田 CO<sub>2</sub> 排放影响及水热关系分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(4): 47-53.
- [19] 韩广轩, 朱波, 张中杰, 等. 水旱轮作土壤-小麦系统 CO<sub>2</sub> 排放及其影响因素[J]. *生态环境*, 2004, 13(2): 182-185.
- [20] 戴万宏, 刘军, 王益权, 等. 不同培肥措施下土壤 CO<sub>2</sub> 释放及其动力学研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(3): 292-297.
- [21] 严俊霞, 李洪建, 尤龙凤. 玉米农田土壤呼吸与环境因子的关系研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(3): 183-189.
- [22] 王丙文, 迟淑筠, 田慎重, 等. 不同玉米秸秆还田方式对冬小麦田土壤呼吸的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1374-1380.
- [23] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对土壤呼吸的影响及机理[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(19): 155-165.
- [24] Kechavarzi C, Dawson Q, Bartlett M, et al. The role of soil moisture, temperature and nutrient amendment on CO<sub>2</sub> efflux from agricultural peat soil microcosms[J]. *Geoderma*, 2010, 154(3-4): 203-210.
- [25] 李虎, 邱建军, 王立刚. 农田土壤呼吸特征及根呼吸贡献的模拟分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 14-20.
- [26] 林森, 郭李萍, 谢立勇, 等. 菜地土壤 CO<sub>2</sub> 与 N<sub>2</sub>O 排放特征及其规律[J]. *中国土壤与肥料*, 2012, (4): 11-17.
- [27] 于爱忠, 黄高宝, 柴强. 不同耕作措施对西北绿洲灌区冬小麦农田土壤呼吸的影响[J]. *草业学报*, 2012, 21(1): 273-278.
- [28] 马骏, 唐海萍. 内蒙古农牧交错区不同土地利用方式下土壤呼吸速率及其温度敏感性变化[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(2): 167-175.
- [29] 李昌珍, 张婷婷, 杨改河, 等. 秸秆覆盖和施肥对关中灌区夏玉米生长后期土壤呼吸速率的影响[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(3): 411-416.

## Relationship Between CO<sub>2</sub> Emission of Soil and Soil Temperature Under Maize Straw Returning in Cold Region

SONG Qiu-lai<sup>1,2</sup>, WANG Qiao-ran<sup>3</sup>, FENG Yan-jiang<sup>2</sup>, WANG Qi<sup>2</sup>, SUN Yu<sup>2</sup>, ZENG Xian-nan<sup>2</sup>, LAI Yong-cai<sup>1,2</sup>

(1. Postdoctoral Programme Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Cultivation and Crop Tillage Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 3. Heilongjiang Agricultural Reclamation Survey Design and Research Institute, Harbin, Heilongjiang 150090)

**Abstract:** In order to investigate the CO<sub>2</sub> emission law under maize straw returning in cold region, and the relationship between soil CO<sub>2</sub> emission and soil temperature under different straw returning methods, static box method was used to investigate the change of soil CO<sub>2</sub> emission and soil temperature in spring maize growing season in black soil region under different straw returning ways. The results showed that there was a significant seasonal change in soil CO<sub>2</sub> emission and soil temperature during maize growth, the CO<sub>2</sub> emission fluxes and soil temperature was low in spring and autumn, the peak values of CO<sub>2</sub> emission and soil temperature all appeared in summer. The soil temperature in different soil layers reached the highest at the end of June, and the emission peak appeared at the end of July to the beginning of August. The CO<sub>2</sub> emission of maize straw returning was significantly higher than straw removal. Regression analyses for CO<sub>2</sub> emission fluxes and soil temperature were carried out, and it was found that the correlation between soil CO<sub>2</sub> emission and soil temperature was higher under straw removal than that under straw returning. In 10~25 cm soil layer, the correlation between soil CO<sub>2</sub> emission and soil temperature increased with depth increasing, and the correlation between 10, 15, 20 and 25 cm soil layer was significantly higher than 5 cm soil layer, which indicated that the change of soil temperature in 10~25 cm soil layer could better describe the change trend of CO<sub>2</sub> emission fluxes in black soil field.

**Keywords:** cold region; maize; straw returning; soil CO<sub>2</sub>; soil temperature