文章编号:1000-7601(2019)03-0139-10 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.03.18

绿洲农田土壤团聚体组成及有机碳和全氮分布对秸秆还田方式的响应

殷 文[1],郭 瑶[1],陈桂平[1],冯福学[2],赵 财[1],于爱忠[1],
樊志龙[1],胡发龙[1],柴 强[1]

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室/甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070;
2. 甘肃农业大学水利水电工程学院,甘肃 兰州 730070)

摘 要:通过田间定位试验,在甘肃干旱灌区,研究了不同小麦秸秆还田方式(NTSS:25~30 cm 高茬收割立茬免耕;NTS:25~30 cm 高茬秸秆覆盖免耕;TIS:25~30 cm 高茬秸秆深翻耕;CT:传统不留茬深翻耕—对照)对农田土壤团聚体及有机碳和全氮分布特征的影响,以期为优化试区种植模式与提高农业可持续发展提供依据。结果表明:免耕秸秆还田处理(NTSS、NTS)≥0.25 mm 团聚体含量较高,与 CT 相比,在 0~10、10~20、20~30 cm 土层分别提高 5.4%与 12.5%、13.3%与 14.1%、11.1%与 19.2%,以 NTS 提高幅度较大。NTSS、NTS 提高了 0~10、20~30 cm 土壤团聚体的平均重量直径,较 CT 处理分别提高 6.7%与 11.6%、7.6%与 8.1%,以 NTS 提高效果最明显。NTSS、NTS 处理土壤有机碳和全氮含量均高于 CT 处理,在 0~10、10~20、20~30 cm 土层,有机碳含量分别增大 8.1%与 13.3%、7.4%与 11.4%、7.8%与 12.8%;全氮含量分别提高 14.6%与 17.9%、14.5%与 17.9%、16.2%与 20.5%,同样,以 NTS 提高土壤有机碳及全氮程度较大。各级别团聚体中有机碳和全氮含量均随土层深度增加而减小,团聚体中有机碳和全氮含量随团聚体直径减小而增加,NTS 处理在各土层各级别团聚体均保持较高的土壤有机碳及全氮含量。因此,前茬小麦 25~30 cm 秸秆覆盖免耕还田是干旱灌区增强土壤团聚体形成、提高土壤有机碳及全氮含量的适宜栽培措施。

关键词:免耕;秸秆还田;团聚体;有机碳;全氮;绿洲农田

中图分类号:S345;S158.3 **文献标志码**:A

Response of composition of soil aggregates and distribution of organic carbon and total nitrogen to straw returning in an oasis area

YIN Wen[1], GUO Yao[1], CHEN Gui-ping[1], FENG Fu-xue[2], ZHAO Cai[1], YU Ai-zhong[1],
FAN Zhi-long[1], HU Fa-long[1], CHAI Qiang[1]

(1. *Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Science / College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*;
2. *College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu*, 730070, *China*)

Abstract: A field experiment was carried out in arid irrigation regions to determine the effects of different wheat straw retention approaches on distribution characteristics of organic carbon and total nitrogen of soil aggregates in farmland, including (i) no tillage with 25 to 30 cm high straw standing (NTSS); (ii) no tillage with 25 to 30 cm high straw covering (NTS); (iii) conventional tillage with 25 to 30 cm high straw incorporation (TIS); and (iv) conventional tillage without straw retention (CT, the control). The results showed that no-tillage with straw retention (i.e., NTSS, NTS) had higher content of soil aggregates ≥ 0.25 mm than that of CT treatment, NTSS in-

收稿日期:2018-04-23 **修回日期**:2018-05-25

基金项目:国家公益性行业(农业)科研项目(201503125-3);甘肃农业大学人才专项经费(2017RCZX-02);国家科技支撑计划项目(2015BAD22B04)

作者简介:殷文(1988-),男,甘肃庆阳人,博士,讲师,主要从事多熟种植、节水农业、保护性耕作技术与理论研究。E-mail:yinwentx@126.com

通信作者:柴强(1972-),男,甘肃武威人,教授,博士生导师,主要研究方向为多熟种植、循环农业和节水农业。E-mail:chaiq@gsau.edu.cn

creased the content of soil aggregates ≥ 0.25 mm by 5.4%, 13.3%, and 11.1% in 0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm soil depth, respectively and NTS increased it by 12.5%, 14.1%, and 19.2% in three soil depths, respectively. In particular, NTS treatment had the greatest effect on increasing content of the soil aggregates. NTSS and NTS treatments increased the average weight diameter (MWD) of soil aggregates by 6.7% and 7.6% in 0~10 cm and by 11.6% and 8.1% in 20~30 cm soil, respectively, in comparison to CT. NTS treatment had the highest increasing effect on the MWD. NTSS and NTS treatments improved soil organic carbon and total nitrogen contents; NTSS improved soil organic carbon by 8.1%, 7.4%, and 7.8%, improved total nitrogen by 14.6%, 14.5%, and 16.2% in 0~10 cm, 10~20 cm, and 20~30 cm soil, respectively. Similarly, NTS improved soil organic carbon by 13.3%, 11.4%, and 12.8%, improved total nitrogen by 17.9%, 17.9%, and 20.5% in three soil depths, respectively; and NTS treatment had the highest increasing percentage on soil organic carbon and total nitrogen. The contents of soil organic carbon and total nitrogen in different sized soil aggregates were decreased with increasing soil depth. The contents of soil organic carbon and total nitrogen of soil aggregates were increased with decreasing size. In all, NTS treatment had higher contents of soil organic carbon and total nitrogen in various soil depths and sizes. Therefore, our results indicated that no-tillage with 25 to 30 cm height of straw covering is recommended as the feasible farming method to enhance the formation of soil aggregates and improve the contents of soil organic carbon and total nitrogen in the arid oasis region.

Keywords: no-tillage; straw returning; soil aggregates; organic carbon; total nitrogen; oasis farmland

土壤结构通过影响作物生长所需水分、养分及土壤中的物质交换、微生物区系活动、作物根系分布等过程而影响作物生长发育[1-2]。土壤团粒结构的形成及稳定性是土壤结构研究的核心内容,在很大程度上反映了土壤结构的水力学稳定性与抗蚀性[3-4]。优化耕作措施[5]、秸秆还田方式[6]、施肥制度[7]等土壤改良措施均影响土壤团聚体的组成及其稳定性。因此,研究不同秸秆还田及耕作方式对土壤团聚体组成、分布及稳定性的影响对于评价土壤生态效益及可持续利用具有重要意义。土壤有机碳和全氮在碳、氮循环中发挥着重要作用,并且在很大程度上影响土壤团聚体的形成及稳定性,也是增强土壤供肥、保肥能力以及对耕作缓冲性能的重要决定因素,与土壤团聚体形成密切相关[8-9]。已有研究证实,翻耕易破坏土壤团聚体,导致团聚体中有机质暴露,增加土壤有机质输出,加剧温室气体排放[10]。因此,通过优化耕作措施提高土壤团聚体中有机碳和氮素含量,可培肥地力、减少农田温室气体排放,对建立可持续农业生产模式具有重要指导价值。甘肃河西绿洲灌区作物栽培长期采用铧式犁翻耕等传统深翻耕措施[11],对耕层土壤过度扰动,大量土壤团聚体结构被破坏,冬春裸露休闲,加剧水分无效蒸发,另外,作物秸秆还田技术体系尚未完善,秸秆移除减少了土壤有机质含量,可耕地质量日趋下降,在西北季风的强劲作用下,农田土壤风蚀问题突出,成为制约该地区农业生态环境建设的因素之一[12]。目前,秸秆还田是开展农业秸秆资源再利用、实现生态农业的最重要途径,在华东地区及雨养农业区已得到了大范围推广和应用[13-14]。诸多学者针对秸秆还田对土壤团聚体形成与稳定性的影响机理开展了研究,认为秸秆还田结合免耕措施能显著提高土壤水稳性团聚体含量及其稳定性[15];促进大团聚体形成,提高土壤大团聚体中有机碳的氧化稳定性及全氮含量[16]。但是,在干旱绿洲农业区,有关秸秆还田对农田土壤团聚体组成、稳定性及土壤团聚体水平碳、氮含量的影响鲜见报道。为此,本研究以优化秸秆还田技术为突破口,在不同秸秆还田方式下分析干旱灌区农田土壤团聚体组成及有机碳与全氮分布特征,为该区选择更有利于保持土壤结构稳定性及其碳、氮累积的合理耕作措施提供理论依据,以期为该地区农田生态环境建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在甘肃农业大学武威农技中心绿洲农业科研教学基地进行(37°30′N,103°5′E)。试验区位于河西走廊东端,属寒温带干旱气候区,年平均气温7.2℃,日照时数2 945 h。试区年平均降雨量约150 mm,主要集中在7-9月,年蒸发量超过2 000 mm,是典型的绿洲灌溉农业区。土壤以荒漠灌淤土为主,粉沙壤质,土层深厚。耕层(0~30 cm)全氮及有机质含量分别为0.94 g·kg^{-1}与11.7 g·kg^{-1},土壤容重为1.44 g·cm^{-3}。试区耕作以传统翻耕为主,基于秸秆还田下的土壤理化特性研究相对薄弱,秸秆还田技术尚未成熟、推广面积小,冬春裸露

休闲,水分蒸发强烈,耕地质量日益恶化。

1.2　试验设计

本研究于 2009 年布设预备试验,为后茬玉米创建不同的秸秆还田方式,即 2009 与 2011 年种植小麦,小麦收获时实施不同秸秆还田方式;2010 与 2012 年种植玉米,玉米收获后秸秆移出农田,并于秋季翻耕,形成“小麦-玉米”轮作模式(表 1)。本文主要涉及 2012 年度玉米农田土壤团聚体组成和有机碳、全氮的系统测定及分析数据。玉米播种日期 2012 年 4 月 20 日,收获日期为 2012 年 10 月 2 日。供试玉米(*Zea mays* L.)品种为武科 2 号。

试验设 4 种耕作及秸秆还田处理,3 次重复,田间裂区排列,不同年度种植作物种类及处理方式见表 1。

表 1　不同年度种植作物种类及处理构成

Table 1　Treatment and crop type in each year

处理代码 Treatment code	小麦收获及耕作方式 Tillage and straw management on wheat	轮作年份及模式 Rotation year and mode
NTSS	25~30 cm 高茬收割立茬免耕 No-tillage with 25 to 30 cm straw standing	2009-2010-2011-2012 Wheat-maize-wheat-maize
NTS	25~30 cm 高茬等量秸秆覆盖免耕 No-tillage with 25 to 30 cm straw covering	
TIS	25~30 cm 高茬等量秸秆翻压 Tillage with 25 to 30 cm straw incorporated	
CT(CK)	传统不留茬收割翻耕 Conventional tillage without straw retention	

玉米播种密度为 82 500 株 · hm^{-2},小区面积 10 m×4.8 m=48 m^2。传统耕作前茬小麦低茬收获后深翻耕(翻耕深度为 30 cm),免耕秸秆还田(高茬收割立茬免耕、高茬收割等量秸秆覆盖免耕)小麦高茬收割后免耕。所有小区试验实施年份撒施底肥,然后机械旋耕后耙耱、人工覆膜穴播点种玉米。施肥、灌溉制度与地方高产田一致,即总施 N 量为 450 kg · hm^{-2},按基肥 : 大喇叭口期追肥 : 灌浆期追肥 =3 : 6 : 1 分施;纯 P_2O_5 225 kg · hm^{-2},全作基肥。各处理冬灌水均为 1 200 m^3 · hm^{-2},生育期内玉米拔节期、大喇叭口期、抽雄吐丝期、开花期、灌浆期分别补灌 900、750、900、750、750 m^3 · hm^{-2}。

1.3　测定指标和计算方法

1.3.1　土壤团聚体组成　2012 年 10 月 2 日玉米收获后在田间取耕层 0~30 cm 土壤样品,每 10 cm 为一层,3 次重复。3 个重复取样小区再分别取 3 个点的样品作为该取样小区的待测样品。田间采用“五点法”运用环刀取原状土样,带回室内自然风干,沿其固有的裂缝将大块土壤轻轻剥成直径 10~20 mm 的小土块,剔除其中石块、根系后自然风干,用于土壤水稳性团聚体及土壤有机碳和全氮的测定。

土壤团聚体采用湿筛法进行测定,将样品放置于孔径自上而下为 2、1、0.5、0.25 mm 和 0.106 mm 的各级套筛之上,先用水缓慢湿润后,再放入水中;在整个套筛处于最下端时,最顶层筛的上边缘保持低于水面,竖直上下振荡 5 min;收集各级筛层团聚体并分别转移至铝盒当中,由于> 2 mm 和 0.25~2 mm 水稳性大团聚体中含有较多的根系与砂砾,在烘干前将其仔细剔除,然后烘干称重,计算得到各级团聚体的质量百分比。

1.3.2　土壤团聚体平均重量直径(MWD)　计算方法如下[17]:

$$MWD = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\bar{R}_i w_i)}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (1)$$

式中,$\bar{R}_i$ 是某级别团聚体平均直径,w_i 是该级别团聚体干重。

1.3.3　有机碳、全氮测定　将全土与各级别团聚体土样磨碎过 100 目筛,利用重铬酸钾-外加热法和凯氏法分别测定全土和各级别团聚体中有机碳、全氮含量[18]。

1.3.4　养分贡献率计算　利用公式(2)计算各级别土壤团聚体有机碳、全氮在土壤中的贡献率[19]:

团聚体的贡献率(%)=[该级团聚体养分含量×该级团聚体含量/土壤养分含量]×100%　(2)

1.4　数据统计

数据采用 Microsoft Excel 2003 整理并作图,利用 SPSS 17.0 软件进行显著性检验。

2　结果与分析

2.1　不同秸秆还田方式下土壤水稳性团聚体组成及稳定指数分析

2.1.1　土壤水稳性团聚体组成　按照大团聚体(≥0.25 mm)和微团聚体(<0.25 mm)分类,各处理大团聚体组分质量随着土层的加深而降低,但微团聚体含量则相反(图 1)。各处理各土层质量优势团聚体(含量≥0.25 mm 团聚体)变幅为 49.9%~66.4%,其中免耕秸秆还田处理(NTSS、NTS)≥0.25 mm 团聚体组分质量相对较高,0~10 cm 土层,NTSS、NTS 比传统翻耕(CT)分别高 5.4%、12.5%,翻耕秸秆还田(TIS)比 CT 高 7.3%。10~20 cm 土层,NTSS、NTS 分

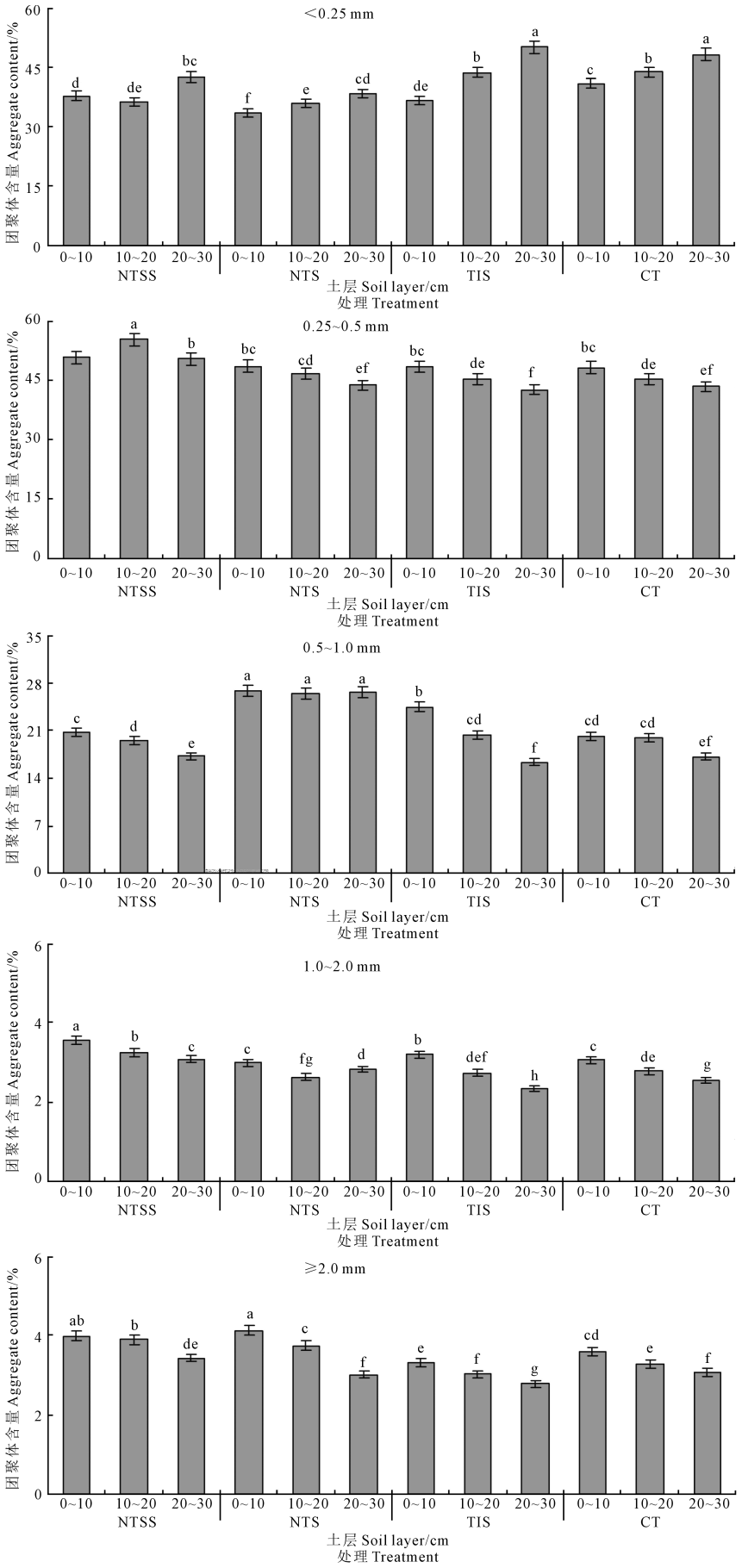


图 1 不同秸秆还田方式下不同深度农田土壤团聚体组成

Fig.1 Effects of straw retention patterns on composition of soil aggregates in different soil depths

别比 CT 高 13.3%、14.1%,分别比 TIS 高 13.1%、13.9%,但 NTSS 与 NTS 间无显著性差异。20~30 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高 11.1%、19.2%,比 TIS 分别高 15.0%、23.5%,总体表现为 NTS 的提高幅度较大。以上结果说明 25~30 cm 免耕秸秆覆盖有利于水稳性团聚体的形成。

2.1.2　土壤团聚体平均重量直径(MWD)　免耕秸秆还田明显提高了农田 0~10 cm 与 20~30 cm 土层土壤团聚体平均重量直径(MWD)(表 1)。0~10 cm 土层,与传统耕作(CT)相比,秸秆立茬免耕(NTSS)与秸秆覆盖免耕(NTS)处理的 MWD 分别高 6.7%、11.6%,以 NTS 的提高作用较大,比秸秆翻压还田(TIS)高 7.5%,但 TIS 与 CT 间无明显差异。20~30 cm 土层 NTSS、NTS 的土壤团聚体 MWD 比 CT 分别提高 7.6%、8.1%,比 TIS 分别提高 12.6%、13.2%。10~20 cm 土层各处理 MWD 差异不显著。

2.2　不同秸秆还田方式下土壤有机碳和全氮分布

2.2.1　有机碳与全氮分布　秸秆免耕还田具有提高耕层 0~30 cm 土层土壤有机碳(SOC)的作用(图 2(A))。与传统不留茬翻耕处理 CT 相比,0~10 cm 土层免耕秸别秆还田 NTSS、NTS 提高 SOC 分别为 8.1%、13.3%,以 NTS 提高 SOC 幅度较大,比翻耕秸秆还田 TIS 高 8.2%;10~20 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高 7.4%、11.4%,NTS 比 TIS 高 7.0%;20~30 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高7.8%、12.8%,TIS 比 CT 高 5.1%,NTS 比 TIS 高 7.3%。

同样,秸秆免耕还田具有提高耕层 0~30 cm 土层土壤全氮(TN)的作用(图 2(B))。0~10 cm 土层,免耕秸秆还田 NTSS、NTS 与 CT 相比提高 TN 分别为 14.6%、17.9%,TIS 提高 11.5%,以 NTS 提高 TN 幅度较大,比翻耕秸秆还田 TIS 高 5.8%;10~20 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高 14.5%、17.9%,TIS 比 CT 提高 6.6%,NTS 比 TIS 高10.6%;20~30 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高16.2%、20.5%,TIS 比 CT 高 10.2%,NTS 比 TIS 高 9.3%。

表 1　不同秸秆还田方式下不同深度农田土壤团聚体平均重量直径/mm

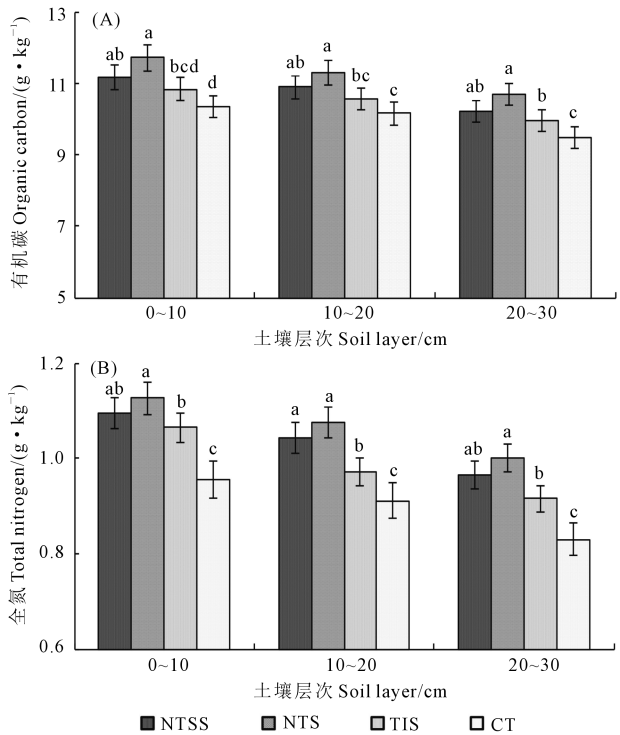
Table 1　Effects of different straw retention patterns on average weight diameter of soil aggregates at different soil depths

处理 Treatment	土层 Soil layer		
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
NTSS	0.554±0.021ab	0.558±0.025a	0.568±0.024a
NTS	0.579±0.023a	0.554±0.022a	0.571±0.020a
TIS	0.539±0.016bc	0.563±0.026a	0.504±0.018c
CT	0.519±0.011c	0.577±0.028a	0.528±0.020b

注:数据后不同字母表示同一年度中不同处理在 0.05 水平下差异显著,下同。

Note: Different letters indicate significant differences among the treatments at $P=0.05$ probability level, the same below..

2.2.2　不同直径团聚体中的有机碳与全氮分布　秸秆还田可提高农田耕层 0~30 cm 各级别团聚体中有机碳和全氮含量,以免耕秸秆还田 NTSS、NTS 处理的土壤团聚体有机碳和全氮含量较高(表 2)。在各土层中,有机碳和全氮含量在各级别团聚体中的分布呈(<0.25 mm)>(0.25~0.5 mm)>(0.5~1 mm)>(1~2 mm)>(≥2 mm)。各级别团聚体有机碳和全氮含量在土壤剖面中的分布随土层的加深而降低。所有处理各土层各级别团聚体中均有 NTS 处理的有机碳及全氮含量高于 CT。0~10 cm 土层,<0.25 mm、0.25~0.5 mm、0.5~1 mm、1~2 mm、≥2 mm 团聚体条件下,NTS 处理的有机碳含量比 CT 分别高 14.5%、12.6%、14.8%、12.7%、12.7%;10~20 cm 土层 NTS 分别比 CT 高 8.7%、8.6%、13.0%、14.4%、12.0%。20~30 cm 土层分别比 CT 高 11.2%、10.2%、12.9%、14.4%、14.9%。全氮含量在 0~10 cm 土层中各粒级团聚体 NTS 分别比 CT 高 13.9%、14.1%、21.5%、21.0%、18.3%;10~20 cm 土层中分别高 21.4%、15.2%、18.5%、18.0%、18.1%。20~30 cm 土层中分别高 19.8%、16.9%、17.6%、27.4%、25.5%。



注:不同字母表示不同处理在 $P<0.05$ 水平下差异显著。

Note: Different letters indicate significant differences among the treatments at $P<0.05$ probability level.

图 2　不同秸秆还田方式下不同深度农田土壤有机碳(A)和全氮(B)含量

Fig.2　Effects of various straw retention patterns on contents of organic carbon (A) and total nitrogen (B) in different soil depths

表 2 不同秸秆还田方式下农田不同深度土壤团聚体有机碳和全氮分布

Table 2 Effects of different straw retention patterns on distributions of organic carbon and total nitrogen in soil aggregates in different soil depths

土层/cm Soil layer	处理 Treatment	有机碳 Organic carbon/(g·kg^{-1})					全氮 Total nitrogen/(g·kg^{-1})				
		≥2 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm	≥2 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
0~10	NTSS	10.55ab	10.86ab	11.21a	11.47ab	11.75ab	0.97a	1.02a	1.12ab	1.15ab	1.21a
	NTS	11.16a	11.34a	11.84a	11.96a	12.22a	0.99a	1.03a	1.15a	1.20a	1.25a
	TIS	10.26bc	10.39bc	10.85ab	11.14ab	11.47ab	0.95a	1.00a	1.06b	1.12b	1.18a
	CT	9.75c	10.07c	10.31b	10.67b	10.84b	0.87b	0.90b	0.95c	0.99c	1.06b
10~20	NTSS	10.26ab	10.52ab	11.02ab	11.23ab	11.46a	0.94a	1.00a	1.04ab	1.10a	1.14ab
	NTS	10.69a	10.85a	11.44a	11.74a	11.78a	0.96a	1.00a	1.09a	1.14a	1.18a
	TIS	10.03b	10.18b	10.54bc	10.84bc	11.20ab	0.87b	0.94a	0.99b	1.00b	1.05bc
	CT	9.84b	9.99b	10.12c	10.26c	10.52b	0.79c	0.87b	0.92c	0.97b	1.00c
20~30	NTSS	9.59ab	9.86ab	10.16ab	10.53a	10.94ab	0.83ab	0.89a	0.96a	1.00b	1.14a
	NTS	10.03a	10.32a	10.64a	11.04a	11.42a	0.86a	0.92a	0.97a	1.10a	1.15a
	TIS	9.00b	9.69ab	10.01ab	10.43a	10.66bc	0.79b	0.87a	0.92a	0.96b	1.02b
	CT	9.02b	9.36b	9.43b	9.65b	9.94c	0.72c	0.78b	0.83b	0.87c	0.92c

2.3 不同秸秆还田方式下土壤团聚体有机碳、全氮贡献率

2.3.1 *有机碳* 免耕秸秆还田可提高各土层各级别优势团聚体(≥0.25 mm)的有机碳贡献率,但降低微团聚体(<0.25 mm)的有机碳贡献率(图 3)。各土层均表现为(<0.25 mm)>(0.25~0.5 mm)>(0.5~1 mm)>(1~2 mm)>(≥2 mm)。0~10 cm 土层,秸秆免耕还田 NTSS、NTS 处理优势团聚体有机碳的贡献率与传统不留茬翻耕 CT 相比分别高 5.7%、14.0%,TIS 比 CT 高 7.5%,NTS 比 TIS 高 6.1%。10~20 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高 24.6%、26.4%,TIS 比 CT 高 7.5%,NTSS、NTS 比 TIS 分别高 15.1%、16.8%。20~30 cm 土层中,NTSS、NTS 比 CT 分别高 9.7%、17.8%,NTSS、NTS 比 TIS 分别高 15.5%、24.2%。即 0~30 cm 土层均表现出 NTS 提高土壤优势团聚体有机碳含量的作用最大。

2.3.2 *全氮* 同样,免耕秸秆还田可提高各土层各级别优势团聚体(≥0.25 mm)的全氮贡献率,但降低微团聚体(<0.25 mm)的全氮贡献率(图 4)。0~10 cm 土层,NTSS、NTS 处理优势团聚体全氮的贡献率与 CT 相比分别高 7.8%、16.5%,TIS 比 CT 高 8.5%,NTS 比 TIS 高 7.3%。与 0~10 cm 相似,10~20 cm 土层,NTSS、NTS 比 CT 分别高 28.6%、29.1%,TIS 比 CT 高 13.4%,NTSS、NTS 比 TIS 分别高 13.4%、13.8%。20~30 cm 土层中,NTSS、NTS 比 CT 分别高 6.2%、17.2%,NTSS、NTS 比 TIS 分别高 10.8%、22.3%。即 0~30 cm 土层均有 NTS 提高土壤优势团聚体全氮含量的作用最大。

3 讨 论

分析不同级别土壤团聚体组成及其稳定性可反映土壤结构的变化[20]。长期定位试验研究证实,免耕秸秆覆盖有利于土壤团聚体的形成及增加土壤水稳性团聚体含量[5,21],主要因为:一方面秸秆覆盖配合免耕措施相对于传统无秸秆还田深翻耕减少了机械作业对土壤结构的破坏[22];另一方面秸秆覆盖明显改善了耕层土壤水分环境和肥力(有机质)状况,促进了团聚体的形成[23],与传统无秸秆还田深耕相比,明显提高土壤团聚体稳定性[24],这一研究结果与本研究一致。这对促进绿洲灌区灌溉和降水的入渗有重要意义,进一步说明免耕结合秸秆覆盖可改善耕层土壤结构,利于缓解耕层土壤质量退化。另外,本研究发现直径≥0.25 mm 的团聚体随土层的增加而增加,<0.25 mm 微团聚体随土层增加而较少,这与黄土高原干旱沟壑区研究结果一致[14]。另有研究表明,免耕可提高水稳性团聚体平均重量直径,且平均重量直径随土层增加而增加,以免耕结合秸秆覆盖提升水稳性团聚体平均重量直径的效果最好[5]。本研究得出相似结果,与传统无秸秆还田深翻耕 CT 处理,3 种秸秆还田处理均可不同程度地增加直径≥0.25 mm 团聚体平均重量直径,其中 NTS 处理(25~30 cm 高茬收割等量秸秆覆盖免耕)效果最好,这是因为,第一,传统深翻耕加剧了对耕层土壤结构的扰动,导致土壤团聚体结构重新分布,降低了土壤自身调节作用和恢复过程,从而破坏了土壤团粒结构的稳定性和连续性[25];第二,小麦收获后,传统不留茬耕作处理土壤翻耕裸露,加之传统深耕结合耙耱的精细耕作措施,导致土

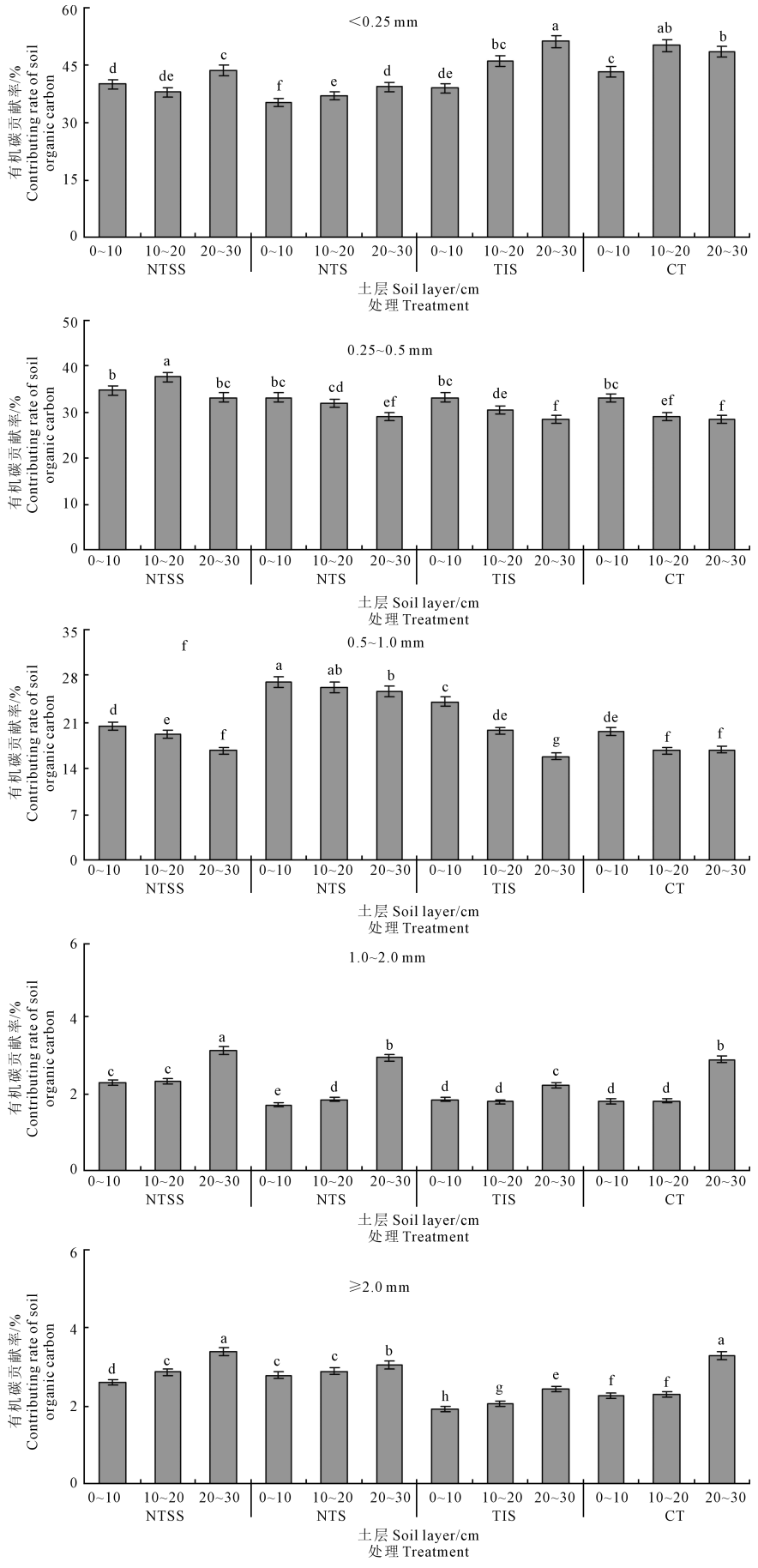


图 3　不同秸秆还田方式下玉米农田不同深度土壤团聚体有机碳贡献率

Fig.3　Effects of different straw retention patterns on contributing rates of soil organic carbon in soil aggregates under maize field

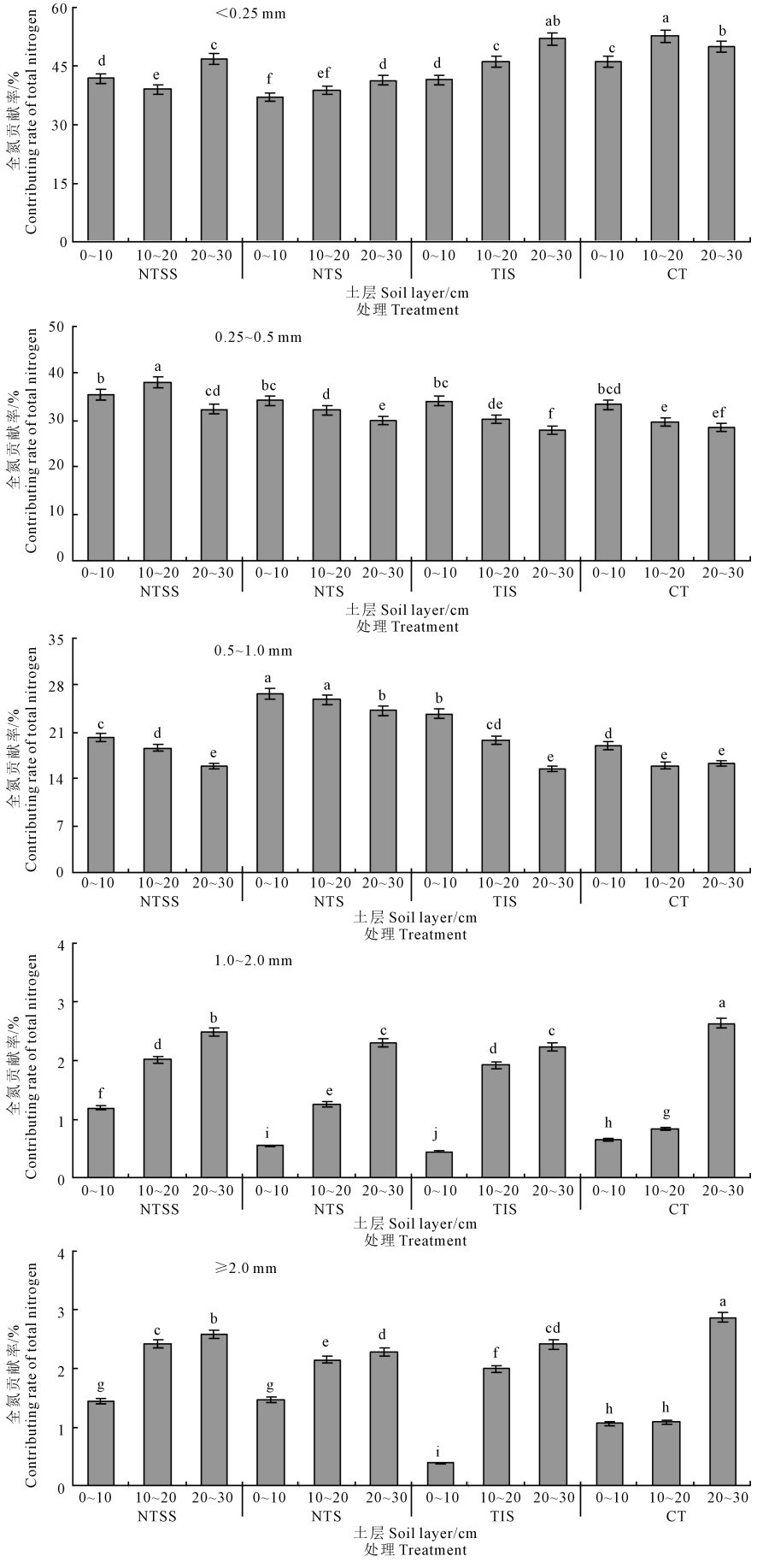


图 4 不同秸秆还田方式下玉米农田不同深度土壤团聚体全氮贡献率

Fig.4 Effects of different straw retention patterns on contributing rates of total nitrogen in soil aggregates under maize field

壤过度疏松,以致于降雨促进了土壤"结皮"的形成,削弱了土壤与外部环境的水、气交换能力,严重影响了团粒结构的再形成[25-26];第三,秸秆还田不仅可以缓解暴雨对耕层土体的冲击力,还可增加土壤有机质,从而促进土壤≥0.25 mm 团聚体的形成而增加其含量[23,25]。

免耕秸秆还田有利于提高土壤有机碳和全氮含量,并且在各土层中有机碳和全氮含量均显著高于传统翻耕处理,且以免耕秸秆覆盖还田处理(NTS)提高土壤有机碳和全氮含量的优势最明显,其有机碳和全氮含量随土层加深而减小,主要是源于作物秸秆等外源有机物大多集中于表层土壤所引起[25,27-28]。本研究得出相似的结果,与传统不留茬处理相比,3 种秸秆还田处理 NTSS、NTS、TIS 处理均可不同程度提高各级别团聚体中有机碳和全氮含量,以 NTS 处理的含量最高;各级别团聚体有机碳和全氮含量均随土层加深而减小,与土壤中有机碳和全氮含量变化规律一致。同时,团聚体中有机碳和全氮含量随直径减小而增加,这是因为直径越小,粘结力越大,越利于复粒的形成,导致土壤团聚体中养分含量随直径减小而增加[19,25],而微团聚体(<0.25 mm)有机碳含量高于优势团聚体(>0.25 mm),可能因为微团聚体中有机碳以稳定的惰性腐殖质碳为主,因其不断积累而使总有机碳含量较高[29-30]。大团聚体中有机碳主要以易分解、矿化的活性有机碳形式存在[29-30],因而含量较低。特别是传统深翻耕加剧了耕作和降雨对耕层的扰动,促进了团聚体(尤其是大团聚体)的破坏,导致固持于大团聚体中的有机质暴露,加速了微生物对土壤有机碳、全氮的消耗,从而导致大团聚体中有机碳和全氮含量较低[25,29]。

土壤团聚体组成、稳定性与土壤养分关系密切,有机碳可促进团聚体的形成[29,31],全氮对土壤团聚体的水稳性有很大促进作用[32],土壤团聚体含量是引起团聚体养分贡献率变化的主要因素[19,25]。本研究发现,3 个土层中,>0.25 mm 团聚体养分贡献率随着土层增加而降低,<0.25 mm 微团聚体则相反。综上所述,土壤团聚体对耕作措施的反应非常敏感,将秸秆还田与耕作措施配套应用于作物生产,土壤有机质将不断积累,因此,今后研究进一步监测不同年份土壤团聚体及有机碳、全氮分布,将会更加系统地探讨土壤团聚体中有机碳及全氮变化,为农业生产的可持续评价提供理论指导。

4　结　论

与传统无秸秆还田翻耕处理相比,免耕秸秆还田(NTSS, NTS)提高了耕层 0~30 cm 土层≥0.25 mm 团聚体含量与水稳性,以 25~30 cm 高茬收割秸秆覆盖免耕处理(NTS)提高效果最明显。NTSS、NTS 处理土壤有机碳和全氮含量均高于 CT 处理,在 0~10、10~20、20~30 cm 土层,有机碳含量分别提高 8.1%与 13.3%、7.4%与 11.4%、7.8%与 12.8%;全氮含量分别提高 14.6%与 17.9%、14.5%与 17.9%、16.2%与 20.5%,同样,以 NTS 提高土壤有机碳及全氮比例较大。各直径团聚体中有机碳和全氮含量均随土层深度增加而减小,团聚体中有机碳和全氮含量随直径减小而增加,NTS 处理在各土层各直径下均保持较高的土壤有机碳及全氮含量。因此,前茬小麦 25~30 cm 秸秆覆盖免耕还田是绿洲灌区增强土壤团聚体形成、提高土壤肥力的适宜栽培措施。

参 考 文 献:

[1] 张心昱,陈利顶,傅伯杰,等.农田生态系统不同土地利用方式与管理措施对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2007,18(2):303-309.

[2] Doran J W, Zeiss M R, Zeiss M R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality [J]. Applied Soil Ecology,2000,15(1):3-11.

[3] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review[J].Geoderma,2005,124:3-22.

[4] 王丽,李军,李娟,等.轮耕与施肥对渭北旱作玉米田土壤团聚体和有机碳含量的影响[J].应用生态学报,2014,25(3):759-768.

[5] 高建华,张承中.不同保护性耕作措施对黄土高原旱作农田土壤物理结构的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):192-196.

[6] 张翰林,郑宪清,何七勇,等.不同秸秆还田年限对稻麦轮作土壤团聚体和有机碳的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):216-220.

[7] 陈晓芬,李忠佩,刘明,等.不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳,氮分布和微生物生物量的影响[J].中国农业科学,2013,46(5):950-960.

[8] Batjes N H, Sombroek W G. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils [J]. Global Change Biology,1997,3(2):161-173.

[9] 邵月红,潘剑君,孙波.不同森林植被下土壤有机碳的分解特征及碳库研究[J].水土保持学报,2005,19(3):24-28.

[10] Paul B K, Vanlauwe B, Ayuke F, et al. Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon and crop productivity[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2013,164:14-22.

[11] 殷文,陈桂平,柴强,等.前茬小麦秸秆处理方式对河西走廊地膜覆盖玉米农田土壤水热特性的影响[J].中国农业科学,2016,49(15):2898-2908.

[12] 于爱忠,黄高宝.保护性耕作对内陆河灌区春季麦田不可蚀性颗粒

的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):6-9.
[13] 逯非,王效科,韩冰,等.稻田秸秆还田:土壤固碳与甲烷增排[J].应用生态学报,2010,21(1):99-108.
[14] 武均,蔡立群,罗珠珠,等.保护性耕作对陇中黄土高原雨养农田土壤物理性状的影响[J].水土保持学报,2014,28(2):112-117.
[15] 田慎重,王瑜,李娜,等.耕作方式和秸秆还田对华北地区农田土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J].生态学报,2013,33(22):7116-7124.
[16] 孙汉印,姬强,王勇,等.不同秸秆还田模式下水稳性团聚体有机碳的分布及其氧化稳定性研究[J].农业环境科学学报,2012,31(2):369-376.
[17] Van Bavel C H M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation[J]. Soil Science Society of American Journal,1949,14:20-23.
[18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2005:25-48.
[19] 邱莉萍,张兴昌,张晋爱.黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布[J].生态学报,2006,26(2):364-372.
[20] 郑子成,李廷轩,张锡洲,等.不同土地利用方式下土壤团聚体的组成及稳定性研究[J].水土保持学报,2009,23(5):228-231.
[21] 王海霞,孙红霞,韩清芳,等.免耕条件下秸秆覆盖对旱地小麦田土壤团聚体的影响[J].应用生态学报,2012,23(4):1025-1030.
[22] 李玉洁,王慧,赵建宁,等.耕作方式对农田土壤理化因子和生物学特性的影响[J].应用生态学报,2015,26(3):939-948.
[23] Pinheiro E F M, Pereira M G, Anjos L H C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil[J]. Soil and Tillage Research, 2004,77(1):79-84.
[24] Šimansky V, Tobiašová E, Chlpík J. Soil tillage and fertilization of Orthic Luvisol and their influence on chemical properties, soil structure stability and carbon distribution in water-stable macro-aggregates [J]. Soil and Tillage Research,2008,100(1):125-132.
[25] 武均,蔡立群,齐鹏,等.不同耕作措施下旱作农田土壤团聚体中有机碳和全氮分布特征[J].中国生态农业学报,2015,23(3):276-284.
[26] 李景,吴会军,武雪萍,等.长期不同耕作措施对土壤团聚体特征及微生物多样性的影响[J].应用生态学报,2014,25(8):2341-2348.
[27] Zhang P, Wei T, Jia Z K, et al. Effects of straw incorporation on soil organic matter and soil water-stable aggregates content in semiarid regions of Northwest China[J]. Plos One,2014,9(3):e92839.
[28] 罗珠珠,黄高宝,张仁陟,等.长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤肥力质量的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(3):458-464.
[29] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates[J]. European Journal of Soil Science,2000,51(4):595-605.
[30] 马瑞萍,刘雷,安韶山,等.黄土丘陵区不同植被群落土壤团聚体有机碳及其组分的分布[J].中国生态农业学报,2013,21(3):324-332.
[31] Sonnleitner R, Lorbeer E, Schinner F. Effects of straw, vegetable oil and whey on physical and microbiological properties of a chernozem [J]. Applied Soil Ecology,2003,22(3):195-204.
[32] 孙天聪,李世清,邵明安.长期施肥对褐土有机碳和氮素在团聚体中分布的影响[J].中国农业科学,2005,38(9):1841-1848.

(上接第 138 页)

[30] 张鹏,贾志宽,路文涛,等.不同有机肥施用量对宁南旱区土壤养分、酶活性及作物生产力的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(5):1122-1130.
[31] 刘亚柏,刘伟忠,郭建,等.几种有机肥在有机桃树(拂晓)上的应用效果[J].江苏农业学报,2014,30(6):1531-1533.
[32] 钟希琼,王惠珍,邓日烈,等.生物有机肥对蔬菜生理性状和品质的影响[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2005,23(2):74-76.
[33] Piccolo A, Concheri S N A G. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems[J]. Soil Biology and Biochemistry,1992,24(4):373-380.
[34] 胡承孝,邓波儿,刘同仇.氮肥水平对蔬菜品质的影响[J].土壤肥料,1996,(3):34-36.
[35] 李远新,李进辉,何莉莉,等.氮磷钾配施对保护地番茄产量及品质的影响[J].中国蔬菜,1997,(4):12-15.
[36] Patanè C, Tringali S, Sortino O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions[J]. Scientia Horticulturae,2011,129(4):590-596.
[37] 毛定祥.一种最小二乘意义下主客观评价一致的组合评价方法[J].中国管理科学,2002,10(5):96-98.
[38] 陈国宏,李美娟.基于方法集的综合评价方法集化研究[J].中国管理科学,2004,12(1):102-106.
[39] 霜叶,李承荧,霞邱,等.基于组合赋权的 TOPSIS 模型在果实品质评价中的应用[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(10):111-121.
[40] 郭亚军,易平涛.一种基于整体差异的客观组合评价法[J].中国管理科学,2006,13(3):60-64.
[41] 林元庆,陈加良.方法群评价中权重集化问题的研究[J].中国管理科学,2002,10(专辑):20-22.
[42] 彭张林,张强,王素凤,等.基于评价结论的二次组合评价方法研究[J].中国管理科学,2016,(9):156-164.