

耕作措施对宁南山区缓坡地土壤团聚体 及作物产量的影响

雷金银¹, 何进勤¹, 雷晓婷¹, 周丽娜¹, 余建军²,
纪立东¹, 张 慧², 路 芳²

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002; 2. 固原市原州区官厅镇农业服务中心, 宁夏 固原 756000)

摘 要:为探讨不同耕作措施对宁南山区缓坡耕地轮作体系土壤团聚体特征及作物产量的影响,在 2015—2016 年期间,开展了玉米-马铃薯轮作条件下传统平作(CK)、垄沟不覆膜(NH)、垄沟半覆膜(HP)和垄沟全覆膜(WP)4 种不同耕作措施试验研究。结果表明:不同耕作措施对表层 0~20 cm 土壤机械稳定性团聚体和水稳性团聚体影响均较为显著,对 20~40 cm 土层影响不显著;CK、WP 和 HP 处理下 0~20 cm 土层范围内均为>5 mm 和 2~5 mm 土壤机械稳定性团聚体含量高,而 NH 处理下为 1~2 mm 和 0.5~1 mm 土壤机械稳定性团聚体含量高,分别为 16.25%、13.38%。CK 处理下>5 mm 土壤机械稳定性团聚体占比为 30.99%,显著高于其他三种耕作方式,而 NH 处理下 1~2 mm、0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 的土壤机械稳定性团聚体含量显著高于其他三种耕作方式。水稳性团聚体则表现为各处理>5 mm 所占比例急剧下降。CK 处理下显著低于其他处理,含量为 1.96%。土壤机械稳定性团聚体平均重量直径(MWD)在 NH、HP 和 WP 处理下表层 0~20 cm 和底层 20~40 cm 显著低于 CK,土壤水稳性团聚体 MWD 和稳定率均高于 CK。不同耕作措施表层 0~20 cm 土壤机械稳定性团聚体分形维数低于水稳性团聚体分形维数,由低到高的顺序均为:CK<HP<WP<NH,分别为 2.65、2.66、2.67、2.69 和 2.80、2.85、2.86、2.87。团聚体分形维数与水稳性团聚体 MWD 和稳定率具有一致性。相对于 CK、NH、HP 和 WP 分别增加产量 10.5%、13.3%和 39.2%。由此可知,农田耕作措施通过改变地表微环境能够影响土壤团聚结构的组成及其稳定性。同时,NH 在改善土壤水稳性团聚体方面占优,但其增产作用并不突出,这种不同步性表明良好的土壤团聚体构建是长期持续的过程。

关键词:耕作措施;土壤团聚体;玉米-马铃薯轮作;作物产量

中图分类号:S152.3 **文献标志码:**A

Effects of tillage on soil aggregates and crop yield on gentle slope lands in Southern Ningxia

LEI Jinyin¹, HE Jinqin¹, LEI Xiaoting¹, ZHOU Lina¹, YU Jianjun²,
JI Lidong¹, ZHANG Hui², LU Fang²

(1. *Institution of Agricultural Resource and Environment, Ningxia Academy of Agriculture
and Forestry Sciences, Ningxia, Yinchuan 750002, China;*

2. *Guanting Agro-technical Service Center, Yuanzhou District of Guyuan, Guyuan, Ningxia 756000, China)*

Abstract: In order to explore the effects of tillage on the soil aggregate characteristics and crop yield under rotation system in the gentle slope lands in Southern Ningxia, four tillage measures including the traditional culture (CK), the furrow without film covered (NH), the half covered furrow with film (HP), and fully-covered furrow with film (WP) were studied under corn-potato rotation in 2015–2016. The results showed that different measures significantly affected the mechanically-stable aggregates and water-stable aggregates of 0~20 cm soil while the effects on 20~40 cm soil was not significant. The contents of mechanically-stable aggregates > 5 mm and 2~5 mm

收稿日期:2019-09-12

修回日期:2020-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(41561059);宁夏回族自治区科技支撑项目(2011ZYN156);宁夏农林科学院全产业链创新示范项目(NZ13123)

作者简介:雷金银(1981–),男,宁夏西吉人,副研究员,主要从事水土资源高效利用与生态环境构建研究。E-mail:leijinyin@126.com

通信作者:周丽娜(1980–),女,宁夏中宁人,副研究员,主要从事农业生态及植物营养研究。E-mail:linazhou@163.com

of 0~20 cm soil were high under CK, WP, and HP treatments while the contents of mechanically-stable aggregates of 1~2 mm and 0.5~1 mm were high under NH treatment, which were 16.25% and 13.38%, respectively. The content of mechanically-stable aggregates was lowest under CK, and that of > 5 mm under CK treatment was 30.99%, which was significantly higher than the other three treatments, while that of 1~2 mm, 0.5~1 mm, and 0.25~0.5 mm under NH were significantly higher than the other tillage. The proportion of water-stable aggregates > 5 mm decreased sharply under each treatment. Under NH, HP and WP treatment, in the 0~20 cm and 20~40 cm soil, the MWD of mechanically stable aggregates was significantly lower than CK, and the MWD of water-stable aggregates were both higher than CK. Under different treatments, the fractal dimension of soil mechanically stable agglomerates in 0~20 cm soil was lower than that of water-stable aggregates, and the order from low to high was: CK < HP < WP < NH, respectively, were 2.65, 2.66, 2.67, 2.69, and 2.80, 2.85, 2.86, 2.87. Compared to CK, yields under NH, HP, and WP increased by 10.5%, 13.3%, and 39.2%. It can be seen that tillage can affect the composition and stability of soil aggregates structures by changing the surface micro environment. At the same time, NH had an advantage in improving soil water-stable aggregates, but its stimulation was not prominent. This asynchrony indicated that good soil aggregates construction forming needs a long-term continuous process.

Keywords: tillage; soil aggregates; corn-patato rotation; crop yield

宁夏南部山区(简称宁南山区)地处黄土高原西北边缘,气候干旱,年内降雨分布极为不均,农业用地以坡耕地、梯田为主,土壤有机质含量低、水土流失较为严重,生态环境脆弱是制约当地农业生产与经济发展的“瓶颈”问题。长期以来,旱作耕地土壤培肥与水土流失防治、作物产量挖掘与降雨资源高效利用、生态环境构建是该区关注的热点问题^[1-5]。众多研究表明,土壤团聚体是支撑土壤肥力、健康与质量等功能的物理基础,其在土壤内部数量分布及其结构分布组成特征对土壤水分和养分蓄存、运移和转化、微生物活动等能力具有重要影响。影响土壤团聚体组成和稳定性的自然要素主要包括土壤类型、地形地貌、气候因素、植被因素和土地覆被等,这些因素影响土壤有机碳(SOC)含量、土壤呼吸、土粒的分布等,可调控团聚体的结构^[6]。因此,开展缓坡耕地土壤团聚体特征及其影响因子研究成为当前旱区农田土壤肥力建设研究的重中之重^[1,7]。

众多研究表明,土壤团聚体与土地利用方式和田间农业耕作措施有很大关系^[8]。与传统耕作相比,保护性耕作措施通过减少对土壤的人为扰动或改变下垫面微地形,为促进形成良好的土壤团聚体提供良好的物理、化学、生物环境,增加土壤有机碳的固定,提高土壤水稳性团聚体数量及稳定性,从而提高土壤蓄水保墒能力和产量。杨如萍等^[9]研究表明,不同耕作方式下免耕覆盖处理和免耕处理可明显增加土壤中大团聚体的含量,免耕覆盖处理有着相对更高的团聚体稳定性,传统耕作的土壤团聚体 MWD 较免耕和免耕覆盖处理分别减少 19.5%

和 27.9%。刘丹^[10]研究不同种植和耕作措施对土壤团聚体的影响的结果表明,免耕措施有利于土壤稳定,同时免耕、深松、秸秆覆盖可以增加土壤团聚体结构稳定的醇、酚类、芳香类、脂肪族化合物和碳水化合物的含量。刘秀^[11]等研究表明,地膜覆盖措施不仅可以改变 0~10 cm 土层土壤水稳性团聚体分布及稳定性,而且土壤团聚体有机碳的含量和储量也有较大的提高。

随着学科发展和相关研究的不断深入,目前针对旱作农业区坡耕地垄沟种植为核心的耕作措施与轮作种植方式对团聚体作用或影响的研究较少,本文在宁南山区开展玉米-马铃薯轮作条件下不同耕作措施对土壤团聚体组成特征及作物产量的影响研究,对于提升旱区耕地质量、缓坡耕地合理耕作利用和生态环境构建具有重要的实践意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于宁夏南部山区的固原市原州区官厅镇程儿山(36°04'19"N, 106°20'21"E),地处黄土高原西北边缘地带,是宁夏南部山区土壤侵蚀严重的区域之一。多年平均降水量 382.0 mm,且年内分布不均,其中 6—9 月占 65.6%,降雨不足和干旱频繁是制约当地农、林、牧业发展的主要自然障碍因素。多年平均气温为 5.3℃,极端最低气温-32℃,极端最高气温 32.6℃,最大日较差 27℃,≥10℃积温 2 400℃,无霜期平均 100~150 d,农作物以春小麦、玉米、马铃薯和秋杂粮为主。试验地土壤属黑垆土,砂壤土质,基本性质见表 1。

1.2 试验设计

试验在坡度约 10°的缓坡耕地上进行,试验为一年一熟,2015—2016 年分别选用玉米、马铃薯为供试作物,2015 年种植玉米,品种‘富农 821’,2016 年轮作种植马铃薯,品种‘青薯 9 号’。试验共设 4 个不同耕作措施处理:传统平作(CK):不覆盖;垄沟不覆膜(NH):垄宽 60 cm,沟宽 60 cm,垄高 15 cm;垄沟全覆膜(WP):采用宽 120 cm、厚 0.08 mm 的塑料薄膜全部覆盖沟垄,为方便水分入渗,在两块薄膜接合部位用打孔器打若干孔;垄沟半覆膜(HP):采用宽 80 cm、厚 0.08 mm 的塑料薄膜,覆盖垄上部位。

采用完全随机区组试验设计,重复 3 次,各处理均为横坡等高种植,小区面积 50 m²(25 m×2 m),共计 12 个小区,玉米、马铃薯种植株、行距均为 30 cm 和 25 cm。玉米、马铃薯施肥量保持一致,施肥水平参照当地常规:农家肥和磷酸二铵((NH₄)₂HPO₄)作为种肥一次性施入,施用量分别为 22 500 kg·hm⁻²和 375 kg·hm⁻²,尿素(CO(NH₂)₂)分两次施入,基施 150 kg·hm⁻²,拔节期追施 150 kg·hm⁻²。

1.3 观测指标与计算方法

1.3.1 土壤样品采集 分别在垄背 0~20、20~40 cm 土层采取混合土壤样品,测定土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾。土壤有机质采用重铬酸钾容量法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;有效磷采用 0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃ 浸提钼锑抗比色法;速效钾采用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAC 浸提火焰光度计法测定。

1.3.2 土壤机械稳定性团聚体和水稳性团聚体测定 每个试验季分别在作物播种前和收获后采集原状土样,采样深度分别为 0~20 cm 和 20~40 cm 两层,用一次性硬质饭盒带回实验室风干以备土壤团聚体测定。

土壤机械稳定性团聚体测定采用干筛法^[12],待测各层土样均分为 3 份,套筛孔径由上至下依次为 10、7、5、3、2、1、0.5 mm 和 0.25 mm。振荡式机械筛分仪在最大功率下振荡 2 min,分级收集土样称重后计算团聚体占比。

水稳性团聚体测定采用湿筛法^[13],按照干筛各级别团聚体的质量比例配成 50 g 风干土样,沉降后将饱和土样转移至装满去离子水水桶的套筛(孔径依次为 5、2、1、0.5 mm 和 0.25 mm)的顶部,将筛组整体在水中慢慢升降处理 5 min,将各级筛子上的团聚体小心洗入铝盒,低温烘箱烘干并在空气中平衡 2 h 后称重得到湿筛后各级团聚体的百分含量。

1.3.3 产量及其组成 在各试验小区内实测产量。

1.4 数据分析与计算

1.4.1 土壤团聚体稳定率(WSAR)计算^[12]:

$$WSAR = \frac{WSA}{A} \times 100\%$$
 (1)

式中,WSA 为 > 0.25 mm 水稳性团聚体的质量(湿筛);A 为 > 0.25 mm 机械团聚体的质量(干筛)。

1.4.2 土壤团聚体平均重量直径(MWD)计算^[12]:

$$MWD = \sum_i^n X_i W_i$$
 (2)

式中,X_i 为某一粒级团聚体的重量百分数(%),W_i 为某一粒级团聚体的平均直径(mm)。

1.4.3 土壤团聚体分形维数计算:

采用杨培岭等推导的公式^[14]:

$$(\bar{d}_i / \bar{d}_{\max})^{3-D} = W_i(\delta < \bar{d}_i) / W_0$$
 (3)

式中,D 为分形维数, $\bar{d}_i$ 是两筛分直径 d_i 与 d_{i+1} 的中值, $\bar{d}_{\max}$ 是最大团聚体直径的平均值,W_i($\delta < d_i$) 是小于 d_i 的累积土粒重量,W₀ 是各直径土壤团聚体的总重。

本文试验数据均采用 Excel 和 SPSS 16.0 软件进行统计处理及方差分析(LSD)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施下土壤团聚体的组成特征

耕作措施是影响土壤团聚体形成与组成变化的重要因素之一。不同耕作措施对土壤机械稳定性团聚体和水稳性团聚体组成影响显著(表 2,表 3),且主要表现在表层 0~20 cm 范围内,各处理对底

表 1 试验地土壤基本性质
Table 1 Physical and chemical properties of soil in study area

土层深度 Depth/cm	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	颗粒组成 Composition of particles/%		
					砂粒 Sandy 2.0~0.02 mm	粉粒 Silt 0.02~0.002 mm	粘粒 Clay <0.002 mm
0~20	19.2±0.92	147±13.26	10.3±0.48	71±5.29	51.5±3.31	32.0±2.72	16.5±1.21
20~40	15.5±0.34	132±12.34	1.5±0.16	53±1.26	51.3±3.22	31.5±2.54	17.4±1.86

层 20~40 cm 土壤机械稳定性团聚体和水稳性团聚体组成均影响不显著。CK、WP 和 HP 处理下 0~20 cm 土层范围内均以>5 mm 和 2~5 mm 土壤机械稳定性团聚体最高,而 NH 处理下 1~2 mm 和 0.5~1 mm 土壤机械稳定性团聚体最高,分别为 16.25%、13.38%。其中 CK 处理下>5 mm 土壤机械稳定团聚体占比为 30.99%,明显高于其他 3 种耕作方式,且差异显著,而 NH 处理 1~2 mm、0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 的土壤机械稳定性团聚体含量高于其他三种耕作方式且差异显著。

表 2 土壤机械稳定性团聚体组成

Table 2 Mechanically-stable aggregates composition of tested soils

处理 Treatment	土壤深度 Soil depth/cm	>5 mm	2~ 5 mm	1~ 2 mm	0.5~ 1 mm	0.25~ 0.5 mm	< 0.25 mm
CK	0~20	30.99a	16.71a	14.72a	10.40a	7.86a	19.32a
	20~40	22.68a	16.03a	16.04a	10.77a	8.17a	26.32a
NH	0~20	13.78b	14.09a	16.25a	13.38b	11.52b	30.98b
	20~40	9.53b	17.01a	18.36a	12.38a	8.91a	33.82b
WP	0~20	29.52ac	15.62a	14.21a	10.21a	7.85a	22.59ac
	20~40	16.67c	16.59a	16.87a	11.41a	9.31a	29.15ac
HP	0~20	25.77c	15.17a	15.38a	10.38a	7.90a	25.40c
	20~40	14.96c	18.70a	17.43a	10.48a	7.73a	30.69cb

注:表中方差分析为不同耕作措施之间同一土壤层次之间的比较,小写字母表示 0.05 水平显著,下同。
Note: The analysis of variance in the table is the comparison of the same soil depth between different tillage practices. The lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

表 3 土壤水稳性团聚体组成

Table 3 Water-stable aggregates composition of tested soils

处理 Treatment	土壤深度 Soil depth/cm	>5 mm	2~ 5 mm	1~ 2 mm	0.5~ 1 mm	0.25~ 0.5 mm	< 0.25 mm
CK	0~20	1.96a	4.54a	5.96a	12.00a	18.1a	57.44ab
	20~40	0.96a	5.14a	7.12a	13.90a	12.10a	60.78ac
NH	0~20	6.34b	6.16ab	8.12bc	11.26a	14.44b	53.68a
	20~40	2.52b	6.92a	10.58a	16.84b	12.30a	50.84b
WP	0~20	5.66b	5.10ab	7.66ab	10.86a	10.88c	59.84b
	20~40	0.74a	4.74a	7.92a	11.84a	12.90a	61.86a
HP	0~20	10.82c	7.84b	10.88c	7.60b	15.82b	47.04c
	20~40	3.60c	4.92a	12.36b	11.56a	10.74b	56.82c

水稳性团聚体则表现为各处理>5mm 所占比例急剧下降,均以 1~2 mm、0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 为主。CK 处理下>5 mm 水稳性团聚体含量为 1.96%,显著低于 NH、WP 和 HP。

2.2 不同耕作措施下土壤团聚体的大小及其稳定性

土壤团聚体平均重量直径(MWD)和稳定率是评价土壤团聚体稳定性的重要指标,不同耕作措施对土壤团聚体 MWD 和稳定率影响显著。由表 4 可知,0~20 cm 土壤机械稳定性团聚体 MWD 表现为 CK>WP>HP>NH,而土壤水稳性团聚 MWD 表现为 HP>NH>WP>CK。各处理土壤稳定率与土壤水稳性团聚体表现出一致性,而与土壤机械稳定性团聚体相反。20~40 cm 土壤表现出相同的规律。由此可知,在选择土壤机械稳定性团聚体作为评估土壤稳定性指标时要慎重考虑,而 MWD 可用于评价土壤结构的稳定性。

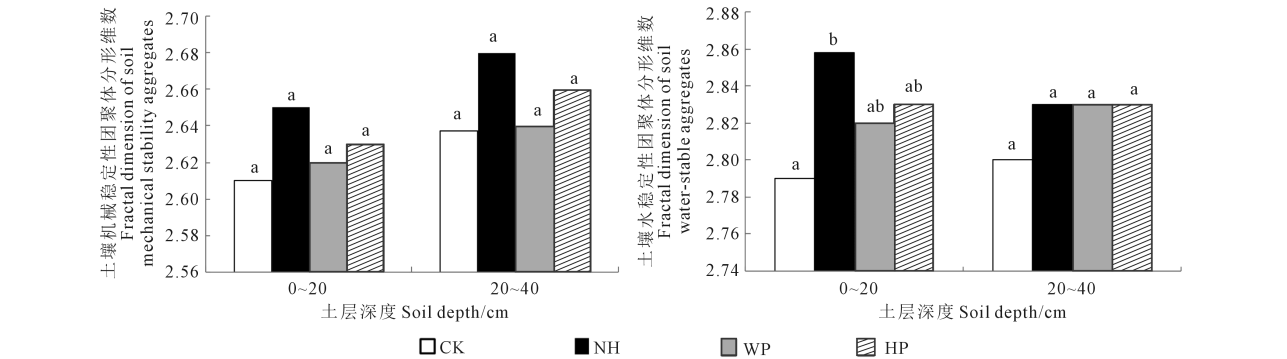
2.3 不同耕作措施下土壤团聚体的分形特征

自分形理论应用于土壤结构研究以来,土壤分形维数成为评价土壤结构稳定性的一个重要综合指标,反映着土壤团聚体大小及分布情况。同等类型土壤,分形维数越大,土壤结构组成越合理^[15]。如图 1 所示,不同耕作措施对表层 0~20 cm 土壤机

表 4 土壤团聚体平均重量直径及稳定率

Table 4 The soil aggregates MWD and stability rate

处理 Treatment	土壤深度 Soil depth/cm	MWD/mm		稳定率/% Stability rate
		机械稳定性团聚体 Mechanically stable aggregates	水稳性团聚体 Water-stable aggregates	
		Soil depth/cm	Soil depth/cm	
CK	0~20	2.46a	0.50a	52.75a
	20~40	2.05a	0.48a	53.22a
NH	0~20	1.57b	0.79b	67.11b
	20~40	1.47b	0.70b	74.27b
WP	0~20	2.34a	0.70a	51.88a
	20~40	1.79ab	0.46a	53.83a
HP	0~20	2.16a	1.09c	70.99b
	20~40	1.77ab	0.66b	62.31c



注:同一土层不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Note: Different lowercase of the same soil depth indicate significant difference at $P<0.05$.

图 1 土壤机械稳定性团聚体和水稳性团聚体分形特征

Fig.1 Fractal dimension of mechanically stable soil aggregates and water-stable aggregates

表 5 2015 年保护性耕作试验玉米产量及构成因素

Table 5 Corn yield and composition of conservation tillage experiment in 2015

处理 Treatment	株高/cm Plant height	穗长/cm Ear length	穗行数/行 Ear rows/row	穗粒数/No. Spike grain number	百粒重/g Grain weight per panicle	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
CK	182a	16.0a	17.1a	407.9a	17.6a	3942.5a
NH	212b	16.7a	17.8a	501.8b	20.6ab	4354.5b
WP	228b	19.5b	14.6a	414.9a	23.7b	6374.5c
HP	230b	17.6ab	16.4a	509.58b	23.1b	4935.0b

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平显著。下同。

Note: The lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

表 6 2016 年不同耕作措施对马铃薯产量的影响

Table 6 The effects of different tillage methods on potato yield

处理 Treatment	单株结薯数 Number of potatoes per plant/No.	单株薯重 Plant potato weight/g	大中薯率/% Large and medium-sized potato rate	烂薯率/% Rotten potatoes rate	平均产量/(kg·667m ⁻²) The average yield
CK	7.20a	828.2a	57.77a	2.82a	2262.3a
NH	6.93a	930.3ab	72.12b	0.00b	2505.3b
WP	6.73a	1061.0c	75.57b	6.63c	2868.1c
HP	6.20a	975.3bc	76.61b	2.66a	2630.0b

械稳定性团聚体的分形维数低于水稳性团聚体分形维数,且均表现为 NH 处理分形维数显著高于 HP、WP 和 CK,由低到高的顺序均为:CK<HP<WP<NH,分别为 2.80、2.85、2.86、2.87 和 2.65、2.66、2.67、2.69。团聚体分形维数与水稳性团聚体 MWD 和稳定率具有一致性。

2.4 不同耕作措施下作物产量及其构成因素

耕作措施对作物产量的影响显著。由表 5 可知,2015 年相对于 CK、HN、HP 和 WP 分别增加玉米产量 10.5%、13.3%和 39.2%,且增加玉米株高,改善产量构成因素,如:穗粒数、百粒重等指标。2016 年种植马铃薯也表现出相同的影响特征。综上所述,NH 对土壤团聚体特征的影响与其增产作用表现出不同步性,其深层次的土壤团聚体对作物产量的影响机制本文未涉及,尚须进一步深入研究。

3 讨 论

耕地土壤水稳性团聚体含量高低能够更好地反映土壤保持和供应养分能力的强弱^[16]。耕地土壤团聚体结构不仅受土壤类型、气候条件等自然因素的影响,而且受施肥方式、耕作措施等田间种植管理模式的影响。本研究结果表明,CK 处理下 0~20 cm 处>5mm 水稳性团聚体所占比例急剧下降,显著低于 NH、WP 和 HP。同样地,NH 处理 1~2 mm、0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 的土壤稳定性团聚体含量高于其他三种耕作方式且差异显著。值得注意的是 WP 与 CK 之间没有显著性差异,这与刘秀^[10]得出的覆膜能够改善土壤团聚体分布与稳定性不一致,主要是因为覆膜方式不同导致的差异。

本试验 WP 采用耕地地表面全地膜覆盖,不同于传统的半膜覆盖^[7]。目前,MWD、稳定率、分形维数是评价土壤团聚体稳定性的重要指标,但是,本研究结果表明机械稳定性团聚体 MWD 与土壤稳定率、分析维数相悖,而土壤水稳性 MWD 与土壤稳定率、分形维数表现出一致性。

大量研究表明,土壤团聚体形成与土壤有机碳含量及分布密切相关,土壤有机碳在土壤团聚体的形成和稳定性中起到重要作用,可作为胶结剂促进团聚体形成,农田土壤水稳性团聚体内的有机碳主要富集在 2~0.25 mm 粒级^[17-19]。>0.25 mm 水稳性团聚体有机碳含量高于<0.25 mm 团聚体有机碳含量^[20]。合理的农业耕作措施可以提高土壤有机物质的输入量,减少土壤有机质的矿化分解,增加土壤有机碳含量。深松、旋耕、免耕并结合秸秆还田等管理措施可以通过改变土壤的湿度和温度、根系生长状况、作物残茬的数量和质量,影响土壤微生物量及其活性,最终影响土壤团聚体及有机碳的动态。刘丹^[10]研究表明土壤水稳性团聚体 MWD 与土壤有机碳含量呈线性相关,但是深层土壤团聚体与有机碳关系复杂。刘秀^[11]研究表明,深松、旋耕、免耕措施能提高耕层 0~10 cm 各级别团聚体有机碳含量,而在其他土层无此变化规律,主要是因为大量的植物残体输入和受到扰动影响较小使有机碳趋向于表层富集。本研究结果显示 0~20 cm 土层土壤水稳性团聚体 MWD 与土壤有机碳含量线性相关。20~40 cm 土层两者相关性不明显(见图 2)。

耕作措施是影响土壤特性与作物产量重要的因素。诸多研究表明免耕、覆膜可以提高玉米产

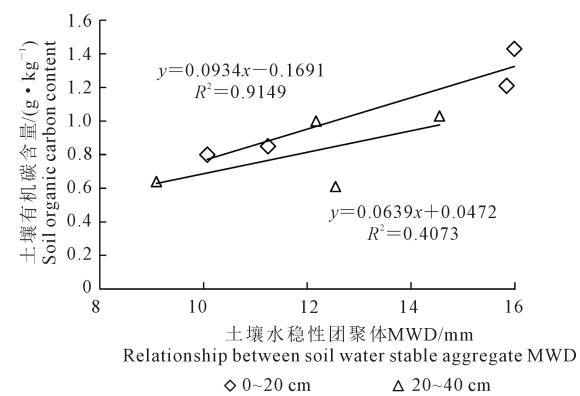


图2 土壤水稳性团聚体 MWD 与土壤有机碳含量的关系

Fig.2 Relationship between soil water stable aggregate MWD and soil organic carbon content

量^[21-22]。本研究表明耕作措施对玉米产量的影响显著。相对于 CK,HN、HP 和 WP 显著提高玉米株高、产量,并改善产量构成因素,如穗粒数、百粒重等,三处理分别比 CK 分别增加产量 10.5%、13.3% 和 39.2%。而本研究发现耕作措施对土壤团聚体及作物产量的影响表现出不一致性。但是关于土壤团聚体结构及稳定性与土壤水分、作物产量的内在关系方面的研究还较为缺乏,今后应进一步深层次探讨耕作措施下土壤团聚体构建的物理、化学、生物机理及其增产作用机制。

4 结 论

- 1)不同耕作措施显著影响土壤团聚体分布状况。土壤机械稳定性团聚体 CK 处理下表层 0~20 cm 以>5 mm 为主,而 NH、WP 和 HP 1~2 mm、0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 的土壤稳定性团聚体分布较多。水稳性团聚体 CK 处理下>5 mm 显著低于 NH、WP 和 HP。
- 2)不同耕作措施对土壤水稳性团聚体 MWD 和稳定率影响显著,NH、HP 和 WP 表层 0~20 cm 和底层 20~40 cm 土壤水稳性性团聚体 MW 和稳定率均高于 CK。
- 3)不同耕作措施对表层 0~20 cm 土壤机械稳定性分形维数高于水稳性团聚体分形维数,且均表现为 NH 处理分形维数显著低于 HP、WP 和 CK,由低到高顺序均为:NH<HP<WP<CK。耕作措施对底层 20~40 cm 影响不显著。
- 4)不同耕作措施能够增加作物产量及其构成因素。相对于 CK,NH、HP 和 WP 分别增加玉米产量 10.5%、13.3%和 39.2%。马铃薯也表现出相同的规律。

参考文献:

- [1] 张赛,王龙昌.保护性耕作对土壤团聚体及其有机碳含量的影响[J].水土保持学报,2013,27(4):263-272.
- [2] 周从从,陈竹君,赵世翔,等.不同栽培模式及施氮量对土壤团聚体的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):100-105.
- [3] 王勇,姬强,刘帅,等.耕作措施对土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(7):1365-1373.
- [4] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between micro-aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics [J]. Soil & Tillage Research, 2004, 79:7-31.
- [5] Du Z L, Ren T S, Hu C S, et al. Soil aggregate stability and aggregate-associated carbon under different tillage systems in the North China Plain [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12 (11): 2114-2123.
- [6] 叶露萍,谭文峰,方临川,等.基于地统计学的土壤团聚体空间变异研究进展[J].中国水土保持科学,2019,17(2)146-153.
- [7] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: a review [J]. Geoderma, 2005, 124: 3-22.
- [8] Bernard B, Eric R. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels [J]. Catena, 2002, 47:133-149.
- [9] 杨茹萍,郭贤仕,吕军峰,等. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J].水土保持学报,2010,24(1):252-256.
- [10] 刘丹.不同种植制度下耕作措施对黑垆土物理性质和作物产量的影响[D].咸阳:西北农林林科技大学,2018.
- [11] 刘秀,司鹏飞,张哲,等.地膜覆盖对北方旱地土壤水稳性团聚体有机碳分布的影响[J].生态学报,2018,38(21):7870-7877.
- [12] 谭煌,杨培岭,任树梅,等.脱硫副产物配合淋洗对碱化土壤团聚体含量的影响[J].中国农业科学,2016,49(4):705-716.
- [13] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses [J]. Journal of American Society of Agronomy, 1936, 28(5):337-351.
- [14] 杨培岭,罗远培,石元春.用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J].科学通报,1993,(20):1896-1899.
- [15] 祁迎春,王益权,刘军,等. 不同土地利用方式土壤团聚体组成及几种团聚体稳定性指标的比较[J].农业工程学报, 2011,27(1): 340-347.
- [16] 杨苍玲,李成学,杨鸿,等.不同施肥处理对红壤坡耕地土壤团聚体的影响[J].江苏农业科学,2019,47(5)256-259.
- [17] 赵如浪,冯佰利,蒋树怀,等.黄土高原旱地保护性耕作农田土壤团聚体特性变化研究[J]中国农业大学学报,2011,16(4):74-79.
- [18] 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.
- [19] 程曼,朱秋莲,刘雷,等.宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响[J].生态学报,2013,33(9):2835-2844.
- [20] 罗晓虹,王子芳,陆畅,等.土地利用方式对土壤团聚体稳定性和有机碳含量的影响[J].环境科学,2019,(8):1-12.
- [21] 张怡,何丙辉,王仁新,等.横坡和顺坡耕作对紫色土土壤团聚体稳定性的影响[J].中国生态农业学报, 2013, 21(2):192-198.
- [22] 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.