植物营养与肥料学报 2015,21(2): 371 -377 doi: 10.11674/zwyf.2015.0211
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http://www.plantnutrifert.org

秸秆还田对稻麦轮作农田活性有机碳组分含量、酶活性及产量的短期效应

胡乃娟[1], 韩新忠[2], 杨敏芳[2], 张政文[1], 卞新民[1], 朱利群[1*]
(1 南京农业大学农学院, 江苏南京 210095; 2 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要:【目的】秸秆还田作为一种有效的秸秆处理方式不仅能够提高土壤肥力,增加作物产量,还可以缓解农田生态压力。研究稻麦轮作系统下不同秸秆还田量对土壤活性有机碳库、酶活性和作物产量的短期影响,可为提出适宜当地生产的秸秆还田量提供理论依据。**【方法】**利用稻麦轮作农田定位试验进行了研究。采用随机区组设计,设7个处理,以稻麦季秸秆均不还田为对照处理(CK),6个不同秸秆还田量处理。测定了秸秆还田后土壤活性有机碳库和土壤酶活性的变化,稻麦产量以及三者之间的相关关系。**【结果】**1)与秸秆不还田处理相比,试验范围内的秸秆还田量能在一定程度上提高土壤活性碳组分的含量和土壤酶活性,并能增加水稻和小麦的产量及其构成因素;2)土壤总有机碳和微生物生物量碳的含量随着秸秆还田量增加,增幅呈先增大后减小的趋势,以连续两季50%秸秆还田量处理下显著较高,而水溶性有机碳、活性有机碳含量和碳库管理指数在连续两季25%秸秆还田量处理下最高;3)相比秸秆不还田处理,连续两季25%秸秆还田量对土壤脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶活性的影响均最显著;4)水稻和小麦的产量均为在连续两季25%和50%秸秆还田量处理下增产较显著,与秸秆不还田相比,水稻增产达9.0%,小麦增产达11.45%;5)土壤碳库、土壤酶活性以及水稻和小麦产量之间均存在显著相关。**【结论】**在本试验条件下,连续两季25%和50%秸秆还田量表现出显著提高土壤碳汇能力和增加作物产量的优势。

关键词: 秸秆还田; 稻麦轮作; 土壤活性碳组分; 土壤酶活性; 产量
中图分类号: S141.4; S154.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)02-0371-07

Short-term influence of straw return on the contents of soil organic carbon fractions, enzyme activities and crop yields in rice-wheat rotation farmland

HU Nai-juan[1], HAN Xin-zhong[2], YANG Min-fang[2], ZHANG Zheng-wen[1], BIAN Xin-min[1], ZHU Li-qun[1*]
(*1 College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*
2 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract:【Objectives】 Straw return is an effective way to recycle straw resources, improve soil fertility and increase crop yields. The amount of straw return affects the soil labile organic carbon pool, soil enzyme activity and crop yields in different extent, so it is meaningful to study the suitable straw returning amount for best yield and soil fertility efficiencies. **【Methods】** A field trail with a random block design was carried out in rice-wheat rotation farmland with three replicates. There were totally seven treatments in the trail: non-straw return in both rice and wheat season (CK), 25%, 50%, 75% and 100% of total straw from previous crop returned in rice or wheat season, and 100% of straw returned only in rice or wheat season. Both the rice and wheat yields were investigated and the soil labile organic carbon pool and enzyme activity were measured. **【Results】** 1) Compared to the CK, straw return could improve the contents of soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities, and increase both yields and their components of rice and wheat. 2) The highest soil total organic carbon (TOC) and

收稿日期: 2013-11-11 **接受日期:** 2014-04-20
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103001)资助。
作者简介: 胡乃娟(1991—), 女, 河南固始人, 硕士研究生,主要从事农业生态学研究。E-mail: hunaijuan@163.com
* 通信作者 Tel: 025-84395338, E-mail: zhulq@njau.edu.cn

microbial biomass carbon (MBC) contents are turned out with the straw return proportion of 50% in both rice and wheat seasons, and the highest soil dissolved organic carbon (DOC), labile organic carbon (LOC) and carbon pool management index (CPMI) are in proportion of consecutive 25% . 3) The consecutive 25% of total rice and wheat straw return induces the most significantly soil urease, catalase and sucrase activities. 4) Both the yields of rice and wheat in the treatments of consecutive 25% and 50% of rice and wheat straw return are significantly higher than in CK, with the increases of 9.0% and 11.45%, respectively. 5) The correlations among soil carbon pool, soil enzyme activities and the crop yields are significant. 【**Conclusions**】Under the condition of this experiment, the consecutive returning of 25% and 50% of the rice and wheat straw could significantly increase soil carbon sink capacity, and improve the crop yields in short term.

Key words: straw return; rice-wheat rotation; soil labile carbon fraction; soil enzyme activity; crop yield

土壤有机质是土壤的重要组成部分,它不仅直接或间接地决定着土壤的水、肥、气、热条件,还决定着土壤生物化学过程[1]。而土壤活性有机碳组分(水溶性有机碳、微生物生物量碳和易氧化有机碳)在土壤中转化较快,不仅能被微生物利用作为能源,也是植物的养分库,可以提供植物所需要的养分[2]。土壤酶活性能反映土壤中各种生物化学过程的强度和方向,在土壤营养物质的循环和能量的转化过程中起着重要作用[3]。土壤活性有机碳和土壤酶活性这两个表征土壤质量和土壤肥力的重要指标,可用来了解或预测某些营养物质的转化情况以及土壤肥力的演变趋势[4]。秸秆还田作为一种秸秆利用的有效途径,不仅可以减少温室气体排放[5-6],而且在改善土壤肥力[7]、增加作物产量[8]方面有显著影响。

近年来秸秆还田方面的研究报道较多,但大多数都是关于保护性耕作对土壤养分、有机质含量及温室气体排放的影响[9-11],并且主要集中在北方旱地[12-13]。南方地区虽然也有研究[14-16],但对稻麦轮作条件下不同秸秆还田量对土壤活性碳库、酶活性及产量的系统性研究鲜少报道。为此,本文通过开展大田定位试验,设置不同的秸秆还田量,研究长江中下游稻麦轮作地区秸秆还田对土壤活性碳库、酶活性、作物产量的影响以及三者的相关性,以探索适宜当地生产的秸秆还田量,为完善该地区秸秆还田技术、提高土壤生产力以及保护生态环境提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2011年6月至2012年6月在江苏省扬州市槐泗镇肖胡村定位试验田进行。该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2140 h,降水量1020 mm,无霜期220 d,主要种植模式为稻麦轮作。试验地为砂壤土,耕层(0—20 cm)土壤基本理化性状为:有机质27.7 g/kg、全氮1.49 g/kg、pH(H_2O)6.65、容重1.41 g/cm。

1.2 试验设计与田间管理

本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^2。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。麦秸全量还田量为6000 kg/hm^2,稻秸全量还田量为9000 kg/hm^2。试验设计见表1。

表1 试验设计

Table 1 Experimental design

处理 Treat.	水稻 Rice	小麦 Wheat
	麦秸还田比例(%) Returned wheat straw	季稻秸还田比例(%) Returned rice straw
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,水稻秧苗于2011年6月13日移栽,栽插密度为每公顷25.5万穴,每穴3～4苗,2011年11月7日收获;小麦供试品种为郑麦9023,于2011年11月22日机械条播,播量为150 kg/hm^2,2012年6月10日收获。水

稻季施基肥(45% 复合肥、尿素)125.25 kg/hm^2(纯 N),追施分蘖肥(尿素)和穗肥(尿素)均为 N 69 kg/hm^2;小麦季施基肥(45% 复合肥)56.25 kg/hm^2(纯 N),追施拔节肥(尿素)172.5 kg/hm^2(纯 N)。除草、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　于小麦收获前(2012 年 6 月 10 日),在各小区内随机选择 2 个 1 m^2 样方,分别测定有效穗数、每穗粒数、千粒重,按小区单收计实际产量;同时按照五点取样法在各试验小区取土壤样品,取样深度为 20 cm。

1.3.2 测定方法　土壤总有机碳(TOC)和水溶性有机碳(DOC)均采用重铬酸钾外加热法[17];土壤微生物生物量碳(MBC)采用氯仿熏蒸浸提法[18];脲酶采用靛酚比色法[19];过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法[20];蔗糖酶采用二硝基水杨酸比色法[19];土壤活性有机碳(LOC)采用 333 mmol/L $KMnO_4$ 氧化法。

碳库指数(CPI) = 农田土壤有机碳(2012 年 6 月 10 日)/参考农田土壤有机碳;

碳库活度(A) = 活性碳/稳态碳;

碳库活度指数(AI) = 农田碳库活度(2012 年 6 月 10 日)/参考土壤碳库活度;

碳库管理指数(CPMI) = 碳库指数(CPI) × 碳库活度指数(AI) × 100[21]。

1.4　数据分析

采用 SPSS 16.0 进行方差分析和相关性分析。

2　结果与分析

2.1　不同量秸秆还田对土壤活性有机碳库的影响

从表 2 可以看出,与秸秆不还田相比,秸秆还田能不同程度的增加土壤 TOC、MBC、DOC、LOC 含量及 CPMI,其中 SR1 和 SR2 处理显著增加了土壤总有机碳和活性有机碳库的含量以及碳库管理指数。并且,随着秸秆还田量的增加,土壤 TOC 和 MBC 含量增幅均呈先增大后减小的趋势,表现为 SR2 处理下最高,而 DOC、LOC 和 CMPI 在 SR1 处理下最高。由表 2 还可以看出,相对 CK,SR4 和 SR5 处理对 TOC、MBC、LOC 的含量及 CPMI 影响不显著,而 SR6 处理仅对 LOC 和 CPMI 有显著影响。

表 2　不同秸秆还田量下土壤活性有机碳含量

Table 2　Effects of different amounts of straw return on labile organic carbon pool

处理 Treatment	总有机碳 TOC (g/kg)	微生物生物量碳 MBC(mg/kg)	水溶性有碳 DOC(mg/kg)	活性有机碳 LOC(g/kg)	碳库管理指数 CPMI
CK	15.32 c	115.55 cd	235.18 d	3.70 b	100.00 b
SR1	16.25 ab	191.23 ab	376.92 a	4.97 a	152.96 a
SR2	16.37 a	222.10 a	314.03 bc	4.91 a	151.51 a
SR3	15.64 abc	194.33 ab	232.40 d	3.80 b	105.36 b
SR4	16.10 abc	157.19 bc	336.25 ab	3.94 b	108.81 b
SR5	15.46 bc	97.43 d	234.33 d	3.89 b	107.86 b
SR6	15.89 abc	107.70 cd	256.26 cd	4.80 a	142.39 a

注(Note): TOC—Total soil organic C; MBC—Soil microbial mass C; DOC—Dissolvable organic C; LOC—Labile organic C; CPMI—C pool management index; 同列数据后不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters in a column are significantly different among the treatments at the 0.05 level.

2.2　不同量秸秆还田对土壤酶活性的影响

由表 3 可知,秸秆还田处理相对于秸秆不还田处理不同程度地增加了土壤酶活性。相对于 CK,SR1 处理显著提高了土壤脲酶活性,其他处理对脲酶活性没有显著影响;SR1 和 SR2 处理显著提高了土壤过氧化氢酶和蔗糖酶的活性,而其他处理对过氧化氢酶和蔗糖酶的活性影响不显著,且 SR4 处理最低。

2.3　不同量秸秆还田对作物产量及其构成因素的影响

不同量秸秆还田对水稻产量及其构成因素影响不同。同对照相比,除 SR3 处理外,秸秆还田后水稻有效穗数显著增加,穗粒数、千粒重变化不显著。产量方面,同 CK 相比,SR1 和 SR2 处理下理论产量

表3 不同秸秆还田量下土壤酶活性的影响

Table 3 Soil enzyme activities under different amounts of straw return

处理 Treatment	脲酶 Urease [NH_3-N mg/(g·24h)]	过氧化氢酶 Catalase (0.1 mol/L $KMnO_4$ mg/g)	蔗糖酶 Invertase (Glucose mg/g)
CK	0.13 b	3.27 cd	59.81 bc
SR1	0.17 a	3.99 a	102.95 a
SR2	0.16 ab	3.73 ab	87.12 ab
SR3	0.15 ab	3.51 bcd	69.87 bc
SR4	0.14 ab	3.15 d	47.98 c
SR5	0.14 ab	3.25 cd	76.99 abc
SR6	0.15 ab	3.66 abc	62.04 bc

注(Note):同列数据后不同字母表示不同处理间在0.05水平差异显著 Values followed by different letters in a column are significantly different among the treatments at the 0.05 level.

和实际产量均为显著最高,实际产量分别比CK增加8.6%和9.0%(表4)。

相较CK,不同量秸秆还田对小麦穗粒数没有显著差异,SR1和SR2处理小麦穗数分别显著增加了9.38%和8.54%,显著提高了小麦千粒重,其他处理无显著影响;产量方面,不同量秸秆还田处理下小麦理论和实际产量均高于CK,以SR1和SR2处理实际增产效果最显著,达到11.45%和11.23%(表5)。

2.4 土壤酶活性、活性有机碳组分及作物产量之间的相关性分析

从表6可以看出,CPMI与TOC、DOC以及LOC之间均呈显著相关,且与DOC和LOC的相关性均高于它与总有机碳的相关性。这说明活性碳组分(包括DOC和LOC)既与总有机碳紧密相关又区别于总有机碳,是土壤总有机碳的一部分。土壤酶活性之间的相关分析表明,脲酶与过氧化氢酶之间的相关性均达到极显著水平。除DOC外,水稻产量与酶活性和碳库均呈显著相关,而除蔗糖酶外,小麦产量与酶活性和土壤碳库之间也均呈显著相关。

表4 不同量秸秆还田处理下水稻产量及其构成

Table 4 Rice yield and components under different straw return treatments

处理 Treatment	有效穗数 ($\times10^6$/hm^2) Effective spikes	每穗粒数(粒) Grain number per ear	千粒重 (g) 1000 grain weight	理论产量(t/hm^2) Theoretical yield	实际产量 (t/hm^2) Actual yield
CK	2.51 b	109.20 b	28.15 a	7.46 c	6.86 c
SR1	2.82 a	106.67 b	28.15 a	8.16 a	7.45 a
SR2	2.84 a	109.48 ab	27.52 a	8.22 a	7.48 a
SR3	2.56 b	116.72 a	27.96 a	8.07 b	7.38 ab
SR4	2.79 a	103.52 b	27.88 a	7.73 bc	7.06 bc
SR5	2.52 b	105.34 b	27.84 a	7.14 c	7.01 bc
SR6	2.75 a	104.38 b	27.93 a	7.70 bc	7.22 ab

注(Note):同列数据后不同字母表示不同处理间在0.05水平差异显著 Values followed by different letters in a column are significantly different among treatments at the 0.05 level.

3 讨论

本研究表明,短期条件下,与秸秆不还田相比,秸秆还田处理不仅能增加土壤总有机碳含量,而且能显著增加土壤活性有机碳组分(微生物生物量碳、活性有机碳和水溶性有机碳)含量以及碳库管理指数,该结果与杨敏芳等[22]、Li等[23]的研究结果类似。原因是秸秆还田后为微生物提供了碳源等能源物质,刺激了土壤微生物的生长、繁殖[24]。本研究发现,与高量秸秆还田相比,中、低量秸秆还田对提高土壤总有机碳和活性有机碳组分以及碳库管理指数方面有显著优势,主要因为秸秆还田量过高会导致土壤C/N失衡,土壤中没有足够的氮素供微生物繁殖生长,降低了土壤微生物的数量和活性,从而导致秸秆腐解率降低。这与蔡太义等[25]、路文涛等[4]的研究结果类似。但土壤有机碳和活性有机碳组分的含量是否会随着秸秆还田量的增加而增

表 5　不同量秸秆还田处理下小麦产量及其构成

Table 5　Wheat yield and components under different straw return treatments

处理 Treatment	穗数 ($\times 10^6/hm^2$) Spikes	每穗粒数 Grain number per ear	千粒重 (g) 1000 grain weight	理论产量 (t/hm^2) Theoretical yield	实际产量(t/hm^2) Actual yield
CK	5.97 cd	31.10 a	25.30 bc	4.69 b	4.54 c
SR1	6.53 a	30.67 a	27.90 a	5.59 a	5.06 a
SR2	6.48 ab	30.93 a	27.77 a	5.56 a	5.05 a
SR3	6.36 abc	31.77 a	26.60 ab	5.37 ab	4.80 abc
SR4	6.07 bcd	32.05 a	24.30 c	4.72 b	4.58 bc
SR5	5.95 d	31.30 a	25.53 bc	4.76 b	4.60 bc
SR6	6.27 abcd	31.40 a	26.23 abc	5.15 ab	4.92 ab

注(Note): 同列数据后不同字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters in a column are significantly different among the treatments at the 0.05 level.

表 6　土壤酶活性、活性有机碳组分与作物产量之间的相关性分析

Table 6　Correlation analysis between soil enzyme activities, soil labile organic carbon fractions and the crop yields

指标 Index	脲酶 Urease	过氧化氢酶 Catalase	蔗糖酶 Invertase	总有机碳 TOC	水溶性有机碳 DOC	活性有机碳 LOC	碳库管理指数 CPMI	水稻产量 Rice yield	小麦产量 Wheat yield
脲酶 Urease	1								
过氧化氢酶 Catalase	0.549**	1							
蔗糖酶 Invertase	0.312	0.426	1						
总有机碳 TOC	0.216	0.655**	0.156	1					
水溶性有机碳 DOC	0.389	0.485*	0.231	0.677**	1				
活性有机碳 LOC	0.395	0.709**	0.504*	0.549**	0.529*	1			
碳库管理指数 CPMI	0.527*	0.614**	0.409	0.486*	0.581**	0.818**	1		
水稻产量 Rice yield	0.591**	0.690**	0.544*	0.545*	0.431	0.693**	0.646**	1	
小麦产量 Wheat yield	0.610**	0.886**	0.276	0.710**	0.539*	0.709**	0.687**	0.744**	1

注(Note): *, ** 相关性显著在 0.05、0.01 水平($n=21$) Denotes significant at the 0.05 and 0.01 levels ($n=21$).

加,由于受到各地土壤质地、气候、研究年限以及采样时间等因素影响,各种研究报道结果不一。钟杭等[26]研究发现,稻麦秸秆连续还田 2 年后,全量还田与半量还田的有机碳含量较对照分别提高 7.09% 和 5.87%,而张振江[27]在黑龙江地区定位试验结果表明,长期麦秆直接还田后土壤有机碳并未增加。

本研究发现,秸秆还田能显著提高脲酶、过氧化氢酶和蔗糖酶的活性,原因可能是秸秆还田改良了土壤结构,促进了更多土壤微粒的团聚,同时也改善了土壤微生物的环境,增加微生物的数量,从而增加了酶的活性[28]。连续两季 25% 和 50% 秸秆还田量处理较其他还田量处理效果更显著,说明在该还田量下,C/N 被控制在适宜的范围内,更有利于提高土壤微生物的生物量和活性,而土壤微生物量的增加又会进一步提高包括土壤酶在内的分泌物数量[29],从而提高土壤酶活性,这与路文涛等[4]的研究结果一致。而苏秦[30]研究发现麦玉轮作模式下,秸秆还田处理下土壤脲酶与蔗糖酶活性有显著增加,且酶活性随秸秆还田量增加而增加。这可能与不同的土壤质地、种植制度以及气候条件有关。

本试验结果看出,秸秆还田量处理显著增加了小麦的有效穗数和千粒重,从而使小麦的增产效果最明显,但对穗粒数的增加不显著,该结果与刘义国等[31]研究结果类似。在秸秆还田处理中,以连续两季 25% 和 50% 秸秆还田量处理效果最显著。可能

是因为中低量的秸秆还田通过调节土壤 C/N,在提高土壤微生物数量和活性的同时,也提高了秸秆的腐解速率,从而更快地向土壤释放有效养分,更有利于营造作物生长发育所需的条件。另外,本研究还发现,仅稻季麦秸全量还田处理较秸秆不还田和仅麦季稻秸全量还田处理显著提高小麦的产量。可能是因为稻季土壤表面保持有水层,土层温度较高,稻季麦秸相较于麦季稻秸腐解速率较快,从而释放更多的有效养分供植物吸收和利用[32]。由相关性分析得出的水稻和小麦产量与土壤碳库、酶活性之间显著的相关性也可以说明,土壤酶活性和碳库指标在一定程度上能够反映土壤肥力和土壤质量状况。

4 结论

在短期内,秸秆还田能增加土壤活性有机碳组分的含量,提高土壤酶的活性,对作物增产有一定效果。稻麦轮作制度下,两季连续25%或50%秸秆还田量,可显著提高土壤碳汇的能力,增加作物产量。

参 考 文 献:

[1] 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):2518-2525.
Zhang P, Li H, Jia Z K *et al*. Effects of straw returning on soil organic carbon and carbon mineralization in semi-arid areas of Southern Ningxia, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(12): 2518-2525.

[2] 王晶,张仁陟,李爱宗. 耕作方式对土壤活性有机碳和碳库管理指数的影响[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(6):8-12.
Wang J, Zhang R Z, Li A Z. Effect on soil active carbon and soil C pool management index of different tillage [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2008, 26(6): 8-12.

[3] 姜勇,梁文举,闻大中. 免耕对农田土壤生物学特性的影响[J]. 土壤通报,2004,35(3):347-351.
Jiang Y, Liang W J, Wen D Z. Effects of No-Tillage on Soil Biological Properties in Farmlands [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(3): 347-351.

[4] 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.
Lu W T, Jia Z K, Zhang P *et al*. Effects of straw returning on soil labile organic carbon and enzyme activity in semi-arid Areas of southern Ningxia, China [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(3): 522-528.

[5] 梁爱珍,张晓平,杨学明,等. 耕作方式对耕层黑土有机碳储量的短期影响[J]. 中国农业科学,2006,39(6):1287-1293.
Liang A Z, Zhang X P, Yang X M *et al*. Short-term effects of tillage on soil organic carbon storage in the plow layer of back soil in Northeast China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(6): 1287-1293.

[6] Paustian K, Andren O, Janzen H *et al*. Agricultural soil as a C sink to offset CO_2 emissions[J]. Soil Use and Management, 1997, 13: 230-244

[7] 张静,温晓霞,廖允成,刘阳. 不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):612-619.
Zhang J, Wen X X, Liao Y C, Liu Y. Effects of different amount of maize straw returning on soil fertility and yield of winter wheat [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(3): 612-619.

[8] 吴家旺,朱小梅,薛良鹏,等. 秸秆还田对稻麦产量的影响研究进展[J]. 现代农业科技,2011,23:92.
Wu J W, Zhu X M, Xue L P *et al*. The Progress of Effects of Straw Returning on of Rice and Wheat Yield [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011, 23: 92.

[9] 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.
Chen S H, Zhu Z L, Liu D H *et al*. Influence of straw mulching with no-till on soil nutrients and carbon pool management index [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008, 14(4): 806-809.

[10] 周虎,吕贻忠,杨志臣,等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学,2007,40(9):1973-1979.
Zhou H, Lü Y Z, Yang Z C *et al*. Effects of Conservation Tillage on Soil Aggregates in Huabei Plain, China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1973-1979.

[11] Chen H Q, Hou R X, Gong Y S *et al*. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China [J]. Soil Tillage Research, 2009, 106: 85-94.

[12] 张鹏,贾志宽,王维,等. 秸秆还田对宁南半干旱地区土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(8):1513-1520.
Zhang P, Jia Z K, Wang W *et al*. Effects of straw returning on characteristics of soil aggregates in semi-arid areas in Southern Ningxia of China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(8): 1513-1520.

[13] 宋明伟,李爱宗,蔡立群,等. 耕作方式对土壤有机碳库的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):622-626.
Song M W, Li A Z, Cai L Q *et al*. Effects of different tillage methods on soil organic carbon pool [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(2): 622-626.

[14] Li C F, Yue L X, Kou Z K *et al*. Short-term effects of conservation management practices on soil labile organic carbon fractions under a rape-rice rotation in central China [J]. Soil Tillage Research, 2012, 119: 31-37.

[15] 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.

Li L, Wu F L, Zang H L *et al*. Organic carbon and carbon pool management index in soil under conversation tillage in two-crop paddy field area [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(1): 248-253.

[16] 高亚军, 朱培立, 黄东迈, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对有机质和全氮的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 27-30.
Gao Y J, Zhu P L, Huang D M *et al*. Long-term impact of different soil management on organic matter and total nitrogen in rice-based cropping system [J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 27-30.

[17] 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.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis (3nd)[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000. 30-34.

[18] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京：气象出版社, 2006. 65-74.
Wu J S, Lin Q M, Hang Q Y *et al*. Determination of soil microbial biomass and its application [M]. Beijing: Meteorological Press, 2006. 65-74.

[19] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京：农业出版社, 1986.
Xu G H, Zheng H Y. Soil microbial analysis methods manual [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.

[20] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京：农业出版社, 1986. 274-328.
Guan S Y. Soil enzyme and its research method[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986. 274-328.

[21] 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.
Xu M G, Yu R, Sun X F *et al*. Effects of long-term fertilization on labile organic matter and carbon management index (CMI) of the typical soils of China [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4): 459-465.

[22] 杨敏芳, 朱利群, 韩新忠, 等. 不同土壤耕作措施与秸秆还田对稻麦两熟制农田土壤活性有机碳组分的短期影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1387-1393.
Yang M F, Zhu L Q, Han X Z *et al*. Short-term effects of different tillage modes combined with straw-returning on the soil labile organic carbon components in a farmland with rice-wheat double cropping[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1387-1393.

[23] Li C F, Yue L X, Kou Z K *et al*. Short-term effects of conservation management practices on soil labile organic carbon fractions under a rape-rice rotation in central China [J]. Soil Tillage Research, 2012, 119: 31-37.

[24] 倪进治, 徐建民, 谢正苗, 等. 不同有机肥料对土壤生物活性有机质组分的动态影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 374-3781.
Ni J Z, Xu J M, Xie Z M *et al*. Effects of different organic manure on biologically active organic fractions of soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(4): 374-3781.

[25] 蔡太义, 黄会娟, 黄耀威, 等. 不同量秸秆覆盖还田对土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响[J]. 自然资源学报, 27(6): 964-974.
Cai T Y, Huang H J, Huang Y W *et al*. Effects of different rates of straw mulching and returning to field on soil labile organic carbon and carbon pool management index[J]. Journal of Natural Resources, 27(6): 964-974.

[26] 钟杭, 朱海平, 黄锦法. 稻麦等秸秆全量还田对作物产量和土壤的影响[J]. 浙江农业学报, 2002, 14 (6): 344-347.
Zhong H, Zhu H P, Huang J F. Effects of total wheat and rice straw application on the crop yield and the soil properties[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2002, 14 (6): 44-347.

[27] 张振江. 长期麦秆直接还田对作物产量与土壤肥力的影响[J]. 土壤通报, 1998, 29(4): 154-155.
Zhang Z J. Effects of long-term wheat-straw returning on yield of crop and soil fertility[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1998, 29(4): 154-155.

[28] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报, 1994, 31(1): 18-28.
Chen E F, Zhou L K, Wu G Y. Performances of soil microaggregates in storing and supplying moisture and nutrients and role of their compositional proportion in judging fertility level [J]. Acta Pedologica Sinica, 1994, 31(1): 18-28.

[29] 任万军, 黄云, 吴锦秀, 等. 免耕与秸秆高留茬还田对抛秧稻田土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(11): 2913-2918.
Ren W J, Huang Y, Wu J X *et al*. Effects of no-tillage and stubble-remaining on soil enzyme activities in broadcasting rice seedlings paddy field[J]. Chinese Journal of Applied Ecology. 2011, 22(11): 2913-2918.

[30] 苏秦. 有机培肥对宁南旱作农田土壤理化性状及作物生长的影响[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学硕士学位论文, 2009.
Su Q. Effects of organic fertilization on physical and chemical properties of soil and crop growth in the semi-arid areas of Southern Ningxia[D]. Yangling, Shanxi: Ms thesis of Northwest Agriculture and Forestry University, 2009.

[31] 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.
Liu Y G, Liu Y H, Liu H J *et al*. Effects of straw returning amount on soil physical and chemical properties and yield of wheat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(3): 131-135.

[32] 戴志刚. 秸秆养分释放规律及秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[D]. 武汉：华中农业大学硕士学位论文, 2009.
Dai Z G. Study on nutrient release characteristics of crop residue and effect of crop residue returning on crop yield and soil fertility [D]. Wuhan: Ms thesis of Huazhong Agricultural University, 2009.