

保护性耕作对潮土团聚体组成及其有机碳含量的影响^①

陈文超^{1,2}, 朱安宁^{1*}, 张佳宝¹, 朱强根³, 杨文亮¹, 舒馨¹

(1 封丘农业生态实验站, 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;

2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 丽水学院, 浙江丽水 323000)

摘 要: 利用保护性耕作长期定位试验平台, 研究了小麦-玉米轮作条件下连续 5 年实施免耕与秸秆还田对农田潮土团聚体组成、团聚体中有机碳含量的影响。结果表明: 相比于常规翻耕, 常规翻耕+秸秆还田、免耕、免耕+秸秆还田处理下 >5 mm 粒级机械稳定性团聚体含量显著提升, 增加比例分别为 16.62%、16.05%、44.23%; 而免耕、免耕+秸秆还田能显著提升 5~2 mm 粒级水稳性团聚体含量, 提升比例分别为 29.81% 和 64.28%, 同时团聚体稳定率也有一定的提高; 实施免耕能显著提高 5~2、2~1 mm 粒级水稳性团聚体中有机碳含量; 除常规翻耕+秸秆还田处理下 2~1 mm 粒级外, 秸秆还田对各粒级团聚体中有机碳含量均有不同程度的提升作用。

关键词: 保护性耕作; 潮土; 团聚体; 有机碳

中图分类号: S157; S157.4

土壤团聚体组成与有机质含量是表征土壤结构状况和肥力水平的两个重要指标。良好的团粒结构不仅有利于土壤水、肥、气、热状况调节^[1], 而且对植物根系的穿插、土壤动物及微生物的生命活动起到了积极作用。土壤有机质是土壤中营养元素的重要来源, 对土壤理化和生物学性质有着深刻的影响^[1], 它的累积与分解也对全球碳平衡起着重要作用^[2]。传统耕作模式下, 频繁的翻耕加剧了水力和风力对土壤的侵蚀, 土壤结构遭到破坏, 土壤质量下降^[3]。西方国家多采取季节性休闲或保护性耕作的方式对耕地进行保育, 来保障农业发展的可持续性, 在我国粮食刚性需求的背景下, 耕地休闲几乎不可能, 因此, 以少耕或免耕为主, 以秸秆还田或覆盖为辅助措施的保护性耕作体系在我国受到越来越多的关注^[4-5], 唐晓红等人^[4]研究表明保护性耕作有助于提高水稻土大团聚体中有机碳含量以及团聚体的水稳性; Blanco 等^[5]通过对比常规翻耕与免耕发现免耕提高了 0~5 cm 表层土壤的团聚体稳定率以及土体中的有机碳含量。虽然前人关于保护性耕作体系下土壤团聚体组成以及土壤总有机碳含量变化的研究较多^[6-8], 但不同耕作措施下潮土团聚体组成以及有机碳在各粒级团聚体中的分布情况、累积趋势方面的研究还鲜有报道。

本研究以中国科学院封丘农业生态试验站内的保护性耕作长期试验地为平台, 研究不同耕作措施下土壤团聚体组成, 以及有机碳在不同粒级团聚体中的分布情况, 探讨不同耕作措施对土壤结构、农田地力提升的影响机制, 为保护性耕作技术的推广应用提供科学理论支撑。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

保护性耕作长期试验地位于河南省封丘县, 中国科学院封丘农业生态试验站内(35°00'N, 114°24'E)。该地区属于暖温带大陆性季风气候, 1 月份平均气温 -1.0℃, 7 月份平均气温 27.2℃, 年平均气温 13.9℃; 年平均降雨量 615 mm, 主要集中在 7—9 月; 无霜期 214 天; 试区土壤为发育在黄河冲积母质上经过人为耕作熟化而形成的典型潮土, 耕层质地为沙壤土, 农作制度为冬小麦-夏玉米轮作的一年两熟制, 土壤类型和耕作制度在黄淮海平原具有典型代表性。

1.2 长期试验设计

长期试验始于 2006 年玉米季, 为小区试验, 设置了 4 个处理(表 1), 每个处理 4 次重复, 小区面积为 14 m × 6.5 m。翻耕处理采用人工翻地, 翻耕深度

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB100504)、中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX2-YW-JS408)、中国科学院重点部署项目(CXJQ120112)和公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203030-06)资助。

* 通讯作者(anzhu@issas.ac.cn)

作者简介: 陈文超(1988—), 男, 河南封丘人, 硕士研究生, 主要从事保护性耕作农田有机碳循环研究。E-mail: wcchen@issas.ac.cn

为 20~22 cm。秸秆还田处理是用粉碎机将作物秸秆粉碎(玉米秸秆 2~3 cm, 小麦秸秆 6~7 cm), 在翻耕处理时将前茬作物秸秆均匀撒在地表, 播种前翻地时混入土中; 免耕处理时则在作物幼苗长出后将秸秆均匀覆盖在地表, 秸秆还田量(烘干计)为: 小麦秸秆 3.44 t/hm², 玉米秸秆 2.98 t/hm²。小麦施肥分为基肥和拔节期追肥, 其中基肥施用量为: N: 135 t/hm², P₂O₅: 150 t/hm², K₂O: 150 t/hm²; 拔节期追肥只施用氮肥, 施 N 量为 90 t/hm²。玉米施肥分为两次追肥, 其中第一次追肥是在四叶期, 施用量为: N: 78 t/hm², P₂O₅: 75 t/hm²; 第二次追肥是在大喇叭口期, 只施用氮肥, 施 N 量为 117 t/hm²。作物灌溉、除草等农事管理措施按当地常规方式进行。

表 1 试验设计
Table 1 Experimental treatments

处理	实施方法
C _{NT} W _T S	玉米免耕播种、小麦翻耕播种, 秸秆粉碎还田
C _{NT} W _{NT} S	玉米、小麦均免耕播种, 秸秆粉碎还田
C _{NT} W _T	玉米免耕播种、小麦翻耕播种, 秸秆不还田(常规耕作模式)
C _{NT} W _{NT}	玉米、小麦均免耕播种, 秸秆不还田

注: C 代表玉米; W 代表小麦; NT 代表免耕; T 代表翻耕; S 代表秸秆还田。

1.3 土壤样品采集与测定

土壤样品的采集工作于 2011 年秋季玉米收获后进行, 每个小区随机选取 3 个点, 用铁铲采集 0~10 cm 原状土样并放入同一铁盒中(避免挤压变形)作为一个混合土样。带回实验室后, 将较大的土块掰分, 以便全部土壤样品均能通过 10 mm 土筛, 于避光处自然风干。

土壤机械稳定性团聚体的组成采用干筛法测定, 将孔径分别为 5、2、1、0.5、0.25 mm 的土筛按孔径

由大到小叠放成一组套筛, 称取 100 g 风干土样并放置于土筛上, 筛分成不同粒级团聚体, 称重并计算其重量比例, 依各粒级团聚体的重量比例组成一个总土土样(以便与团聚体区分)用于湿筛。

土壤水稳性团聚体组成的测定采用湿筛法^[9], 将孔径为 5、2、1、0.25 mm 的土筛按孔径由大到小叠放成一组套筛, 放置于水桶中, 加水并使水面没过土筛。称取 50 g 风干土样倒入水桶中的土筛上, 静置 5 min 后将套筛在 2 min 内以 3 cm 的振幅上下振动 50 次, 获得不同粒径水稳性团聚体, 收集至烧杯中, 放入温度设置为 40℃ 的烘箱中烘干(24 h)。

将各粒级团聚体研磨过 100 目筛, 采用重铬酸钾容量法^[10]测定有机碳含量。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2010、SPSS 16.0 软件对数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 耕作措施对土壤机械稳定性团聚体组成的影响

土壤机械稳定性团聚体是土样风干后经干筛获得, 具有力稳性, 一定程度上能抵抗机械破坏, 是表征土壤结构状况的一个重要指标^[1]。表 2 是不同处理下 0~10 cm 土层土壤各粒级机械稳定性团聚体所占比例情况。结果表明: 4 个试验处理下, 机械稳定性团聚体均以粒径为 >5 mm、5~2 mm 的大团聚体为主, >2 mm 团聚体的比例达到了 71.52%~85.71%; 其他粒级团聚体均呈现出随着粒径的减小其所占比重随之下降的规律; 翻耕或免耕条件下, 上茬作物秸秆还田均能显著提高>2 mm 团聚体所占的比例, 提高幅度分别为 19.86% 和 11.34%, 与崔荣美等^[11]的研究结果一致。

表 2 不同处理下土壤各粒级机械稳定性团聚体所占比例(%)
Table 2 Proportion of soil each size mechanically stable aggregate under different treatments

处理	团聚体粒径(mm)				
	>5	5~2	2~1	1~0.25	<0.25
C _{NT} W _T S	41.42±3.52 b	44.25±2.32 a	10.91±1.78 c	2.04±0.78 b	1.39±0.62 a
C _{NT} W _{NT} S	51.15±4.46 a	33.16±3.13 b	11.25±2.22 bc	2.94±1.12 b	1.51±0.57 a
C _{NT} W _T	35.48±1.52 c	36.02±3.78 b	17.21±1.23 a	9.28±2.01 a	2.01±0.78 a
C _{NT} W _{NT}	41.17±2.56 b	34.63±4.13 b	13.81±0.56 b	7.84±2.21 a	2.55±1.15 a

注: 同一列数据中小写字母不同表示各处理间差异达到 P<0.05 显著水平, 下同。

翻耕频率对土壤机械稳定性团聚体组成有显著影响: 相比于 C_{NT}W_TS 处理, C_{NT}W_{NT}S 处理下>5 mm 团聚体所占的比例提高了 23.67%, 5~2 mm 团聚体所占比例却降低了 25.05%; 相比于 C_{NT}W_T 处理,

C_{NT}W_{NT} 处理下 >5 mm 团聚体所占的比例提高了 16.05%, 5~2 mm 与 2~1 mm 团聚体比例分别降低了 3.88%、19.76%; 其他粒级团聚体则无明显规律, 这说明, 在秸秆还田的情况下, 实施免耕能通过减少

5~2 mm 团聚体所占比例来增加 >5 mm 团聚体的比重；在秸秆全部移除的情况下，免耕处理 >5 mm 团聚体的比重的增加则主要是通过降低 2~1 mm 团聚体比例来实现的，可能是由于免耕条件下人为因素对土壤结构的破坏降至最低，较小粒级(2~1 mm 与 1~0.25 mm)团聚体向大团聚体的形成过程未受到影响，且上茬作物秸秆作为外源性有机物质的加入，为各粒级团聚体的聚合提供了胶结物质。

2.2 耕作措施对土壤水稳性团聚体组成的影响

相比于土壤机械稳定性团聚体，水稳性团聚体的组成情况能更加灵敏地反映出土壤结构的稳定性，在农学上，通常以直径在 10~0.25 mm 的水稳性团聚体

含量来判别土壤结构的好坏^[1]。表 3 是湿筛后获得的各级水稳性团聚体的所占比例数据。相比于 C_{NT}W_T 处理，C_{NT}W_TS 处理下 1~0.25 mm 粒级水稳性团聚体所占比例显著增加，幅度为 16.35%，<0.25 mm 粒级却显著降低，幅度为 10.66%；相比于 C_{NT}W_{NT}，C_{NT}W_{NT}S 处理下 5~2 mm 粒级水稳性团聚体所占比例显著增加，幅度为 26.56%，<0.25 mm 粒级显著降低，幅度为 26.92%。这说明，无论是在翻耕还是免耕条件下，实施秸秆还田均能显著降低 <0.25 mm 粒级水稳性团聚体的比例，其区别在于翻耕条件下实施秸秆还田增加的是 1~0.25 mm 粒级水稳性团聚体含量，免耕条件下秸秆还田则提升了 5~2 mm 粒级水稳性团聚体所占比例。

表 3 不同处理下土壤各粒级水稳性团聚体组成(%)
Table 3 Proportion of soil each size water stable aggregate under different treatments

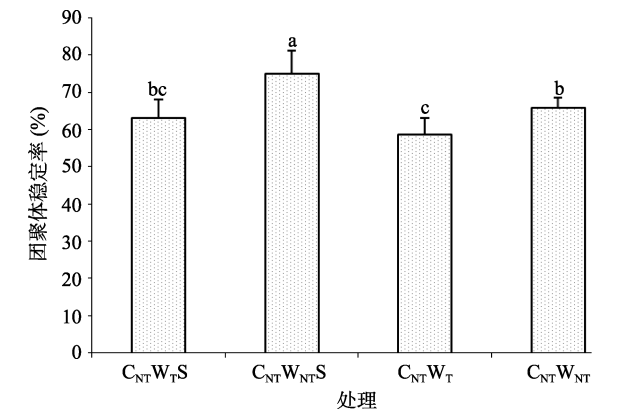
处理	团聚体粒径(mm)			
	5~2	2~1	1~0.25	<0.25
C _{NT} W _T S	28.32±2.52 c	9.61±1.26 a	24.12±1.75 a	37.95±3.13 b
C _{NT} W _{NT} S	44.70±2.97 a	9.40±1.31 a	19.63±1.33 b	26.28±1.29 c
C _{NT} W _T	27.21±2.14 c	9.58±2.02 a	20.73±2.38 b	42.48±2.76 a
C _{NT} W _{NT}	35.32±1.87 b	8.62±1.54 a	20.09±2.59 b	35.96±2.51 b

免耕能最大程度地减少人为扰动对土壤结构体带来的破坏，有利于大粒级水稳性团聚体的形成。相比于 C_{NT}W_TS 处理，C_{NT}W_{NT}S 处理下 5~2 mm 粒级水稳性团聚体所占比例提高了 57.84%；相比于 C_{NT}W_T 处理，C_{NT}W_{NT} 处理下 5~2 mm 粒级水稳性团聚体比例提高了 29.81%，说明免耕对于改善土壤团聚结构状况起到了积极作用。免耕和秸秆还田对土壤团聚结构状况改善存在显著的正交互作用，相比于 C_{NT}W_T 处理，C_{NT}W_{NT}S 处理下 5~2 mm 粒级水稳性团聚体的比例增加了 64.28%，可能是由于免耕+秸秆还田一方面减少了翻耕时外力对土壤团聚体的破坏，另一方面也为较小粒级(1~0.25 mm、<0.25 mm)聚合为大粒级团聚体提供了胶结物质。

2.3 耕作措施对团聚体稳定率的影响

团聚体稳定率是指一定重量的土样依次进行干筛和湿筛后，>0.25 mm 水稳性团聚体的重量与 >0.25 mm 机械稳定性团聚体重量的比值，能直观地表征土壤团聚体的稳定性和土壤结构状况^[5, 12]，图 1 是不同处理下土壤团聚体稳定率情况。如图所示，C_{NT}W_{NT}S 处理下土壤团聚体稳定率显著高于其他处理，且 C_{NT}W_{NT} 处理显著高于 C_{NT}W_T 处理；无论是否进行秸秆还田，相比于常规翻耕模式，免耕的实施能显著提高 >0.25 mm 团聚体的稳定率。对比 C_{NT}W_TS 与 C_{NT}W_T 处理，可以发现，在常规翻耕模式下进行

秸秆还田对团聚体稳定率没有显著的提升作用，说明人为扰动是制约土壤团聚体稳定率的主要因素，免耕降低了频繁翻耕所导致的外力对土壤结构体的破坏，有利于团聚体稳定率的提升。而相对于单纯的免耕，免耕耦合秸秆还田能显著提升土壤团聚体稳定率，可能和团聚体中有机碳含量有关^[13]。



(图中小写字母不同表示各处理间差异达到 P<0.05 显著水平)

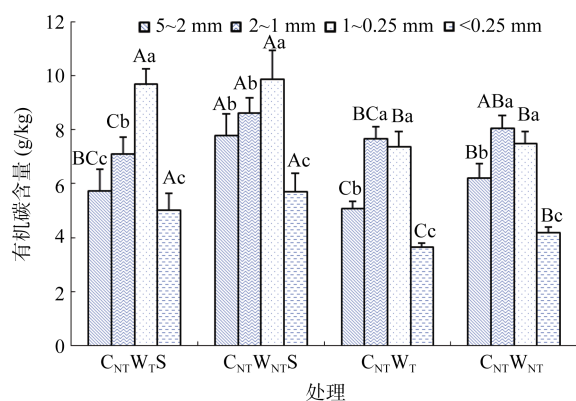
图 1 不同处理下土壤团聚体稳定率

Fig. 1 Stability of soil aggregates under different treatments

2.4 耕作措施对土壤水稳性团聚体中有机碳含量的影响

土样经过湿筛后，得到 5~2、2~1、1~0.25、<0.25 mm 4 个粒级的团聚体，通过对各粒级团聚体中有机碳含量的测定，可以探明有机质在不同大小土

粒单元中的分布与流转状况。图 2 是不同处理下各粒级团聚体中有机碳含量的情况。从图中可以看出:除了 $C_{NT}W_{TS}$ 处理中 2~1 mm 粒级团聚体外, $C_{NT}W_{TS}$ 与 $C_{NT}W_{NTS}$ 处理各粒级团聚体中有机碳的含量均高于 $C_{NT}W_T$ 与 $C_{NT}W_{NT}$ 处理, 其中 1~0.25 mm 粒级团聚体的有机碳含量差异达到显著水平, 可知秸秆还田能不同程度地提升土壤各粒级团聚体有机碳含量; 单纯比较免耕相对于翻耕对土壤团聚体有机碳含量的影响, 可以发现, 无论是否进行秸秆还田, 实施免耕能显著提升 5~2 mm、<0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量, 且相比于常规翻耕配合秸秆还田, 免耕耦合秸秆还田处理还能显著提升 1~0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量。从有机碳提升趋势来看, 由外源性秸秆在土壤中分解而增加的有机碳更多地集中在粒径较小的团聚体中, 如图中 1~0.25 mm 与 <0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量所示。



(图中小写字母不同表示在同一处理下不同粒级团聚体之间有机碳含量的差异达到 $P<0.05$ 显著水平; 大写字母不同表示在不同处理下同粒级团聚体之间有机碳含量的差异达到 $P<0.05$ 显著水平)

图 2 不同处理下各粒级土壤团聚体有机碳含量

Fig. 2 Organic carbon contents in soil aggregates under different treatments

3 讨论

频繁的翻耕必然在一定程度上导致土壤团聚体机械稳定性与水稳性的降低, 改变自然状态下团粒组成结构^[14], 特别是对大团聚体的破坏作用更为明显。相比于传统翻耕模式下土壤结构体在土壤翻动过程中容易遭到破坏, 实施免耕并将上茬作物秸秆全量还田不仅能最大程度地保护土壤免于机械扰动带来的结构体破坏, 还为小粒级团聚体以及微团聚体进一步聚合成大粒级团聚体提供了物质基础^[15]。Six 等^[16]认为频繁翻耕是土壤结构状况变坏的主要诱导因素, 降低翻耕频率能在一定程度上改善这个问题, 本研究所得出的结果也印证了这一点, 相比于常规耕作模式, 连续 5 年实施免耕的条件下 >5 mm 团聚体所占

比例平均提升了 19.86%, 而 5~2 mm 与 2~1 mm 团聚体比例显著降低, 可能是由于一方面免耕减少了人为因素对土壤的机械扰动, 使土壤结构体在一定程度上保持自然状态; 另一方面作物秸秆的全量还田以及根系分泌物又为 <5 mm 粒级团聚体的聚合提供了胶结物质^[17], 因此免耕与秸秆还田这两种保护性耕作措施的耦合能显著提高 >5 mm 粒级团聚体的比例, 并在一定程度上改善频繁翻耕所带来的土壤结构体破坏的问题, 与李爱宗等^[18]的研究结果一致。

相比于机械稳定性, 降雨、灌溉过程中所造成的湿润以及浸水条件下, 土壤团聚体的水稳性能更好地反映土壤结构状况^[18], 虽然 >5 mm 粒级团聚体在机械稳定性团聚体中所占比例较大, 但水稳性差, Plante 和 McGill^[19]认为可能是由于团粒结构的形成机制以及胶结物质的不同所造成, 在本试验中, >5 mm 粒级团聚体在湿筛过程中全部破碎, 可知大粒级团聚体的形成更多的是一种物理的聚合, 即在外力或根系的作用下团聚在一起, 且胶结物质多为容易被微生物利用的单糖等化学结构较为简单的有机物质, 湿润过程中容易破碎成小团聚体和微团聚体^[4], 因此以团聚体稳定率来衡量土壤团粒结构的稳定性就更为准确, 结合本试验研究结果, 我们发现免耕能显著提升团聚体稳定率。

土壤有机碳在各粒级团聚体中的含量以及流转与团粒结构的稳定性密切相关, 根据 Tisdall 和 Oades^[20]提出团聚体等级学说, 不同粒级团聚体中的胶结物质的化学结构与生物有效性也是不同的, 存在于微团聚体中的一般是不易被微生物利用的永久性胶结物质(腐殖质以及多价金属阳离子), 而这些微团聚体在外力以及真菌菌丝和根系的作用下进而形成 >0.25 mm 粒级团聚体, 本试验研究结果表明, 相比于常规耕作模式, 免耕显著提高了除 1~0.25 mm 粒级外各粒级团聚体中的有机碳含量, 可能是由于实施免耕减少了由频繁翻耕带来的土壤有机碳矿化损失^[21]。秸秆还田则提高了 5~2、1~0.25 与 <0.25 mm 粒级团聚体中有机碳含量, 这也与团聚体等级学说的观点相吻合, 即秸秆还田提供的外源性有机质一般作为微团聚体聚合成较大粒级团聚体的暂时性胶结物质, 从而更多地积累在这些粒级团聚体中, 但由于土壤生物利用以及有机质腐殖化过程, 大粒级团聚体会破碎成小团聚体以及微团聚体, 有机碳也会向小粒级团聚体中流转, 而秸秆在土壤中分解后的产物在不同粒级土粒单元中的累积与流转也在一定程度上增加了土体中有机碳的储量^[22]。

4 结论

相比与常规耕作模式,连续 5 年实施免耕对土壤机械稳定性、水稳性团聚体的组成比例以及有机碳在各粒级团聚体中的累积与流转过程均产生了影响。免耕耦合秸秆还田能将外力对土壤结构的破坏降到最低,显著增加了大粒级团聚体在机械稳定性与水稳性团聚体中所占的比例,进而在一定程度上提高了团聚体的稳定率,有利于土壤结构良性发展。而在土壤有机碳含量的提升方面,实施免耕与秸秆还田处理下各粒级团聚体中有机碳含量得到不同程度的提高,有利于土壤中碳储量的增加。

参考文献：

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 66-67
- [2] Katterer T, Bolinder MA, Andren O, Kirchmann H, Menichetti L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2011, 141(1/2): 184-192
- [3] Lopez-Garrido R, Madejon E, Murillo JM, Moreno F. Short and long-term distribution with depth of soil organic carbon and nutrients under traditional and conservation tillage in a Mediterranean environment (southwest Spain) [J]. *Soil Use and Management*, 2011, 27(2): 177-185
- [4] 唐晓红, 魏朝富, 吕家格, 罗友进, 谢德体, 潘根兴, 曾希柏. 保护性耕作对丘陵区水稻土团聚体稳定性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11): 49-54
- [5] Blanco MN, Moret FD, Lopez MV. Dynamics of aggregate destabilization by water in soils under long-term conservation tillage in semiarid Spain[J]. *Catena*, 2012, 99: 34-41
- [6] 罗珠珠, 黄高宝, 辛平, 张国盛. 陇中旱地不同保护性耕作方式表层土壤结构和有机碳含量比较分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(4): 53-58
- [7] 张凤云, 成雪峰, 张恩和. 河西绿洲区保护性耕作对土壤微生物量 C 和有机质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(4): 172-175, 182
- [8] 王新建, 张仁陟, 毕冬梅, 汪娟. 保护性耕作对土壤有机碳组分的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(2): 115-121
- [9] Stemmer M, Gerzabek MH, Kandeler E. Organic matter and enzyme activity in particle-size fractions of soils obtained after low-energy sonication[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 9-18
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 106-109
- [11] 崔荣美, 李儒, 韩清芳, 贾志宽, 梁连友, 王晓娟, 马晓丽. 不同有机肥培肥对旱作农田土壤团聚体的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(11): 124-132
- [12] 张雯, 丛巍巍, 赵洪亮, 衣莹, 侯立白. 免耕条件下玉米残茬处理对农田表层土壤结构性能的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3): 79-82
- [13] 卢金伟. 土壤团聚体水稳定性及其与土壤可蚀性之间关系研究(硕士学位论文)[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 资源环境学院, 2002
- [14] 高飞, 贾志宽, 韩清芳, 杨宝平, 聂俊峰. 有机肥不同施用量对宁南土壤团聚体粒级分布和稳定性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(3): 100-106
- [15] Briar SS, Fonte SJ, Park I. The distribution of nematodes and soil microbial communities across soil aggregate fractions and farm management systems[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43: 905-914
- [16] Six J, Elliott ET, Paustian K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 2 099-2 103
- [17] 李恋卿, 潘根兴, 张旭辉, 龚伟. 土壤团聚体有机碳稳定性同位素组成[J]. *南京农业大学学报*, 2000, 23(1): 114-116
- [18] 李爱宗, 张仁陟, 王晶. 耕作方式对黄绵土水稳定性团聚体形成的影响[J]. *土壤通报*, 2008, 39(3): 480-484
- [19] Plante AF, McGill WB. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies[J]. *Soil and Tillage Research*, 2002, 66: 79-92
- [20] Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stable aggregates in soils[J]. *European Journal of Soil Science*, 1982, 33(2): 141-163
- [21] 沈善敏. 黑土开垦后土壤团聚体稳定性与土壤养分状况的关系[J]. *土壤通报*, 1981(2): 32-34
- [22] 袁俊吉, 彭思利, 蒋先军, 谢德体. 稻田垄作免耕对土壤团聚体和有机质的影响[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(12): 153-160

Effects of Conservation Tillage on the Composition and Organic Carbon Content of Soil Aggregates in Fluvo-aquic Soil

CHEN Wen-chao^{1,2}, ZHU An-ning^{1*}, ZHANG Jia-bao¹, ZHU Qiang-gen³, YANG Wen-liang¹, SHU Xin¹

(1 *State Experimental Station of Agro-Ecosystem in Fengqiu, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3 *Lishui University, Lishui, Zhejiang 323000, China*)

Abstract: In this study, effects of five-year no-tillage and straw returning on composition and organic carbon content of soil aggregates in farmland fluvo-aquic soil were investigated in a long-term experiment site of conservation tillage. The research results showed that: compared with the conventional tillage treatment, content of >5 mm mechanically stable aggregates under conventional tillage+straw returning, no-tillage, no-tillage+straw returning treatments were significantly improved, the proportions were respectively: 16.62%, 16.05%, 44.23%; And no-tillage and no-tillage+straw returning could significantly improve content of 5–2 mm water stable aggregates, the proportions were respectively: 29.81% and 64.28%, stabilities of soil aggregates were also improved to some extent; Implementing no-tillage could significantly improve organic carbon content of 5–2 mm, 2–1 mm water stable aggregates; Except 2–1 mm under conventional tillage+straw returning treatment, straw returning improved organic carbon content of all the size water stable aggregates inordinately.

Key words: Conservation tillage, Fluvo-aquic soil, Aggregate, Organic carbon