

# 连续秸秆还田对稻麦轮作农田土壤养分及碳库的影响<sup>①</sup>

徐蒋来<sup>1</sup>, 胡乃娟<sup>1</sup>, 张政文<sup>1</sup>, 朱利群<sup>2\*</sup>

(1 南京农业大学农学院, 南京 210095; 2 南京农业大学农村发展学院, 南京 210095)

**摘要:**为探索苏中地区适宜的秸秆还田量对土壤肥力和产量的影响, 本文通过开展大田定位试验, 研究了稻麦轮作条件下, 不同秸秆还田量对农田土壤养分、碳库以及作物产量的影响。经过连续 5 季秸秆还田定位试验, 结果表明: 不同秸秆还田量能不同程度地增加土壤全氮、有效磷和速效钾含量, 且以连续 5 季 75% 还田量对土壤养分含量增加效果最为显著, 分别比对照提高了 3.54%、3.97% 和 10.28%; 连续 5 季 75% 秸秆还田量显著提高了土壤总有机碳含量, 而水溶性有机碳和易氧化有机碳含量则以 50% 和 75% 还田量表现出明显优势, 其对土壤碳素有效率以及碳库管理指数的影响亦是如此; 不同秸秆还田量处理对周年粮食产量均有不同程度的提高, 表现为稻麦秸秆均还田>仅稻秸或麦秸还田>稻麦秸秆均不还田, 且以连续 5 季 75% 还田量影响最为显著, 增幅为 10.01%。综合考虑, 在该地区稻麦轮作条件下, 以 75% 秸秆还田量为宜, 可显著提高土壤肥力, 增加作物产量。

**关键词:** 秸秆还田; 土壤养分; 土壤碳库; 作物产量

**中图分类号:** S141.4; S158.3

我国是一个农业大国, 拥有耕地 15 亿亩, 每年农作物秸秆产量近 7 亿吨, 秸秆产量约占全世界秸秆总量的 30%, 是一种数量巨大的可再生资源。农作物光合作用的产物有一半以上存在于秸秆中, 秸秆含有大量碳、氮、磷、钾及各种微量营养元素, 秸秆也是农作物生产最主要的副产品<sup>[1]</sup>。因此, 充分合理利用秸秆资源, 既可作为农田土壤肥力培育的重要资源, 也可作为下游产业的重要资源。秸秆还田作为秸秆利用的一种重要方式, 能够增加土壤中养分的贮藏量<sup>[2]</sup>。

农作物秸秆含碳丰富, 直接还田处理对提高土壤肥力以及农业的可持续发展均有重要的作用<sup>[3]</sup>。在自然因素和农田管理措施的作用下, 土壤碳库在不断地发生变化, 这种变化不仅改变土壤肥力, 而且还影响区域乃至全球的碳循环<sup>[4-5]</sup>。国内外已有大量研究表明, 保护性耕作、有机肥施用等合理的农业管理措施都可显著提高土壤有机碳含量。但土壤有机碳在较短时间内对农业管理措施的反应不够灵敏, 而易分解和矿化的活性有机碳虽然占总有机碳的比例很小, 但对秸秆还田和耕作方式的反应更为迅速, 且对土壤养分转化供应有着重要影响<sup>[6-8]</sup>。Lefroy 等<sup>[9]</sup>在对土壤碳库进行了深入的研究分析, 首次提出土壤碳库管理指数

的概念, 为准确反映农作措施对土壤碳库变化的影响提供了重要的依据。陈尚洪等<sup>[10]</sup>研究发现, 结合土壤可矿化碳、活性碳、土壤碳素有效率、碳库管理指数与土壤养分相关性分析表明, 运用碳库管理指数表征土壤养分和土壤碳素变化状况比土壤有机碳更加灵敏。

目前, 国内关于不同秸秆还田方式对土壤理化性状、微生物特性及温室气体 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的影响等方面研究较多<sup>[11-13]</sup>, 且主要集中在北方干旱半干旱地区。但在长江下游稻麦轮作区, 不同秸秆还田量对农田土壤养分及有机碳库的影响研究鲜有报道。因此, 本文通过 3 年 5 季田间定位试验, 设置不同秸秆还田量, 研究对长江下游稻麦轮作区农田土壤养分和有机碳库的影响, 旨在探讨不同秸秆还田量对该地区土壤养分和碳库的效应, 从而探索出兼顾土壤肥力和作物产量的适宜秸秆还田量, 对完善该地区秸秆还田技术和缓解农田生态压力具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2011 年 6 月至 2013 年 11 月在江苏省扬

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B12)和南京农业大学中央高校基本科研业务项目(SKCX2014001)资助。

\* 通讯作者(zhulq@njau.edu.cn)

作者简介: 徐蒋来(1991—), 男, 浙江台州人, 硕士研究生, 主要从事农田生态学研究。E-mail: jianglai532@163.com

州市槐泗镇肖胡村长期定位试验田进行。该地区处于江淮平原南端,属于亚热带季风性湿润气候向温带季风气候的过渡区,年平均气温为 14.8℃,日照 2 140 h,降水量 1 020 mm,无霜期 220 天,主要种植模式为一年两熟的稻麦轮作制。该地区土壤类型为江淮冲积物及湖相沉积物发育形成的潜育型水稻土,土壤质地为砂壤土,试验地耕层(0~21 cm)土壤基本理化性状为:有机质 27.7 g/kg、全氮 1.49 g/kg、有效磷 60.85 mg/kg、速效钾 78.52 mg/kg、pH(H<sub>2</sub>O)6.65、体积质量 1.41 g/cm<sup>3</sup>。

## 1.2 试验设计与田间管理

田间定位试验在稻麦轮作的基础上,对稻季和麦季设置了不同的秸秆还田量,采用单因素随机区组设计,7 个处理,3 次重复,共 21 个小区,小区面积为 30 m<sup>2</sup>(5 m × 6 m)。每季试验前先将上季作物收获,留茬 10 cm 左右,然后通过收割机将秸秆粉碎,长度为 5~10 cm。秸秆晒干后采用常规旋耕还田,深度为 10~15 cm。其中,麦秸全量还田量为 6 000 kg/hm<sup>2</sup>,稻秸全量还田量为 9 000 kg/hm<sup>2</sup>。试验设计见表 1。

表 1 试验设计  
Table 1 Experimental design

处理	水稻季麦秸还田比例(%)	小麦季稻秸还田比例(%)
CK	0	0
SR1	25	25
SR2	50	50
SR3	75	75
SR4	100	100
SR5	0	100
SR6	100	0

本试验中水稻供试品种为淮稻 5 号,采用早育秧,每年 6 月中旬采用机插秧移栽,栽插密度为每公顷 25.5 万穴,每穴 3~4 苗,于当年 11 月初收获(本试验第五季水稻收获时间为 2013 年 11 月 6 日);小麦供试品种为郑麦 9023,每年 11 月中旬采用机械条播,播量为 150 kg/hm<sup>2</sup>,于次年 6 月初收获。其中,水稻季施基肥(45% 复合肥 375 kg/hm<sup>2</sup>、尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>),追施分蘖肥(尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>)和穗肥(尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>);小麦季施基肥(45% 复合肥 375 kg/hm<sup>2</sup>),追施拔节肥(尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>)。除草、灌溉、病虫害防治等同当地常规管理。

## 1.3 样品采集与测定

**1.3.1 样品采集** 2013 年 6 月和 2013 年 11 月于小麦及水稻收获前一天,在各试验小区内随机选择 2 个 1 m<sup>2</sup> 样方,收割作物;于 2013 年 11 月 6 日,按照五点取样法在各小区内取土壤样品,取样深

度为 0~21 cm。

**1.3.2 测定方法** 土壤养分的测定方法:土壤全氮(TN)采用半微量开氏消煮法测定<sup>[14]</sup>;土壤有效磷(AP)采用碳酸氢钠-钼锑抗比色法测定<sup>[14]</sup>;土壤速效钾(AK)采用火焰光度计比色法测定<sup>[14]</sup>。

土壤碳库的测定方法:土壤总有机碳(TOC)采用高温外热重铬酸钾氧化-容量法测定<sup>[15]</sup>;水溶性有机碳(DOC)采用重铬酸钾氧化-容量法测定<sup>[15]</sup>;易氧化有机碳(ROC)采用高锰酸钾氧化比色法测定<sup>[15]</sup>。

碳库管理指数(CMPI)的计算方法:碳库指数(CPI)= 农田土壤有机碳/对照农田土壤有机碳;碳库活度(A)= 活性碳(易氧化有机碳)/稳态碳(总有机碳);碳库活度指数(AI)= 农田碳库活度/对照农田碳库活度;碳库管理指数(CMPI)= 碳库指数(CPI) × 碳库活度指数(AI) × 100<sup>[8]</sup>。

周年粮食产量:周年粮食产量 = 水稻实际产量 + 小麦实际产量。

## 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 进行数据处理、分析和图表绘制,并采用 SPSS17.0 进行数据统计分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆还田量对土壤养分的影响

由表 2 可知,经过连续 5 季秸秆还田定位试验,秸秆还田各处理均不同程度地提高了土壤养分含量。与对照相比,SR1、SR3 和 SR5 处理显著提高了土壤全氮含量,分别比对照提高了 3.15%、3.94% 和 3.15%,且以 SR3 处理最为显著。对于土壤速效磷,SR3 和 SR6 处理与对照相比显著提高了 3.57% 和 3.00%,而其余处理差异性不显著。经过连续 5 季秸秆还田后,土壤速效钾含量提升效果明显,秸秆还田各处理均显著提高土壤速效钾含量,且以 SR3 处理最为显著,比对照提高了 10.28%。

表 2 不同秸秆还田量处理对土壤养分的影响  
Table 2 Effects of different amounts of straw returning on soil nutrients

处理	全氮 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	1.27 ± 0.03 b	82.39 ± 3.60 b	77.99 ± 2.31 c
SR1	1.31 ± 0.04 a	83.8 ± 2.38 ab	82 ± 3.07 ab
SR2	1.27 ± 0.04 b	84.29 ± 2.66 ab	81.33 ± 3.36 b
SR3	1.32 ± 0.01 a	85.33 ± 4.49 a	86.01 ± 1.76 a
SR4	1.29 ± 0.05 ab	83.18 ± 2.68 ab	81.99 ± 2.09 b
SR5	1.31 ± 0.05 a	83.83 ± 3.32 ab	85.34 ± 2.01 a
SR6	1.28 ± 0.03 ab	84.86 ± 4.43 a	83.33 ± 1.74 ab

注:表中同列数据小写字母不同表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下表同。

## 2.2 不同秸秆还田量对土壤碳库的影响

由表 3 可知,经过连续 5 季秸秆还田试验,不同秸秆还田量处理均能提高土壤总有机碳含量,其中 SR3 处理影响显著,相比对照提高了 4.59%,而其他处理差异性不显著。除 SR5 处理外其余处理相比于对照均显著提高了土壤水溶性有机碳含量,且以 SR2 和 SR3 处理最为显著,分别比对照提高了 14.35% 和 15.74%。SR2、SR3 和 SR5 处理相比于对照均显著提高了土壤易氧化有机碳含量,且以 SR2 处理最为显著,增幅为 14.67%。

表 3 不同秸秆还田量处理对土壤碳库的影响  
Table 3 Effects of different amounts of straw returning on soil carbon pools

处理	总有机碳 (g/kg)	水溶性有机碳 (mg/kg)	易氧化有机碳 (g/kg)
CK	14.81 ± 0.46 b	172.57 ± 9.33 c	1.53 ± 0.08 d
SR1	15.53 ± 1.26 ab	190.65 ± 4.45 ab	1.59 ± 0.07 cd
SR2	15.49 ± 0.57 ab	197.34 ± 8.05a	1.75 ± 0.05 a
SR3	15.63 ± 0.88 a	199.73 ± 9.03 a	1.73 ± 0.07 ab
SR4	15.40 ± 0.78 ab	189.38 ± 5.28 ab	1.60 ± 0.02 cd
SR5	15.27 ± 0.93 ab	183.67 ± 13.48 bc	1.65 ± 0.03 bc
SR6	15.44 ± 1.08 ab	195.45 ± 4.88 ab	1.60 ± 0.10 cd

## 2.3 不同秸秆还田量对土壤碳素有效率的影响

土壤碳素有效率可以反映土壤有机碳的质量状况。土壤碳库管理指数是土壤碳素和养分变化的灵敏指标,可以反映土壤质量和肥力。由表 4 可知,与对照相比,秸秆还田各处理均不同程度地提高了水溶性有机碳有效率,且以中高量秸秆还田表现出明显的优势。与对照相比,除 SR1 处理外其余各处理均提高了土壤易氧化有机碳有效率,同样以中高量秸秆还田优势明显。此外,在碳库管理指数方面,SR2、SR3 和 SR5 处理均显著高于秸秆不还田处理,以 SR2 处理显著性最高,相比对照提高了 14.41%。

表 4 不同秸秆还田量处理对土壤碳素有效率和碳库管理指数的影响

Table 4 Effects of different amounts of straw returning on ratios of soil available carbon contents and CPIMs

处理	水溶性有机碳 有效率(100%)	易氧化有机碳 有效率(100%)	碳库管理指数
CK	1.17	10.33	100.00 ± 0.0 d
SR1	1.23	10.23	103.92 ± 1.94 cd
SR2	1.27	11.30	114.41 ± 1.30 a
SR3	1.28	11.07	113.07 ± 2.39 ab
SR4	1.23	10.39	104.68 ± 4.26 cd
SR5	1.20	10.81	107.90 ± 3.19 bc
SR6	1.27	10.36	104.55 ± 6.73 cd

## 2.4 不同秸秆还田量对作物产量及其构成因素的影响

由表 5 可知,在连续秸秆还田定位试验中,相比秸秆不还田,不同秸秆还田量处理对稻麦轮作农田周年粮食产量均有不同程度的提高,且增幅呈先增加后减少的趋势,增产程度依次为:SR3>SR4>SR2>SR1>SR6>SR5>CK,其中,SR3 处理对产量的影响最为显著,增幅为 10.01%。SR2 处理显著提高了小麦产量,比对照提高了 14.74%,而其余处理增幅较小。水稻产量随秸秆还田量的增加而有不同程度的提高,且以 SR3 和 SR4 处理影响较为显著,分别比对照提高了 12.88% 和 13.30%。

表 5 不同秸秆还田量对稻麦轮作农田周年粮食产量的影响  
Table 5 Effects of different amounts of straw returning on annual crop yields

处理	小麦产量 (t/hm <sup>2</sup> )	水稻产量 (t/hm <sup>2</sup> )	周年产量 (t/hm <sup>2</sup> )
CK	4.68 ± 0.25 b	9.32 ± 0.49 c	14.00 ± 0.69 c
SR1	5.09 ± 0.20 ab	9.58 ± 0.64 bc	14.67 ± 0.76 bc
SR2	5.37 ± 0.34 a	9.70 ± 0.55 b	15.07 ± 0.68 ab
SR3	5.08 ± 0.24 ab	10.52 ± 0.45 a	15.60 ± 0.60 a
SR4	4.82 ± 0.08 b	10.56 ± 0.42 a	15.38 ± 0.42 a
SR5	4.73 ± 0.40 b	9.55 ± 0.57 bc	14.28 ± 0.82 c
SR6	4.96 ± 0.14 ab	9.48 ± 0.37 bc	14.44 ± 0.40 bc

## 3 讨论

秸秆还田作为提高农业资源利用率的重要措施之一,能够为土壤提供植物生长所必需的氮、磷、钾及其他中微量元素<sup>[16]</sup>。大量研究表明,秸秆还田能够显著改善土壤肥力状况,为作物根系生长创造良好的土壤环境<sup>[17-19]</sup>。本研究结果表明,经过不同秸秆还田量处理后,相比对照,土壤全氮、速效磷、速效钾的含量均有不同程度的提高,说明在该试验水平下,秸秆还田对改善土壤肥力有一定的作用。本研究发现,不同秸秆还田量对土壤养分的影响并非以还田量越多越好,均以连续 5 季 75% 秸秆还田量优势最为明显。原因是秸秆还田量过多会导致土壤与大气环境物质交换不畅通,易造成土壤无氧环境,同时使土壤持续处于高温状态,这会直接降低土壤微生物数量及酶活性,进而抑制其对秸秆的分解,反而不利于土壤养分的循环与释放<sup>[20]</sup>。

土壤碳库是由很多不同稳定性的组分组成的,其动态平衡是土壤肥力保持和提高的重要内容,也是影响作物产量的主要因素,作物秸秆施入土壤后,能否增加土壤有机碳的含量与土壤有机质的输入和土壤有机碳的矿化分解有关<sup>[21]</sup>。本研究发现,秸秆还田

对土壤总有机碳的影响以连续 5 季 75% 还田量最为显著。路文涛等<sup>[22]</sup>研究发现经过 3 年秸秆还田试验后,土壤总有机碳含量明显提高,尤其在 0~20 cm 土层,随着还田量的由高到低,总有机碳含量较对照不还田分别显著提高 6.96%、22.97% 和 12.41%。而张鹏等<sup>[23]</sup>在宁南地区开展的研究表明,随着秸秆还田量的增加,土壤有机碳含量也不断增加。土壤活性有机碳是土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解作用、对植物养分供应作用效果明显的那部分有机碳,能够更准确地反映土壤肥力和土壤物理性质的变化。李琳等<sup>[24]</sup>研究认为秸秆还田能够增加土壤中的活性有机碳组分,同时改善有机碳质量。本研究发现连续 5 季中高量(50% 和 75%)秸秆还田处理对土壤易氧化有机碳以及水溶性有机碳提高效果最为显著,而全量秸秆还田较中高量秸秆还田处理在提高活性有机碳组分方面没有体现出明显的优势。这是因为土壤有机碳的分解受土壤微生物碳氮平衡的影响,土壤 C/N 在很大程度上影响其分解速率,而中高量秸秆还田能够控制土壤 C/N 在适宜的范围,提高土壤微生物活性,秸秆腐解速率加快<sup>[25]</sup>。同时,中高量秸秆还田处理较秸秆不还田处理也显著提高了土壤水溶性有机碳有效率、易氧化有机碳有效率以及碳库管理指数,这更能说明中高量秸秆还田处理土壤有机碳更容易被微生物分解,养分循环更快。而徐明岗等<sup>[26]</sup>研究认为秸秆还田能够提高土壤有机碳,但对提高中活性有机碳和高活性有机碳没有明显效果,秸秆还田 5 年后,碳库管理指数和活性有机碳均降低,这与本研究结果有差异。目前研究结果的不一致性可能是由不同地区的土壤质地、耕作制度、气候条件、具体秸秆还田量等因素造成的。

秸秆还田可以通过改善土壤水、热、气、肥状况,从而达到改善土壤微生态环境的目的,为作物生长提供一个良好的生态环境,有利于水稻和小麦等作物的生长发育<sup>[27]</sup>。大量研究表明,秸秆还田能增加作物产量<sup>[28-30]</sup>。本研究发现,小麦产量随秸秆还田量的增加呈先增加后减少的趋势,且以 50% 还田量增产效果最好。其原因可能是秸秆还田量过大,种子易落入秸秆中,影响出苗,从而使小麦减产<sup>[31]</sup>。此外,在稻麦秸秆均还田处理中,水稻产量随秸秆还田量的增加而有不同程度的增加,增幅呈先快后慢的趋势,尤其到 75% 还田量后增幅明显减缓。其原因是秸秆还田量过大会导致土壤与大气环境物质交换不畅通,易造成土壤无氧环境,同时使土壤持续处于高温状态,削弱了土壤水、温、肥的耦合效果,从而降低土壤微生物活性,延缓了土壤有机质的矿化分解,反而不利

于营造对作物生长有利的环境<sup>[20]</sup>。本研究结果发现,不同秸秆还田量对周年粮食产量的影响结果表现为:稻麦秸秆均还田>仅稻秸或麦秸还田>稻麦秸秆均不还田,说明两季秸秆均还田对提高作物产量效果较好。此外,在试验设置的秸秆还田量范围内,75% 和 100% 还田量显著提高了周年粮食产量,其中 75% 还田量略高于 100% 还田量,但两者间无显著差异。

## 4 结论

1) 经过 3 年 5 季连续秸秆还田后,稻麦轮作农田土壤全氮、速效磷和速效钾含量均有不同程度的提高,且以连续 5 季 75% 秸秆还田量对土壤养分含量增加效果最为显著,分别比对照提高了 3.54%、3.97% 和 10.28%。

2) 连续 5 季 75% 秸秆还田量显著提高了土壤总有机碳含量,而水溶性有机碳和易氧化有机碳含量则以 50% 和 75% 还田量表现出明显优势,其对土壤碳素有效率以及碳库管理指数的影响亦是如此。

3) 秸秆还田处理下周年粮食产量均有不同程度的提高,表现为稻麦秸秆均还田>仅稻秸或麦秸还田>稻麦秸秆均不还田,且以连续 5 季 75% 还田量影响最为显著,增幅为 10.01%。

综合考虑本地区以 75% 秸秆还田量效果最佳,表现出作物增产显著、土壤养分以及土壤固碳能力明显提升的效果。

## 参考文献:

- [1] 姜洁, 陈宏, 赵秀兰. 农作物秸秆改良土壤的方式与应用现状[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 420-423
- [2] 汪军, 王德建, 张刚, 等. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 40-44, 62
- [3] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对土壤肥力质量的影响[J]. 土壤, 2007, 39(5): 782-786
- [4] 兰延, 黄国勤, 杨滨娟, 等. 稻田绿肥轮作提高土壤养分增加有机碳库[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 146-152.
- [5] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 901-914
- [6] 邵月红, 潘剑君, 孙波. 长期施肥对红壤不同形态碳的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 125-127
- [7] Dalal R C, Mayer R J. Long term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. IV. Loss of organic carbon from different density functions[J]. Soil Research, 1986, 24(2): 301-309
- [8] Blair G J, Lefory R D B, Lise L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural system[J]. Aust. J. Agric. Res., 1995, 46: 1 459-1 466
- [9] Lefory R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic

- carbon fractions and  $^{13}\text{C}$  naturalisotope abundance[J]. *Plant and Soil*, 1993: 155–156, 399–402
- [10] 陈尚洪, 朱钟麟, 刘定辉, 等. 秸秆还田和免耕对土壤养分及碳库管理指数的影响研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(4): 806–809
- [11] 陈春梅, 谢祖彬, 朱建国, 等. FACE 处理的小麦秸秆还田对稻田  $\text{CH}_4$  排放的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1 550–1 555
- [12] Sunita G, Lata N. Chemical and biological properties of wheat soil in response to paddy straw incorporation and its biodegradation by fungal inoculants[J]. *Biodegradation*, 2007, 18(4): 495–503
- [13] 路怡青, 朱安宁, 张佳宝, 等. 免耕和秸秆还田对潮土酶活性及微生物量碳氮的影响[J]. *土壤*, 2013, 45(5): 894–898
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30–34
- [16] 游东海, 田霄鸿, 把余玲, 等. 小麦 - 玉米轮作体系中秸秆还田方式对土壤肥力及作物产量的影响[J]. *西北农林科技大学学报*, 2012, 40(7): 167–172
- [17] 马超, 周静, 刘满强, 等. 秸秆促腐还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J]. *土壤学报*, 2013, 50(5): 915–921
- [18] 王晓波, 车威, 纪荣婷, 等. 秸秆还田和保护性耕作对砂姜黑土有机质和氮素养分的影响[J]. *土壤*, 2015, 47(3): 483–489
- [19] 孙伟红. 长期秸秆还田改土培肥综合效应的研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2004
- [20] 刘义国, 刘永红, 刘洪军, 等. 秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(3): 131–135
- [21] 沈宏, 曹志洪, 王志明. 不同农田生态系统土壤碳库管理指数的研究[J]. *自然资源学报*, 1999, 14(3): 206–211
- [22] 路文涛, 贾志宽, 张鹏, 等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤活性有机碳及酶活性的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(3): 522–528
- [23] 张鹏, 李涵, 贾志宽, 等. 秸秆还田对宁南旱区土壤有机碳含量及土壤碳矿化的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(12): 2 518–2 525
- [24] 李琳, 伍芬琳, 张海林, 等. 双季稻区保护性耕作下土壤有机碳及碳库管理指数的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 248–253
- [25] 陈长青, 胡清宇, 孙波, 等. 长期施肥下石灰性潮土有机碳变化的 DNDC 模型预测[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(6): 1 410–1 417
- [26] 徐明岗, 于荣, 孙小凤, 等. 长期施肥对我国典型土壤活性有机质及碳库管理指数的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(4): 459–465
- [27] 徐国伟. 种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2007
- [28] 李朝苏, 汤永禄, 黄钢, 等. 麦稻轮作区周年耕作模式对作物产量和土壤特性的影响[J]. *西南农业学报*, 2012, 25(3): 786–791
- [29] 赵士诚, 曹彩云, 李科江, 等. 长期秸秆还田对华北潮土肥力、氮库组分及作物产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1 441–1 449
- [30] 杨帆, 董燕, 徐明岗, 等. 南方地区秸秆还田对土壤综合肥力和作物产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(11): 3 040–3 044
- [31] 李少昆, 王克如, 冯聚凯, 等. 玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J]. *作物学报*, 2006, 32(3): 463–465

## Effects of Continuous Straw Returning on Soil Nutrients and Carbon Pool in Rice-wheat Rotation System

XU Jianglai<sup>1</sup>, HU Naijuan<sup>1</sup>, ZHANG Zhengwen<sup>1</sup>, ZHU Liquan<sup>2\*</sup>

(1 College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 College of Rural Development, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** To explore the influence of suitable amounts of straw returning on soil quality and crop yields for middle region of Jiangsu, a field experiment was conducted to determine the effects of different amounts of straw returning on soil nutrients, carbon pools and crop yields in rice-wheat rotation system. After five-season continuous straw returning, the results showed that: 1) straw returning increased the contents of soil total nitrogen, available phosphorus and rapidly-available potassium, and 75% of five-season continuous straw returning got greatest increases, by 3.54%, 3.97% and 10.28%, respectively. 2) 75% of five-season continuous straw returning significantly increased the contents of soil total organic carbon, while 50% and 75% five-season continuous returning significantly increased the contents of water-soluble organic carbon and easily oxidizable carbon, and the effect was the same on soil available carbon contents and carbon pool management index. 3) Straw returning increased annual crop yield in an order of both rice and wheat straw returning>only one crop straw returning>no straw returning. Among them, 75% of five-season continuous straw returning significantly improved the yields, increased by 10.01%. In conclusion, the treatment of 75% of straw returning is most suitable in a rice-wheat rotation system of the study region.

**Key words:** Straw returning; Soil nutrient; Soil carbon pool; Crop yield