

# 农田管理措施对滨海盐渍化土壤碳平衡的影响

米迎宾, 杨劲松, 姚荣江, 余世鹏

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:**为研究不同农田管理措施对滨海盐渍土壤碳平衡的影响,通过玉米-小麦轮作试验,研究农田土壤碳收支情况。试验共设6个处理:①常规对照(CK),②有机肥常量(OF),③氮肥增施(NF),④秸秆还田(S),⑤有机肥加秸秆(OF+S),⑥免耕(NT)。结果表明,秸秆还田和施用有机肥提高了土壤呼吸的强度,而NT处理的CO<sub>2</sub>平均释放量最低,不同处理下土壤呼吸表现为OF+S处理>S处理>OM处理>NF处理>CK>NT处理。各处理土壤有机碳量随着作物种植年份的增加而逐渐升高,其中OF与NT处理增加最多,而NF处理并没有显著提高土壤的有机碳量。在两季作物收获后,各处理的碳输入均高于碳输出,表现为碳净输入,呈现较强的碳汇特征。S处理和OF处理的碳净输入均显著高于CK,可有效减缓土壤CO<sub>2</sub>排放,增加其有机碳的输入。

**关键词:**盐渍土; CO<sub>2</sub>释放; 土壤碳库; 碳平衡

中图分类号:S19; X37

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.03.015

米迎宾, 杨劲松, 姚荣江, 等. 农田管理措施对滨海盐渍化土壤碳平衡的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(3): 85-88.

## 0 引言

在我国,盐渍土资源广泛分布,大量的耕地受不同盐渍化程度的影响,滨海盐渍土壤作为主要类型之一,是重要的后备土地资源,具有高盐碱、低养分等特点。随着中国面临的粮食短缺和土地资源不足的压力逐渐加大,开展盐渍土资源的持续利用与优化管理至关重要。同时,气候变化加剧了滨海盐渍土壤的盐渍化,引起了一系列的生态环境问题<sup>[1]</sup>,而土壤作为全球重要的碳库组成,起着重要的调节碳平衡的作用<sup>[2]</sup>,合理地开发和利用滨海盐渍土资源,采用科学的农田管理模式具有极其重要的意义;另一方面,土壤作为全球碳循环的释放源之一,呼吸的强度受诸多因素的综合影响,通过适合的土壤和作物管理措施,平衡有机碳的矿化和输入来提高土壤的碳存储能力是十分必要的。国内研究盐渍土壤中碳的累积与损失相对较少,如何平衡农业生产与环境保护之间的关系已成为重要的研究课题。本研究的目的在于阐述不同农田管理措施对土壤呼吸和有机碳固存的影响,评价有机碳和微生物生物量碳与CO<sub>2</sub>释放的关系,从而总结出既能够减少土壤的碳排放,又能够增加有机碳存储的合理的农田管理措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地点位于江苏省东台市黄海原种场研究基地,该区地处亚热带季风气候区,具有明显的海洋性季风气候特征,四季分明,年平均气温15℃,相对湿度81%,风速2.8 m/s,年均日照时间2 130 h,全年无霜期213 d。该区多年平均降雨量1 061 mm,约68%降水集中于6—9月,年平均蒸发量1 007 mm。

### 1.2 试验设计

试验于2013年6月—2014年5月进行,采用玉米-小麦轮作种植方式,设计6个处理:①常规对照(CK),②有机肥常量(OF),③氮肥增施(NF),施用量为常规施肥量的1.5倍,④秸秆还田(S),⑤有机肥加

收稿日期:2016-02-23

基金项目:国家自然科学基金项目(41171181)

作者简介:米迎宾(1984-),男,吉林白城人。博士研究生,主要从事盐渍土壤改良利用与碳平衡的研究。E-mail: ybmi@issas.ac.cn

通信作者:杨劲松(1959-),男,江苏泰州人。研究员,博士生导师,研究方向为土壤盐渍化防控和盐渍土资源利用。E-mail: jsyang@issas.ac.cn

秸秆(OF+S),⑥免耕(NT)。有机肥施用量为1 500 kg/hm<sup>2</sup>,秸秆还田量为5 000 kg/hm<sup>2</sup>,每个处理3个重复,随机排列。

### 1.3 土壤样品采集与分析

土壤样品于小区内随机采点,所采样品经自然风干后过筛。土壤体积质量的测定采用环刀法。土壤有机碳的测定采用重铬酸钾外加热法<sup>[3]</sup>。土壤呼吸的测定采用静态箱钠石灰吸收法<sup>[4]</sup>。

### 1.4 土壤及植株含碳量的测定与计算

土壤碳库=耕层土壤体积×耕层土壤体积质量×土壤有机碳量

作物植株固定碳量(Ct)为地上部植株固定碳量(Ca)与地下部根系固定碳量(Cr)之和。作物地上部植株固定碳量为:

$$Ca=0.40Y, \quad (1)$$

式中:Y为作物干物质量(kg/hm<sup>2</sup>);0.40为本试验所测定的地上部植株含碳量。

作物地下部根系固定碳量为:

$$Cr=0.35 \times Y \times P / (1-P), \quad (2)$$

式中:Y为作物干物质量(kg/hm<sup>2</sup>);P为根系分配系数,本文P取0.30;0.35为本试验所测定的地下部根系含碳量<sup>[5]</sup>。

### 1.5 统计分析

数据处理用SPSS 16.0和Excel 2010软件分析,用LSD进行差异显著性检验。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同管理措施对土壤CO<sub>2</sub>释放量的影响

不同管理措施对土壤CO<sub>2</sub>的释放影响如图1所示。由图1可知,各措施下土壤CO<sub>2</sub>的释放规律均表现为冬季低,夏季高。在夏玉米生长期,随着温度的升高,土壤CO<sub>2</sub>的释放不断增加,并在8月中上旬达到峰值,其中OF+S处理最高,为7.18 g/(m<sup>2</sup>·d)。冬小麦生长期的土壤CO<sub>2</sub>释放规律表现为先稳定后缓慢上升。在不同作物的种植初期,土壤CO<sub>2</sub>的释放量较少,但随着作物的生长以及气温、降水等外界条件的变化,CO<sub>2</sub>的释放量逐渐增加,并在作物灌浆期达到最大值,随之逐渐减少。

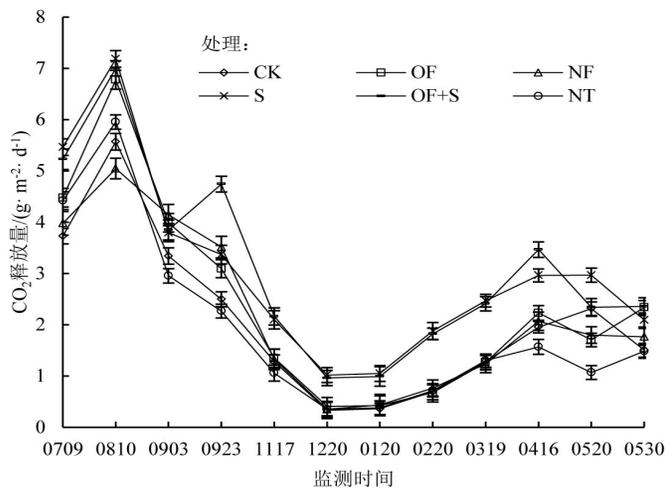


图1 作物生育期内土壤CO<sub>2</sub>释放量的季节变化

在冬小麦生长期(12月一次年2月),土壤CO<sub>2</sub>的释放相对平稳。在本次试验中,随着气温

的升高,土壤CO<sub>2</sub>的释放在7月下旬—8月下旬较高,可能由于该期间内日平均气温达到全年最高水平,同时降水量集中,温度和含水率的改变促进了土壤微生物活性的上升,通过分解作物残留和土壤中累积的碳源,释放出较多的CO<sub>2</sub>;而冬季则与之相反。有分析表明土壤含盐量的升高会对微生物的活性产生抑制作用,使得微生物分解有机质的速率降低,减少土壤CO<sub>2</sub>的排放<sup>[6]</sup>。试验供试土壤为盐渍化土壤,在春夏季,受降水量的影响,土壤表层的盐分被淋洗,含盐量降低后增强了微生物的活性;反之在秋冬季节,降水量较少,土壤盐分随着水分的蒸发被带至土体上层,限制了微生物的活性。

与CK相比,S和OF处理增加了土壤呼吸的强度,其中OF+S处理最高,达到2.74 g/(m<sup>2</sup>·d);而NT处理的平均释放量为1.70 g/(m<sup>2</sup>·d)。NF处理没有显著提升土壤呼吸强度。不同措施下土壤呼吸强度总体表现为OF+S处理>S处理>OM处理>NF处理>CK>NT处理。

在作物生长期,S和OF处理与CK相比土壤碳释放量差异较大,可能是由于随着有机物质的加入,土壤含碳量增加,从而为微生物分解提供了碳源,从而导致碳的排放增加。通过试验,NF处理对土壤碳排放的影响不明显,可能是由于影响土壤呼吸的因素众多,以及氮肥的施用效应较为复杂<sup>[7]</sup>等。NT处理减少了碳的排放,这与多数研究结果基本一致。

## 2.2 不同管理措施对土壤有机碳量及碳库的影响

不同措施下土壤有机碳量的变化如图2所示。在作物种植前,土壤的有机碳量相对较低,通过优化种植,各处理的土壤有机碳量逐渐升高,土壤碳库也随之增加,如表1所示,表明该土壤具有碳汇的功能。OF和S处理增加最多,NT处理次之,玉米和小麦收获后OF处理分别增加了约54%和59%;OF+S处理土壤有机碳量最高,CK最低。NT和OF处理可以促进土壤中碳的累积。

盐渍化土壤通常通过重新结合土体中分散的团粒和提高作物生物量来改良,通过增强土壤颗粒的团聚来增加有机碳的固定。供试土壤的初始有机碳量极低,约为常规土壤的1/10,在1a试验之后有所增加,可能是由于秸秆和有机肥料的施用为土壤提

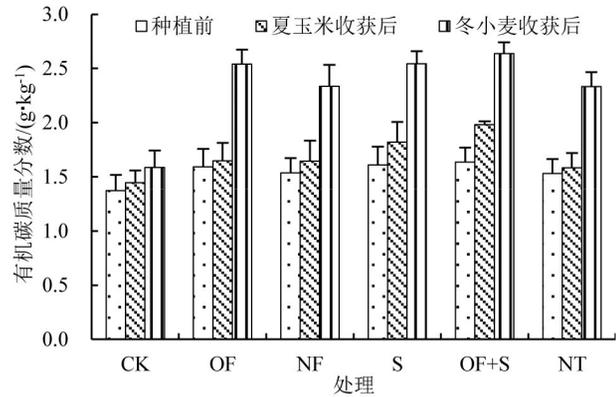


图2 不同处理对土壤有机碳质量百分数(0~40 cm)的影响

表1 不同处理土壤CO<sub>2</sub>累积释放量和碳库变化 kg/hm<sup>2</sup>

处理	土壤CO <sub>2</sub> 累积排放量	试验前土壤碳库	试验后土壤碳库
CK	6 770.85e	754.35a	871.92a
OF	7 445.19c	855.78a	1 364.65a
NF	7 033.71d	831.34a	1 264.53a
S	9 976.58b	862.76a	1 361.93a
OF+S	10 240.77a	859.55a	1 385.86a
NT	6 304.58f	843.54a	1 284.37a

注 同一列不同字母表示在5%水平上差异显著。

供了碳源,使得其有机碳量缓慢升高;另一方面,优化措施改善了土壤结构,增强碳的存留,使得有机碳量升高<sup>[8]</sup>。NT处理通过减少对土壤的扰动从而减少其中有机碳的氧化和分解,增加了有机碳量。NF处理没有明显提高土壤有机碳量,可能是试验所施用的氮肥为易挥发的尿素,而土样是在作物收获后采集,因此对提高有机碳量效果不明显。

## 2.3 不同管理措施对植株碳库的影响

在盐渍化土壤中,土壤含盐量为影响作物生长的主要障碍因子。试验通过对秸秆和有机肥料的施用,降低了表层土壤的含盐量,可能是由于作物秸秆和有机肥的分解促进了土壤团聚体的形成,改善了土壤结构,并通过良好的养分供给和改良作用降低了土壤体积质量,促进了盐分的渗漏和作物的生长,使得作物固定的碳量明显高于CK。

由表2可知,S和OF处理明显提高了作物地上和地下部生物量,增加了植株碳的固定。NT处理没有明显增加作物生物量和碳量。与CK相比,OF和S处理的作物固定碳量分别增加了35%和53%,OF+S处理更加显著。NT处理的作物总固定碳量比CK增加了11%,NF处理没有明显提高作物的固碳能力。

表2 作物地上部和地下部固定碳量

处理	夏玉米生物量		夏玉米固定碳量		冬小麦生物量		冬小麦固定碳量		总固定碳量
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部	
CK	13 278.70	273.04	5 311.48	40.96	5 898.83	757.33	2 359.53	113.60	7 825.57
OF	16 067.37	312.53	6 426.95	46.88	9 782.83	1 319.50	3 913.13	197.93	10 584.88
NF	15 274.80	309.55	6 109.92	46.43	6 233.50	893.00	2 493.40	133.95	8 783.70
S	16 209.45	336.73	6 483.78	50.51	12 957.83	1 707.33	5 183.13	256.10	11 973.52
OF+S	17 779.17	364.33	7 111.67	54.65	13 444.17	1 726.00	5 377.67	258.90	12 802.89
NT	15 079.00	284.93	6 031.60	42.74	6 144.67	885.50	2 457.87	132.83	8 665.03

由表2可以看出,在作物收获后各处理的碳输入均高于碳输出,为碳净输入,表现出较强的碳汇作用。S和OF处理碳净输入均高于CK,表明两处理通过提高有机碳量和作物生物量来增加土壤的碳输入。NT处理的碳净输入相对较高,表明免耕能使土壤积累更多的有机碳而排放更少的CO<sub>2</sub>。由表3可知,OF+S处理的净固碳量要低于OF处理,可能是前者虽提高了土壤碳输入量和作物生物量产量,但同时也增加了土壤的CO<sub>2</sub>释放量,从而使得土壤的碳净输入量较低。

该研究建议当地村民考虑秸秆还田、施用有机肥和免耕措施来提高土壤有机碳量,提高盐渍化农田的固碳能力,以减缓因农田土壤的碳排放而造成的全球气候变化问题。

表3 不同管理措施下各处理碳收支估算

项目	CK	OF	NF	S	OF+S	NT
土壤固定碳量	871.92	1 364.65	1 264.53	1 361.93	1 385.86	1 284.37
作物固定碳量	7 825.57	10 584.88	8 783.70	11 973.52	12 802.89	8 665.03
CO <sub>2</sub> 累积排放量	6 770.85	7 445.19	7 033.71	9 976.58	10 240.77	6 304.58
总固定碳量	8 697.49	11 949.53	10 048.23	13 335.46	14 188.75	9 949.40
△碳	1 926.64	4 504.34	3 014.53	3 358.88	3 947.97	3 644.81

### 3 结论

1)各处理与CK相比均增加了土壤的有机碳量,同时也提高了土壤的CO<sub>2</sub>释放水平,其中以S和OF处理最为明显。

2)NT处理降低了土壤CO<sub>2</sub>的释放,同时也增加了土壤有机碳量。

3)秸秆还田,有机肥的施用和农田免耕措施可以提高土壤碳的输入,表现出碳汇的功能。

#### 参考文献:

- [1] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.
- [2] LAL R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security [J]. Science, 2004, 304(5677): 1 623-1 627.
- [3] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [4] KEITH H, WONG S C. Measurement of soil CO<sub>2</sub> efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38: 1 121-1 131.
- [5] 李成芳, 曹凑贵, 汪金平, 等. 不同耕作方式下稻田土壤CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>的排放及碳收支估算[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2 482-2 488.
- [6] LI Y L, WANG L, ZHANG W Q, et al. Variability of soil carbon sequestration capability and microbial activity of different types of salt marsh soils at Chongming Dongtan [J]. Ecological Engineering, 2010, 36(12): 1 754-1 760.
- [7] 孟凡乔, 关桂红, 张庆忠, 等. 华北高产农田长期不同耕作方式下土壤呼吸及其季节变化规律[J]. 环境科学学报, 2006, 26(6): 992-999.
- [8] WONG V N L, DALAL R C, GREENE R S B. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation[J]. Applied Soil Ecology, 2009, 41(1): 29-40.

## Effects of Different Farmland Managements on Carbon Balance in Coastal Saline Soils

MI Yingbin, YANG Jingsong, YAO Rongjiang, YU Shipeng

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture /Institute of Soil Science,  
Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** To inquire into the effects of different management treatments on carbon balance of the coastal saline soils, field maize-wheat rotation experiments were conducted to study C balance in different management treatments. There were 6 treatments which were ① conventional tillage (CK); ② application of organic fertilizer (OF); ③ application of nitrogen fertilizer (NF); ④ application of straw (S); ⑤ application of organic fertilizer and straw (OF + S); ⑥ no tillage (NT). It turned out that treatments of S and OF increased the emission of soil CO<sub>2</sub>, and the average CO<sub>2</sub> efflux of NT released a quantity to a minimum, the average rate of CO<sub>2</sub> emission in different treatments showed as follows: OF + S > S > OF > NF > CK > NT. After crops harvested, soil organic carbon content increased in each measure, the largest were OF and NT measures, NF did not significantly raise the content of soil organic carbon. After the experiment, carbon input were higher than carbon output in each measure, were all the net carbon input, it showed the strong characteristic of carbon sink. The C net inputs of S and OF measures were significantly higher than CK, these would effectively slow down the global climate change caused by the farmland soil CO<sub>2</sub> emissions.

**Key words:** saline soil; CO<sub>2</sub> emission; soil C pool; carbon balance

责任编辑:赵宇龙