

鄱阳湖地区长期施肥双季稻田生态系统 净碳汇效应及收益评估

余喜初¹, 李大明^{1*}, 黄庆海¹, 喻耀民², 熊 军², 胡惠文¹, 徐小林¹, 陈 明¹

(1.江西省红壤研究所 农业部鄱阳湖区红壤耕地质量与环境重点野外科学观测站, 南昌 331717; 2.江西省永修县农业局, 江西 九江 330300)

摘 要:以江西省红壤所长期施肥红壤水稻土双季稻农田生态系统为研究对象,利用不同施肥处理作物产量及土壤有机质含量等测定数据结合调查获得的生态系统物质和管理投入资料,估算了不同施肥处理(不施肥(CK)、单施氮肥(N)、单施磷肥(P)、单施钾肥(K)、氮磷肥配施(NP)、氮钾肥配施(NK)、氮磷钾配施(NPK)、两倍氮磷钾配施(2NPK)、有机肥与氮磷钾肥配施(NPKM))双季稻生态系统的碳汇效应和经济效益。结果表明,有机肥和化肥配施(NPKM)既提高了系统的作物固碳量又显著增加了土壤的固碳量,使得其净碳汇效应最大,为 $8.78 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;两倍氮磷钾配施(2NPK)系统的净碳汇效应为 $8.11 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,二者均高于氮磷钾配施(NPK)处理的 $7.03 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,不施肥及单施一种或两种无机肥配施系统的净碳汇效应均明显减弱,其中不施肥处理(CK)最小为 $4.52 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,单施 N 肥比单施 P、K 肥在提高系统净碳汇效应上作用明显。配施有机肥(NPKM)稻田的作物产量和经济效益也高于无机肥配施处理(NPK 和 2NPK),不施肥、单施一种或两种无机肥配施稻田的作物产量和经济效益明显偏低。因此,稻田施用一定量的无机肥是提高稻田生态系统碳汇效应和经济效益的保证,而配施有机肥可以明显提高稻田生态系统的碳汇效应和经济效益。

关键词:长期施肥;双季稻农田生态系统;净碳汇效应;经济效益

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)09-1777-06

Net Carbon Sink Effects and Economic Benefits in Double Rice Ecosystem Under Long-term Fertilization in Poyang Lake Region

YU Xi-chu¹, LI Da-ming^{1*}, HUANG Qing-hai¹, YU Yao-min², XIONG Jun², HU Hui-wen¹, XU Xiao-lin¹, CHEN Ming¹

(1.Poyang Lake Field Reddish Paddy Soil Pivotal Observational and Experimental Station of Agricultural Ministry, Research Institute of Red Soil of Jiangxi Province, Nanchang 331717, China; 2.Bureau of Agriculture of Yongxiu, Jiujiang 330300, China)

Abstract: The net carbon sink and economic benefits of double rice cropping ecosystem under long-term fertilization were estimated based on the measurement of rice yield, soil organic matter content and the investigation of material and management inputs, in Poyang Lake Field Reddish Paddy Soil Pivotal Observational and Experimental Station of Agricultural Ministry. The treatments includes: no fertilization(CK); single N(N); single P(P); single K(K); combined N and P(NP); combined N and K(NK); combined N, P and K(NPK); double combined N, P and K(2NPK) and combined inorganic/organic fertilization(NPKM). The carbon sequestration from crop and soil increased under combined inorganic/organic fertilization(NPKM) compared to that under inorganic fertilization only(NPK). Increased inorganic fertilization(2NPK) did not improve ecosystem net carbon sink significantly. The net carbon sinks of NPK, 2NPK and NPKM were $7.03 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, $8.11 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ and $8.78 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively. It reduced ecosystem carbon sink significantly under lower fertilization level and no fertilization ecosystem, the net carbon sink was $4.52 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ under no fertilization(CK) ecosystem and it is the lowest in all the treatments. The difference of the economic benefits under different treatments was almost the same as that of ecosystem net carbon sink. The N fertilizer is better than P and K fertilizer on improving paddy field ecosystem net carbon sink and economic benefits in Poyang Lake region. The application of organic fertilizer besides inorganic fertilizer could increase both ecosystem net carbon sink and economic benefits; no fertilization and less fertilization reduced the ecosystem net carbon sink and economic benefits significantly. So, the proper inorganic fertilizer appli-

收稿日期:2011-03-19

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费(201003016);农业部开放基金资助

作者简介:余喜初(1973—),男,江西都昌人,推广硕士,副研究员,主要从事植物营养方面的研究。Email: yxchu@163.com

* 通讯作者:李大明 E-mail: lid_2005@126.com

cation is necessary to keep higher crop yield and improve ecosystem net carbon sink, the application of organic fertilizer besides inorganic fertilizer is an effective method to achieve the objective of the lower carbon and high quality agriculture.

Keywords: long-term fertilization; double rice cropping ecosystem; net carbon sink; economic benefits

全球灾难性气候日益增多和加剧使人类意识到大气温室气体浓度升高带来的巨大危害,控制和减轻温室效应已经成为当前研究者关注的重要问题。而减少人类活动过程中能源的消耗和温室气体的排放则是要解决这一问题最直接的手段和方法。农田生态系统作为受人类影响最大的自然生态系统,其固碳能力历来受到关注^[1-4]。Pan^[5]认为,我国农田土壤具有显著的固碳减排潜力,其中稻作农业的土壤固碳潜力十分突出。研究表明,通过改进和优化耕作措施,如采用保护性耕作措施、扩大水田种植面积、增加秸秆还田、增加有机肥施用和采用轮作等,可以减少农田土壤CO₂净排放,保持甚至增加土壤有机碳贮量^[3]。目前,研究者已经从单独的研究农田土壤的碳汇效应转向研究整个农田生态系统的净碳汇效应。国外对生态系统碳汇效应的研究大部分都集中在森林、草地等自然生态系统中,对农田生态系统的研究相对较少^[6-8]。国内对此的研究则以农田生态系统为主,而研究对象则以稻田居多^[9-11]。李洁静等对太湖地区水稻-油菜轮作模式和江西双季稻连作模式农田生态系统碳汇效应的研究结果显示:水田较早旱作有较高的碳汇效应,有机肥和无机肥配施也可以提高系统的碳汇效应和经济效益,不施肥农田生态系统的碳汇效应和经济效益都显著偏低^[9-10]。相同的结果也出现在彭华等对洞庭湖地区不同施肥条件的双季稻农田生态系统的研究中^[11]。但目前的研究主要集中在化肥的配施以及有机肥和无机肥配施的农田生态系统中,缺少增施无机肥及单施某一种化肥农田生态系统的碳汇效应的报道。因此,本文利用鄱阳湖地区江西省红壤研究所稻田长期化肥定位试验积累的数据,比较单施一种化肥、化肥配施、有机肥无机肥配施及加倍施用无机肥双季稻农田生态系统的碳排放、作物和土壤的固碳量以及系统净碳汇的差异,同时对不同施肥处理的经济效益进行比较,为制定低碳、高值的农业生产施肥措施提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究对象为红壤性水稻土稻-稻轮作系统,是江

西省红壤研究所长期肥料试验观测基地的一部分,位于江西进贤县(116°20'24"N, 28°15'30"E),为典型低丘红壤地区(海拔高度25~30 m,坡度5°),土壤类型是第四纪红粘土发育的水稻土。该地年均降雨量1 549 mm,年蒸发量1 100~1 200 mm,干湿季节明显,3—6月为雨季,降雨量占全年雨量的61%~69%;7—9月为旱季,蒸发量占全年蒸发量的40%~50%;无霜期289 d,年积温6 480 °C;年均气温17.3 °C,最冷月(1月)气温为4.6 °C,极端低温可达-10 °C左右,并常伴有雨雪或冰冻;夏季晴旱酷热,最热月(7月)平均气温一般在28.0~29.8 °C,极端高温达40 °C以上;日照时数1 600~1 900 h。1981年试验开始时耕层土壤pH 6.9,有机碳16.3 g·kg⁻¹,全氮1.49 g·kg⁻¹,全磷0.48 g·kg⁻¹,全钾10.39 g·kg⁻¹。有效磷(NaHCO₃-P)4.15 mg·kg⁻¹,速效钾(NH₄OAc-K)80.52 mg·kg⁻¹,粘粒(<0.001 mm)24.1%。

长期试验从1981年开始实施。试验处理包括:不施肥(CK)、单施氮肥(N)、单施磷肥(P)、单施钾肥(K)、氮磷肥配施(NP)、氮钾肥配施(NK)、氮磷钾配施(NPK)、两倍氮磷钾配施(2NPK)、有机肥与氮磷钾肥配施(NPKM)。肥料用量:施N处理每季作物90 kg·hm⁻²、施P处理每季作物P₂O₅ 45 kg·hm⁻²、施K处理每季作物K₂O 75 kg·hm⁻²。不同施肥处理按标准混合施加,其中,NPKM处理早稻配施紫云英(鲜)22 500 kg·hm⁻²,晚稻配施猪粪(湿)22 500 kg·hm⁻²。小区面积46.67 m²,3次重复,随机排列。

1.2 研究方法

本研究对象是稻田生态系统,其边界是不同试验田块。碳固定-排放及经济投入-收益分析的对象是土壤-作物系统及系统中附加的人类活动。研究所涉及的只是特定的作物从播种到收获产品期间的物质循环及经济价值,不涉及产品的去向。其中,水稻的产量为每季各个小区单打单收的实际产量;有机质含量为每年晚稻收获后采集的耕层(0~17 cm)土壤的有机质含量;土壤容重采用环刀法在每年晚稻收获后测定。不同处理双季稻稻田物质投入和产出的数据为1981—2005年25年间的平均值。农产品收获后的经济效益均以2010年的市场价格进行估算。农田物质投入数量与价格列于表1。

表 1 每公顷农田生产的年投入量与价格

Table 1 Amount and dosage of annual inputs and the price(CNY,2010)

投入 Input	数量 Amount and dosage	价格 Market price(CNY)
种子 Seeds	水稻 Rice 60.0 kg·hm ⁻²	水稻 Rice 3.6 kg ⁻¹
化肥 Fertilizers	年总计 Annual total N 180 kg·hm ⁻² , P 90 kg·hm ⁻² , K 150 kg·hm ⁻²	N 2.4 kg ⁻¹ , P 2.3 kg ⁻¹ , K 1.8 kg ⁻¹
农药 pesticides	年总计 Annual total 7.5 kg·hm ⁻²	5.5 kg ⁻¹
灌溉 Irrigation	年总计 Annual total 7 000 t·hm ⁻²	450 元·hm ⁻² ·a ⁻¹
机电 Diesel and power	耗油 Diesel consumption 37.5 L·hm ⁻²	柴油 Diesel 8.0 L ⁻¹
	耗电 Electricity consumption 70 kW·hm ⁻²	电 Electricity 0.80 kW ⁻¹ ·h ⁻¹
人工 Labors	28~36 人·d ⁻¹	30 人 ⁻¹ ·d ⁻¹

注:各项投入和价格为 2010 年当地调查获得。
Note: Each inputs and price was from the investigation at the local place in 2010.

本试验所涉及的系统碳平衡、碳吸收量和碳排放量及相关单项参数的计算方法均参照文献[9]和[10]。系统经济流的估算方法也采用文献[9]和[10]的方法。

所有数据的平均值及标准差采用 Excel 2003 计算,不同处理之间的差异采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理的碳排放、碳固定及净碳汇效应

不同施肥处理双季稻生态系统生产活动造成碳排放量,作物及土壤的固碳量和系统的净碳汇效应如表 2 所示。不同施肥处理生产活动造成的系统碳排放量因化肥的施入量和人工的投入量不同而存在一定的差异,其中以 2NPK 处理的碳排放量最大为 1.42 t C·hm⁻²·a⁻¹,以不施肥的 CK 处理的碳排放最小为 1.06 t C·hm⁻²·a⁻¹。总体上表现出:施肥多的处理碳排放量多,施氮肥比施磷钾肥多的趋势。

作物固碳量是根据作物的产量折算出来的,因此不同施肥处理的作物固碳量与不同施肥处理之间水

稻产量的差异一致。不同处理的作物固碳量大小为 NPKM>2NPK>NPK>NP>NK>N>P>K>CK。其中,有机肥无机肥配施处理(NPKM)的作物固碳量最大为 9.68 t C·hm⁻²·a⁻¹,2NPK 处理的作物固碳量次之为 9.34 t C·hm⁻²·a⁻¹,二者之间没有显著差异,但是均明显高于 NPK 处理的 8.06 t C·hm⁻²·a⁻¹。不施肥、施一种及两种化肥配施处理的作物固碳量显著小于 NPK 处理,其中不施肥处理的作物固碳量最低为 5.40 t C·hm⁻²·a⁻¹,单施氮肥比单施 P、K 处理的作物固碳量高。这也表明:合理施肥及适当提高施肥量有助于提高作物的产量及系统的作物固碳量,配施有机肥比单独增施化肥在提高作物固碳量上效果要好,N 肥比 P、K 肥在提高作物产量和作物固碳量上作用明显。

土壤有机质含量是衡量土壤质量最重要的指标之一,其含量的变化在一定程度上反映土壤是碳的源还是汇。不同施肥处理的土壤固碳量如表 2 所示。除有机肥无机肥配施处理(NPKM)外,其他处理的土壤固碳量没有明显的差异,都维持在 0.20 t C·hm⁻²·a⁻¹左右。NPKM 处理的土壤固碳量达到 0.41 t C·hm⁻²·a⁻¹。

表 2 不同施肥处理下农田生态系统生产中碳流通估算(t C·hm⁻²·a⁻¹)

Table 2 Carbon flux estimation in agricultural ecosystem production under different fertilizer treatments(t C·hm⁻²·a⁻¹)

处理 Treatments	系统碳排放 Carbon emission						系统固碳 Carbon sink			净碳汇 Net carbon sink
	灌溉 Irrigation	机耕 Tillage	人力 Labor	农药 Pesticides	化肥 Chemical fertilizer	总排放量 Total emission	作物 Crop	土壤 Soil	总固定量 Total	
CK	0.54	0.06	0.40	0.06	0.00	1.06	5.40±0.83	0.18±0.02	5.58±0.82	4.52
N	0.54	0.06	0.40	0.06	0.16	1.22	6.20±0.98	0.21±0.02	6.41±0.97	5.19
P	0.54	0.06	0.40	0.06	0.01	1.07	5.98±0.83	0.20±0.02	6.18±0.84	5.11
K	0.54	0.06	0.40	0.06	0.01	1.07	5.48±0.94	0.17±0.03	5.65±0.94	4.58
NP	0.54	0.06	0.40	0.06	0.17	1.23	7.21±0.83	0.18±0.01	7.39±0.83	6.16
NK	0.54	0.06	0.40	0.06	0.17	1.23	6.85±1.23	0.22±0.03	7.07±1.21	5.84
NPK	0.54	0.06	0.40	0.06	0.18	1.24	8.06±0.91	0.21±0.01	8.27±0.92	7.03
2NPK	0.54	0.06	0.40	0.06	0.36	1.42	9.34±1.13	0.19±0.02	9.53±1.11	8.11
NPKM	0.54	0.06	0.48	0.06	0.18	1.32	9.68±1.17	0.41±0.04	10.09±1.15	8.78

a^{-1} , 显著高于单施化肥处理和不施肥处理。所有处理稻田土壤都表现出碳汇效应。这一结果表明:施用有机肥可以明显增加土壤的碳汇效应,增施和不施化肥对稻田土壤的固碳能力影响不大;不同施肥条件下稻田生态系统的土壤都表现出明显的碳汇作用。

农田生态系统的碳排放量与系统的碳固定量的差值就是系统的净碳汇,不同施肥处理双季稻生态系统的净碳汇效应如表 2 所示。不同施肥处理的净碳汇效应大小也和系统作物固碳量的大小顺序一致,表现出 $\text{NPKM} > 2\text{NPK} > \text{NPK} > \text{NP} > \text{NK} > \text{N} > \text{P} > \text{K} > \text{CK}$, 也是随着施肥量的增加净碳汇效应增加。其中,以 NPKM 处理的净碳汇效应最大为 $8.78 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 2NPK 处理的净碳汇效应次之为 $8.11 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 二者均高于 NPK 处理,分别提高 25%和 15%。扣除 CK 处理的碳汇效应, NPK、2NPK 及 NPKM 处理的净碳汇效应分别为: 2.51 、 $3.59 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $4.26 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 施加两倍化肥和配施有机肥分别比 NPK 处理提高系统净碳汇 43%和 70%。不施肥、施一种及两种化肥配施处理稻田生态系统的净碳汇效应明显减弱,其中不施肥处理稻田的净碳汇效应最低为 $4.52 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 单施 N 肥比单施 P、K 肥处理农田的净碳汇效应高, N、P 配施稻田的净碳汇效应高于 N、K 配施稻田。这也表明:合理施肥是维持和提高农田(稻田)生态系统碳汇效应的前提,适当配施有机肥则是提高农田净碳汇效应的有效方法, N 肥比 P、K 肥在提高农田生态系统净碳汇效应上作用明显。

2.2 不同施肥处理的收益评估

较高的作物产量和经济效益仍然是农业生产中追求的首要目标。本试验不同施肥处理的水稻产量和经济效益如图 1 和图 2 所示。水稻的年产量与农田生

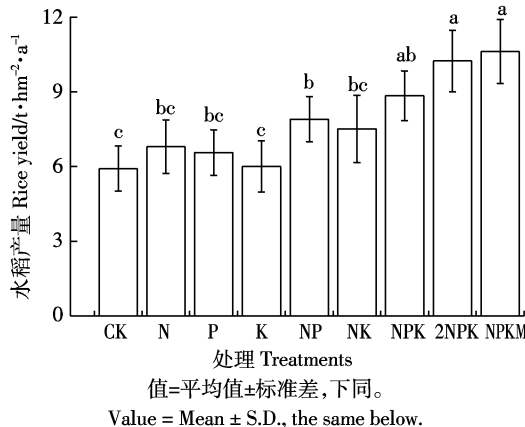


图 1 不同施肥处理双季稻系统水稻产量对比图

Figure 1 Comparison of rice yield in double rice cropping system under different fertilizer treatments

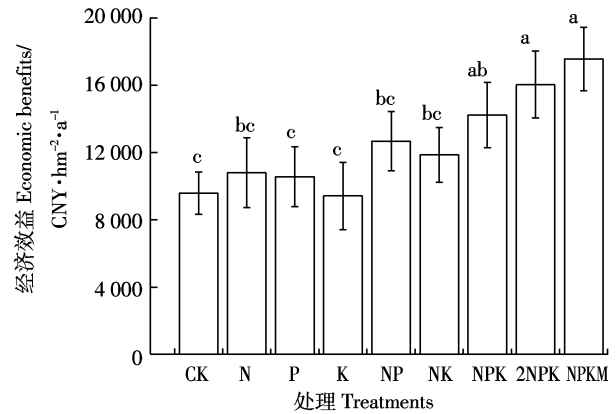


图 2 不同施肥处理双季稻栽培经济效益对比图

Figure 2 Comparison of economic benefits in double rice cropping system under different fertilizer treatments

态系统的作物固碳量的差异一致,也是 NPKM 处理最高为 $10.63 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 不施肥处理的产量最低为 $5.93 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 总体上也表现出:施肥多产量高,配施有机肥比增施化肥效果好的趋势。

不同处理的经济效益也是 NPKM 处理最高,为 $17\,568 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 不施肥处理经济效益最低为 $9\,594 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。NPKM 处理经济效益比 2NPK 处理的经济效益高 $1\,530 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 比 NPK 处理高 $3\,336 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 单施一种无机肥和两种无机肥配施处理的经济效益明显降低。这一结果表明:合理施肥是提高作物产量和经济效益的保证,增施有机肥比单独增加无机肥的用量在提高作物的产量和经济效益上作用明显,不施肥和施肥量不足都显著降低作物的产量和农业生产的经济效益。

3 讨论

3.1 不同施肥处理双季稻生态系统净碳汇效应

本研究中,有机肥和无机肥配施的双季稻农田生态系统碳汇效应最高,而不施肥的系统碳汇效应最低,这一结果与此前报道的结果一致^[9-11]。从系统碳汇的来源来看,作物固碳是农田生态系统碳汇的主要来源,施肥作为改善作物生长的有效措施,对提高作物的固碳量有明显的作用,这是导致施肥处理农田生态系统的碳汇效应显著高于不施肥处理的主要原因。众多的研究都指出:有机肥和无机肥配施不仅可以促进作物的生长,提高作物的产量^[12-14],还可以显著提高土壤的有机质含量^[15]。而作物的生长和土壤有机质的累积是农田生态系统固碳的主要途径,因此有机肥的投入必将明显增加整个系统的碳汇效应,在农业生产过程中配施有机肥是提高农田生态系统碳汇效应的有

效方法。

本研究的结果显示:加倍施加无机肥在一定程度上提高了农田生态系统的净碳汇效应,但是这种作用在统计上不显著(表2, $P < 0.05$)。在一定限度内,增加化肥的投入量可以促进作物的生长,进而增加作物的固碳量,增加整个系统的碳汇效应。但是当化肥使用量超过作物生长的需求时,增加的化肥对作物的生长促进作用将减弱,同时也会使土壤的有机质含量下降,造成土壤的固碳量下降,最终减弱了系统的净碳汇效应。需要指出的是:本试验2NPK处理的作物固碳量与NPK处理相比还是有较大的提高,这主要是与本长期试验的施肥量较低有关,本长期试验的施肥量是根据试验开始时的土壤及当地施肥习惯确定的,为了保持试验过程的一致性,在试验的进行过程中并没有对施肥的量进行相应的调整,这使得长期耕作带来的土壤肥力下降的影响加大,使得2NPK处理的作用效果相对较好,但是从整体来看,加倍施加无机肥没有适当施加有机肥的作用效果明显。不施肥和少施肥处理稻田的净碳汇效应明显偏低,这主要是因为施用一定量的无机肥是维持作物较高产量和生物量的基础,作物又是整个生态系统固碳的主体,而不施肥或少施肥将对作物生长产生较为明显的影响。在提高作物产量和系统净碳汇效应上,N肥比P、K肥效果明显,这也与N肥比P、K肥在提高作物生物量累积上作用明显的报道一致。因此,合理施用无机肥也是提高农田生态系统碳汇效应的有效措施。

3.2 不同地区双季稻生态系统净碳汇效应差异

以往的研究都指出:稻田生态系统存在明显的碳汇作用,本文的结果也证实不同施肥条件双季稻生态系统都存在明显的碳汇效应,但是不同地区的稻田生态系统的净碳汇效应大小还是存在一定的差异。李洁静等报道的太湖地区不施肥、施化肥及化肥有机肥配施的水稻-油菜轮作系统的净碳汇效应分别为 0.91 、 $2.90 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $6.96 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[9]。而彭华等报道的洞庭湖地区双季稻生态系统在不施肥、施化肥及化肥有机肥配施条件下的净碳汇效应分别为 0.82 、 $4.11 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $4.70 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[11]。而本文得到的这3个处理的净碳汇效应分别为 4.52 、 $7.03 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $8.78 \text{ t C} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。造成这种差异的原因是:(1)本研究采用的方法没有考虑作物生长过程中带来的碳排放,只是通过土壤的有机质含量变化来估算的;(2)两个地区长期试验的施肥水平和施肥年限存在一定的差异;(3)本研究在肥料的使用及灌溉水量等生产活动

中的碳排放也相对较少,因此造成本研究得出的农田生态系统净碳汇效应明显偏大。但是,本研究的结果和李洁静等采用相同方法对本试验地种植20年时的稻田生态系统净碳汇效应的大小比较接近^[10]。同时,农田生态系统的复杂性、地区差异以及估算方法和调查资料获得时带来的差异也将导致在估算不同农田生态系统净碳汇效应上存在一定的偏差。

3.3 低碳、高值农业施肥模式

如何应对日益严重的全球气候异常状况及减弱农业生产带来的温室气体排放将是当前农业生产面临的首要问题,而提高农田生态系统的碳汇效应则是减轻全球温室效应的有效措施。本文的结果显示:无机肥和有机肥配施可以明显提高农田的碳汇效应和经济效益,而过多的施用无机肥并没有使经济效益有显著提高。这一结果再次表明:在农业生产中施加一定量的有机肥无论对环境还是对提高农业生产的经济效益都有重要意义。同时,有机肥可以通过对作物秸秆、生活垃圾及畜禽粪便的简单处理而获得,这不仅可以将农业生产过程中所产生的废弃物进行有效利用,减少农业生产对环境造成的负面影响,而且可以减少无机肥的施用量,与当前提倡的农业生产过程节能、减排、清洁的宗旨一致。因此,在农业生产过程中合理施肥,适当追施有机肥,并对农业生产中带来的农业废弃物进行资源化利用,有助于实现农业生产的低碳和高值。

4 结论

鄱阳湖地区不同施肥处理稻田的净碳汇效应大小顺序为有机肥无机肥配施(NPKM)>两倍化肥配施(2NPK)>单倍化肥配施(NPK)>氮磷配施(NP)>氮钾配施(NK)>单施氮肥(N)>单施磷肥(P)>单施钾肥(K)>不施肥(CK)。有机肥和无机肥配施(NPKM)既可以提高双季稻农田生态系统的净碳汇效应也可提高农业生产的经济效益;而加倍施用化肥(2NPK)在提高系统净碳汇效应和农业生产经济效益上的作用没有配施一定量有机肥明显。不施肥及单施一种或两种化肥稻田的作物固碳量明显减小,系统的净碳汇效应减弱,经济效益偏低。农业生产过程中施加一定量的化肥是提高系统净碳汇效应和经济效益的前提,而适当施加以农业废弃物为主的有机肥则是提高农田生态系统碳汇效应和农业生产经济效益的有效手段,是实现低碳、高值、循环农业的有效方法之一。

参考文献:

- [1] Lal R, Burce J P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect[J]. *Environmental Science & Policy*, 1999(2): 177-185.
- [2] 赵荣钦,秦明周,黄爱民.农田固碳的潜力[J].生态环境,2004,13(1): 81-84.
ZHAO Rong-qin, QIN Ming-zhou, HUANG Ai-min. Practices and potential of cropland to sequester carbon[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13 (1): 81-84.
- [3] 韩冰,王效科,逯非,等.中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力[J].生态学报,2008, 28 (2): 612-619.
HAN Bing, WANG Xiao-ke, LU Fei, et al. Soil carbon sequestration and its potential by cropland ecosystems in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008,28(2): 612-619.
- [4] Smith P, Martino D, Cai Z C, et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2008, 363: 789-813.
- [5] PAN Gen-Xing, Li L Q, Wu L S, et al. Storage and sequestration potential of topsoil organic carbon in China paddy soil[J]. *Global Change Biology*, 2003, 10: 79-92.
- [6] Miklos T N, Ivan A J, Jorge C Y, et al. Footprint-adjusted net ecosystem CO₂ exchange and carbon balance components of a temperate forest[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 139: 344-360.
- [7] Peng C H, Guiot J, Campo E V. Past and future carbon balance of European ecosystems from pollen data and climatic models simulations[J]. *Global and Planetary Change*, 1998, 18: 189-200.
- [8] Xiao J F, Zhuang Q L, Law B E, et al. Assessing net ecosystem carbon exchange of U.S. terrestrial ecosystems by integrating eddy covariance flux measurements and satellite observations[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2011, 151: 60-69.
- [9] 李洁静,潘根兴,张旭辉,等.太湖地区长期施肥条件下水稻-油菜轮作生态系统净碳汇效应及收益评估[J].应用生态学报,2009, 20 (7): 1670-1676.
LI Jie-jing, PAN Gen-xing, ZHANG Xu-hui, et al. An evaluation of net carbon sink effect and cost/benefits of a rice-rape rotation ecosystem under long-term fertilization from Tai Lake region of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (7): 1670-1676.
- [10] 李洁静,潘根兴,李恋卿,等.红壤丘陵双季稻田农田生态系统不同施肥下碳汇效应及收益评估[J].农业环境科学学报,2009, 28 (12):2520-2525.
LI Jie-jing, PAN Gen-xing, LI Lian-qing, et al. Estimation of net carbon balance and benefits of rice-rice cropping farm of a red earth paddy under long term fertilization experiment from Jiangxi, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28 (12): 2520-2525.
- [11] 彭华,纪雄辉,刘昭兵,等.洞庭湖地区长期施肥条件下双季稻田生态系统净碳汇效应及收益评估[J].农业环境科学学报,2009, 28(12): 2526-2532.
PENG Hua, JI Xiong-hui, LIU Zhao-bing, et al. Evaluation of net carbon sink effect and economic benefit in double rice field ecosystem under long-term fertilization[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28 (12): 2526-2532.
- [12] 孟磊,蔡祖聪,丁维新.长期施肥对土壤碳储量和作物固定碳的影响[J].土壤学报,2005, 45(5): 769-776.
MENG Lei, CAI Zu-cong, DING Wei-xin. Carbon contents in soils and crops as affected by long-term fertilization[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 45(5):769-776.
- [13] 潘根兴,周萍,张旭辉,等.不同施肥对水稻土作物碳同化与土壤碳固定的影响[J].生态学报,2006, 26(11): 3704-3710.
PAN Gen-xing, ZHOU Ping, ZHANG Xu-hui, et al. Effect of different fertilization practices on crop carbon assimilation and soil carbon sequestration: A case of a paddy under a long-term fertilization trial from the Tai Lake region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26 (11): 3704-3710.
- [14] 许兴旺,潘根兴,侯鹏程.不同土地利用对表层土壤有机碳密度的影响[J].水土保持学报,2005,19(6): 193-196, 200.
XU Xing-wang, PAN Gen-xing, HOU Peng-cheng. Impact of different land use on topsoil organic density in Anhui[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005,19(6): 193-196, 200.
- [15] 袁颖红,李辉信,黄欠如,等.长期施肥对红壤性水稻土有机碳动态变化的影响[J].土壤,2008, 40(2): 237-242.
YUAN Ying-hong, LI Hui-xin, HUANG Qian-ru, et al. Effects of long-term fertilization on dynamic of soil organic carbon in red paddy soil[J]. *Soil*, 2008, 40(2): 237-242.