

文章编号: 1001-8166(2005)06-0687-06

长期定量施肥对土壤有机碳储量和土壤呼吸影响

孟磊, 丁维新, 蔡祖聪, 钦绳武

(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, 江苏 南京 210008)

摘要 利用1989年在河南省封丘县潮土上建立的用于研究有机肥(用小麦秸秆和饼肥沤制)和化学肥料对土壤有机碳和土壤生产力影响的长期定位试验,于2002年6月至2003年6月在玉米—小麦轮作期内对土壤呼吸进行了研究。试验包括化肥氮磷钾(NPK)、氮磷(NP)、氮钾(NK)、磷钾(PK)、有机肥(OM)、一半化学氮肥和一半有机氮(1/2OM)以及不施肥(CK)7个处理。试验结果表明,以有机肥或以化肥形式配合施用NPK不但可以极大提高土壤生产力,而且有益于增加土壤有机碳储量。有机肥对土壤有机碳含量的提高作用显著高于化肥。玉米生长期的土壤呼吸占全年呼吸量的56%~59%,小麦生长期只占32%~37%。土壤有机碳储量和土壤呼吸量与有机物质的投入有关。综合考虑经济效益(籽粒产量)和环境效益(全球变化),最佳的肥料配比是有机肥料和无机肥料配合施用,寻求合理可行的有机肥和化肥配合比率是实现农业土壤生产功能和环境功能协调统一的关键。

关键词 玉米—小麦轮作;土壤有机碳;土壤呼吸

中图分类号: S153.6 文献标识码: A

化石燃料燃烧和土地利用方式改变产生大量的CO₂,使得大气CO₂浓度较1750年增加了31%^[1]。由此引发的环境问题令世人广泛关注。1997年,在日本京都召开的联合国气候变化框架公约第三次缔约方大会通过《京都议定书》明确规定发达国家在2008—2012年期间温室气体排放量要在1990年基础上平均削减5.2%。尽管我国不是京都议定书中列入的减排国家,但必须认识到我国也是温室气体排放大国,长期以煤炭作为主要能源的现实使得温室气体排放控制面临巨大挑战,同时也面临着国际社会与日俱增的要求减缓温室气体排放的巨大压力。

鉴于合理的农业管理措施可以明显提高北美土壤有机碳储量,土壤科学家认为这可以使土壤由大气CO₂源变为大气CO₂汇。IPCC也在1996年版指南的“土地利用变化和森林”部分中增加了新子类

“矿质土壤碳储量的变化”,这使汇的概念逐渐演变为“碳储量”变化,确认了土壤固碳的可行性。通过对陆地生态系统中碳循环及未来发展趋势总结分析,一些学者认为农业土壤在降低大气CO₂升高和减缓温室效应方面具有很大潜力^[2,3]。

我国过去对农业土壤碳进行了长期研究,但目标是为了提高土壤肥力,很少把土壤碳循环与全球变化联系起来。近年来,土壤碳储量与大气温室效应关系已经受到土壤学家的关注,不足的是研究工作仅局限于不同生态系统中土壤有机碳储量的调查和统计理论方法研究^[4,5],忽视了对影响土壤有机碳储量的农业管理措施和自然因素的研究。而后者是探索提高土壤有机碳储量和土壤肥力以维持农业可持续发展的关键。为此利用长期田间定位试验,对土壤有机碳和土壤呼吸动态变化以及两者之间关

* 收稿日期: 2004-06-24 修回日期: 2004-10-28.

* 基金项目: 国家杰出青年科学基金项目“农田土壤碳循环与全球变化关系的研究”(编号: 40125004); 中国科学院知识创新工程重大项目“农田生态系统碳循环过程研究”(编号: KZCX1-SW-01-01)资助.

作者简介: 孟磊(1973-)男,安徽萧县人,博士研究生,主要从事农田土壤氮循环与温室效应排放关系的研究.

E-mail: mengle@94@sdu.com

系进行了研究 同时结合土壤生产力变化 期望找到一种具有较高经济效益和环境效益的施肥方案,为增加土壤碳储量提供借鉴。

1 材料和方法

(1) 试验土壤概况。试验地点位于河南省封丘县的中国科学院封丘农业生态国家实验站(35°04'N, 113°40'E)。该区域属半干旱半湿润的暖温带季风气候,年均降水量 605 mm,主要集中于 7~9 月。试验始于 1989 年秋季,采用冬小麦—玉米轮作。供试土壤为轻质黄潮土。试验初始时土壤有机碳 5.83 g C/kg、全 N 0.445 g N/kg、全 P 9.51 g P₂O₅/kg、全 K 1.93 g K₂O/kg、速效 N 9.51 g N/kg、速效 P 1.93 g P₂O₅/kg、速效 K 78.8 g K₂O/kg 和 pH 8.65。土壤肥力呈缺 NP 和富 K。

(2) 试验设计。试验设 7 个处理: 化肥 N + 化肥 P + 化肥 K (简称 NPK, 下同); 化肥 N + 化肥

P (NP); 有机肥(OM); 有机肥 N 和化肥 N 各半(1/2OM); 化肥 P + 化肥 K (PK); 化肥 N + 化肥 K (NK); 不施肥(CK 对照),每处理重复 4 次。小区面积 47.5 m²。每季作物肥料用量: 尿素 150 kgN/hm², 过磷酸钙 75 kgP₂O₅/hm², 硫酸钾 150 kgK₂O/hm²。有机肥由粉碎的小麦秸秆、大豆饼和棉籽饼按 100:40:45 比例混合,经 2 个月的堆制发酵而成,依据有机肥中氮含量确定其用量,每季用量约 4 500 kg(干重),其中 PK 不足部分以化肥 PK 补充。肥料以基肥和追肥形式两次施入土壤。基肥施入土壤时间一般在作物播种前一天,对于玉米和小麦来讲分别在 6 月和 10 月中旬进行,基肥施入后翻耕土壤。追肥分别在 7 月下旬和 2 月下旬进行地表撒施,然后灌水。进行土壤呼吸测定时施肥量见表 1,玉米和小麦的基肥和追肥时间分别为 2002 年的 6 月 11 日、10 月 10 日和 2002 年 7 月 26 日、2003 年 2 月 28 日。

表 1 土壤呼吸通量测定期间试验小区施肥量(kg/hm²)

Table 1 Fertilizer rates of experiment plots in the period of measurement of soil respirations (kg/hm²)

处理	玉米生长期					小麦生长期				
	基肥				追肥	基肥				追肥
	N 肥	P 肥	K 肥	有机肥	N 肥	N 肥	P 肥	K 肥	有机肥	N 肥
NPK	60	60	150	0	90	90	75	150	0	60
NP	60	60	0	0	90	90	75	0	0	60
OM	0	11.55	85.62	9 317	0	0	30.1	72.24	9 868	60
1/2OM	0	35.77	117.8	4 659	75	15	52.55	111.6	5 905	60
PK	0	60	150	0	0	0	75	150	0	0
NK	60	0	150	0	90	90	0	150	0	60
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(3) 气体采集和测定。采用静态箱法测定土壤呼吸。玉米生长前期采样频率为 3 天⁻¹次,生长后期为 7 天⁻¹次。降雨或灌溉后增加采样 1 次。小麦生长初期每 3 天⁻¹次。气温降低后 7 天⁻¹次,当气温持续低于 5℃,采样停止,气温回升到 5℃恢复为 3 天⁻¹次。降雨、下雪或灌溉后,采样增加 1 次。

采集箱体积为 31.5 m × 30.5 m × 10 cm。采样时,采样箱置于采样框上,并用水密封,用 50 mL 注射器从采集箱中部的采气孔插入,来回抽动 3 次以混匀气体,接着抽出 20 mL 注入体积为 18 mL 真空瓶内。采样时间固定在上午 8:00~11:00,采样按区组进行,以减少土壤呼吸的日变化影响。

使用岛津气相色谱分析仪(Shimadzu GC-14B)分析 CO₂ 浓度,检测器为热导检测器(TCD)。高纯氢作载气。通过标准气体和待测气体的峰面积

来计算待测气体的浓度。

(4) 土壤累积呼吸量的计算。

$$M = (F_{i+1} + F_i) / 2 * (t_{i+1} - t_i) * 24$$

M 为土壤累积呼吸量, F 为 CO₂ 排放通量, i 为采样次数, t 为采样时间即播种后天数。

2 结果

2.1 不同施肥处理对土壤有机碳含量的影响

施肥明显造成耕层土壤有机碳含量的差异(图 1)。有机肥处理的土壤有机碳含量明显高于无机肥料。OM 土壤有机 C 含量的增加幅度和增加速率最大,2002 年时已达 8.73 g/kg,其年际变化趋势表明其仍将继续增加。1/2OM 次之,但从图 1 的变化趋势来看,1/2OM 在 2000 年时已经基本平衡,平衡值约为 7.06 g/kg。无机肥料处理中,均衡施肥土壤

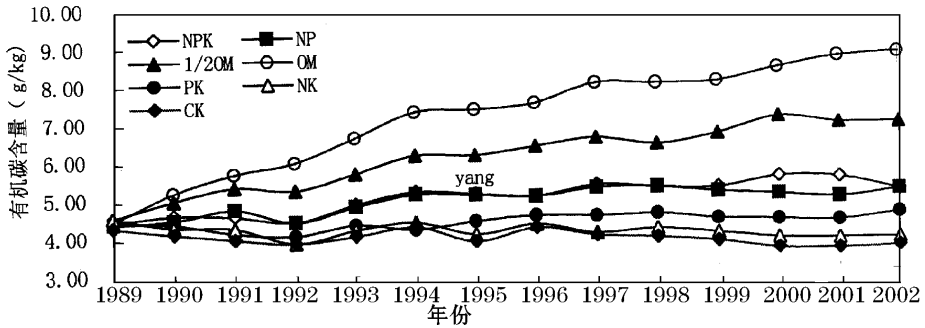


图1 土壤耕层有机碳动态变化

Fig.1 Yearly variation of soil organic C in plough layer

有机碳含量高于养分缺乏的土壤。NPK 和 NP 土壤有机碳含量变化基本一致,从有机碳含量变化趋势来看,NPK 和 NP 于 1997 年已接近平衡,近似平衡值为 5.23 g/kg ,两处理有机碳含量低于有机肥处理。PK 耕层土壤有机碳含量变化趋势在试验开始几年(1989—1994 年)与 NK 和 CK 较为一致,之后由于后两处理土壤有机 C 含量下降而低于 PK,与初始有机碳水平相比,两处理有机 C 含量有所下降。

施肥也造成土壤有机 C 年际变化存在着差异。OM 有机 C 含量持续增加,1/2OM、NPK、NP 和 PK 有机 C 为波动式递增。有机 C 含量下降的处理也有类似的趋势。耕层土壤有机碳含量年际变化趋势表明了土壤有机碳含量不会无限升高或降低。土壤有机碳含量因处理不同而存在着差异,施肥也影响着耕层土壤有机 C 含量达到平衡所需要的时间,其达到平衡时需要时间长短表现为: $\text{NPK} = \text{NP} < 1/2\text{OM} < \text{OM}$ 。

若以每公顷农田土壤 225 万 kg 计,则至 2002 年,OM 的耕层土壤有机碳增量(每公顷土壤重量 \times (2002 年土壤碳含量 - 1989 年土壤碳含量))最大,达到 $10\,145 \text{ kg/hm}^2$,年增加 780 kg C/hm^2 ; 1/2OM 次之,耕层土壤有机碳增量增加了 $5\,806 \text{ kg/hm}^2$; NPK 和 NP 为 $1\,456 \text{ kg/hm}^2$,PK 多数年份里仍起到大气 CO_2 汇的作用。NK 处理土壤有机碳损失量最多达到 $3\,255 \text{ kg C/hm}^2$,与 CK 的 $3\,239 \text{ kg/hm}^2$ 相近,因此磷对减小土壤有机碳损失增加具有重要的作用。

2.2 不同施肥处理对土壤呼吸量的影响

施用有机肥土壤年呼吸总量显著高于其它处理,OM 和 1/2OM 分别为 $3\,873$ 和 $3\,733 \text{ kg CO}_2\text{-C/hm}^2$,但有机肥用量不同没有导致土壤呼吸量产生

显著差异,NPK 次之,为 $3\,336 \text{ kg CO}_2\text{-C/hm}^2$,显著高于 NP 的 $3\,004 \text{ kg CO}_2\text{-C/hm}^2$ 。PK 和 NK 处理土壤年呼吸量远小于上述处理,接近于 CK 处理。

在玉米生长期,不同处理土壤呼吸总量排序态势与年呼吸总量基本一致,惟一区别是处理 NPK 和 NP 之间差异不显著。小麦生长期有机肥与 NPK 之间差异不显著,但都明显高于 NP、PK、NK 和 CK 的土壤呼吸量与年排放量和玉米生长期的结果比较一致,但土壤呼吸总量远小于其它处理。

从表 2 可看出,土壤呼吸释放的 CO_2 主要来自玉米生长期,占年呼吸总量的 $56\% \sim 59\%$,小麦生长期仅占 $32\% \sim 37\%$,其余为农田休闲期排放,占 $7\% \sim 9\%$ 。结合各时期的天数,可计算出各阶段的土壤呼吸速率(排放天数),其各期的土壤呼吸速率的比较结果为:玉米生长期 $>$ 休闲期 $>$ 小麦生长期。

土壤呼吸速率具有一定的季节性变化规律(图 2)。除前期因土壤耕种引发较高土壤呼吸速率外,土壤呼吸与作物生长有着密切联系。玉米播种后的 30 多天 and 70 多天分别是营养生长及营养和生殖生长最旺盛的时期,土壤呼吸也在那时达到峰值,后期玉米生长衰弱,土壤呼吸降低。小麦田土壤呼吸速率同时受小麦生长和温度的影响。低温限制小麦生长和微生物活性,导致很长一段时间土壤处在 $10 \text{ mg CO}_2\text{-C/(m}^2 \cdot \text{h)}$ 以下的较弱呼吸状况。温度回升后,土壤呼吸在小麦旺盛生长时达到最大。

玉米生长初期,OM 土壤呼吸显著高于 NPK,这是造成玉米期 OM 呼吸量高于 NPK 关键,随着生长进行,OM 和 NPK 的差异消失,CK 土壤呼吸也有所增强,但 OM 和 NPK 显著高于 CK。而小麦生长期,OM 和 NPK 的土壤呼吸基本一致,除低温时期外,二处理显著高于 CK。

表 2 施肥对土壤呼吸的影响

Table 2 Influence of fertilization on soil respiration

处 理	年排放总量 ($\text{kgCO}_2\text{-C}/\text{hm}^2$)	玉米生长期		小麦生长期	
		排放量 ($\text{kgCO}_2\text{-C}/\text{hm}^2$)	占年排放量的 比例 (%)	排放量 ($\text{kgCO}_2\text{-C}/\text{hm}^2$)	占年排放量的 比例 (%)
OM	3 873 \pm 295.3a	2 278 \pm 248.9a	59	1 316 \pm 46.4a	34
1/2OM	3 733 \pm 117.2a	2 134 \pm 51.8a	57	1 313 \pm 50.4a	35
NEK	3 336 \pm 83.0b	1 880 \pm 29.9b	56	1 224 \pm 115.5a	37
NP	3 004 \pm 31.6c	1 727 \pm 93.9b	57	1 039 \pm 64.6b	35
PK	2 141 \pm 184.0d	1 229 \pm 96.4c	57	735 \pm 60.4c	34
NK	2 008 \pm 90.4d	1 161 \pm 29.1c	58	679 \pm 44.3c	34
CK	1 937 \pm 124.0d	1 142 \pm 84.6c	59	609 \pm 48.7c	32

注:不同字母表示差异达到 5% 显著水平

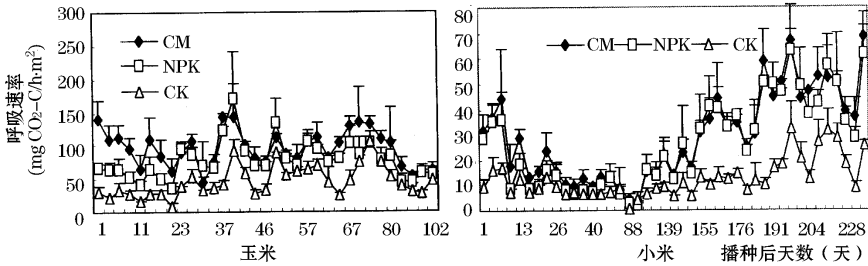


图 2 玉米和小麦土壤期间土壤呼吸速率

Fig. 2 Rate of soil respiration during the maize and wheat growth period

2.3 不同施肥处理的经济—环境效益比较

以籽粒产量来表示不同施肥处理土壤的生产力。由表 3 可见, NPK 和 1/2 OM 的生产力最高, 分别达到 11 259 kg/hm^2 和 11 493 kg/hm^2 , 其次为 NP 的 10 226 kg/hm^2 , OM 为 9 557 kg/hm^2 , 显著低于上述三处理。PK 和 NK 虽然高于 CK 的生产力, 但从农业生产来讲, 产量过低, 不予考虑。

土壤生产力高的处理在获取单位籽粒产量同时需要向大气排放 CO_2 的数量上没有显著差异, 即每收获 1 kg 籽粒要排放 0.29 ~ 0.41 $\text{kgCO}_2\text{-C}$, PK 为

表 3 作物籽粒产量、土壤呼吸量与籽粒产量比率 and 根茬量的比较

Table 3 Comparison of crop yield ratio of soil respiration to rop yield and amount of root and residual straw

处 理	籽粒总产量 (kg/hm^2)	呼吸量/籽粒产量 ($\text{CO}_2\text{-C}/\text{kg}/\text{hm}^2$)	玉米根茬量 (kg/hm^2)	小麦根茬量 (kg/hm^2)
NPK	11 295 \pm 24 a	0.30 \pm 0.01 a	2 835 \pm 34 a	2 013 \pm 40 a
1/2OM	11 493 \pm 209 a	0.32 \pm 0.02 a	2 829 \pm 46 a	2 129 \pm 50 a
NP	10 226 \pm 155 b	0.29 \pm 0.01 a	2 680 \pm 42 b	1 667 \pm 49 b
OM	9 557 \pm 121 c	0.41 \pm 0.03 a	2 358 \pm 63 c	1 730 \pm 80 b
PK	2 509 \pm 137 d	0.85 \pm 0.09 b	534 \pm 33 c	540 \pm 37 c
NK	1 365 \pm 93 e	1.48 \pm 0.16 c	399 \pm 30 e	179 \pm 3 d
CK	1 007 \pm 49 f	1.92 \pm 0.03 d	266 \pm 17 e	159 \pm 10 e

注:不同字母表示差异达到 5% 的显著水平

0.85 $\text{kg CO}_2\text{-C}$, 低于 NK 的 1.48 $\text{kg CO}_2\text{-C}$, 以 CK 最高, 达到 1.92 $\text{kg CO}_2\text{-C}$, 表明作物对磷吸收所需消耗的能量高于对氮吸收。

施肥影响作物籽粒产量的同时, 也影响着以根茬方式归还到土壤的有机物量。根茬量与籽粒产量存在着正相关。土壤生产力越高, 归还到土壤的根茬量就越多。

3 结论与讨论

(1) 施肥影响农田耕层土壤有机碳储量和有机碳达到平衡所需时间。很多研究者在土壤类型、气候条件和利用方式不同的前提下, 得出有机肥或有机无机肥料混合施用都能显著提高土壤有机碳含量^[6-9], 我们的结果与此相一致。但单独施用化肥的结果则不尽相同, 祝华明等^[7]和马成泽等^[6]认为化肥的作用持平或者略有下降, 而张付申^[8]则认为在一定程度上提高有机质含量。后者的结论与我们的一致, 即均衡施用化学肥料对土壤有机碳也有一定的促进作用。造成这一差异的原因可能是试验土壤原始有机碳水平不同。当试验土壤有机碳低于最低平衡点, 施用化学肥料就能提高土壤有机碳含量。李忠佩等^[9]确定的潮土有机碳平衡值为 5.8 g/kg , 低于 1/2OM 在 2000 年测定的 7.06 g/kg , 只与 NPK

和NP的相近。在我们田间管理中,没有把作物秸秆投入土壤,进入土壤的仅是作物根茬。从表3列出的根茬量和表1列出的有机肥量计算出进入土壤有机物量为 $OM > 1/2OM > NPK$ 和NP。综合土壤有机碳含量和达到平衡所需时间,可认为土壤有机碳储量受进入土壤的有机物量影响,进入土壤有机物量越多,土壤碳储量越多,达到平衡所需时间也就越长。李志佩等^[9]得出的结果可能只反映在没有足够有机物投入下的情况。崔玉厅^[10]和李成绪^[11]等认为以土壤有机碳含量 $5.8 \sim 8.7g/kg$ 作为培肥标准在华北平原是切实可行的。 $1/2OM$ 、 NPK 和NP的有机碳平衡值落在这一范围内。因此对于华北平原加大有机物投入,土壤有机碳含量增加的潜力还很大。潘根兴^[14]的研究结果表明华北平原农业土壤有机碳相当贫乏,这也说明华北平原土壤具有较大的碳储量增加的空间。因此在农业生产中,秸秆还田不仅可以解决秸秆去向,改善土壤性质,而且从全球变化角度来讲也有重要意义。

(2) 土壤呼吸量强度与土壤生产力和有机肥施入密切相关。施入有机肥提高了农田土壤有机碳含量,同时改善了土壤理化和生物学性质^[12,13], OM 的土壤微生物呼吸强度高于 NPK 。当作物根系呼吸比较弱时,土壤微生物呼吸主导着土壤呼吸,加上土壤耕作促进土壤有机碳分解,在玉米生长前期 OM 处理的土壤呼吸量显著高于 NPK 。因此有必要加强玉米生长前期土壤呼吸研究。研究结果还表明,植物光合作用固定碳的20%以根际沉析的形态进入根际,其中又有25%~50%以 CO_2 的形式返回大气^[15]。根系呼吸占土壤总呼吸量的比例变化在30%~70%之间^[16]。 NPK 对作物生长的促进作用大于 OM , NPK 的根系呼吸大于 OM ,综合表现就是随着作物生长, NPK 和 OM 处理之间土壤呼吸速率差异逐渐消失。小麦生长期, OM 处理的土壤微生物活性仍高于 NPK ,但由于温度限制,已不如玉米生长期明显, NPK 处理中根茬留下的易分解有机物高于 OM ,部分补充了无有机肥施入出现的亏缺,使得二者差异不明显。

土壤有机碳含量由土壤有机碳输入和输出之间平衡所决定。有机肥施入和秸秆还田是农田土壤有机物料输入的主要途径。进入土壤的有机物需要经过微生物的分解和再合成过程才能成为土壤有机质,所以在稳定农业利用和管理下进入土壤的有机物越多,形成的有机质也越多,土壤呼吸就越大。李长生^[17]运用DNDC模型验证了这一点。通过模拟

中美两国农业土壤碳循环,结果发现中美两国每年以 CO_2 形式丢失的农田碳量分别为366 Tg和812 Tg,尽管美国土壤有机碳损失量是中国的2倍,但美国以农作物残留物补充到土壤的碳量是中国的3倍,结果是美国农业土壤有机碳含量逐年增加,中国则相反。这就是农业生态系统中碳一方面大进大出,另一方面又保持土壤碳的净增。土壤有机质合成和分解速率都增加,但合成速率高于分解速率,使得土壤碳增加。这与我们的试验结果类似,农田土壤碳输入多,土壤碳储量大,土壤呼吸强。

(3) 经济和环境综合考虑,有机无机肥配施是最佳选择。生产单位籽粒产量需要排放的 CO_2 量因施肥不同而存在着差异,以不均衡施肥为较高,均衡施肥较低。相对于均衡施肥,不均衡施肥形成单位作物产量需要付出额外的能量去获取土壤养分。考虑到化学肥料在生产过程中的能耗,本结论尚存变数。在生产力水平较高的几个处理中,土壤呼吸量与籽粒产量之比没有显著差别。因此需要从经济、社会和环境等多方面来综合考虑筛选合适的施肥方案。调查表明,当地农业生产中,只有作物籽粒进入消费领域,秸秆一般被遗弃在农田或被焚烧,造成大量浪费并对环境产生污染。以作物秸秆为主堆制成的有机肥施入农田后进行的长期观察结果表明,完全施用有机肥料,可以解决秸秆去向问题,同时可以提高土壤碳容量,但作物产量无法保证。完全施用化肥,能够获得较高作物产量,但经济成本高,环境效益不显著。因此最佳选择是采用有机和无机肥配合施用,既可以减少化肥用量,减少化肥生产过程中能量消耗,解决秸秆处理问题,又可以提高土壤有机碳储量。因此寻求合理可行的有机物进入量和化肥施用是当前的迫切任务,也是实现土壤生产功能和环境功能协调发展的关键。

参考文献(References):

- [1] IPCC. Climate change 2001—The scientific basis. Contribution of Working Group to the Third Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. New York, London: Cambridge University Press, 2001.
- [2] Guo Liping, Lin Erda. Research advances on mitigating global warming and greenhouse gas sequestration [J]. Advances in Earth Science, 1999, 14(4): 384-389. [郭李萍,林而达.减缓全球变暖与温室气体吸收汇研究进展[J].地球科学进展,1999, 14(4): 384-389.]
- [3] Qu Jiansheng, Sun Chengquan, Zhang Zhiqiang, et al. Trends and advances of the global changes studies on carbon cycle [J]. Advances in Earth Science, 2003, 18(6): 980-987. [曲建升,孙成权,张志强等.全球变化科学中的碳循环研究进展与趋向[J].地球科学进展,2003,18(6): 980-987.]
- [4] Li Z, Zhao Q G. Carbon dioxide fluxes and potential mitigation in

- agriculture and forestry of tropical and subtropical China [J]. *Climate Change*, 1998, 40: 119-132.
- [5] Jin Feng, Yang Hao, Zhao Qiguo. Advances in storage of soil organic carbon and the influencing factors [J]. *Soils*, 2000, 32: 11-17. [金峰, 杨浩, 赵其国. 土壤有机碳储量及影响因素研究进展 [J]. *土壤*, 2000, 32: 11-17.]
- [6] Ma Chengze, Zhou Qin, He Fang. Surplus-deficit distribution of organic carbon in soil under combined fertilization [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1994, 31(1): 34-41. [马成泽, 周勤, 何方. 不同肥料配合施用土壤有机碳盈亏分布 [J]. *土壤学报*, 1994, 31(1): 34-41.]
- [7] Zhu Huaming, Wang Meiqin, Wu Zhongmei. The effect of fertilization on organic matter, nutrient evolution and crop yield in red sandy soil [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1995, 26(2): 76-77. [祝华明, 王美勤, 吴梅梅. 施肥对红砂田有机质及土壤养分演变与作物产量的影响研究 [J]. *土壤通报*, 1995, 26(2): 76-77.]
- [8] Zhang Fushen. Effect of different application of fertilizers to Lou soil and Yellow loamy soil on the oxidizable stability of soil organic matter [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 1996, 30(1): 80-84. [张负申. 不同施肥处理对娄土和黄绵土有机质氧化稳定性的影响 [J]. *河南农业大学学报*, 1996, 30(1): 80-84.]
- [9] Li Zhongpei, Lin Xinxiang, Che Yuping. Analysis for the balance of organic carbon pools and their tendency in typical arable soils of Eastern China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3): 351-360. [李忠佩, 林心雄, 车玉萍. 中国东部主要农田土壤有机碳库的平衡与趋势分析 [J]. *土壤学报*, 2002, 39(3): 351-360.]
- [10] Cui Yuting, Han Chunru, Long Mihu. Studies on optimum value of soil organic matter content cropped by rotation of wheat and corn under intensive cropping conditions with high yield in Huang-Huai-Hai plain region [J]. *Journal of China Agricultural University*, 1997, 2(5): 25-29. [崔玉厅, 韩纯儒, 龙牧华. 小麦—玉米集约高产条件下土壤有机质培肥目标探讨 [J]. *中国农业大学学报*, 1997, 2(5): 25-29.]
- [11] Li Chengxu. Soil fertility and the regulation of organic matter [J]. *Journal of Agriculture of Hebei*, 1989, 9(4): 31-36. [李成绪. 土壤肥力和有机质调控 [J]. *河北农学报*, 1989, 9(4): 31-36.]
- [12] Huang Bufan. Studies on effect of turnover of green manure and wheat straw into soil on soil fertility I. Effect of green manure and wheat straw on characteristics of aggregates and organic matter in soil [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1984, 21(2): 113-122. [黄不凡. 施入土壤绿肥和小麦秸秆的转化对土壤肥力的影响研究. I. 绿肥和小麦秸秆对土壤聚合体属性和土壤有机质的影响 [J]. *土壤学报*, 1984, 21(2): 113-122.]
- [13] Xu Xiuyun, Yao Xianliang, Liu Keying. Effect of long-term application of organic materials on some physical properties of paddy soils from red soil [J]. *Soils*, 1996, 28(2): 57-61. [许秀云, 姚贤良, 刘克樱. 长期施用有机肥对红壤性水稻土物理属性的影响 [J]. *土壤*, 1996, 28(2): 57-61.]
- [14] Pan Genxing. Estimates of soil organic carbon pools of China [J]. *Science and Technology Bulletin*, 1999, 15(5): 330-332. [潘根兴. 中国土壤有机碳—无机碳库量研究 [J]. *科技通报*, 1999, 15(5): 330-332.]
- [15] Wang Jianlin. Rhizosphere of micro-ecosystem and global change [A]. In: Zhao Qiguo. *Pedosphere-Material Cycling in Pedosphere in Relation to Agriculture and Environment* [C]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1995. 84-91. [王建林. 根际微生态系统和全球变化 [A]. 见: 赵其国. *土壤圈—土壤圈物质循环与农业和环境的关系* [C]. 南京: 江苏科技出版社, 1995. 84-91.]
- [16] Li Linghao. Soil respiration in grassland communities in the world [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 7(4): 45-51. [李凌浩. 草地群落的土壤呼吸 [J]. *生态学杂志*, 1998, 7(4): 45-51.]
- [17] Li Changsheng. Loss of soil carbon threatens Chinese agriculture: A comparison on agro-ecosystem carbon pool in China and US [J]. *Quaternary Sciences*, 2000, 20(4): 345-350. [李长生. 土壤碳储量减少: 中国农业之隐患——中美农业生态系统碳循环对比研究 [J]. *第四纪研究*, 2000, 20(4): 345-350.]

STORAGE OF SOIL ORGANIC C AND SOIL RESPIRATION AS EFFECTIVE LONG-TERM QUANTITATIVE FERTILIZATION

MENG Lei, DING Wei-xin, CAI Zuo-cang, QIN Sheng-wu

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: To understand the influence of organic manures composted with the wheat straws, oilcakes and cottonseed cakes, and chemical fertilizers on soil organic carbon and soil productivity, a long-term plot experiment was established in a calcareous fluvo-aquic soil (aquic inceptisol) in Fengxiu township, Henan province, China in September 1989 and was used to monitor soil respiration during the maize and wheat growth seasons from June 2002 to June 2003. The study involved 7 treatments: organic manure (OM), half organic manure plus half fertilizer N (1/2OM), fertilizer NPK (NPK), fertilizer NP (NP), fertilizer NK (NK), fertilizer PK (PK) and control (CK). The input of NPK as either organic manures or chemical fertilizers not only greatly improved soil productivity but also was of benefit to the soil as a carbon sink. However, the organic carbon in soils amended with organic manure was greatly higher than in the soil fertilized with chemical fertilizers and increased with the rate of organic manure applied. CO₂ flux resulted from soil respiration mainly occurred during the maize growth period, accounting for 56% ~ 59% of annual CO₂ emission, whereas 32% ~ 37% during the wheat growth period. The study suggests that the combination application of organic manures and chemical fertilizers should be the optimal measure from the viewpoint of environment and economy. A further study is necessary to elucidate the reasonable and feasible ratio of organic manure to chemical fertilizers, which will benefit the soil fertility, productivity and global environment.

Key words: Rotation of maize-winter wheat; Soil organic carbon; Soil respiration.