

不同休闲期农田管理措施下季节性冻融对 土壤团聚体的影响

张新民¹, 高雅玉², 李泽霞³, 张丽萍³, 祁怀平³

(1.甘肃省水利科学研究所, 兰州 730000; 2.兰州理工大学, 兰州 730050;

3.甘肃省水土保持科学研究所, 兰州 730021)

摘 要:【目的】评价我国西北地区季节性冻融对农田土壤物理性质的影响。【方法】在甘肃省石羊河流域民勤红崖山灌区, 以小麦地、玉米地为代表, 设计不同休闲期耕作措施和有无冬季储水灌溉处理, 开展了冬季季节性冻融过程对土壤团粒结构影响研究, 观测了冻融前后不同土层深度土壤机械稳定性团聚体、水稳性团聚体的粒径分配, 分析了冻融过程中土壤机械稳定性大团聚体量、水稳性大团聚体量和平均重量直径 (*MWD*) 的变化。【结果】由于团聚体形成机制及影响因素的复杂性, 冻融对耕层土壤机械稳定性大团聚体量及 *MWD* 的作用尚不确定, 但可使水稳性大团聚体量显著降低, *MWD* 变小; 秋耕能增大土壤机械稳定性大团聚体量及其 *MWD*、水稳性大团聚体量和 *MWD*, 但影响在土壤冻结前基本消除, 对土壤冻融过程不产生显著影响; 冬灌对机械稳定性大团聚体量及其 *MWD* 的影响无规律可循, 但可增大水稳性大团聚体量及其 *MWD* 的降幅。【结论】冬季季节性冻融对试验区土壤大团聚体有破碎作用, 显著降低了水稳性大团聚体量, 灌水使这种破碎作用加剧, 秋耕有增加大团聚体量和增大粒径的作用, 但影响随着冻融期结束而消失。

关 键 词: 农田休闲期; 田间管理措施; 机械稳定性团聚体; 水稳性团聚体; 季节性冻融

中图分类号: S125.7

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021590

OSID: 

张新民, 高雅玉, 李泽霞, 等. 不同休闲期农田管理措施下季节性冻融对土壤团聚体的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(12): 65-74.

ZHANG Xinmin, GAO Yayu, LI Zexia, et al. Change in Soi Aggregation During the Freezing-thawing Fallow Season was Affected by Agronomical Management[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(12): 65-74.

0 引 言

【研究意义】在西北干旱绿洲区, 粮食作物只能进行一季种植, 因此农田存在很长的休闲期。例如石羊河流域的民勤地区, 春小麦从每年 3 月下旬种植, 7 月下旬收割, 农田休闲期长达 8 个月之长, 玉米从 4 月中下旬种植, 9 月下旬收割, 农田休闲期 7 个月。在漫长的休闲期, 农田需根据来年种植作物种类采用不同的管理措施, 如深耕、覆盖、磨耙等, 采用不同的储水灌溉 (冬灌、春灌) 制度进行灌溉, 这些传统措施除了增加土壤含水率以保证来年播种时土壤有较好的墒情外, 对土壤的物理化学性质也产生显著影响。土壤团聚体是土壤结构的基本单位, 通过土壤生物的活动 (如土壤微生物释放有机胶结物质) 形成, 是土壤物理性质的重要综合指标之一。西北干旱绿洲区农田休闲期要经历一个特殊的跨年气候变化期, 即

从冬季至春季土壤的冻结与融化期, 使得这些田间管理措施对土壤物理化学性质的影响更为复杂, 效果评价需进行多方位考虑。

【研究进展】在类似地区休闲期农田不同管理措施条件下, 开展的冻融对土壤性质影响研究的成果较少, 且关注点与本研究完全不同。有学者在甘肃省黑河流域^[1-4]和石羊河流域^[5-6]开展了相关研究, 结果表明春小麦地秸秆覆盖免耕能明显减少休闲期耗水, 增加农田休闲期土壤贮水量, 保墒效果甚至延续到作物生长的拔节期。但这些研究仅涉及土壤水分的变化和利用, 未深入研究土壤物理性质对冻融过程的响应。冻融过程中土壤物理性质的响应主要体现在^[7-11]: 土壤团聚体结构和水稳性的改变、孔隙度和体积质量的升降以及饱和含水率的高低。土壤平均质量比表面积和颗粒直径随着冻融次数的增加呈先下降后上升的趋势。冻融作用对土壤团聚体结构及稳定性的影响程度主要取决于冻结温度、速率、交替次数等环境因素和土壤含水率、体积质量、质地等自身性状^[11-13]。冻结土壤孔隙中冰晶膨胀破坏了颗粒之间的原有联结状态, 大粒径团聚体破碎成小粒径团聚体, 同时, 细

收稿日期: 2021-11-29

基金项目: 甘肃省重点研发计划项目 (18YF1NA031); 甘肃省重点人才计划项目 (甘组通字[2019]39 号); 甘肃省省级水资源费项目 (甘水资源发[2021]105 号)

作者简介: 张新民 (1965-), 男。正高级工程师, 主要从事灌溉排水和农业水资源利用研究。E-mail: xzmzhs@aliyun.com

颗粒物表现出向中等大小颗粒物聚集的趋势^[14-17]。土壤经历冻融—解冻过程时,受多重因素的综合影响,因此,不同冻融条件对土壤物理性质的影响程度存在显著差异。部分学者^[15-18]对东北地区典型黑土耕作区土壤结构及其对季节性冻融的响应研究,认为冬季的季节性冻融加剧了黑土耕作区土壤风干团聚体的分散,但显著降低了水稳性团聚体的破坏率,有促进其团聚的作用,这是国内为数不多的针对耕作土壤的研究成果。冻融循环作用也是土壤侵蚀和水土流失的主要驱动因子之一,根据冻融循环作用对黑土水稳性团聚体特征影响的相关研究可知^[19-21],冻融循环导致大团聚体破碎成小团聚体,降低了黑土团聚体水稳性,冻融循环作用对水稳性团聚体的破碎作用随着初始含水率的增加逐渐增强并趋于稳定。李强等^[22]对黄土地区裸地和不同黑麦草密度处理试验研究揭示,冻融使得不同处理表层土壤体积质量增加、水稳性团聚体量略有下降。冻融作用对高寒草地土壤理化和生物学性质的影响符合冻融过程中土壤物理性质响应的一般性规律^[23-25],随着冻融循环次数的增加,不同冻融条件下土壤体积质量均呈减小趋势,而土壤孔隙度呈增大趋势,但5次循环之后,土壤体积质量和孔隙度变化越来越小,呈现逐渐稳定的变化趋势。赵恒策等^[26]研究冻融对盐碱地土壤理化性质的影响表明,0~10 cm深度土壤体积质量增加,10~20 cm不变,且与含水率呈显著负相关($P<0.05$)。【切入点】从不同土壤和地表覆被情况下土壤物理性质对冻融循环的响应可以看出,冻融能使大粒径团聚体破碎成小粒径团聚体,细颗粒物表现出向中等大小颗粒物聚集的趋势,水稳性团聚体大颗粒被拆分、破碎。但就耕地休闲期不同田间管理措施和灌溉制度对这一作用产生的影响是否有利于耕作,结论尚不统一。

【拟解决的关键问题】在甘肃省石羊河流域民勤红崖山灌区,选择小麦地、玉米地为代表,设计不同

休闲期耕作措施和有无冬季储水灌溉处理,开展冬季季节性冻融过程对土壤团聚体结构的影响研究,分析冻融前后土壤机械稳定性大团聚体、水稳性大团聚体量变化和平均重量直径(MWD)变化,评价其对改良土壤性质的作用,对于深入研究西北干旱地区休闲期农田不同田间管理措施在改变土壤性质和增产上发挥的具体作用,制定储水灌溉制度具有重要参考作用。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在甘肃省水利科学研究院民勤节水农业暨生态建设试验示范基地进行。该试验基地位于民勤县大滩乡(东经103°36′,北纬39°03′)。属大陆性荒漠干旱区,气候干燥,降水量少,蒸发强烈,昼夜温差大,日照时间长。多年平均降水量在110 mm左右,且多为作物难以利用的无效降水,7—9月的降水占全年降水的60%,年蒸发量2 644 mm。日照时间3 010 h以上,大于10℃的积温3 147.8℃。最大冻土深度1.18 m,地下水埋深18~25 m。试验区土壤以壤质黏土和黏土为主,各层土壤的砂砾、粉粒和黏粒量相差不大,质地较为类似。试验土壤粒级组成见表1。

表1 试验土壤质地及粒级组成

Table 1 Texture and grain size composition of test soil

土层 深度/cm	质地 名称	名粒级质量百分数/%		
		黏粒 (<0.002 mm)	粉粒 ($0.002\sim0.02$ mm)	砂粒 ($0.02\sim2$ mm)
0~20	壤质黏土	35.42	16.47	48.11
20~40	黏土	51.55	12.03	36.42

注 国际制土壤质地分类标准,多个样地平均值。

1.2 试验设计

试验设计不同的田间管理措施与灌水处理6个,其中小麦地4个,留茬免耕处理2个,秋季深耕2个,玉米地留茬免耕处理2个。试验设计见表2。

表2 试验设计表

Table 2 Treatment design of field test

处理	地茬及覆盖情况	翻耕情况	冬灌		春灌	
			日期	定额/($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)	日期	定额/($\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)
Txm-1	小麦地秋季深耕	0813 深耕、耙磨	-	-	0421	1 200
Txm-2	小麦地秋季深耕	0813 深耕、耙磨	1027	1 500	0421	900
Txm-3	小麦地留茬免耕	0410 旋耕	-	-	0422	1 200
Txm-4	小麦地留茬免耕	0410 旋耕	1027	1 500	0422	900
Tym-1	玉米地留茬免耕	0410 旋耕	1027	1 500	0422	900
Tym-2	玉米地留茬免耕	0410 旋耕	-	-	0422	1 200

1.3 观测项目

小麦地试验期为2019年7月21日—2020年4月30日,玉米地试验期为2019年9月29日—2020年4月30日,时间涵盖一个完整冬季。试验观测项

目为机械稳定性团聚体和水稳性团聚体,含水率等其他物理性质在依托项目中也进行了测定。团聚体量测定深度为0~10、10~20 cm和20~40 cm,时间为2019年10月27日冬灌前和11月9日、2020年3月21

日和4月30日,测定仪器为团聚体结构分析仪。试验所有观测项目均在选定地点取3个平行样同时进行试验,结果采用3个平行试样测试结果进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 免耕覆盖条件下冻融对团聚体的影响

土壤团聚体是指土粒通过各种自然过程的作用而形成的直径<10 mm的结构单位。直径 ≥ 0.25 mm的团聚状结构单位称大团聚体,直径<0.25 mm的团聚状结构单位称微团聚体。一般认为,大团聚体量大,平均重量直径(MWD)在2~3 mm之间,土壤有较好的团粒结构。

$$MWD = \sum_{i=1}^4 \omega_i x_i, \quad (1)$$

式中: x_i 、 ω_i 分别为粒径<0.25、0.25~2、2~5、5~10 mm团聚体的平均直径(mm)和质量百分数(%)。

2.1.1 机械稳定性大团聚体

机械稳定性团聚体是指能够抵抗外力破坏的团聚体。对试验各处理于2019年10月27日、11月9日、2020年3月21日、4月30日分别测定0~10、10~20、20~40 cm土层机械稳定性团聚体量,以小麦地免耕Txm-3处理与玉米地免耕Tym-2处理的测定结果为例,绘制大团聚体量冻融过程中变化情况,结果见图1、图2。

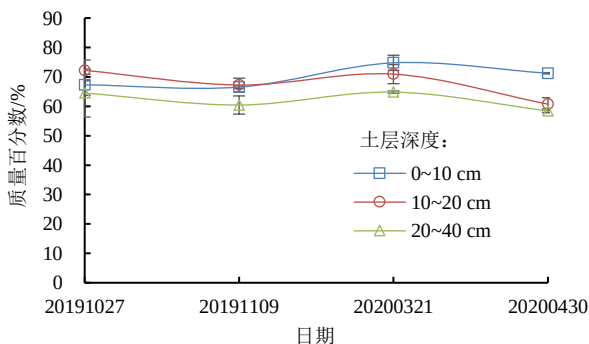


图1 Txm-3处理冻融过程中机械稳定性大团聚体量变化

Fig.1 Content changes of macro-aggregate with mechanical stability for treatment Txm-3 during freezing-thawing

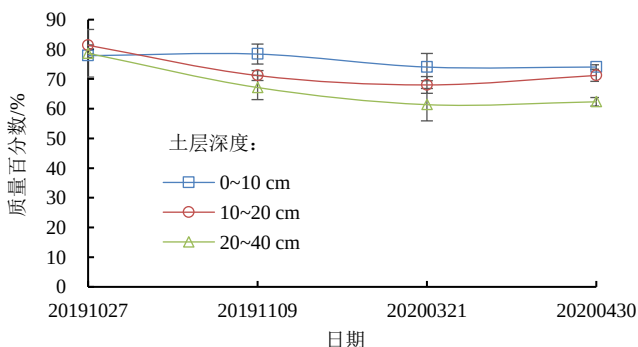


图2 Tym-2处理冻融过程中机械稳定性大团聚体量变化

Fig.2 Content changes of macro-aggregate with mechanical stability for treatment Tym-2 during freezing-thawing

由图1、图2可知,机械稳定性大团聚体量沿深度方向变化存在一定规律性,除Tym-2处理2019年10月27日时间0~10 cm小于10~20 cm土层外,其他各时间均符合随土层由浅变深,大团聚体量由高降低的规律性,即0~10 cm土层中大团聚体量 $\geq$ 10~20 cm土层中大团聚体量 $\geq$ 20~40 cm土层中大团聚体量。分析大团聚体量随时间的变化过程,Txm-3处理从2019年10月27日—11月9日,不同土层的机械稳定性大团聚体量均有不同程度降低,至2020年3月21日解冻后,机械稳定性大团聚体量较冻结前均有所增加,从3月21日—4月30日机械稳定性大团聚体量有所降低。Tym-2处理各土层机械稳定性大团聚体量从2019年10月27日—2020年3月21日一直降低,3月21日—4月30日略有升高。二者产生差异的可能原因为玉米收割时间晚2个月,养分与微生物量均较低,土粒的胶结作用较弱,团聚体的形成也较慢。计算各时间点各土层的 MWD ,结果见表3。分析其随深度与时间的变化,存在与大团聚体量基本一致的规律性。

从图1、图2及表3数值可以看出,小麦地处理0~10 cm土层2019年11月9日冻结前机械稳定性大团聚体量66.53%,2020年3月21日解冻以后达到74.78%,增加了8.23%, MWD 由2.29 mm增加到2.73 mm,增加了0.44 mm;玉米地处理0~10 cm土层2019年11月9日冻结前机械稳定性大团聚体量78.41%,2020年3月21日解冻以后达到77.02%,降低了1.39%, MWD 由2.95 mm降低到2.74 mm,降低了0.21 mm,其他土层与之规律性一致。

2.1.2 水稳性大团聚体

水稳性团聚体是指在水中不易散碎而保持其形态和结构能力的团聚体,是钙、镁、有机质胶结起来的土粒,在水中振荡、浸泡、冲洗而不易崩解,一般用湿筛法测定。对试验各处理于2019年10月27日、11月9日、2020年3月21日、4月30日分别测定0~10、10~20、20~40 cm土层水稳性大团聚体量,分析冻融过程中水稳性大团聚体量变化过程,结果表明,各处理水稳性团聚体量沿深度方向变化规律一致,各处理在4个测定时间均符合这一规律性,随土层由浅变深,水稳性大团聚体量由高降低,即0~10 cm土层大团聚体量 $\geq$ 10~20 cm土层大团聚体量 $\geq$ 20~40 cm土层大团聚体量。分析水稳性大团聚体量随时间的变化过程,各处理从2019年10月27日—11月9日,不同土层的水稳性大团聚体量均不断增加,但至2020年3月21日解冻后,水稳性大团聚体量较冻结前均有所降低,从3月21日—4月30日,免耕处理进行了旋耕,各处理也进行了春灌,但水稳性大团聚体量

均表现为再次升高。整个冻融前后的变化过程中,各处理水稳性大团聚体量在同一时间点上量值差别不大。Txm-3、Tym-2 处理的水稳性大团聚体量变化过程线见图 3、图 4, 计算得水稳性团聚体平均重量直径列于表 3。

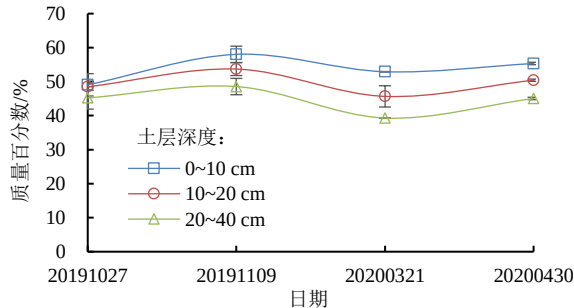


图 3 Txm-3 处理冻融过程中水稳定性大团聚体量变化

Fig.3 Content changes of macro-aggregate with water stability for treatment Txm-3 during freezing-thawing

由图 3、图 4 和表 3 可知, 2 个处理土壤水稳性团聚体 *MWD* 与其大团聚体量变化规律完全一致, 但变幅存在一定差别, 小麦地处理水稳性大团聚体量低于玉米

地水稳性大团聚体量, 且 *MWD* 也低于玉米地。小麦地处理 0~10 cm 土层 2019 年 11 月 9 日冻融前水稳性大团聚体量 58.03%, 2020 年 3 月 21 日解冻以后降为 52.92%, 降低了 5.11%, *MWD* 由 1.66 mm 降为 1.64 mm, 降低了 0.02 mm; 玉米地处理 0~10 cm 土层 2019 年 11 月 9 日冻融前水稳性大团聚体量 66.49%, 2020 年 3 月 21 日解冻以后降为 53.75%, 降低了 12.74%, *MWD* 由 1.99 mm 降为 1.72 mm, 降低了 0.27 mm, 降幅明显大于小麦地处理。

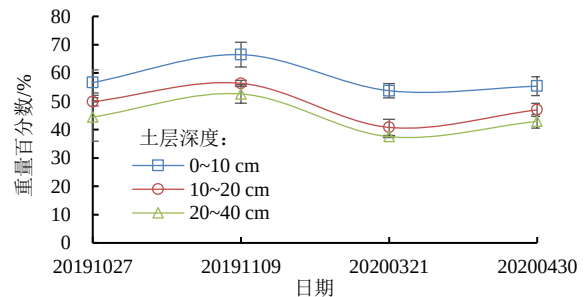


图 4 Tym-2 处理冻融过程中水稳定性大团聚体量变化

Fig.4 Content changes of macro-aggregate with water stability for treatment Tym-2 during freezing-thawing

表 3 冻融过程中机械稳定团聚体和水稳性团聚体 *MWD* 变化

Table 3 Changes of mean weight diameter *MWD* of mechanically stable and water-stable macro-aggregates during freezing-thawing

处理	时间	机械稳定性团聚体 <i>MWD</i>			水稳性团聚体 <i>MWD</i>		
		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
Txm-1	20191027	3.40±0.16a	3.10±0.04a	2.97±0.26a	1.67±0.08a	1.61±0.11a	1.35±0.08ab
	20191109	2.70±0.04b	2.44±0.19b	2.23±0.24b	1.84±0.13a	1.67±0.21a	1.51±0.09a
	20200321	2.74±0.08b	2.60±0.05b	2.36±0.07b	1.72±0.03a	1.33±0.05a	1.23±0.04b
	20200430	2.75±0.07b	2.46±0.06b	2.11±0.01b	1.85±0.01a	1.63±0.05a	1.50±0.05a
Txm-2	20191027	2.87±0.57a	2.68±0.07a	2.42±0.30a	1.56±0.20b	1.41±0.09bc	1.33±0.10bc
	20191109	2.52±0.32a	2.44±0.19a	2.02±0.12a	1.74±0.08ab	1.65±0.08ab	1.41±0.08ab
	20200321	2.78±0.04a	2.60±0.05a	2.44±0.19a	1.77±0.04ab	1.35±0.00c	1.20±0.04c
	20200430	2.80±0.11a	2.49±0.02a	2.17±0.04a	1.91±0.04a	1.73±0.17a	1.55±0.00a
Txm-3	20191027	1.98±0.40b	2.69±0.08a	1.97±0.39a	1.24±0.04b	1.40±0.01b	1.18±0.13b
	20191109	2.29±0.13ab	2.30±0.04a	2.05±0.13a	1.66±0.01a	1.64±0.05a	1.47±0.08a
	20200321	2.73±0.12a	2.64±0.28a	2.35±0.06a	1.64±0.13a	1.42±0.00b	1.28±0.01b
	20200430	2.74±0.04a	2.40±0.05a	2.23±0.05a	1.82±0.11a	1.69±0.11a	1.51±0.02a
Txm-4	20191027	2.67±0.18a	2.50±0.09a	2.42±0.83a	1.43±0.08b	1.33±0.04b	1.33±0.21ab
	20191109	2.53±0.08a	2.40±0.05a	2.11±0.20a	1.77±0.01a	1.64±0.01a	1.5±0.09a
	20200321	2.63±0.16a	2.32±0.20a	2.11±0.03a	1.83±0.11a	1.31±0.15b	1.18±0.06b
	20200430	2.78±0.00a	2.39±0.04a	2.03±0.11a	1.85±0.11a	1.51±0.01ab	1.38±0.04ab
Tym-1	20191027	3.17±0.38a	3.47±0.34a	2.93±0.61a	1.51±0.10b	1.51±0.08c	1.39±0.17b
	20191109	2.62±0.02ab	2.69±0.17b	2.51±0.14ab	1.97±0.05a	1.85±0.06a	1.75±0.14a
	20200321	2.78±0.11a	2.63±0.06b	2.27±0.18ab	1.89±0.17a	1.43±0.03c	1.24±0.05b
	20200430	2.47±0.09b	2.19±0.13b	1.91±0.18b	1.94±0.12a	1.69±0.05b	1.47±0.09b
Tym-2	20191027	2.42±0.17b	2.62±0.03a	2.51±0.84a	1.39±0.17c	1.37±0.06b	1.31±0.26b
	20191109	2.95±0.02a	2.66±0.07a	2.44±0.13a	1.99±0.05a	1.76±0.04a	1.67±0.09a
	20200321	2.74±0.05ab	2.40±0.15a	2.17±0.09a	1.72±0.05b	1.38±0.16b	1.14±0.04b
	20200430	2.63±0.21ab	2.37±0.15a	1.99±0.04b	1.85±0.00ab	1.57±0.13ab	1.38±0.03ab

注 同列不同小写字母表示同一处理不同时间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 秋耕条件下冻融对团聚体的影响

2.2.1 机械稳定性大团聚体

秋耕会破坏土壤团聚体, 对 2 个秋耕处理的机械

稳定性大团聚体量进行计算, 绘制冻融过程中的变化, 结果见图 5、图 6。

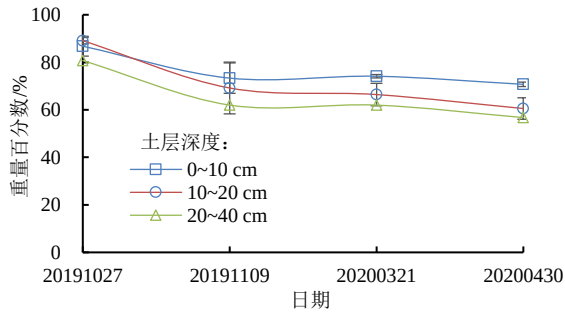


图5 Txm-1 处理冻融过程中机械稳定性大团聚体量变化

Fig.5 Content changes of macro-aggregate with mechanical stability for treatment Txm-1 during freezing-thawing

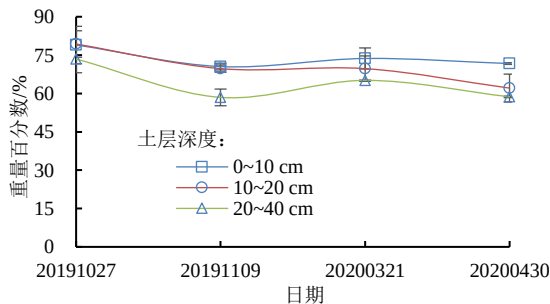


图6 Txm-2 处理冻融过程中机械稳定性大团聚体量变化

Fig.6 Content changes of macro-aggregate with mechanical stability for treatment Txm-2 during freezing-thawing

对比图 5、图 6 与图 1 可知，秋耕处理机械稳定性大团聚体含量沿深度与随时间的变化与免耕 Txm-3 处理相近。随土层由浅变深，大团聚体量由高降低，即 0~10 cm 土层大团聚体量 $\geq$ 10~20 cm 土层大团聚体量 $\geq$ 20~40 cm 土层大团聚体量。分析大团聚体量随时间的变化过程，各处理从 2019 年 10 月 27 日—11 月 9 日，不同土层的机械稳定性大团聚体含量均有不同程度降低，至 2020 年 3 月 21 日解冻后，机械稳定性大团聚体量较冻结前均有所增加，3 月 21 日—4 月 30 日，机械稳定性大团聚体量均出现显著降低。2019 年 11 月 9 日冻结前 Txm-1 处理 0~10 cm 土层机械稳定性大团聚体量 73.34%，2020 年 3 月 21 日解冻以后达到 74.13%，增加了 0.79%，Txm-2 处理从 70.52% 增加到 73.69%，增加了 3.17%。2 个处理冻融后机械稳定性大团聚体量处于同一数量水平，也与小麦地免耕处理 Txm-3 处于同一数量水平。

计算各时间点各土层的 *MWD*，结果见表 3。分析其随深度和时间的变化，存在与大团聚体量完全一致的规律性。Txm-1 处理 0~10 cm 土层 2019 年 11 月 9 日冻融前至 2020 年 3 月 21 日解冻以后，*MWD* 由 2.70 mm 增加到 2.74 mm，略有增加；Txm-2 处理 0~10 cm 土层 *MWD* 由 2.52 mm 增加到 2.78 mm，增加了 0.26 mm，增加幅度较大。

2.2.2 水稳性大团聚体

水稳性团聚体受秋耕的影响与机械稳定性团聚

体明显不同。根据 2 个秋耕处理于不同时间点、不同土层深度水稳性大团聚体量测定结果，分析冻融过程中水稳性大团聚体量变化过程，见图 7、图 8。结果表明，水稳性团聚体量在 4 个测定时间均符合随土层由浅变深，水稳性大团聚体量由高降低的规律，即 0~10 cm 土层大团聚体量 $\geq$ 10~20 cm 土层大团聚体量 $\geq$ 20~40 cm 土层大团聚体量。随时间的变化过程为，从 2019 年 10 月 27 日—11 月 9 日，不同土层的水稳性大团聚体量均有不同程度增加，但至 2020 年 3 月 21 日解冻后，水稳性大团聚体量较冻结前均有所降低，从 3 月 21 日—4 月 30 日，免耕处理进行了旋耕和春灌，但水稳性大团聚体量均表现为再次升高。2019 年 11 月 9 日冻结前 Txm-1 处理 0~10 cm 土层水稳性大团聚体量为 63.77%，2020 年 3 月 21 日解冻以后降为 54.87%，降低了 8.90%；2019 年 11 月 9 日冻结前 Txm-2 处理 0~10 cm 土层水稳性大团聚体量为 62.84%，2020 年 3 月 21 日解冻以后降为 54.25%，降低了 8.59%，二者降低幅度接近，解冻以后大团聚体量十分接近，与免耕 Txm-3 处理（52.92%）差别不大。

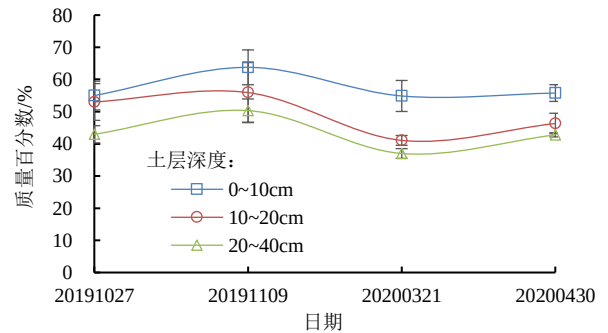


图7 Txm-1 处理冻融过程中水稳性大团聚体量变化

Fig.7 Content changes of macro-aggregate with water stability for treatment Txm-1 during freezing-thawing

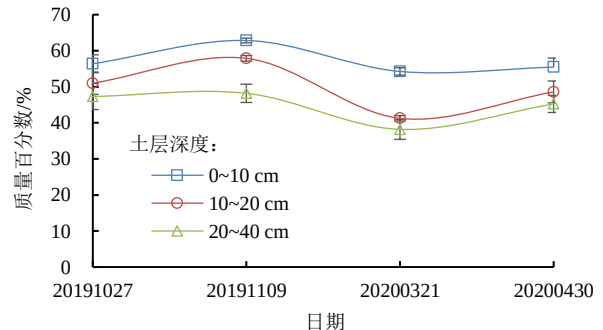


图8 Txm-2 处理冻融过程中水稳性大团聚体量变化

Fig.8 Content changes of macro-aggregate with water stability for treatment Txm-2 during freezing-thawing

2 个处理水稳性团聚体 *MWD* 值列于表 3。从表可知 *MWD* 在 1.20~1.85 之间变化，变化规律与水稳性团聚体量基本一致。以 0~10 cm 土层为例分析冻融前后的变化，2019 年 11 月 9 日冻结前 Txm-1 处理 *MWD* 为 1.84 mm 至 2020 年 3 月 21 日解冻以后降为

1.72 mm, 降低了 0.12 mm; 2019 年 11 月 9 日冻结前 Txm-2 处理 *MWD* 为 1.74 mm 至 2020 年 3 月 21 日解冻后增至 1.77 mm, 略有增加, 但 2 个处理均高于免耕 Txm-3 处理 (1.64 mm)。

2.3 冬季储水灌溉条件下冻融对团聚体的影响

2.3.1 机械稳定性大团聚体

灌水增加土壤湿度, 影响土壤水热运移, 也影响

土壤冻结及融化。仍以免耕处理为例分析其对冻融过程及土壤团聚体的影响。试验表明, 灌水并未影响到机械稳定性大团聚体量沿深度的分布规律。采用 SPSS 软件分析 4 个免耕处理冻融前后大团聚体量与 *MWD* 的变化, $P=0.05$ 水平下, 各处理冻融前后的差异显著性结果见表 4。

表 4 免耕处理冻融前后机械稳定性大团聚体量及 *MWD* 变化

Table 4 Changes of macro-aggregate content and average weight diameter *MWD* with mechanical stability before and after freezing-thawing for no-tillage treatments

处理	时间及差异显著性	大团聚体量/%			<i>MWD</i> /mm		
		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
Txm-3	20191109	66.53±0.40	67.24±2.32	60.44±3.09	2.29±0.13	2.3±0.04	2.05±0.13
	20200321	74.78±2.58	70.94±3.25	64.84±0.36	2.73±0.12	2.64±0.28	2.35±0.06
	差异显著性	*	NS	NS	NS	NS	*
Txm-4	20191109	70.81±0.25	66.81±1.53	62.52±2.92	2.53±0.08	2.4±0.05	2.11±0.2
	20200321	72.17±2.11	65.38±0.08	58.33±0.1	2.63±0.16	2.32±0.2	2.11±0.03
	差异显著性	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Tym-1	20191109	78.65±3.6	77.27±0.16	73.18±4.27	2.62±0.02	2.69±0.17	2.51±0.14
	20200321	73.55±3.75	70.68±5.33	62.91±2.3	2.78±0.11	2.63±0.06	2.27±0.18
	差异显著性	NS	NS	*	NS	NS	NS
Tym-2	20191109	78.41±3.37	71.18±1.67	67.14±4.07	2.95±0.02	2.66±0.07	2.44±0.13
	20200321	74.02±4.6	68.02±2.82	61.37±5.45	2.74±0.05	2.40±0.15	2.17±0.09
	差异显著性	NS	NS	NS	*	NS	NS

注 *为 $P=0.05$ 水平下差异显著; NS 为无显著差异。

由表 4 可知, 冻融后与冻结前相比, Txm-3 处理 0~10 cm 大团聚体量发生了显著变化, 由 66.53% 增加至 74.78%, 增加 8.25%, 20~40 cm 土层 *MWD* 发生了显著变化, 由 2.05 mm 增加至 2.35 mm, 增加了 0.30 mm, 其他土层大团聚体量与 *MWD* 变化不显著。Txm-4 处理各土层大团聚体量与 *MWD* 变化均不显著。

玉米免耕处理中, 冻融后与冻结前相比, Tym-1 处理 20~40 cm 大团聚体量发生了显著变化, 由 73.18% 降低至 62.91%, 降低 10.27%, Tym-2 处理 0~10 cm 土层 *MWD* 发生了显著变化, 由 2.95 mm 降低至

2.74 mm, 降低了 0.21 mm, 其他土层大团聚体量与 *MWD* 变化不显著。说明冬季储水灌溉没有对冻融过程中土壤机械稳定性大团聚体变化带来显著影响。

2.3.2 水稳性大团聚体

冻融能破坏水稳性团聚体, 从而使水稳性大团聚体量降低, 粒径变得均一。试验表明, 灌水处理的水稳性大团聚体量沿深度的分布规律与未灌水处理一致。采用 SPSS 软件分析 4 个免耕处理冻融前后大团聚体量与 *MWD* 的变化, $P=0.05$ 水平下, 各处理冻融前后的差异显著性结果见表 5。

表 5 免耕处理冻融前后水稳性大团聚体量与 *MWD* 变化

Table 5 Changes of macro-aggregate content and *MWD* with water stability before and after freezing-thawing for no-tillage treatments

处理	时间及差异显著性	大团聚体量/%			<i>MWD</i> /mm		
		0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~40 cm
Txm-3	20191109	58.03±1.43	53.7±1.90	48.56±2.40	1.66±0.01	1.64±0.05	1.47±0.08
	20200321	52.92±8.71	45.67±3.13	39.30±0.06	1.64±0.13	1.42±0.00	1.28±0.01
	差异显著性	NS	NS	**	NS	*	*
Txm-4	20191109	61.68±0.17	53.15±2.08	51.04±1.95	1.77±0.01	1.64±0.01	1.50±0.09
	20200321	55.73±2.96	38.61±3.61	36.18±4.44	1.83±0.11	1.31±0.15	1.18±0.06
	差异显著性	NS	*	**	NS	NS	*
Tym-1	20191109	65.96±4.58	62.71±2.39	59.32±1.33	1.97±0.05	1.85±0.06	1.75±0.14
	20200321	58.62±4.64	45.38±0.82	38.28±0.99	1.89±0.17	1.43±0.03	1.24±0.05
	差异显著性	NS	*	**	NS	*	**
Tym-2	20191109	66.49±4.37	56.36±1.05	52.61±3.26	1.99±0.05	1.76±0.04	1.67±0.09
	20200321	53.75±2.53	40.8±2.86	37.51±0.3	1.72±0.05	1.38±0.16	1.14±0.04
	差异显著性	NS	NS	**	NS	NS	*

注 **为 $P=0.01$ 水平下差异显著; *为 $P=0.05$ 水平下差异显著; NS 为无显著差异。

由表 5 看出, 冻融后与冻结前相比, Txm-3 处理 20~40 cm 土层大团聚体量发生了极显著变化, 由

48.56 % 降至 39.30%, 降低了 9.26%, 10~20、20~40 cm 土层 *MWD* 发生了显著变化, 分别由 1.64 mm 降

至 1.42 mm, 1.47 mm 降至 1.28 mm, 降低 0.22、0.19 mm, 其他土层大团聚体量与 *MWD* 变化不显著。Txm-4 处理 10~20、20~40 cm 土层大团聚体量分别发生了显著变化、极显著变化, 分别由 53.15%降至 38.61%, 51.04%降至 36.18%, 降低 14.54%、14.86%; 20~40 cm 土层 *MWD* 发生了显著变化, 由 1.50 mm 降至 1.18 mm, 降低 0.32 mm。

玉米免耕处理中, 冻融后与冻结前相比, Tym-1 处理 10~20 cm 土层大团聚体量、*MWD* 发生了显著变化, 分别由 62.71%降至 45.38%, 1.85 mm 降至 1.43 mm; 20~40 cm 土层大团聚体量、*MWD* 发生了极显

著变化, 分别由 59.32%降至 38.28%, 1.75 mm 降至 1.24 mm。Tym-2 处理 20~40 cm 土层大团聚体量发生了极显著变化, 由 52.61%降至 37.51%, 降低 15.10%, *MWD* 发生了显著变化, 由 1.67 mm 降至 1.14 mm, 降低 0.53 mm。可见灌水处理比未灌水处理变化剧烈, 变幅大, 影响的土层范围更广。

进一步分析含水率与冻融后大团聚体量、*MWD* 变幅之间关系, 未灌水处理存在线性负相关, 灌水处理规律性不明显。对 3 个未灌水处理各土层的冻前土壤含水率与冻融前后大团聚体量、*MWD* 变幅之间关系做相关分析, 结果见表 6 及图 9、图 10。

表 6 未灌水处理冻结前含水率与水稳性大团聚体量变幅、*MWD* 变幅关系

Table 6 Relationship between water content and variation of water-stable macro-aggregate content and variation of *MWD* before freezing without irrigation treatment

项目	含水率/%		冻融前后变幅/%		关系式	相关系数 R	显著性水平 Sig.
	范围	均值	范围	均值			
大团聚体量	8.13~17.62	11.95	-28.70~-8.81	-20.59	$y=-1.50x-2.66$	0.765	0.016
<i>MWD</i>	8.13~17.62	11.95	-31.69~-0.96	-15.50	$y=-1.68x+4.62$	0.681	0.044

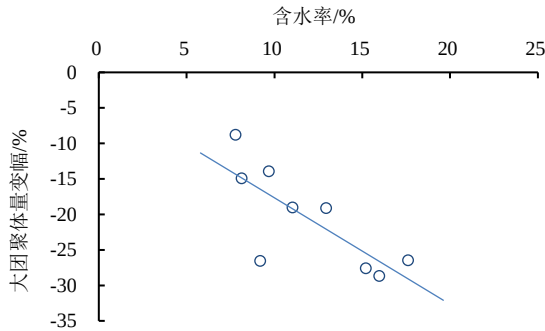


图 9 未灌水处理冻融前后水稳性大团聚体量变幅与含水率相关关系

Fig.9 Relationship between water content and variation of water-stable macro-aggregate content before freezing without irrigation treatment

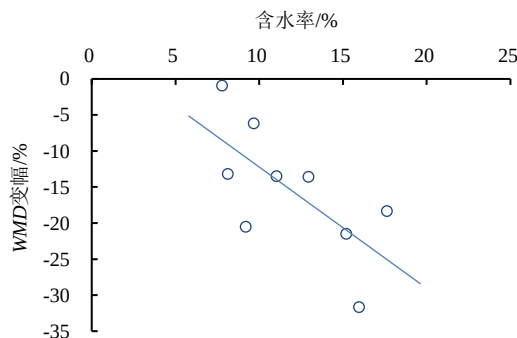


图 10 未灌水处理冻融前后水稳性团聚体 *MWD* 变幅与含水率相关关系

Fig.10 Relationship between water content and variation of *MWD* before freezing without irrigation treatment

从表 6 和图 9、图 10 可以看出, 在 8.13%~17.62% 的区间内随着土壤含水率增加, 水稳性大团聚体量与 *MWD* 下降, 降幅平均值分别为 20.59%和 15.50%。而 3 个灌水处理水稳性大团聚体量与 *MWD* 的降幅平均值分别为 23.54%与 15.16%, 对应的土壤含水率平

均值为 31%, 降幅与含水率之间相关性不强。说明当土壤含水率增加至较高水平时, 将不再成为影响冻融后水稳性大团聚体含量与 *MWD* 变化的主要因素。

3 讨论

3.1 冻融对团聚体的影响

冻融作用对土壤团聚体结构及稳定性的影响程度主要取决于冻结温度、速率、交替次数等环境因素和土壤含水、体积质量、质地等自身性状^[7]。目前, 针对冻融作用对土壤团聚体稳定性的影响的研究较多, 但结论不一。一般认为, 冻结土壤孔隙中冰晶膨胀破坏了颗粒之间的原有联结状态, 大粒径团聚体破碎成小粒径团聚体, 同时, 细颗粒物表现出向中等颗粒物聚集的趋势。随着冻融交替次数的增加, 壤土、砂壤土中 >1 mm 粒级团聚体占比迅速降低, 相应 <0.5 mm 粒级团聚体占比逐渐升高。团聚体稳定性随冻融次数的增加呈下降趋势或先上升后下降的趋势^[8-9]。有学者^[13-16]研究认为, 季节性冻融加剧了黑土耕作区土壤风干团聚体的分散, 但显著降低了水稳性团聚体的破坏率 ($P<0.05$), 表现出促进其团聚的作用。顾汪明等^[17-19]对东北典型黑土区耕作层的研究认为, 土壤冻融循环导致大团聚体破碎成小团聚体, 降低了黑土团聚体水稳性。冻融循环作用对水稳性团聚体的破碎作用随着初始含水率的增加逐渐增强并趋于稳定。土壤团聚体水稳性随着冻融循环次数的增加显著下降, 10 次冻融循环后逐渐趋于稳定。梁运江等针对季节性冻融对延边地区苹果梨园棵间休闲地土壤机械稳定性团聚体的影响研究表明, 0~20 cm 土层经冻融后大团聚体量增加、小团聚体量减少^[33-35]。

本次研究是农田耕作地休闲期的季节性冻融问题,免耕处理冻结前从2019年10月27日—11月9日,试验土层0~40 cm内土壤机械稳定性大团聚体量均有不同程度降低,至2020年3月21日解冻后,小麦地较冻结前有所增加,与文献[34]研究结果基本一致,玉米地与小麦地不同,大团聚体量继续减小,可能原因是玉米收割时间晚,地力恢复与微生物活动程度低有关。各土层的MWD随时间的变化规律与大团聚体量变化规律一致,说明大团聚体量高低决定于大直径颗粒量。水稳性大团聚体的变化与之相反,从2019年10月27日—11月9日,各试验处理0~40 cm土层内水稳性大团聚体量均表现出增加,但至2020年3月21日解冻后,其量有所降低。MWD与其变化规律一致,解冻以后较冻结前有一定程度降低,甚至是明显降低。对比分析试验结果中MWD的变化,可能是冻融过程中破碎作用起了主导作用,因此结论与文献[17-19]基本一致。

3.2 秋耕对冻融及团聚体的影响

机械作业对黑土区耕地土壤结构存在正负两方面效应,即对表层耕作区土壤的疏松改良效果和对耕作层下土壤的积累压实作用,少耕、免耕为代表的各种保护性耕作措施在增加土壤有机质,改善土壤结构,提高土壤各级水稳性团聚体量,增加土壤持水性能、抗蚀性和通透性等方面具有明显效果^[36]。王恩姮等^[14]的研究认为,少次压实具有促进土壤团聚体团聚的作用,但同等负荷下多次积累压实会降低土壤的水稳定性和机械稳定性。

本次研究试验地均为熟耕地,与同是小麦地茬的免耕处理所不同的是在8月中旬进行了大型机械秋耕,翻耕深度30 cm。将2种处理冻融前后机械稳定性大团聚体量、MWD的变化对比分析发现,沿深度与随时间的变化规律完全一致,但数值上秋耕处理在耕作之后高于免耕处理,冻结前二者十分接近,冻融后处于同一平。秋耕对水稳性团体的影响与机械稳定性团聚体大致相同。这样的结论与文献[14,33]的研究成果略有不同,但由于本研究所设计的免耕与秋耕处理地块相距较远,存在试验地本底值差异的影响,所以尚不能形成结论。

3.3 储水灌溉对冻融及团聚体的影响

土壤含水率决定着冻融土壤的固、液、气相比,进而影响到冻融后的土壤水力特性。室内人工控温冻融试验探讨土壤含水率对冻融理化效应的影响,结果表明:随着冻融次数的增加,0.05~0.25 mm粒级团聚体量变化受土壤含水率影响较为明显,低含水率表现为增加趋势,而高含水率表现为降低趋势^[9]。文献[17]认为,无水冻融循环显著降低>5 mm水稳性团聚体量,

促进大团聚体的破碎作用,有水冻融循环则显著增加<0.5 mm水稳性团聚体量,加剧水稳性团聚体拆分的作用,水稳性团聚体的破碎效应有所增强。冻融循环作用对水稳性团聚体的破碎作用随着初始含水率的增加逐渐增强并趋于稳定。

从本次试验中的结果可见,机械稳定性大团聚体受冬季储水灌溉的影响无规律可循,其MWD增大减小均有存在,无法证明与灌水有关;但对水稳定性大团聚体量产生显著影响,冻结前土壤含水率增加加剧冻融对水稳性团聚体的拆分,含水率较大或接近饱和时,将不再是影响水稳定性团聚体的主要因素,结论与前述文献的结论一致,说明灌水有降低水稳定性大团聚体量和减小MWD的作用。

4 结论

1) 土壤机械稳定性大团聚体、水稳性大团聚体剖面分布基本符合表层高,底层低的规律,MWD表层最大,随着土层深度增加逐渐变小。冬季季节性冻融对耕层土壤的机械稳定性大团聚体量与MWD的作用尚无法确定,但可使耕层土壤的水稳性大团聚体量显著降低,MWD变小。

2) 秋耕对机械稳定性大团聚体量、水稳性大团聚体量和MWD在冻融过程中的变化规律不产生显著影响,秋耕对团聚体的破坏在冻结前已经修复。

3) 冬季储水灌溉对机械稳定性大团聚体量及水稳性团聚体量沿深度分布规律不产生显著影响,对机械稳定性大团聚体量及其MWD的影响无规律可循,对水稳定性大团聚体量产生显著影响,0~40 cm土层剖面大团聚体量减小幅度明显大于无灌水处理,MWD的降幅也有明显增大。

参考文献:

- [1] 张金霞. 秸秆覆盖免耕储水灌溉对春小麦耗水特征及灌溉水分利用效率的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1 501-1 506.
ZHANG Jinxia. Effects of storage irrigation by no-tillage with stubble mulch on water consumption and irrigation water use efficiency of spring wheat[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(5): 1 501-1 506.
- [2] 张立勤, 马忠明, 杨君林, 等. 储水灌溉及覆膜对土壤水分及小麦出苗的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(3): 103-106.
ZHANG Liqin, MA Zhongming, YANG Junlin, et al. Effects of storage irrigation quota and plastic film mulching time on soil water content and spring wheat emergence[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(3): 103-106.
- [3] 张风云, 张恩和. 保护性耕作对黑河流域农田土壤水分利用的影响[J]. 自然资源学报, 2013, 28(2): 234-243.
ZHANG Fengyun, ZHANG Enhe. Effects of conservation tillage on soil water regimes and water use efficiency in farmland of Heihe River Basin in northwest China[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(2): 234-243.
- [4] 谢忠奎, 王亚军, 祁旭升, 等. 河西绿洲区储水灌溉节水技术研究[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 451-454.

- XIE Zhongkui, WANG Yajun, QI Xusheng, et al. Research on water-saving techniques of water-storing irrigation in Hexi oasis areas[J]. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 451-454.
- [5] 张新民, 马忠民, 胡想全, 等. 节水型冬季储水灌溉技术及其应用前景[J]. *中国农村水利水电*, 2007(3): 48-49, 54.
- ZHANG Xinmin, MA Zhongmin, HU Xiangquan, et al. Water-saving technology and its application in winter water-reserving irrigation[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2007(3): 48-49, 54.
- [6] 胡想全, 张新民. 干旱缺水地区冬季储水灌溉水分利用效率试验[J]. *节水灌溉*, 2005(5): 23-24, 27.
- HU Xiangquan, ZHANG Xinmin. Experimental research on water use efficiency of winter storage irrigation in drought district[J]. *Water Saving Irrigation*, 2005(5): 23-24, 27.
- [7] 丁林, 金彦兆, 李元红, 等. 石羊河流域农田休闲期耗水规律研究[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(4): 447-453.
- DING Lin, JIN Yanzhao, LI Yuanhong, et al. Farmland water consumption during fallow period in Shiyanghe River Basin[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(4): 447-453.
- [8] 姚宝林, 景明, 施炯林. 覆盖免耕在休闲期的节水和生育期的调温效应[J]. *甘肃农业大学学报*, 2005, 40(2): 208-211.
- YAO Baolin, JING Ming, SHI Jionglin. Effects of no-tillage with straw mulch on water saving during fallow and soil temperature regulation in growing season[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2005, 40(2): 208-211.
- [9] 韩露, 万忠梅, 孙赫阳. 冻融作用对土壤物理、化学和生物学性质影响的研究进展[J]. *土壤通报*, 2018, 49(3): 736-742.
- HAN Lu, WAN Zhongmei, SUN Heyang. Research progress on the effects of freezing and thawing on soil physical, chemical and biological properties[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2018, 49(3): 736-742.
- [10] 高敏, 李艳霞, 张雪莲, 等. 冻融过程对土壤物理化学及生物学性质的影响研究及展望[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(12): 2 269-2 274.
- GAO Min, LI Yanxia, ZHANG Xuelian, et al. Influence of freeze-thaw process on soil physical, chemical and biological properties: A review[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(12): 2 269-2 274.
- [11] 李瑞平, 史海滨, 付小军, 等. 干旱寒冷地区冻融期土壤水分和盐分的时空变异分析[J]. *灌溉排水学报*, 2012, 31(1): 86-90.
- LI Ruiping, SHI Haibin, FU Xiaojun, et al. Temporal and spatial variation analysis of freezing thawing soil moisture and salinity on arid and cold region[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2012, 31(1): 86-90.
- [12] LEHRSCHE G A. Freeze- thaw cycles increase near-surface aggregate stability[J]. *Soil Science*, 1998, 163(1): 63-70.
- [13] CHAPIN F S III, MCGUIRE A D, RANDERSON J, et al. Arctic and boreal ecosystems of western North America as components of the climate system[J]. *Global Change Biology*, 2000, 6(S1): 211-223.
- [14] 王恩娟, 赵雨森, 陈祥伟. 典型黑土耕作区土壤结构对季节性冻融的响应[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(7): 1 744-1 750.
- WANG Enheng, ZHAO Yusen, CHEN Xiangwei. Responses of soil structure to seasonal freezing-thawing in a typical black soil cultivated region[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(7): 1 744-1 750.
- [15] 汪菲, 唐少容, 王红雨. 季冻区土体水分迁移研究综述[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(S1): 51-55, 70.
- WANG Fei, TANG Shaorong, WANG Hongyu. Review of research on soil mobility in seasonally frozen area[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(S1): 51-55, 70.
- [16] 王恩娟. 机械耕作与季节性冻融对黑土结构的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- WANG Enheng. Effect of machinery tillage and seasonal freeze-thaw on soil structure in black soil region[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2011.
- [17] 牛浩. 冻融过程对东北黑土团聚体稳定性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- NIU Hao. Effect of freeze-thaw process on aggregate stability of black soil in northeast China[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.
- [18] 王恩娟, 赵雨森, 陈祥伟. 季节性冻融对典型黑土区土壤团聚体特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 889-894.
- WANG Enheng, ZHAO Yusen, CHEN Xiangwei. Effects of seasonal freeze-thaw cycle on soil aggregate characters in typical phaeozem region of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 889-894.
- [19] 顾汪明, 周金星, 王彬, 等. 冻融循环作用对黑土水稳性团聚体特征的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2020, 18(4): 45-52.
- GU Wangming, ZHOU Jinxing, WANG Bin, et al. Effects of freeze-thaw cycle on the characteristics of black soil water-stable aggregates[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2020, 18(4): 45-52.
- [20] 顾汪明. 冻融循环对东北黑土团聚体稳定性影响机制的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- GU Wangming. The effect of freeze-thaw cycle on the stability of black soil and its mechanism[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [21] 孙义秋, 顾汪明, 关颖慧, 等. 冻融循环作用对黑土团聚体破碎机制的影响[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(3): 53-60.
- SUN Yiqiu, GU Wangming, GUAN Yinghui, et al. Effect of freeze-thaw cycle on the fragmentation mechanism of black soil aggregates[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(3): 53-60.
- [22] 李强, 刘国彬, 许明祥, 等. 黄土丘陵区冻融对土壤抗冲性及相关物理性质的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(17): 105-112.
- LI Qiang, LIU Guobin, XU Mingxiang, et al. Effect of seasonal freeze-thaw on soil anti-scourability and its related physical property in hilly Loess Plateau[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(17): 105-112.
- [23] 陈泉萌, 文方, 顾宗斌, 等. 季节性冻土的水热作用机制研究: 以古尔班通古特沙漠南缘为例[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(12): 51-56.
- CHEN Xiaomeng, WEN Fang, GU Zongbin, et al. Study on the hydrothermal mechanism of seasonal frozen soil: A case study about the southern margin of the Gurbantunggut desert[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(12): 51-56.
- [24] 王涛. 冻融期黄土表层土壤理化性质分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- WANG Tao. Physicochemical properties of topsoil of loess during freeze-thaw period[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [25] 姚甜甜, 聂晓刚, 张鹏, 等. 冻融作用对藏东南高寒区土壤容重、孔隙度的影响[J]. *高原农业*, 2020, 4(4): 386-391.
- YAO Tiantian, NIE Xiaogang, ZHANG Peng, et al. Effects of freeze-thaw on soil bulk density and porosity in alpine region of southeastern Tibet[J]. *Journal of Plateau Agriculture*, 2020, 4(4): 386-391.
- [26] 杜子银. 冻融作用对高寒草地土壤理化和生物学性质的影响[J]. *生态环境学报*, 2020, 29(5): 1 054-1 061.
- DU Ziyin. Effects of freeze-thaw action on soil physicochemical and biological properties in the alpine grasslands[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(5): 1 054-1 061.
- [27] 李瑶. 冻融作用对川西高寒山地不同海拔高度土壤理化性质的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018.
- LI Yao. Effects of freezing and thawing on the physical and chemical properties of soil at different altitudes in the alpine regions of western Sichuan[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2018.
- [28] 王连峰, 蔡延江, 解宏图. 冻融作用下土壤物理和微生物性状变化与氧化亚氮排放的关系[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2 361-2 366.
- WANG Lianfeng, CAI Yanjiang, XIE Hongtu. Relationships of soil physical and microbial properties with nitrous oxide emission under effects of freezing-thawing cycles[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2 361-2 366.
- [29] 赵恒策, 魏霞, 贺燕, 等. 冻融对河北省深州市盐碱地土壤理化性质的影响[J]. *水土保持学报*, 2018, 32(5): 78-83.

- ZHAO Hengce, WEI Xia, HE Yan, et al. Effects of freeze-thaw on the physical and chemical properties of saline and alkali soil at Shenzhou City, Hebei Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(5): 78-83.
- [30] 韩笑, 余冬立, 王洪德, 等. 滨海土壤团聚体分布和分形维数及其影响因素因子研究[J]. *灌溉排水学报*, 2021, 40(5): 88-92, 113.
- HAN Xiao, SHE Dongli, WANG Hongde, et al. Fractal dimension of coastal soil aggregates and its relationship with physical and chemical soil properties[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2021, 40(5): 88-92, 113.
- [31] 刘新梅, 樊文华, 张昊, 等. 改良剂对矿区复垦土壤机械稳定性团聚体及有机碳的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2021, 27(4): 970-977.
- LIU Xinmei, FAN Wenhua, ZHANG Hao, et al. Effects of amendments on mechanical stability aggregates and organic carbon in reclaimed soil[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2021, 27(4): 970-977.
- [32] 赵晶, 关世羽, 张有新, 等. 植被恢复后光伏电站内土壤团聚体分布特征和稳定性研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(11): 172-177.
- ZHAO Jing, GUAN Shiyu, ZHANG Youxin, et al. Distribution characteristics and stability changes of soil aggregates in photovoltaic power stations after vegetation restoration[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(11): 172-177.
- [33] 梁运江, 陈旸, 宋涛, 等. 季节性冻融对苹果梨园机械稳定性团聚体的影响[J]. *土壤通报*, 2019, 50(3): 562-570.
- LIANG Yunjiang, CHEN Yang, SONG Tao, et al. Effects of seasonal freezing and thawing on mechanical stability of soil aggregates in apple-pear orchards[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2019, 50(3): 562-570.
- [34] 裴中健, 梁成华, 尹岩. 不同栽培年限日光温室土壤团聚体的组成及稳定性[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(6): 70-74, 80.
- PEI Zhongjian, LIANG Chenghua, YIN Yan. Size hierarchy and stability of soil aggregates in solar greenhouse soils with different planted years[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015, 35(6): 70-74, 80.
- [35] 李娇, 信秀丽, 朱安宁, 等. 长期施用化肥和有机肥下潮土干团聚体有机氮组分特征[J]. *土壤学报*, 2018, 55(6): 1 494-1 501.
- LI Jiao, XIN Xiuli, ZHU Anning, et al. Characteristics of the fraction of organic nitrogen in fluvo-aquic soil aggregates under long-term application of chemical fertilizer and organic manure[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(6): 1 494-1 501.
- [36] 蔡立群, 齐鹏, 张仁陟. 保护性耕作对麦-豆轮作条件下土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2): 141-145.
- CAI Liqun, QI Peng, ZHANG Renzhi. Effects of conservation tillage measures on soil aggregates stability and soil organic carbon in two sequence rotation system with spring wheat and field pea[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(2): 141-145.

Change in Soil Aggregation During the Freezing-thawing Fallow Season was Affected by Agronomical Management

ZHANG Xinmin¹, GAO Yayu², LI Zexia³, ZHANG Liping³, QI Huaiping³

(1. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China;

2. College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

3. Gansu Institute of Soil & Water Conservation Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: 【Objective】 Soil aggregate is a functional unit used to describe the effect of management practices on soil physical properties and soil functions. It is dynamic and varies with various factors. In this paper, we studied its variation in response to different managements during the freezing-thawing fallow season. 【Method】 The experiment was conducted in a wheat-corn field at an irrigation area at Hongyashan in Minqin County in Shiyang River Basin. The treatments we compared were winter irrigation (for water storage) and pro-harvest tillage in autumn. In each treatment, we measured the size distribution of mechanically stable aggregates and water stable aggregates at different soil depths before and after the freezing-thawing season, respectively. 【Result】 The freezing-thawing did not show noticeable influence on macro-aggregate content and mean weight-diameter of the mechanically stable aggregates, but significantly reduced the content of water stable macro-aggregates and their mean weight diameter. The autumn tillage temporally increased large mechanically stable aggregate content and water stable aggregate content, as well as their average weight diameter, but the effect waned before the soil was frozen. The winter irrigation did not show an identifiable impact on mechanically stable large aggregates, but increased the large water-stable aggregate content and their average weight diameter. 【Conclusion】 Freezing-thawing crushed large soil large aggregates, significantly reducing the content of water-stable aggregates as a result. Winter irrigation aggravated this effect. Autumn plough increased the content of large aggregates and aggregates diameter temporally, and the effect waned and completely vanished before the soil was frozen.

Key words: fallow period of farmland; field management measures; mechanically stable aggregates; water stable aggregates; seasonal freezing-thawing

责任编辑: 赵宇龙