

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

高飞^{1,2}, 贾志宽^{1,2*}, 韩清芳^{1,2}, 杨宝平^{1,2}, 聂俊峰^{1,2}

(1. 西北农林科技大学干旱半干旱研究中心, 陕西 杨凌 712100;

2. 农业部旱地作物生产与生态重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:通过连续3 a有机肥施用田间试验研究了有机肥不同施用量对半干旱旱作区土壤团聚体各层粒级分布和稳定性的影响。试验设计为高肥H(有机肥90000 kg/hm²)、中肥M(有机肥60000 kg/hm²)和低肥L(有机肥30000 kg/hm²)3个施肥水平,每个层次设3次重复,供试作物为小麦,品种为西峰26;土壤团聚体的各个粒级分布状况采用干筛法和湿筛法测定。与试验开始时土壤相比,施肥处理0~10 cm和30~40 cm土层>0.25 mm的水稳性团聚体含量最大增幅分别是35%和75%;0.5 mm以上各粒级的水稳性团聚体含量均呈上升趋势,其中>5 mm和2~5 mm大粒径团聚体的增加幅度最明显,0.25~0.5 mm的水稳性团聚体含量增加不显著。不同处理间>5 mm土壤团聚体与>0.25 mm土壤团聚体含量具有显著性差异。干筛结果表明,土壤中的团聚体主要以>5 mm土壤团聚体为主,且处理之间差异性主要表现在0~20 cm土层。施肥处理使30~40 cm土层土壤团聚体的稳定性提高,稳定率平均较0~10 cm土层高87%。施肥处理平均重量直径均大于对照,且与>0.25 mm水稳性团聚体含量呈显著正相关。有机肥不同施用量可显著增加土壤中大团聚体的比例,改良土壤中团聚体的结构;适宜的施肥量在60 000 kg/hm²左右。

关键词:有机肥;土壤团聚体;宁南旱区

中图分类号: S152.4; S141.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2010)03-0100-07

土壤团聚体是由胶体的凝聚、胶结和粘结的土壤原生颗粒组成的^[1]。不同粒级团聚体在养分的保持和供应中的作用不同,并且其数量分布和空间排列方式决定了土壤孔隙的分布和连续性,进而决定了土壤的水力性质,影响土壤生物的活动^[2]。同时,水稳性团聚体的数量和分布状况反映了土壤结构的稳定性和抗侵蚀的能力^[3]。土壤团聚体作为土壤结构的重要组成部分,对协调土壤中的水肥气热、影响土壤酶种类和活性、维持和稳定土壤疏松熟化等有重要作用。土壤团聚体的形成、特性以及作用功能很复杂,既受土壤本身物质组成的影响,也受人为活动等因素的影响。耕作、施肥不仅影响团聚体的形成与数量,而且还对团聚体的稳定性有重要的影响。

近些年来,许多学者在土壤团聚体及微团聚体的研究方面取得了显著进展,周虎^[4]等研究认为免耕使土壤的容重明显增加,翻耕可使耕层土壤保持较低的容重值,但不利于土壤团聚体,尤其是水稳性团聚体的形成。刘晓利^[5]等研究表明菜地土壤长期大量施肥,导致土壤碳、氮、磷养分含量均相对丰富。不同土地利用方式旱地红壤中,有机碳、全氮主要分

布在较大粒径水稳性团聚体中。随着团聚体粒径增大,其有机碳含量增加,土壤全氮的消长趋势和有机碳一致。

以往对土壤团聚体的研究,大多是和土壤侵蚀、土地利用方式联系在一起^[6-9],而对于有机培肥对半干旱区黄绵土土壤团聚体影响的研究却鲜见报道。本研究在宁南半干旱区进行定位试验,通过设置有机肥不同施用量研究施肥对黄绵土土壤团聚体含量及其水稳性的影响,旨在为改善黄绵土理化性状、培肥地力和扩蓄增容提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2007~2009年在宁夏回族自治区彭阳县旱地农业试验区进行。该区海拔1800 m,全年降水集中分布在7~9三个月,无效、微效降水日数多,气候干燥,蒸发强烈,土壤蓄墒率不足30%,属温带半干旱气候,年平均气温6℃~8.5℃,无霜期147~168 d,年降雨量350~450 mm。土壤质地为黄绵土。试验地耕层土壤有机质含量10.42 g/kg,全氮含量

收稿日期:2009-11-10

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划旱农课题(2006BAD29B03);节水共性技术研究(2007BAD88B10)

作者简介:高飞(1982—),男,山西侯马人,硕士研究生,主要从事旱地农业研究。E-mail:fei3527479@163.com。

*通讯作者:贾志宽(1962—),男,教授,博士生导师,主要从事旱区农业水分高效利用研究。E-mail:zhikuan@tom.com。

0.86 g/kg,速效钾含量 97 mg/kg,速效磷 5.09 mg/kg,碱解氮含量 54.43 mg/kg。pH 值为 8.3,属低等肥力水平。

1.2 试验设计

试验设置高肥 H(有机肥 90 000 kg/hm²)、中肥 M(有机肥 60 000 kg/hm²)和低肥 L(有机肥 30 000 kg/hm²)及对照 CK(不施有机肥)共 4 个处理。每个处理设 3 次重复,随机区组排列,小区面积为 18 m²。施用有机肥为牛粪(含水量在 15% 左右),其有机质

为 35.364 g/kg,全氮为 3.532 g/kg,全磷为 0.152 g/kg,全钾为 1.875 g/kg。各处理播前施用磷酸二铵(60 kg/hm²,N≥17%,P₂O₅≥45%)。有机肥均匀撒于小区上再人工翻入土中,入土约 30 cm。化肥于整地时一起施入。试验于 2007~2009 年进行,按上述施肥设置每年施肥量相同,2009 年 6 月 21 日冬小麦收获后采取土,小麦品种为西峰 26 号,试验开始前供试土壤团聚体基本情况如表 1。

表 1 试验开始前供试土壤基本物理性质
Table 1 The physical characteristics of soil before experiment beginning

土层深度(cm) Soil layer	> 0.25 mm 团聚体含量 (干筛法) Content of soil aggregates > 0.25 mm (dry sieving)(%)	> 0.25 mm 团聚体含量 (湿筛法) Content of soil aggregates > 0.25 mm (wet sieving)(%)	MWD(干筛法)(mm) MWD (dry sieving)	MWD(湿筛法)(mm) MWD (wet sieving)
0~10	51.27	8.39	1.28	0.29
10~20	56.28	9.08	1.49	0.28
20~30	66.76	9.02	2.44	0.27
30~40	75.55	11.49	2.49	0.26

注:MWD 为平均重量直径。 Note: MWD means mean weight diameter.

1.3 研究方法

1.3.1 采样方法 在 2009 年小麦收获后采样,分 0~10、10~20、20~30 cm 和 30~40 cm 4 个层次采集原状土样,每个处理 3 个重复。在采集和运输过程中尽量减少对土样的扰动,以免破坏团聚体。实验室内风干土样,然后沿土壤结构的自然剖面掰分成小团块,剔除石块和动植物残体备用。

1.3.2 测定方法 土壤团聚体的分布状况和稳定性采用干筛法和湿筛法测定^[10]。

1.3.3 数据分析 试验数据采用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 机械稳定性团聚体

机械稳定性团聚体是指能够抵抗外力破坏的团聚体,常常用干筛后团聚体的组成含量来反映。土壤学中将当量粒径在 10~0.25 mm 的团聚体称为大团聚体,其含量越高,说明土壤团聚性越好。由表 2 可知,经过 3 a 有机肥处理,0~10 cm 土层与 10~20 cm 土层>0.25 mm 土壤团聚体和>5 mm 土壤团聚体在 H、M 和 L 处理下与 CK 对照相比,M 处理表现显著性差异,其它两处理与对照差异不明显。这可能与当地土壤的具体需肥量和自然气候条件有关。与试验前土壤相比,经过 3 a 施肥处理,>0.25 mm 土壤团聚体含量 0~10 cm、10~20 cm 最大增幅分别

达 39%、35%。在 20~30 cm、30~40 cm 土层中,>0.25 mm 土壤团聚体含量不同处理各级粒径团聚体含量之间不存在显著性差异,以上两个土层与试验前土壤相比,>0.25 mm 土壤团聚体含量的最大增幅分别是 20%和 6%,这说明施用有机肥可以增加 0~40 cm 土层中大团聚体的含量,并且对土壤团聚体的影响程度随深度而变化。从表 2 中还可以看出,施肥处理>5 mm 土壤团聚体含量及 2~5 mm 土壤团聚体含量明显高于 CK,而施肥处理对较小粒径(<1 mm)团聚体含量影响不大。

总体来看,宁南土壤经过干筛后,土壤中的团聚体主要以>5 mm 土壤团聚体为主,并且各有机施肥处理>0.25 mm 土壤团聚体含量均较对照有不同程度的增加。这是由于土壤施入有机肥后,增加了土壤有机物质的含量,而有机物质的增加有利于土壤团聚体的形成,使土壤的物理状况得到改善。

2.2 水稳性团聚体

土壤水稳性团聚体含量高低能够更好地反映土壤结构保持和供应养分能力的强弱,了解水稳性团聚体的组成对探讨土壤肥力、土壤结构变化有着重要的理论和实践意义^[11,12]。从表 3 可知,经过 3 a 的不同有机肥施用量处理后,0~10 cm 土层>0.25 mm 土壤团聚体含量在各个处理间存在显著性差异,M 处理含量最高,达 11.32%,与 CK、H 及 L 处理呈显著性差异。4 种处理>0.25 mm 土壤团聚体含

量大小顺序为: M > H > L > CK。对于 > 5 mm 土壤团聚体含量而言,其大小随施肥水平的降低而减小,CK 处理含量最小,H 处理 > 5 mm 土壤团聚体含量较 CK 提高 271%,与其他各处理呈显著性差异。2 ~ 5 mm 土壤团聚体含量与 > 5 mm 土壤团聚体含量在处理间的结果相似,随施肥的降低而减小,H 与 CK 相比,土壤团聚体含量增加 71%。

表 2 有机肥对于干筛处理下团聚体的影响 (%)

Table 2 Content of soil mechanical aggregates under different organic fertilizer treatments

土层 (cm) Soil layer	处理 Treatment	> 5 mm	2 ~ 5 mm	1 ~ 2 mm	0.5 ~ 1 mm	0.25 ~ 0.5 mm	> 0.25 mm
0 ~ 10	H	25.45ab	12.26a	6.19a	11.61a	8.59a	65.99ab
	M	32.54ab	12.25a	6.39a	12.31a	9.38a	71.45a
	L	27.30ab	11.23a	6.75a	12.47a	9.44a	66.33ab
	CK	17.32b	10.58a	6.17a	12.36a	9.53a	56.40b
10 ~ 20	H	34.97a	11.59a	7.12a	13.82a	9.28a	73.36a
	M	35.30a	11.36a	7.61a	13.49a	8.70a	76.14a
	L	34.54a	11.17a	8.04a	12.99a	8.65a	74.87a
	CK	23.13b	10.65a	6.16a	13.18a	8.16a	61.75b
20 ~ 30	H	37.42a	13.60a	7.26a	11.32a	7.51a	77.36a
	M	41.24a	14.10a	6.81a	10.53a	6.97a	80.10a
	L	36.37a	12.40a	7.26a	12.49a	8.53a	79.27a
	CK	36.22a	11.49a	6.63a	11.65a	7.04a	73.61a
30 ~ 40	H	38.53a	13.34a	7.48a	12.26a	8.45a	80.44a
	M	34.29a	14.59a	7.80a	12.86a	8.77a	80.59a
	L	39.08a	12.52a	7.33a	12.45a	8.88a	78.62a
	CK	34.04a	12.34a	7.65a	12.58a	8.42a	75.62a

注: (1) 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平。
(2) > 0.25 mm 团聚体为同处理各层次中 > 0.25 mm 机械稳定性团聚体含量的平均值,下同。
Note: (1) Different letters in the same line mean significant difference at 5% level of probability.
(2) The content of > 0.25 mm aggregates is the average of same treatment in different soil layers. They are the same in the following.

表 3 有机肥对湿筛处理下团聚体的影响 (%)

Table 3 Content of soil water - stable aggregates under different organic fertilizer treatments

土层 (cm) Soil layer	处理 Treatment	> 5 mm	2 ~ 5 mm	1 ~ 2 mm	0.5 ~ 1 mm	0.25 ~ 0.5 mm	> 0.25 mm
0 ~ 10	H	0.52a	0.70a	1.39ab	2.78b	4.26a	9.69b
	M	0.31ab	0.54ab	1.33b	3.50ab	4.06a	11.32a
	L	0.19b	0.67a	1.73a	4.19a	4.52a	9.39b
	CK	0.14b	0.41b	1.06b	3.08ab	3.62a	8.28b
10 ~ 20	H	0.51a	0.61a	1.47a	3.46a	3.76a	9.74a
	M	0.33b	0.58a	1.33a	3.58a	3.97a	10.66a
	L	0.33b	0.61a	1.65a	3.78a	4.44a	9.54a
	CK	0.31b	0.48a	1.54a	3.49a	3.67a	9.41a
20 ~ 30	H	0.13b	0.48a	1.57a	3.47a	4.06a	9.58a
	M	0.37a	0.41a	1.31a	3.69a	3.98a	9.88a
	L	0.23b	0.52a	1.62a	3.91a	3.90a	9.23a
	CK	0.13b	0.48a	1.47a	3.23a	3.98a	9.18a
30 ~ 40	H	0.89b	0.78b	2.88a	6.34a	6.71a	17.55ab
	M	1.74a	2.33a	3.77a	6.43a	6.47a	20.14a
	L	0.65b	1.08b	3.26a	6.39a	6.20a	17.21ab
	CK	0.14c	0.78b	2.58a	4.75a	6.30a	14.42b

1~2 mm 粒径团聚体含量不同处理间存在显著性差异,其中 L 处理表现最高,为 1.73%,与 M 处理、CK 呈显著性差异。10~20 cm 土层,除 >5 mm 粒径外,各个粒径土壤团聚体含量在各个处理间无显著差异性。20~30 cm 土层,M 处理 >5 mm 土壤团聚体含量在该土层最大,且与 H、L 处理和 CK 相比呈显著性差异,其他粒径团聚体含量在不同处理间未呈现显著性差异。

30~40 cm 土层,>0.25 mm 土壤团聚体含量 CK 最小,与 M 理呈显著性差异,但施肥处理间差异不显著。除 >5 mm 粒径及 1~2 mm 粒径以外,其它粒径团聚体含量在处理间均未显示出差异性,对 >5 mm 土壤团聚体含量而言,3 种施肥处理均高于 CK,且呈显著性差异。对 1~2 mm 粒径而言,M 处理的土壤团聚体含量最高,与其他处理及 CK 呈显著性差异。

整体而言,经过湿筛后,不同量施肥处理的水温性团聚体含量比 CK 对照有不同程度的增加,而相对于 2006 年试验开始前的土壤来说,经过 3 a 连续施肥处理,>0.25 mm 土壤团聚体含量也有了显著提高,四个土层由上至下 >0.25 mm 土壤团聚体含量的最大增幅依次为 35%、17%、10%、75%。对于不同土层而言,30~40 cm 土层 >0.25 mm 土壤团聚体含量明显高于其他土层,其他粒径团聚体含量也有此规律。对于不同粒径团聚体来说,>5 mm 土壤团聚体的含量显然小于其他粒径团聚体,而且处理间的差异性主要表现在 >5 mm 土壤团聚体与 >0.25 mm 土壤团聚体含量方面。

2.3 土壤有机质含量

如图 1 所示,经过 3 a 的施肥处理,土壤有机质含量与对照相比有了明显提高,增幅为 10% 左右,H 处理下土壤有机质含量最高,为 10.78 g/kg。3 种施肥处理和 CK 对照相比呈显著性差异,而 3 种施肥处理之间却无差异性。这说明了通过有机培肥措施,可以显著提高土壤有机质含量,使土壤营养状况

得到改善,同时随着有机质的提高,土壤团聚颗粒含量也有了提升,土壤物理性质得到改善,更加有利于作物生长发育。

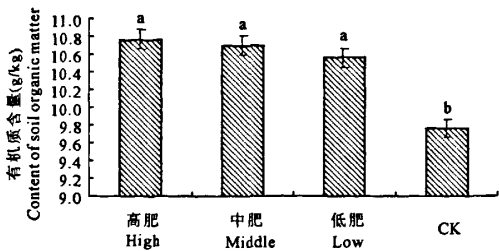


图 1 有机肥不同施入量土壤有机质的变化
Fig.1 The content of soil organic matter under different amount of organic fertilizer treatments

2.4 土壤平均重量直径

土壤平均重量直径(MWD)是反映土壤团聚体大小分布状况的常用指标。MWD 值越大表示团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越强^[13]。MWD 也是各级团聚体的一个综合指标,其值随着大粒级团聚体含量的增加而增大,说明团聚体的稳定性较好。

由表 4 可知,湿筛后 0~10 cm 土层,除 L 处理土壤团聚体的 MWD 与 CK 对照处理差异性不明显外,H 处理和 M 处理均显著高于 CK。10~30 cm 土层,各处理间 MWD 无显著性差异。30~40 cm 土层,土壤团聚体 MWD 在各个处理间表现出显著性差异,M 处理的 MWD 最高,与其他处理呈显著性差异,而 L 处理、H 处理和 CK 对照之间无显著性差异。这说明施肥处理对 0~10 cm 土层的影响较大,对 10~30 cm 土层影响相对较小,原因可能是与小麦根系的分布范围有关,冬小麦根系主要分布在 0~10 cm 土层,有机肥促进小麦根系分泌物增多从而使该土层的土壤物理性状变化较大。另外不同土层中团聚体的差异性也可能与有机肥翻入土壤的深度有一定关系。

表 4 有机肥处理下土壤团聚体的平均重量直径(mm)
Table 4 Soil MWD under different organic fertilizer treatments

处理 Treatment	湿筛法 Wet sieving				干筛法 Dry sieving			
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm
H	0.334a	0.322a	0.310a	0.353b	2.340a	2.470a	2.673a	2.678a
M	0.327a	0.324a	0.321a	0.467a	1.974ab	2.485a	2.813a	2.525a
L	0.315ab	0.324a	0.312a	0.379ab	2.037ab	2.465a	2.708a	2.677a
CK	0.299b	0.321a	0.306a	0.340b	1.542b	1.881b	2.495a	2.436a

与试验前土壤相比,湿筛法下 MWD 有不同幅度增加,随土壤层次加深最大增幅依次是 15%、

16%、19%、80%。30~40 cm 土层 MWD 高于前面三土层。干筛处理下,在 0~10 cm 土层 H 处理团聚体 MWD 与 CK 处理差异显著,10~20 cm 土层施肥处理与 CK 处理团聚体 MWD 差异显著。施肥处理的 MWD 比 CK 处理有不同幅度的增长,相比于试验前的土壤,按土层由上至下的顺序,MWD 的增幅依次为 83%、67%、15%、8%。从土壤层次上看,20~40 cm 土层 MWD 高于 0~20 cm 土层。

2.5 团聚体稳定率

团聚体稳定率(WSAR)是指湿筛后 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量的比率,稳定率越高,结构则越稳定,越能够为作物的生长提供良好的土壤环境,有利于作物的生长^[14]。从表 5 结果可以看出,在 0~10 cm 土层 L 处理显著高于 CK 及其他处理,30~40 cm 土层各处理均显著高于 CK。在 10~20 cm 土层和 20~30 cm 土层的土壤团聚体稳定率在各个处理间未表现显著性差异。

表 5 有机肥处理下土壤团聚体稳定率的变化(%)

Table 5 The soil stable percentage under different organic fertilizer treatments

处理 Treatment	土壤层次 Soil layer			
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	30~40 cm
H	9.39b	9.54a	9.58a	17.55ab
M	9.63b	9.64a	9.23a	20.14a
L	11.32a	10.66a	9.88a	17.21ab
CK	8.28b	9.41a	9.18a	14.42b

整体而言,30~40 cm 土层的团聚体稳定率显然大于前三个土层,说明施用有机肥有助于提高深层土层团聚体稳定率。这可能与作物根系的分布扦插有关,旱区气候干燥辐射强烈,表土的含水量一般均小于深层土壤,且施入有机肥一般都被翻于 30 cm 左右的土层中,致使该土层有机养分丰富,微生物活动较表层频繁;植物根系分泌物和微生物代谢物以及有机质都促使了深层土壤有较高的稳定率。

2.6 团聚体平均重量直径与 > 0.25 mm 水稳性团聚体的关系

由图 2 可知,土壤团聚体平均重量直径与 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量之间呈极显著正相关($r=0.905^{**}$, $P<0.01$)。说明 > 0.25 mm 水稳性团聚体的含量越高,平均质量直径越大,土壤团聚体水稳性越强,土壤结构越稳定。

3 讨论

土壤团聚体稳定性是土壤物理质量的综合体

现^[15]。土壤团聚体稳定性除了受到土壤本身特征影响之外,土地利用方式和农业管理措施是影响土壤团聚体稳定性的重要因素^[16]。相关研究表明,土壤团聚体稳定性取决于土壤特性,特别是土壤有机质的含量^[17]。土壤有机质是团聚体分级的主要胶结剂^[18,19],土壤有机质的增加会导致团聚体数量和稳定性的增加^[20]。在本试验中,经过 3 a 连续施用有机肥后,土壤有机质得到明显提高,相应地土壤大团聚体的数量相比于对照处理也得到较大提高,这与上述结论一致。

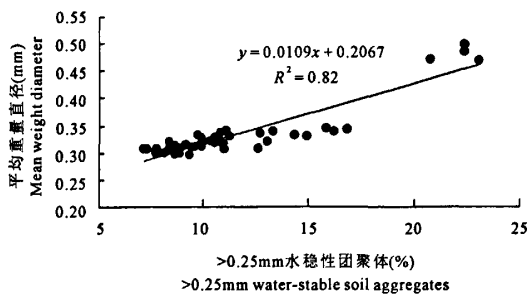


图 2 平均质量直径与 > 0.25 mm 水稳性团聚体含量之间的关系

Fig.2 Correlation between mean weight diameter and the content of > 0.25 mm water-stable soil aggregates

国内外许多研究表明,施有机肥的影响一般首先体现在大团聚体上^[21~23],施入肥料后其分解残体激发微生物活性,形成真菌和糖^[24],这些物质胶结土壤颗粒形成大团聚体^[25]。从本研究来看,施用不同肥力水平的有机肥后,通过干筛法得出,各个处理在四个土层上都是以 > 5 mm 粒径团聚体与 2~5 mm 粒径团聚体为主,而且处理之间的差异性也都体现在此两粒径的团聚体含量上,这与上述的观点一致。章明奎等认为水稳定性团聚体含量主要与有机质含量有关^[26],李阳兵等也认为有机质对于水稳定团聚体的影响较大^[27]。本试验结果表明,不同的有机施肥量使 > 0.25 mm 水稳定团聚体的含量比对照处理有不同程度的提高,在 30~40 cm 土层体现得最为明显,但该层次的有机质含量较 0~30 cm 要低。此结果与前人的结论略有不同^[26,27]。

土壤团聚体平均重量直径(MWD)是反映土壤稳定性的常用指标之一,本研究表明,土壤团聚体平均重量直径与 > 0.25 mm 水稳定团聚体含量呈显著性正相关的关系。平均质量直径越大,土壤团聚体水稳性越强,土壤结构越稳定。结合土壤平均重量直径与 > 0.25 mm 水稳定团聚体含量可以更加全面和准确地反映土壤结构,特别是土壤团聚体的性质。

另外,本文只是对有机培肥试验实施3 a后的结果进行分析,要研究不同施肥处理对土壤结构的影响,还将需要进行长期的试验,才能获得更加可靠的结论。要综合分析有机培肥对土壤的影响,才能对有机培肥措施作出恰当的评价。

4 结论

本研究表明,在宁夏南部半干旱区农田进行连年(3 a)有机培肥后,土壤干筛的结果表明土壤中的团聚体主要以 $>5\text{ mm}$ 土壤团聚体为主,有机施肥处理相比于对照处理, $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体含量均有不同程度的增加,处理之间在 $0\sim20\text{ cm}$ 土层存在显著性差异。在几个土层中,相同较小粒径团聚体含量在不同施肥处理间相差不大。施肥处理在 $0\sim10\text{ cm}$ 土层、 $30\sim40\text{ cm}$ 土层 $>5\text{ mm}$ 、 $2\sim5\text{ mm}$ 及 $>0.25\text{ mm}$ 粒级水稳性团聚体含量较对照有显著提高,但是对于 $0.25\sim0.5\text{ mm}$ 粒径的团聚体含量,在各个土层中不同处理间无显著性差异,而处理间的差异性主要体现在 $>5\text{ mm}$ 土壤团聚体与 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体含量上面。无论干筛或湿筛 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体含量的最大值大都出现在M处理上,故对半干旱旱作区而言,培育良好土壤团聚结构的适宜有机肥量在 $60\,000\text{ kg/hm}^2$ 左右。

试验结果表明,水稳性团聚体的平均重量直径在四个土层都发生了变化,施肥处理大于对照,土壤团聚体平均质量直径与 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体含量之间呈显著正相关,说明 $>0.25\text{ mm}$ 水稳性团聚体的含量越高,平均质量直径越大,土壤团聚体水稳性越强。

通过团聚体稳定率的比较可知,不同施肥量处理对表层和深层土壤的团聚体稳定率影响比较大,而对 $10\sim30\text{ cm}$ 土层土壤影响不明显;在 $30\sim40\text{ cm}$ 土层影响最大,说明有机培肥可以提高该层土壤团聚体的稳定性,对改良土壤的团聚结构有积极的作用。

参考文献:

- [1] 刘梦云,常庆瑞,安韶山,等.土地利用方式对土壤团聚体及微团聚体的影响[J].中国农学通报,2005,21(11):247—250.
- [2] Dexter A R. Advances in characterization of soil structure[J]. Soil & Tillage Research, 1988,11:199—238.
- [3] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1936,28:337—351.
- [4] 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.
- [5] 刘晓利,何园球,李成亮,等.不同利用方式旱地红壤水稳性团聚体及其碳、氮、磷分布特征[J].土壤学报,2009,46(2):255—262.
- [6] 王国梁,刘国彬.黄土丘陵区塬区植被恢复的土壤水稳性团聚体效应[J].水土保持学报,2002,16(1):48—50.
- [7] 安韶山,黄懿梅,郑粉莉.宁夏黄土区不同植物群落土地利用方式对土壤质量的影响[J].植物营养与肥料学报,2008,14(2):300—307.
- [8] 刘梦云,常庆瑞,齐雁冰.不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征[J].中国水土保持科学,2006,4(4):47—51.
- [9] 赵世伟,苏静,杨永辉,等.宁南黄土丘陵区植被恢复对土壤团聚体稳定性的影响[J].水土保持研究,2005,12(3):27—28.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究所.土壤物理性质测定法[M].科学出版社,1978:83—85.
- [11] D.希勒尔.土壤物理学概论[M].西安:陕西人民教育出版社,1988.
- [12] 王清奎,汪思龙.土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J].土壤报,2005,36(3):415—421.
- [13] Nimmo J R, Perkins K S. Methods of Soil Analysis, Part 4-Physical Methods[M]. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Inc. 2002:317—328.
- [14] 文倩,关欣.土壤团聚体形成的研究进展[J].干旱区研究,2004,21(4):434—438.
- [15] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review[J]. Geoderma, 2005,124:3—22.
- [16] 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. Soil & Tillage Research, 2004, 77:79—84.
- [17] 彭新华,张斌,赵其国.红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J].生态学报,2003,23:2176—2183.
- [18] Tisdall J M, Oades J M. Organic matter and water stable aggregates in soils[J]. Journal of Soil Science, 1982,33:141—163.
- [19] Oades J M, Waters J M. Aggregate hierarchy in soils[J]. Australian Journal of Soil Research, 1991,29:815—828.
- [20] Guber A K, Pachepsky Y A, Levkovsky E V. Fractal mass-size scaling of wetting soil aggregates[J]. Ecological Modelling, 2005,182:317—322.
- [21] Kushwaha C P, Tripathi S K, Singh K P. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in an tropical dry land agroecosystem[J]. Applied Soil Ecology, 2001, 16:229—241.
- [22] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land use change: Processes and potential[J]. Global Change Biol, 2000,6:317—327.
- [23] Whalen J K, Hu Q C, Liu A G. Compost applications in crease water-stable aggregates in conventional and no-tillage systems[J]. Soil Sci Soc Am J, 2003,63:1842—1847.
- [24] Guggenberger G S, Frey D, Six J, et al. Bacterial and fungal cell-wall residues in conventional and no-tillage agroecosystems[J]. Soil Sci Soc Am J,1999,63:1188—1198.
- [25] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggre-

- gate-associated carbon and nitrogen[J]. Soil Sci Soc Am J, 2004, 68:809—816.
- [26] 章明奎,何振立,陈国潮,等.利用方式对红壤水稳团聚体形成的影响[J].土壤学报,1997,34(4):359—366.
- [27] 李阳兵,谢德体.不同土地利用方式对岩溶山地土壤团粒结构的影响[J].水土保持学报,2001,15(4):122—125.

Effects of different organic fertilizer treatments on distribution and stability of soil aggregates in the semiarid area of South Ningxia

GAO Fei^{1,2}, JIA Zhi-kuan^{1,2*}, HAN Qing-fang^{1,2}, YANG Bao-ping^{1,2}, NIE Jun-feng^{1,2}

(The Research Center of Agriculture in Arid and Semiarid Areas, Key Laboratory of Crop Production and Ecology of Minister of Agriculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A study was conducted on the size distribution and stability of soil aggregates in the semiarid area of South Ningxia after 3-year fertilization. The experiment has three levels of fertilizer treatments, and every level repeated three times. The test crop was wheat Xifeng 26. The distribution of soil aggregates was measured by dry sieving and wet sieving. The results showed that the proportion of the bigger soil aggregates was increased significantly by organic fertilizer treatments and there was a positive correlation between organic fertilizer amount and the proportion. The stability of soil aggregates was also improved by organic fertilizer treatments. Compared with that of natural soil, the content of >0.25 mm water-stable aggregates in 0 ~ 10 cm and 30 ~ 40 cm layers of soil with fertilizer treatments increased by 35% and 75%, respectively; and the content of ≥ 0.5 mm water-stable aggregates also had a increasing trend, with the greatest increment of that of >5 mm and 2 ~ 5 mm water-stable aggregates. On the contrary, the change of the content of 0.25 ~ 0.5 mm water-stable aggregates was not significant. The significant difference between these treatments was mainly reflected in >5 mm and >0.25 mm aggregates. After dry sieving, >5 mm aggregates were the main part. Compared with the control, the content of >0.25 mm aggregates increased in varying degrees in organic fertilizer treatments. There was significant difference between these organic fertilizer treatments in 0 ~ 20 cm soil layer. Through aggregate stable percentage comparing, organic fertilizer treatments had the most influential effect on 30 ~ 40 cm soil layer, and the soil stable percentage of 30 ~ 40 cm soil layer was increased by 87% compared to that of 0 ~ 20 cm soil layer. The mean weight diameter (MWD) of soil with fertilizer treatment was greater than that of natural soils, and it was significantly correlated with the content of >0.25 mm water-stable aggregates. So the organic fertilizer treatments can not only enhance the proportion of bigger aggregates, but also improve the structure of soil, and the suitable amount of organic fertilizer application is about 60 000 kg/hm².

Keywords: organic matter; soil aggregate; dry area of South Ningxia