

长期保护性耕种方式对农田表层土壤性质的影响

张国盛¹, K Y Chan², G D Li³, D P Heenan³

(1. 云南大学生命科学学院, 昆明 650091; 2. 澳大利亚新南威尔士州初级产业部 E H Graham 农业创新中心;
3. 澳大利亚新南威尔士州初级产业部 Wagga Wagga 农业研究所)

摘要:研究了不同耕种方式对澳大利亚同一地区 3 种土壤表层(0~5cm)理化性质的作用,以揭示保护性耕作对土壤质量恢复的影响。结果表明:免耕穴播/保留残茬(DD/SR)、多年生人工草地(PP)和自然草地(NP)表层土壤的 >2mm 水稳性团聚体含量、全氮、有机碳含量、田间持水量均显著高于其相应对照传统耕作/秸秆焚烧(CC/SB)、人工草地/作物轮作(PPC)和耕作(CT)的;土壤全氮含量、田间持水量分别与有机碳含量之间有极显著的正相关关系($r=0.994^{**}$, $r=0.996^{**}$, $n=6$),而受土壤质地等因素的影响较小;在同一类型的土壤上,土壤有机碳含量与水稳性团聚体含量之间存在显著的相关性;在不同试验区,耕作措施对表层土壤容重和孔隙分布的影响存在较大差异;秸秆焚烧和施用石膏对表层土壤的 pH 及交换性阳离子含量有较大的影响。研究表明长期保护性耕作、草田轮作或多年生草地有利于提高表层土壤有机碳含量和结构稳定性,从而改善土壤的供肥供水能力。

关键词:保护性耕作;有机碳;团聚体;田间持水量;pH

文章编号:1000-0933(2008)06-2722-07 中图分类号:S152, S153, Q154, S157.4 文献标识码:A

Long-term effects of tillage systems and rotation on selected soil properties in cropping zone of Southern NSW, Australia

ZHANG Guo-Sheng¹, K Y Chan², G D Li³, D P Heenan³

1 School of Life Science, Yunnan University, Kunming 650091, China

2 E H Graham Centre for Agricultural Innovation, NSW DPI, Richmond, Australia

3 Agricultural Research Institute, NSW DPI, Wagga Wagga, Australia

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2722 ~ 2728.

Abstract: Different tillage and cropping practices can change soil properties which in turn can affect crop growth and the environment. The objective of this study was to investigate the effect of different tillage and pasture rotation systems on pH, soil organic matter (SOC), total N (TN) and selected physical properties of the surface layer (0–5 cm) of 3 soils in Wagga Wagga, New South Wales, Australia. In 0–5 cm layer, % >2mm water stable macro-aggregates, soil organic carbon (SOC), and total nitrogen (TN) were significantly higher in the treatments of direct drilled/stubble retained (DD/SR), perennial pasture (PP) and nature pasture (NP), than the corresponding contrasting treatments of conventional cultivation/stubble burnt (CC/SB), pasture/crop rotation (PPC) and conventional cultivation (CT) respectively. At all 3 experiment sites, conservation tillage had the effect of changing the nature of organic carbon resulting in higher labile and slow organic carbon fractions. Soil organic carbon concentration was significantly related to total nitrogen ($r=0.994^{**}$, $n=6$). At each experiment site, SOC was significantly positively correlated with % >2 mm macro-aggregates but there was no

基金项目:澳大利亚 ATSE Crawford 基金会

收稿日期:2007-03-30; 修订日期:2007-11-07

作者简介:张国盛(1971~),男,甘肃人,副教授,博士,主要从事土壤退化与恢复研究. E-mail: gshzhang@ynu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by ATSE Crawford Fund

Received date: 2007-03-30; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: ZHANG Guo-Sheng, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in soil degradation and resilience. E-mail: gshzhang@ynu.edu.cn

correlation when data of all 3 sites were combined. This indicated that SOC was not the only factor affecting soil aggregation, other factors like clay content were also involved.

The effects of tillage practice on bulk density (BD) and porosity varied at different experiment sites. At one of the sites, BD was significantly higher and $>60\ \mu\text{m}$ porosity was significantly lower under conventional tillage practice compared to conservation tillage. However, results of the other two sites were inconsistent. Field capacity water content was significantly affected by tillage practices and significantly correlated with SOC within 3 soils ($r=0.996^{**}$, $n=6$). This suggested that soil water holding capacity was mainly affected by SOC. Stubble burning and gypsum application significantly altered exchangeable Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} , and topsoil pH. Adoption of conservation tillage and/or perennial pasture can improve topsoil SOC and structural stability and therefore long-term soil fertility.

Key Words: conservation tillage; organic carbon; macro-aggregates; field capacity; pH

长期而频繁地犁翻土壤会导致表层土壤有机碳和结构稳定性下降,从而加剧农田表层土壤的流失和风蚀,同时,由耕作而导致的有机碳的损失主要发生在 $0\sim30\text{cm}$ 土层内,特别是 $0\sim10\text{cm}$ 土层^[1~3],而土壤有机碳是维持土壤质量稳定的重要物质。因此,耕作被认为是导致农田土壤质量下降的主要因素之一^[4]。保护性耕作措施在广义上是指任何可以降低土壤和水分流失的耕作体系。大量的研究认为^[1,5],保护性耕作措施能使土壤表层的结构稳定性和有机碳含量得到一定程度的恢复。近年来,许多国家的农田已经采用了保护性耕作措施^[6]。但是在不同地区的研究中,由于气候、土壤以及耕作方式的差异,使人们对不同耕种措施影响农田土壤质量恢复的评价存在较大差异。在同一气候条件下,研究不同保护性耕作措施所作用的土壤性质及其变化特征,有利于合理评价保护性耕作措施对农田土壤质量恢复的影响。

在澳大利亚 Wagga Wagga 地区,由于长期的耕种导致土壤酸化或者钠质化,使土壤质量严重下降^[7~9]。为了解决土壤质量出现的问题,相应的耕作管理措施也进行了较长时期的试验研究。本文试图通过研究不同耕种措施对该地区 3 种农田土壤表层有机碳、水稳定性团聚体、孔隙特征、pH、交换性阳离子的影响,以探究同一气候类型下不同保护性耕作措施对土壤质量恢复的影响作用。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本研究选择了澳大利亚 Wagga Wagga 地区 3 种不同设计的保护性耕作试验。Wagga Wagga 地区多年平均降雨量为 $550\sim600\text{mm}$,降雨分布基本无季节变化^[7~9]。

试验 1 Sustainable agriculture through wheat and good legumes (SATWAGL)^[7]。试验始于 1979 年,试验地位于澳大利亚新南威尔士州 Wagga Wagga 农业研究所。试验设计为小麦/羽扇豆轮作,其播量均为 $90\text{kg}/\text{hm}^2$ 。传统耕作方式采用当地农民通用的耕作方式(前后偏置圆盘耙耕作 3 次),耕作深度为 10cm 。秸秆保留指秸秆留茬 10cm ,秸秆焚烧在秋季禁火令结束后立即实施。本研究选择其中自试验开始至今未改变的 2 个处理:免耕穴播/秸秆保留 (DD/SR)、传统耕作/秸秆焚烧 (CC/SB)。每处理各选 3 个小区,共 6 个小区,每个小区的面积为 $50\text{m}\times4.3\text{m}$ 。

试验 2 Managing acid soils through efficient rotations (MASTER)^[8]。试验始于 1992 年,试验地位于澳大利亚新南威尔士州,Book Book。本研究选择其中自试验开始至今未改变 2 个处理:多年生人工草地 (PP)、人工草地 (3a)/作物 (油菜 (1a)/羽扇豆 (1a)/小麦 (1a)) 6a 轮作 (PPC),播种均采用免耕穴播方式,试验开始时施用石灰 $3.7\text{t}/\text{hm}^2$,并将石灰混合于 $0\sim10\text{cm}$ 土层,以后每 6a 土壤表面施用石灰 $1.6\sim1.8\text{t}/\text{hm}^2$ 。每处理各选 3 个小区,共 6 个小区,每个小区的面积为 $45\text{m}\times30\text{m}$ 。

试验 3 Improving heaving soil for cropping (IHSFC)^[9]。试验始于 1999 年,试验地位于澳大利亚新南威尔士州, Bland。1999 年试验地种植苜蓿,播种前施用石膏 $5\text{t}/\text{hm}^2$;2000 年 1~2 月使用 Agroplo^R 分别翻耕至 10cm 、 35cm 及 25cm ;2000 年 4 月施用石膏 $2.5\text{t}/\text{hm}^2$,并将石膏混合于 $0\sim10\text{cm}$ 土层。耕种试验中小麦(播种

量 80 kg/hm^2)/油菜(播种量 5 kg/hm^2)轮作,松土深度为 $7 \sim 8 \text{ cm}$ 。本研究选择其中自试验开始至今未改变 2 个处理:耕种(CT)、自然草地(NP)。每处理各选 3 个小区,共 6 个小区,每个小区的面积为 $24 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ 。

选用的 3 个试验分别分布在 Wagga Wagga 地区的 Red earth、Subnatric yellow Sodosol 和 sodic brown clay (Vertisol) 3 种不同的土壤上,这 3 种土壤的表层($0 \sim 5 \text{ cm}$)基本性状见表 1。

表 1 澳大利亚 3 个长期定位试验表层土壤($0 \sim 5 \text{ cm}$)基本性状

Table 1 Topsoil($0 \sim 5 \text{ cm}$) properties of three long-term experiments in Australia

地点 Site	土壤类型 Soil types	全氮 TN(g/kg)	有机碳 SOC(g/kg)	pH	粘粒含量 Clay content(g/100g)
SATWAGAL	Red earth	0.9	12.1	4.8	27
MASTER	Subnatric yellow Sodosol	3.2	34.7	5.6	15
IHSFC	Sodic brown clay (Vertisol)	1.2	15.7	5.3	32

1.2 土壤样品采集、测定及统计分析

2003 年 8 月分别采集各试验区选定处理 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土层的土样,每小区将 8 个采样点的土壤样品混合后做为 1 个混合样。上述所有土样采集、运输和风干时都特别注意田间土壤结构状态的保持。

土壤水稳性团聚体的测定采用湿筛法^[10];土壤容重的测定采用环刀法;凋萎湿度采用压力膜法;田间最大持水量和通气孔隙含量测定采用张力盘法,分别给土样以 -50 cm 及 -100 cm 的张力;土壤 pH 值及电导率分别采用电导仪和 pH 仪测定,水(0.01 M CaCl_2)土比为 $5:1$;土壤交换性阳离子 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 的测定采用原子吸收分光光度法。

土壤全氮及总有机碳的测定采用干烧法(Leco1 Carbon Analyzer);Walkley-Black C(C_{WB})的氧化采用稀释热法,然后用比色法测定;活性有机碳(C_L)的测定采用 KMnO_4 氧化法。土壤有机碳组成的计算:

活性态碳(Labile OC) 可在 $333 \text{ mmol/L KMnO}_4$ 下氧化的土壤有机碳;

稳定态碳(Slow OC) $C_{\text{WB}} - C_L$;

惰性碳(Passive OC) $\text{TOC} - C_{\text{WB}}$

本研究的数据利用 SPSS13.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 3 种土壤表层全氮、有机碳及其组分含量

表 2 显示,3 个试验区各处理表层($0 \sim 5 \text{ cm}$)土壤有机碳的组分含量的顺序均表现为:稳定态有机碳(SOC) > 活性态有机碳(LOC) > 惰性有机碳(POC);POC 含量占有机碳总量的百分比在 $10\% \sim 18\%$ 之间。这表明在这 3 种农田土壤的 $0 \sim 5 \text{ cm}$ 土层中,土壤有机碳以较易分解的组分为主。

表 2 澳大利亚 3 个长期定位试验表层土壤($0 \sim 5 \text{ cm}$)有机碳及其组分和全氮含量

Table 2 Effects of conservation tillage on topsoil ($0 \sim 5 \text{ cm}$) organic carbon and total nitrogen of three long-term experiments in Australia

地点 Site	处理 Treatment	总有机碳 TOC(g/kg)	有机碳组分(g/kg)			全氮 TN(g/kg)
			惰性碳 Passive OC	稳定态碳 Slow OC	活跃态碳 Labile OC	
SATWAGL	DD/SR	20.5a	2.1 a	10.2 a	8.2 a	1.8a
	CC/SB	12.1b	1.5 b	6.4 b	4.2 b	0.9b
MASTER	PP	35.2a	6.3 a	15.0 a	13.9 a	3.2a
	PPC	31.0b	4.6 b	13.8 b	12.5 b	2.6b
IHSFC	CT	15.8b	2.5 a	8.1 b	5.2 b	1.2b
	NP	17.7a	2.7 a	9.1 a	5.8 a	1.3a

不同小写字母表示在 t 检验时同一试验不同处理间有显著性差异($P < 0.05$) Different lowercase letter stand for significance at $P < 0.05$ between treatment in same experiment(t -test)

在 SATWAGL,免耕穴播/秸秆保留(DD/SR)表层土壤总有机碳(TOC)含量和全氮(TN)显著高于传统耕

作/秸秆焚烧(CC/SB)处理,其含量比 CC/SB 分别高出 8.4 g/kg 和 0.9 g/kg,相当于在 0~5cm 土层增加了有机碳 5.46t/hm²(表 2)。表明 DD/SR 处理 24a 后显著提高了土壤表层的有机碳含量和全氮含量。同时,DD/SR 的 POC、SOC 和 LOC 含量均显著高于 CC/SB 的,其中 SOC 和 LOC 组分的增加量占到有机碳总增加量的 92%。表明在该试验中,由耕种方式的改变而导致的土壤有机碳含量的变化主要发生在易分解有机碳组分上。

虽然在 MASTER,与多年生人工草地(PP)的比较,草田轮作(PPC)12a 后显著降低了土壤表层的有机碳及全氮含量(表 2)。但是,PP 的 POC、SOC 和 LOC 含量分别只比 PPC 高出 1.7、1.2 g/kg 和 1.4 g/kg(表 2),总有机碳的损失只有 12%,反映出在该试验中,由农田耕种模式的改变而导致的土壤有机碳各组分含量变化的差异程度较低,也表明长期草田轮作不会导致土壤有机质含量的迅速降低。

在 IHSFC,自然草地(NP)表层土壤总有机碳含量和全氮含量也显著高于耕种(CT)土壤的,表明耕种会导致土壤表层有机碳的损失。另外,CT 的 SOC 和 LOC 含量的损失量占到有机碳总损失量的 84%(表 2),也表明耕种是造成表层土壤易分解的有机碳的损失主要因素。

在本研究中,土壤有机碳及其组分与全氮含量存在极显著的相关关系($r=0.994^{**}$, $n=6$),表明土壤的全氮含量主要受到有机碳及其组分含量的影响,而土壤类型的差异对全氮含量的影响较小。

2.2 保护性耕作对 3 种土壤表层结构稳定性的影响

在 SATWAGL,DD/SR 的 >0.25mm 水稳性团聚体含量显著高于 CC/SB,其中 DD/SR 的 >2mm 水稳性大团聚体含量比 CC/SB 处理的高出 109%(表 3)。表明免耕穴播/秸秆保留 24a 后,其 0~5cm 土层土壤的结构稳定性得到了显著的提高。

表 3 澳大利亚 3 个长期定位试验表层土壤(0~5 cm)水稳性团聚体分布

Table 3 Topsoil(0-5 cm) water stable aggregates distribution of three long-term experiments in Australia

地点 Site	处理 Treatment	水稳性团聚体分布 water stable aggregates distribution (%)			
		>2mm	2~0.25mm	0.25~0.05mm	<0.05mm
SATWAGL	DD/SR	16.47a	45.10a	22.52b	15.91b
	CC/SB	7.82b	37.77b	31.44a	22.97a
MASTER	PP	29.01a	36.56b	13.76b	20.67b
	PPC	16.70b	39.68a	17.52a	26.10a
IHSFC	CT	28.39b	34.45a	22.08a	17.59a
	NP	37.87a	24.37b	18.23b	19.53a

不同小写字母表示在 t 检验时同一试验不同处理间有显著性差异($P<0.05$) Different lowercase letter stand for significance at $P<0.05$ between treatment in same experiment(t -test)

在 MASTER, PP 的 >0.25mm 的水稳性团聚体含量也显著高于 PPC,其中 PP 的 >2mm 水稳性大团聚体含量比 PPC 高出 74%(表 3)。表明与长期人工草地处理比较,草田轮作处理表层土壤的结构稳定性较低,这同时也说明种植多年生牧草更有利于维持和保护表层土壤的结构稳定性。

IHSFC 的土壤是一种钠质化土壤,土壤粘粒含量高,质地粘重。CT 的 >0.25mm 水稳性团聚体含量与 NP 的差异并不显著;但是,CT 的 >2mm 水稳性大团聚体含量则显著低于 NP 的(表 3)。表明在质地粘重的土壤上,耕种也会造成表层土壤结构稳定性的降低。

在同一类型土壤上,TOC 分别与其 >2mm 水稳性团聚体含量呈极显著的正相关关系($r=0.96\sim0.98^{**}$, $n=6$),表明由于不同耕种方式造成的土壤有机碳含量的差异是导致其结构水稳性产生变化的主要原因。但对 3 种土壤类型的综合分析表明,总有机碳量及其组分与 >2mm 水稳性团聚体含量并无显著的相关关系,反映出土壤团聚性能除了受到有机碳影响之外,还与土壤粘粒含量等性质有密切关系,这表明保护性耕作措施对土壤结构稳定性的影响程度会因土壤类型的不同而表现出较大差异。

2.3 表层土壤容重、持水性、孔隙分布、电导率、pH 及交换性阳离子含量

耕作措施是影响农田表层土壤容重(BD)变化的主要因素之一。一般认为,免耕会导致表层土壤容重的

增大^[11]。在 SATWAGL 和 IHSFC, DD/SR 和 NP 表层土壤的容重显著小于其相应对照 CC/SB 和 CT(表 4), 这可能是由于传统耕作导致表层土壤有机碳含量降低、结构破碎所致, 也表明长期保护性耕作并不会明显提高土壤的容重。在 MASTER, PP 和 PPC 的容重差异不明显, 表明草田轮作对表层土壤容重的影响较小。

表 4 显示, 在 SATWAGL, DD/SR 的最大田间持水量(θ_{g-1m})、凋萎系数(PWP)显著高于 CC/SB, 但 DD/SR 的有效水含量比 CC/SB 高约 4%, 表明长期免耕穴播/秸秆保留能明显改善表层土壤的保水能力。在 MASTER, PP 表层土壤的 θ_{g-1m} 和 PWP 也显著高于 PPC, 然而 PP 的有效水含量只比 PPC 略高(2%), 表明多年生人工草地和草田轮作对表层土壤保水能力的影响差异较小。在 IHSFC, NP 表层土壤的 θ_{g-1m} 显著高于 CT 的, 而其 PWP 显著低于 CT 的, 有效水含量比 CT 的高约 4%, 表明耕种造成表层土壤的保水能力明显下降。综合相关分析显示, 有机碳及其组分与土壤最大田间持水量存在极显著的相关关系($r = 0.996^{**}$, $n = 6$), 表明这 3 种土壤表土的持水性主要受到有机碳的影响, 而土壤质地差异对其影响较小, 这可能与 3 种土壤表土有机碳含量较高有关。

表 4 澳大利亚 3 个长期定位试验表层土壤的容重、田间持水量、凋萎系数、电导率和 pH

Table 4 Field capacity (θ_{g-1m}), permanent wilting point (PWP), EC and pH at 0–5 cm depth of three long-term experiments in Australia

地点 Site	处理 Treatment	容重 BD(g/cm ³)	田间持水量 θ_{g-1m} (g/100g)	凋萎系数 PWP(g/100g)	>60 μ m 孔隙分布 (%)
SATWAGL	DD/SR	0.86b	23.42a	8.16a	45.05a
	CC/SB	1.11a	19.29b	7.95b	33.64b
MASTER	PP	1.03a	33.28a	8.14a	21.86a
	PPC	1.06a	30.27b	7.49b	23.41a
IHSFC	CT	1.44a	20.20b	13.45a	15.30a
	NP	1.36b	22.00a	11.42b	16.90a

不同小写字母表示在 t 检验时同一试验不同处理间有显著性差异($P < 0.05$) Different lowercase letter stand for significance at $P < 0.05$ between treatment in same experiment(t -test)

在 SATWAGL, DD/SR 土壤的通气孔隙(>60 μ m)含量显著高于 CC/SB 处理的, 说明免耕穴播/秸秆保留可以明显增大表层土壤的大孔隙的含量, 有利于改善土壤的渗透性能。在 MASTER, PP 和 PPC 的总孔隙度的差异也不显著, 而且处理间不同孔径孔隙含量之间的差异也不显著, 表明与多年生人工草地比较, 草田轮作对表层土壤的孔隙分布的影响不大。在 IHSFC, 虽然 NP 的总孔隙度显著高于 CT, 但是 2 处理间 >60 μ m 孔隙度差异不明显, 表明与自然植被相比, 耕种对钠质化土壤孔隙分布的影响较小。另外, 相关分析表明 3 种土壤有机碳及其组分含量均对土壤通气孔隙的分布没有影响。

土壤浸出液电导率(EC)数值能反映土壤水溶性盐含量的高低, 而土壤 pH 值也是反映土壤理化性质的重要指标。在 SATWAGL, DD/SR 土壤浸出液的 EC 显著高于 CC/SB, 而 pH 值却显著低于 CC/SB, 这说明 DD/SR 和 CC/SB 的水溶性盐组成成分的差异较大。在 MASTER, PP 土壤浸出液的 EC 和 pH 值均显著高于 PPC 处理的, 表明多年生人工草地提高了表层土壤的水溶性盐含量, 而土壤有机碳含量的提高则有利于改善土壤的酸碱度。在 IHSFC, NP 土壤浸出液的 EC 率和 pH 值均显著低于 CT, 这主要是由于耕种过程中施用了石膏改良而造成的。

对于交换性阳离子, 耕种措施对 3 种土壤的影响有所不同。在 SATWAGL 和 MASTER, 不同的耕种方式

表 5 澳大利亚 3 个长期定位试验表层土壤(0~5 cm)的孔隙分布

Table 5 Soil pore size distribution at 0–5 cm depth of three long-term experiments in Australia

地点 Site	处理 Treatment	电导率 EC (μ S/cm)	pH
SATWAGL	DD/SR	102a	4.47b
	CC/SB	60b	4.76a
MASTER	PP	238a	5.63a
	PPC	106b	5.41b
IHSFC	CT	264a	5.07a
	NP	96b	4.88b

不同小写字母表示在 t 检验时同一试验不同处理间有显著性差异($P < 0.05$) Different lowercase letter stand for significance at $P < 0.05$ between treatment in same experiment(t -test)

并没有导致土壤交换性阳离子总量出现较大的差异。但是,在 IHSFC,CT 的 ECEC 含量显著高出 NP 约 2.0 c. mol/kg,其中 Ca^{2+} 的含量比 NP 土壤的高出约 3.0 c. mol/kg,而 Na^+ 则低了约 0.42 c. mol/kg,这也是由于施用了石膏的原因。在 SATWAGL,由于秸秆被焚烧,使表层土壤的交换性 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 含量的显著提高,交换性 Al^{3+} 含量显著降低,这是导致 CC/SB 表层土壤的 pH 提高的直接原因。

表 6 澳大利亚 3 个长期定位试验表层土壤的交换性阳离子含量

Table 6 Exchangeable and soluble cations at 0—5 cm depth of three long-term experiments in Australia

地点 Site	处理 Treatment	交换性阳离子及其总量 Exchangeable and soluble cations (c. mol/kg)						
		Al^{3+}	Mn^{2+}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	ECEC
SATWAGL	DD/SR	0.33a	0.22a	0.02b	1.09b	3.65b	0.89	6.20a
	CC/SB	0.18b	0.11b	0.04a	1.21a	4.01a	0.79	6.33a
MASTER	PP	—	0.03	0.10a	0.81	8.96	0.72	10.62a
	PPC	—	0.03	0.03b	0.61	8.70	0.74	10.13a
IHSFC	CT	0.06	0.12	0.83b	0.68	8.61a	7.04b	17.35a
	NP	—	0.11	1.25a	0.65	5.59b	7.78a	15.38b

不同小写字母表示在 t 检验时同一试验不同处理间有显著性差异 ($P < 0.05$) Different lowercase letter stand for significance at $P < 0.05$ between treatment in same experiment (t -test)

3 讨论

农田土壤的管理措施基本上是在土壤表层进行的,因此,在耕种过程中,土壤表层的环境经常处于变动之中。耕作措施被认为是引起农田土壤有机质含量下降的主要原因,耕作的机械扰动使土壤发生破碎、分散和混合,直接或非直接地造成土壤有机质含量的下降^[12],而且轻组有机碳或颗粒有机碳对土壤耕作比较敏感^[10,13]。本研究结果表明,在 3 种不同的土壤上,耕作均造成土壤有机碳含量的下降,而且有机碳不同组分损失的比例有较大差异,表明耕种方式的转变往往会导致有机碳组成的变化,传统耕种方式会造成表层土壤易分解有机碳的较大损失,同时,土壤全氮含量的减少与有机碳含量的降低有直接关系,而受其它因素的影响较小。

土壤水稳性大团聚体的含量可以作为反映土壤管理措施对土壤结构稳定性影响的指标。一些研究发现^[14~16],保护性耕作可以提高表层土壤团聚体的稳定性。本研究在 SATWAGL 和 IHSFC 的结果都表明传统耕种方式会导致土壤水稳性大团粒含量的显著减少;而即使在草田轮作方式下,其表层土壤的水稳性大团粒含量也显著小于多年生人工草地的。这反映出即使耕种措施和土壤性质存在差异,机械扰动土壤都会造成其表层结构稳定性的降低,这与土壤有机碳含量降低密切相关。同时,机械扰动对表层土壤结构稳定性的影响程度也受到土壤粘粒含量的影响。

耕作通常使表层土壤容重降低,孔隙度增大。但是,本研究在 SATWAGL 和 IHSFC 的结果表明免耕或自然土壤表层的容重显著小于传统耕种土壤的,这可能是所选择的采样时段而导致的,耕作过的土壤在经过一定时间的沉实作用后,其容重会逐渐增大^[17]。同时,表层土壤容重的变化也与不同耕种方式下表层土壤有机质含量、结构稳定性差异有关,本研究发现 DD/SR、PP 和 NP 表层土壤的有效水含量均明显高于各自对照的,相关分析表明表层土壤的持水能力主要受到土壤有机碳变化的影响。本研究发现,在 SATWAGL,DD/SR 处理的 $>60 \mu\text{m}$ 孔径孔隙的含量显著高于 CC/SB 处理的,而 MASTER 和 IHSFC 的结果表明处理间大孔隙含量的差异不显著,这表明表层土壤孔隙分布不仅受土壤性质的影响,而且耕种方式也对其较大有影响。

农田土壤酸化通常会主要考虑是由肥料及作物的类型所造成的,Chan 等^[18]报道传统耕作会使表层土壤 (0~5 cm) 的 pH 的降低 0.4 个单位。本研究发现,PPC 表层土壤的 pH 值比 PP 显著低 0.22 个单位。然而,由于秸秆焚烧和施用石膏导致了 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 等盐基离子含量的增加,CC/SB 和 CT 表层土壤的 pH 值反而显著高于其相应对照,同时导致交换性 Al^{3+} 在表层土壤中累积量下降,表明耕种方式对表层土壤酸化的影响作用尚需深入研究。

References:

- [1] Dalal R C, Chan K Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. *Australian Journal of Soil Research*, 2001, 39: 435 — 464.
- [2] Doran J W, Elliott E T, Paustian K. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil and Tillage Research*, 1998, 49:3 — 18.
- [3] Mikhailova E A, Bryant R B, Vassenev II, *et al.* Cultivation Effects on Soil Carbon and Nitrogen Contents at Depth in the Russian Chernozem. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64:738 — 745.
- [4] Papendick R I, Parr J F. No-till farming: The way of the future for a sustainable dryland agriculture. *Annals of Arid Zone*, 1997, 36: 193 — 208.
- [5] Bradford J M, Peterson G A. Conservation tillage. In: Bradford J M, Peterson G A. eds. *Handbook of Soil Science*. CRC Press: Boca Raton, 2000.
- [6] Chan K Y, Pratley J. Soil structural declines-how the trend can be reversed? In: Pratley J, Robinson A. ed. *Agriculture and the Environment Imperative*. CSIRO: Collingwood, 1998.
- [7] Heenan D P, McGhie W J, Thomson F M, *et al.* Decline in soil organic carbon and total nitrogen in relation to tillage stubble management and rotation. *Australian Journal of Experiment Agriculture*, 1995, 35: 877 — 884.
- [8] Li G D, Helyar K R, Conyers M K, *et al.* Crop responses to lime in long term pasture/crop rotations in a high rainfall area in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2001, 52: 329 — 341.
- [9] Chan, K Y, Oates A, Swan A D, Hayes, R C, Dear, B S, Peoples, M B. Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. *Soil and Tillage Research*, 2006, 89: 13 — 21.
- [10] Chan K Y, Heenan D P, Oates A. Soil carbon fractions and relationship to soil quality under different tillage and stubble management. *Soil and Tillage Research*, 2002, 63:133 — 139.
- [11] Unger P W, Jones O R. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil and Tillage Research*, 1998, 45: 39 — 57.
- [12] Beare M H, Hendrix P F, Coleman D C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58:777 — 786.
- [13] Roscoe R, Buurman P. Tillage Effects On Soil Organic Matter In Density Fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 2003, 70(2): 107 — 119.
- [14] Chan K Y, Bowman A, Oates A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Science*, 2001, 166: 61 — 67.
- [15] Hajabbasi M A, Hemmat A. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, 2000, 56: 205 — 212.
- [16] Roberts W P, Chan K Y. Tillage-induced increases in carbon dioxide loss from soil. *Soil and Tillage Research*, 1990, 17: 143 — 151.
- [17] Osunbitan, J. A. , Oyedele, D. J. and Adekalu, K. O. Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand 5011 in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 2005, 82: 57 — 64.
- [18] Chan, K Y, Roberts, W P, Heenan, D P. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Australian Journal of Soil Research*, 1992, 30: 71 — 83.