



秸秆还田对盐碱地土壤物理性质、酶活性及油葵产量的影响

李 磊,樊丽琴,吴 霞,张永宏

(宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所,银川 750002)

摘 要 针对宁夏银北盐碱地区存在的土壤板结、通气性差、结构不良等问题,建立秸秆还田 1 a、2 a 与未还田试验,研究不同处理对土壤物理性质、酶活性及油葵产量的影响。结果表明:秸秆还田可显著降低土壤体积质量,还田 2 a 处理可降低体积质量 6.04%~6.49%,且 0~10、10~20、20~30 cm 土层水稳性团聚体含量分别较 CK 处理增加 15.30%、10.34%、8.84%,0~10 cm 土壤紧实度较 CK 处理降低 23.24%;秸秆还田能有效提升土壤脲酶与碱性磷酸酶的活性,0~10 cm 土层还田 2 a 处理下脲酶活性较还田 1 a 与未还田处理分别增加 93.79%、59.18%;还田对土壤 pH 影响不显著,但在控盐、增产方面效果突出,还田 2 a 处理相比 CK 处理在整个生育期 0~10 cm 土层含盐量平均降低 24.33%,产量增加 20.60%。相关性分析显示,土壤水稳性团聚体、体积质量、酶活性与油葵产量达显著正相关。由此可见,秸秆还田 2 a 增加土壤水稳性团聚体含量,降低土壤体积质量与耕层盐分,且显著提高脲酶与碱性磷酸酶活性,从而增加油葵产量。

关键词 油葵;盐碱地改良;秸秆还田;物理性质;产量

中图分类号 S152.5

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)12-1997-08

秸秆还田在一定程度上可缓解盐碱地土壤僵硬、板结,降低土壤体积质量,且还田年限越长,体积质量越低,土壤结构愈加稳定^[1-3]。还田也可降低微团聚体含量,增加土壤通气孔隙度^[4-8]。研究发现秸秆还田技术下采用微咸水灌溉,不仅能有效改善土壤结构,而且可减少土壤盐分表聚^[9]。秸秆还田技术还可提升表层土壤酶活性,但对下层无显著影响^[10-12]。

关于秸秆还田方式、还田量及产生的效应诸多学者已进行较多研究^[13-16]。但在宁夏银川北部盐碱地进行秸秆还田对土壤物理性质、酶活性的研究不够系统。因此,本研究在总结前人研究基础上,以具有耐瘠薄、抗干旱、抗盐碱油葵为试验材料。在银北盐碱地开展秸秆还田技术,采用秋季翻耕方式,建立还田 1 a、2 a 与未还田试验,旨在明确秸秆还田对土壤物理性质、酶活性以及油葵产量的影响,为盐碱地土壤构建良好的团粒结构提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2016 年 10 月—2018 年 10 月在宁夏银川北部引黄灌区黄渠桥镇金茂源家庭农场进行,该地区属中温带干旱区,地势平坦,光照资源充足,昼夜温差大,年均气温约 8.8℃。年均降水量约 200 mm,蒸发较强,年均蒸发量达 1 755 mm。耕层土壤 pH 8.78,碱化度 20.20%,全盐 3.20 g/kg,有机质处于偏低水平,质量分数为 12.98 g/kg,速效氮质量分数为 50.20 mg/kg,有效磷质量分数为 13.65 mg/kg,速效钾质量分数为 175.91 mg/kg。

1.2 试验设计

试验以‘同辉 562’油葵为供试作物。设 3 个处理,分别为未还田(CK)、还田 1 a(T1)和还田 2 a(T2)。T1:参照文献^[13-14],设还田量为 6 000 kg/hm²,2017 年 10 月进行还田;T2:还田总量为 12 000 kg/hm²,分别于 2016 年 10 月与

收稿日期:2019-04-23 修回日期:2019-05-22

基金项目:自治区农业科技自主创新专项全产业链创新示范课题(NKYZ-16-0907);宁夏农林科学院“十三五”重点科技项目(NKYZ-16-0905);宁夏土壤与植物营养重点实验室人才奖补项目(RCJB2019-2)。

第一作者:李 磊,男,硕士,研究实习员,从事盐碱地改良技术研究。E-mail:993275444@qq.com

通信作者:樊丽琴,女,硕士,副研究员,主要从事盐碱地改良技术研究。E-mail:249198172@qq.com

2017 年 10 月均施。前季玉米收获后将地上部分自然风干,收割回收后用粉碎机揉搓粉碎,粉碎长度 ≤ 5 cm,还田处理配施秸秆腐熟剂(有效活菌数 ≥ 0.5 亿/g)30 kg/hm²,尿素 75 kg/hm²,还田方式采用翻耕,深翻 25 cm 后及时灌水压实,灌水水量为 3 000 m³/hm²,还田措施均在秋季实施。施肥按照该地区常规施肥,每年种植前底肥施尿素(含纯 N 量为 46%)量为 450 kg/hm²,过磷酸钙(P₂O₅ $\geq 12\%$)施用量为 900 kg/hm²,硫酸钾(含纯 K₂O 量为 50%)施用量为 75 kg/hm²,油菜种植方式采用宽窄行(70 cm \times 50 cm),小区长 10 m,宽 5 m,田间试验采用随机区组设计,重复 3 次,灌溉方式为黄河水漫灌。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤物理指标 收获后(9 月 15 日)采集土壤样品并测定 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm 土层相关指标,LJSD-2 土壤硬度仪测定土壤紧实度,湿筛-振荡法测定土壤水稳性团聚体^[17-18],环刀法测定土壤体积质量^[19]。

1.3.2 土壤化学指标 分别在种植前(5 月 15 日)、苗期(6 月 15 日)、现蕾期(7 月 15 日)、收获期(9 月 15 日)采集土样,土壤酶活性样品需装入无菌密封袋后置于控温箱(4 ℃)带回实验室。土壤 pH 用 pH 计测定(水土质量比例 2.5:1),DDS-11 电导率仪测定电导率,结合线性方程计算全盐质量分数。土壤中脲酶活性采用苯酚-次氯酸钠比色法,以 24 h 后土壤中 NH₃-N 的量(mg)表示;碱性磷酸酶活性采用磷酸苯二钠比色法,以 24 h 后土壤中释放出酚的质量(mg)表示^[19-21]。

1.3.3 产量测定及效益分析 收获期(9 月 15 日)进行各小区单收单计,实收实测。油菜增产率=(试验处理后产量-空白对照产量)/空白对照产量 $\times 100\%$;总投入为种子、肥料、灌溉、机械及人工费用;总产值=产量 \times 单价;净收益=总产值-总投入;产投比=总产值/总投入。

1.4 数据处理

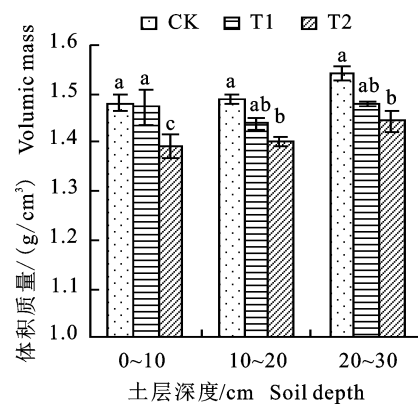
用 Excel 2003 对数据整理和作图,用 SPASS 17.0 进行方差分析,显著性水平为($P < 0.05$, $n = 5$),用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田对土壤物理性质的影响

2.1.1 土壤体积质量 体积质量的大小直接影响作物根系在土壤中的伸长。由图 1 可知,随着

土层增加体积质量逐渐增加,CK 处理最为明显,10~20 cm、20~30 cm 较 0~10 cm 分别增加 0.67%、4.05%,T1 处理下 10~20 cm 较 0~10 cm 体积质量略有降低,20~30 cm 较 0~10 cm 有所增加,T2 处理下 10~20 cm、20~30 cm 较 0~10 cm 均有增加。秸秆还田在一定程度上可明显降低土壤体积质量,T2 处理下 0~10 cm 土层与 CK、T1 处理同土层间差异显著,T2 处理较 CK 处理降低 6.08%,T1、T2 处理下 10~20 cm 土层较 CK 处理分别降低 3.35%、6.04%,20~30 cm 各处理与 10~20 cm 表现相同的趋势,T1、T2 处理较 CK 处理分别显著降低 3.89%、6.49%。由此可见,秸秆还田可降低土壤体积质量,且还田 2 a 降低体积质量效果略优越于还田 1 a。



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments($P < 0.05$), the same below

图 1 秸秆还田处理对土壤体积质量的影响
Fig. 1 Effects of straw returning to the field on soil volumic mass

2.1.2 土壤水稳性团聚体 由表 1 可知,随着土层加深, >0.25 mm 含量逐渐降低,T2 处理 0~10 cm 土层 <0.25 mm 含量明显降低,分别较 CK、T1 处理下降 17.99%、14.09%;同时,T2 明显增加 10~20 cm 土层 1~2 mm、0.5~1 mm 团聚体含量,相比 CK 处理增加 2 倍以上;T1、T2 处理均增加 20~30 cm 土层 1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm 团聚体含量,综合所得,T2 处理下 0~10、10~20、20~30 cm 土层水稳性团聚体含量分别较 CK 处理增加 15.30%、10.34%和 8.84%,有利于增强土壤结构稳定性。

2.1.3 土壤紧实度 由图 2 可知,在土壤垂直空间内,土壤紧实度在 20~30 cm 土层达到最大,

CK 处理土壤紧实度在该层达到 1 794.12 kPa, 而 T1 与 T2 处理明显降低该层土壤紧实度, 相比 CK 处理分别降低 12.57%、19.49%。0~10 cm 土层各处理差异最明显, T1 与 T2 处理较 CK 处

理分别降低 13.41%、23.24%; 10~20 cm 土层 T1 与 T2 处理间无显著性差异, 但与 CK 处理差异显著, T2 处理较 CK 处理降低 22.39%。

表 1 秸秆还田处理对土壤团聚体的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Effects of straw returning to the field on soil aggregates

土壤深度/cm Soil depth	处理 Treatment	各级团聚体含量/% Aggregate content at all levels				
		>2 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	<0.25 mm
0~10	CK	1.08±0.01 b	2.72±0.03 c	5.06±0.12 b	6.08±0.41 c	85.06±0.25 a
	T1	1.00±0.02 b	4.58±0.04 b	5.18±0.12 b	8.04±0.25 b	81.20±3.21 a
	T2	2.84±0.01 a	6.88±0.02 a	10.44±0.58 a	10.08±0.12 a	69.76±2.56 b
10~20	CK	1.98±0.02 ab	3.94±0.01 b	4.22±0.04 c	6.44±0.12 a	83.42±3.21 a
	T1	1.40±0.01 b	2.12±0.01 b	6.32±0.05 b	7.88±0.21 a	82.58±0.25 a
	T2	2.70±0.05 a	8.40±0.25 a	9.74±0.52 a	6.08±0.21 a	73.08±5.21 b
20~30	CK	3.52±0.02 a	1.52±0.02 b	2.26±0.32 c	3.28±0.25 b	89.42±3.31 a
	T1	1.04±0.03 b	4.06±0.24 a	6.38±0.12 a	6.06±0.25 a	82.46±2.02 ab
	T2	3.82±0.04 a	4.20±0.21 a	4.84±0.21 b	6.56±0.21 a	80.58±2.01 a

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

Note: Different lowercase letters above the columns indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$), the same below.

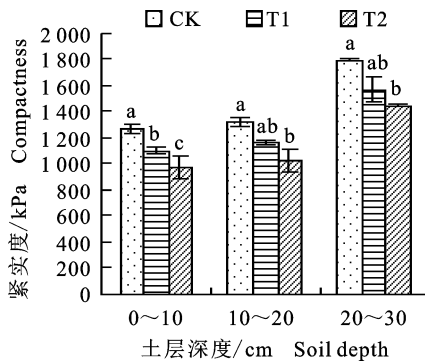


图 2 秸秆还田处理对土壤紧实度的影响

Fig. 2 Effects of straw returning to the field on soil compaction

2.2 秸秆还田对土壤酶活性的影响

脲酶与尿素水解密切相关, 其活性大小反映尿素的转化能力及氮素利用效率。由表 2 可以看

出, 不同土层土壤脲酶活性表现不同, 整体随着土层加深而逐渐降低。0~10 cm 土层脲酶活性 T2 处理显著高于 T1 与 CK 处理, 且较 CK、T1 处理分别增加 93.79%、59.18%; 10~20 cm 土层脲酶活性 T2 处理显著高于 CK 处理, 但与 T1 间无显著性差异; 20~30 cm 土层各处理下脲酶活性无显著性差异。碱性磷酸酶对土壤磷素的有效性具有重要作用, 在土壤中的活性与脲酶变化趋势相一致, 随着土层加深而逐渐降低, 较 CK 处理, T1、T2 处理明显增加碱性磷酸酶的活性, 0~10 cm 与 20~30 cm 均表现出显著性差异。由此可见, 秸秆还田增添了土壤微生物能源物质, 明显提升土壤中脲酶与碱性磷酸酶的活性, 加速氮肥快速分解, 同时, 提高磷素有效性, 减轻磷素在碱性土壤中的固定作用, 避免作物因缺磷而出现发育不良的现象。

表 2 秸秆还田处理对收获后土壤酶活性的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Effects of straw returning to the field on soil enzyme activities after harvest

mg/(g · h)

处理 Treatment	脲酶活性 Urease activity			碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity		
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
CK	1.61±0.48 b	0.99±0.02 b	0.79±0.12 a	15.99±0.49 b	8.03±0.22 b	7.74±0.53 b
T1	1.96±0.08 b	1.41±0.26 ab	1.05±0.23 a	18.85±0.53 a	10.94±0.19 ab	10.09±0.05 a
T2	3.12±0.23 a	1.92±0.08 a	1.03±0.02 a	20.41±0.36 a	17.80±0.36 a	10.26±0.15 a

2.3 秸秆还田对土壤化学性质的影响

2.3.1 土壤 pH 由表 3 可知,土壤 pH 在不同土层间变化较大,苗期最大,现蕾期、收获期均存在不同程度降低,但降幅较小,但随着土度加深,土壤 pH 却有逐渐增大的趋势。在油葵苗期各土层 pH 变化不大,各处理间无显著差异,T1、T2 处理土壤 pH 略有降低。在油葵现蕾期,T1、T2 处理效果较为明显,0~10 cm 土层 T2 处理土壤

pH 显著降低,较 CK 处理降低 0.18;10~20 cm 各处理无显著差异;20~30 cm T1、T2 处理下 pH 较 CK 处理显著降低 1.86%、2.41%。油葵收获期各处理对 pH 的影响趋势与现蕾期表现相一致。由此可见,秸秆还田有助于降低土壤 pH,可能因为秸秆在腐解过程中产生有机酸的缘故,在 0~30 cm 土层,还田 1 a 平均降低 pH 0.1,而还田 2 a 平均降低 pH 0.12,二者效果相一致。

表 3 秸秆还田处理对土壤 pH 的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Effects of straw returning to the field on soil pH

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	苗期 Seedling period	现蕾期 Squaring period	收获期 Harvest period
0~10	CK	8.88±0.05 a	8.93±0.03 a	8.90±0.05 a
	T1	8.77±0.01 a	8.83±0.01 ab	8.75±0.06 ab
	T2	8.80±0.08 a	8.75±0.05 b	8.69±0.07 b
10~20	CK	9.04±0.02 a	8.96±0.03 a	8.95±0.05 a
	T1	8.97±0.03 a	8.83±0.08 a	8.89±0.06 a
	T2	8.99±0.02 a	8.86±0.00 a	8.91±0.07 a
20~30	CK	9.19±0.01 a	9.14±0.34 a	9.13±0.05 a
	T1	9.14±0.03 a	8.97±0.06 b	9.07±0.06 b
	T2	9.12±0.02 a	8.92±0.05 b	9.02±0.07 b

2.3.2 土壤全盐质量分数 由表 4 可知:油葵苗期,随着土层加深土壤全盐质量分数逐渐降低,秸秆还田处理对全盐质量分数也影响较大,0~10 cm 各处理间差异显著,T2 处理明显降低土壤全盐质量分数,且较 CK 与 T1 处理分别降低 24.27%、9.80%;10~20 cm T2 处理相较 CK 处理显著降低 20.85%,而 T1 处理与 CK 处理间差异不显著;20~30 cm 各处理变化趋势与 10~20 cm 相一致,T2 处理相比 CK 处理降低 19.65%,效果明显。

窘境,尤其 CK 和 T1 处理在 0~10 cm 盐分超过 3 g/kg,而 T2 处理接近 3 g/kg;在 10~20 cm T1、T2 处理显著降低土壤全盐质量分数,降幅分别为 8.06%、24.84%;在 20~30 cm 处理 T1 与 T2 处理相差不大,相比 CK 处理降低 28.12%、27.34%;油葵收获期 0~20 cm 土壤盐分整体有所下降,而 20~30 cm 有增加趋势,T1、T2 处理在各层均有明显降低土壤全盐的趋势。秸秆还田技术能达到控盐的目的,尤其还田 2 a 效果最为明显,整个生育期平均降低 0~10 cm 土层含盐量 24.33%。

现蕾期出现积盐现象,主要由于太阳辐射情况下,地表蒸发带动盐分的迁移,造成盐分表聚的

表 4 秸秆还田处理对土壤全盐质量分数的影响($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Effects of straw returning to the field on mass fraction of soil total salt

土层深度/cm Soil depth	处理 Treatment	苗期 Seedling period	现蕾期 Squaring period	收获期 Harvest period
0~10	CK	2.39±0.03 a	3.78±0.02 a	3.19±0.06 a
	T1	2.04±0.02 b	3.26±0.21 b	2.51±0.02 b
	T2	1.81±0.03 c	2.91±0.10 b	2.37±0.02 b
10~20	CK	2.11±0.06 a	3.10±0.06 a	2.84±0.07 a
	T1	1.79±0.17 ab	2.85±0.10 b	2.43±0.04 b
	T2	1.67±0.03 b	2.33±0.02 c	2.27±0.02 c
20~30	CK	1.73±0.08 a	2.56±0.34 a	2.72±0.04 a
	T1	1.63±0.05 ab	1.84±0.06 b	2.32±0.05 b
	T2	1.39±0.08 b	1.86±0.05 b	2.14±0.04 c

2.4 秸秆还田对油葵生产效益的影响

油葵产量是评价该区域土壤地力最基本的指标。由表 5 可知,各处理间油葵产量存在显著性差异,T2 处理显著高于 CK 与 T1 处理,而 CK 与 T1 处理间无显著性差异。T2 处理下油葵产量达

到 3 002.54 kg/hm²,相比 CK 于 T1 处理分别增加 20.60%、12.92%,另外,T1 处理相比 CK 处理产量增加 6.81%。在收益方面,T2 处理下高达 11 115.24 元/hm²,相比 CK 增加 2 177.34 元/hm²,产投比达 2.61。

表 5 秸秆还田经济效益分析表

Table 5 Statement of economic benefit analysis in straw returning to the field

处理 Treatment	平均产量/ (kg/hm ²) Average yield	增产率/% Yield-increasing rate	总产值/ (元/hm ²) Total output value	总投入/ (元/hm ²) Total input	净收益/ (元/hm ²) Netearning	产投比 VCR
CK	2 489.65±80.99 b	—	14 937.90	6 000	8 937.90	2.49
T1	2 659.10±139.99 b	6.81	15 954.60	6 450	9 504.60	2.47
T2	3 002.54±90.93 a	20.60	18 015.24	6 900	11 115.24	2.61

注:2018年油葵单价为6.0元/kg;油葵常规投入6000元/hm²,包括种子、肥料、灌溉、机械及人工费用;秋季粉碎秸秆还田价格还田为450元/hm²。

Notes: The unit price of oil sunflower in 2018 was 6.0 yuan/kg; the conventional total input of oil sunflower was 6 000 yuan/hm², including seed, fertilizer, irrigation, machinery and labor costs; the price of crushed straw returning in autumn was 450 yuan/hm².

2.5 产量与各土壤性质的关系

建立产量与体积质量、水稳性团聚体、紧实度、pH、全盐、脲酶活性、碱性磷酸酶相关矩阵可得相关性如表6所示。产量与水稳性团聚体呈现正相关,与0~10 cm处的水稳性团聚体达到极显著相关,相关系数达到0.996;产量与体积质量呈现负相关,相关程度较强烈,0~10 cm相关性达到显著相关;与紧实度、全盐呈负相关;产量与脲

酶呈正相关,与0~10 cm及10~20 cm土层的脲酶活性分别达到极显著正相关与显著正相关;产量与碱性磷酸酶也表现正相关,尤其与10~20 cm处碱性磷酸酶活性达到显著正相关。由此可见,水稳性团聚体、体积质量、酶活性对增产意义重大,因此在盐碱地改良中应注重土壤良好的团粒结构的构建及土壤酶活性的提高。

表 6 产量与各指标相关性分析

Table 6 Analysis of correlation between yield and various indicators

土层深/cm Soil depth	体积质量 Volumic mass	水稳性团聚体 Water-stable aggregates	紧实度 Compactness	pH	全盐 Total salt	脲酶活性 Urease activity	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity
0~10	-0.997*	0.996**	-0.960	-0.906	-0.849	0.994**	0.935
10~20	-0.859	0.967	-0.983	-0.431	-0.904	0.991*	0.999*
20~30	-0.953	0.871	-0.936	-0.970	-0.918	0.707	0.792

注:*表示显著相关($P<0.05$),**表示显著相关($P<0.01$)。

Notes: * indicates significant correlation ($P<0.05$), and ** indicates significant correlation ($P<0.01$).

3 讨论与结论

体积质量反映了土壤孔隙大小分布及对作物根系穿透阻力^[22]。艾天成等^[23]、钱凤魁等^[24]通过秸秆还田试验发现,在还田措施下土壤体积质量均有降低,相比未还田存在显著性差异,同时有效地提高土壤孔隙度。本研究结果表明在盐碱地上应用秸秆还田技术能显著降低土壤体积质量,从而为好氧微生物活动创造良好环境,有利于作物营养吸收,且还田2a效果优越于还田1a。

土壤团聚体作为土壤结构的基本构成单元,其数量及分布决定着土壤结构的稳定性及侵蚀能力^[25]。大量研究结果表明秸秆还田可提高土壤大团聚体的含量,且随着还田年限增加效果更加明显^[7,26-29]。本试验研究结果发现还田1a与2a均能明显降低微团聚体含量,尤其还田2a处理下水稳性团聚体含量较对照增加为8.84%~15.30%。这在一定程度上有效地改善土壤结构,

增加土壤稳定性;土壤紧实度反映出土壤松紧状况及孔隙数量,本试验研究结果发现还田1a与2a处理都能明显降低土壤紧实度,还田2a处理可降低10~20 cm层土壤紧实度22.36%,效果极为明显,可有效地改善耕区环境,增强透气通水性能,促进作物根系伸长,这与范围等^[30]、Kabiri等^[31]研究相一致。

土壤酶活性的大小表征了土壤进行生理生化反应的能力。本试验表明秸秆还田2a显著提高脲酶、碱性磷酸酶的活性,相比CK处理在10~20 cm土层提高接近1倍,而对10~30 cm土层碱性磷酸酶活性影响不大,这与吴玉红等^[32]、黄容等^[33]的研究结果基本一致。此外,本试验发现秸秆还田能调节水盐运动,降低耕层土壤盐分,增加产量,尤其还田2a处理相比CK处理在整个生育期0~10 cm土层含盐量平均降低24.33%,增产20.60%,这与陈素英等^[34]、张彦群等^[35]、孙宏勇等^[36]的研究结果一致。

相比未还田, 秸秆还田对盐碱地土壤物理性质有极大的改善作用, 还田 2 a 效果相比还田 1 a 更佳, 具体表现在还田 2 a 降低土壤体积质量 6.04%~6.49%, 水稳性团聚体增加 8.84%~15.30%, 同时, 还田 2 a 处理 20~30 cm 土壤紧实度相比还田 1 a 与未还田处理分别降低 12.57% 和 19.49%, 此外, 还田 2 a 处理相比未还田处理显著提高了土壤脲酶与碱性磷酸酶的活性, 耕层含盐量降低 25%, 从而促使产量增加 20.60%。下一步试验应建立在原有的基础上增加还田年限, 从土壤有机碳组分入手, 研究土壤肥力的演变, 且同时展开还田方式研究, 旨在达到增加土壤肥力, 抑盐克碱的目的。

参考文献 Reference:

- [1] 李 娇, 田 冬, 黄 容, 等. 秸秆及生物炭还田对油菜/玉米轮作系统碳平衡和生态效益的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(9): 4338-4347.
LI J, TIAN D, HUANG R, *et al.* Effects of straw and biochar addition on soil carbon balance and ecological benefits in a rape-maize rotation planting system[J]. *Environmental Science*, 2018, 39(9): 4338-4347.
- [2] 王小彬, 蔡典雄, 张镜清, 等. 旱地玉米秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(4): 54-61.
WANG X B, CAI D X, ZHANG J Q, *et al.* Effects of corn stover incorporated in dry farmland on soil fertility[J]. *Science Agricultura Sinica*, 2000, 33(4): 54-61.
- [3] 单智超, 冯定超, 金晓兴, 等. 秸秆还田及土壤 C/N 平衡效应研究[J]. 农业科技通讯, 2013(4): 142-144.
SHAN ZH CH, FENG D CH, JIN X X, *et al.* Effect of straw returned and soil C/N balance study[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2013(4): 142-144.
- [4] 冯国艺, 翟黎芳, 杜海英, 等. 秸秆还田对河北省滨海盐碱地理化性质及棉花植株性状和产量的影响[C]// 中国棉花学会年会, 2015.
FENG G Y, ZHAI L F, DU H Y, *et al.* The effects of physico-chemical properties of straw returned soil and the yield and plant trait 30 of cotton in coastal saline area in Hebei [C]// China Cotton Association Annual Meeting, 2015.
- [5] 慕 平, 张恩和, 王汉宁, 等. 连续多年秸秆还田对玉米耕层土壤理化性状及微生物量的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 81-85.
MU P, ZHANG E H, WANG H N, *et al.* Effects of continuous returning straw to maize tilled soil on chemical character and microbial biomass[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5): 81-85.
- [6] 王双磊. 棉花秸秆还田对盐碱地棉田土壤理化性质和生物学特性的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2015.
WANG SH L. Effect of cotton straw incorporated into saline-alkali soil on physical, chemical and biological properties[D]. Tai'an Shandong: Shandong Agricultural University, 2015.
- [7] 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.
TIAN SH ZH, WANG Y, LI N, *et al.* Effects of different tillage and straw systems on soil water-stable aggregate distribution and stability in the North China Plain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(22): 7116-7124.
- [8] 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.
SUN H Y, JI Q, WANG Y, *et al.* The distribution of water-stable aggregate-associated organic carbon and its oxidation stability under different straw returning modes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(2): 369-376.
- [9] 许建新, 孙文彦, 李燕青, 等. 秸秆还田对微咸水补灌的土壤盐分抑制及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(6): 29-33.
XU J X, SUN W Y, LI Y Q, *et al.* The effect of supplementary irrigation with slight salt water and straw returned to field on soil salt content dynamic and grain yield[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012(6): 29-33.
- [10] 禄兴丽, 廖允成. 保护性耕作对旱作夏玉米苗期土壤水热及作物产量的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 147-150.
LU X L, LIAO Y CH. Effects of conservation tillage systems on soil moisture and temperature during seedling stage and crop yield[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(1): 147-150.
- [11] 陈延华, 王 乐, 张淑香, 等. 长期施肥下褐土生产力的演变及其影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 35-45.
CHEN Y H, WANG L, ZHANG SH X, *et al.* Evolution of cinnamon soil productivity and the main influencing factors under long-term fertilization[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(6): 35-45.
- [12] 张 聪, 慕 平, 尚建明. 长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 92-98.
ZHANG C, MU P, SHANG J M, *et al.* Effects of continuous returning corn straw on soil chemical properties, enzyme activities and yield trait[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(1): 92-98.
- [13] 农传江, 王宇蕴, 徐 智, 等. 有机物料腐熟剂对玉米和水稻秸秆还田效应的影响[J]. 西北农业学报, 2016, 25(1): 34-41.
NONG CH J, WANG Y Y, XU ZH, *et al.* Effects of organic matter-decomposition inoculant on maize and rice straw returning[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(1): 34-41.
- [14] 赵 伟, 陈雅君, 王宏燕, 等. 不同秸秆还田方式对黑土土壤氮素和物理性状的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 98-102.
ZHAO W, CHEN Y J, WANG H Y, *et al.* Impact of different straw return systems on nitrogen and physical characters in black soil[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(6): 98-102.
- [15] 庞党伟, 陈 金, 唐玉海, 等. 玉米秸秆还田方式和氮肥处理对土壤理化性质及冬小麦产量的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(11): 1689-1699.
PANG D W, CHEN J, TANG Y H, *et al.* Effect of return-

- ning methods of maize straw and nitrogen treatments on soil physicochemical property and yield of winter wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(11): 1689-1699.
- [16] 刘义国, 刘永红, 刘洪军, 等. 秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 29(3): 131-135.
- LIU Y G, LIU Y H, LIU H J, *et al.* Effects of straw returning amount on soil physical and chemical properties and yield of wheat [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 29(3): 131-135.
- [17] ELLIOTT E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50(3): 627-633.
- [18] SIX J, ELLIOTT E T, PAUSTIAN K, *et al.* Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1998, 62(5): 1367-1377.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO SH D. Soil Agrochemical Analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [20] 李酉开. 土壤农化分析结果计算式的正确表达 [J]. 土壤通报, 2000, 31(6): 275-276.
- LI Y K. The calculation formula of soil agro-chemistry analysis expression [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(6): 275-276.
- [21] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- GUAN S Y. Soil Enzyme and Its Method [M]. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [22] 罗珠珠, 黄高宝, 张国盛. 保护性耕作对黄土高原旱地表土容重和水分入渗的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 7-11.
- LUO ZH ZH, HUANG G B, ZHANG G SH, *et al.* Effects of conservation tillage on bulk density and water infiltration of surface soil in semi-arid area of west Loess Plateau [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(4): 7-11.
- [23] 艾天成, 王传金, 周世寿. 棉秆还田对土壤生态环境的影响 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 538-538.
- AI T CH, WANG CH J, ZHOU SH T. Effect of cotton stalk as manure on the physical and chemical property of soil [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(3): 538-538.
- [24] 钱凤魁, 黄毅, 董婷婷, 等. 不同秸秆还田量对旱地土壤水肥和玉米生长与产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 61-65.
- QIAN F K, HUANG Y, DONG T T, *et al.* Effect of crop residue incorporation on soil moisture and nutrient and maize growth and yield of arid farmland [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2014, 32(2): 61-65.
- [25] 王清奎, 汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素 [J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 415-421.
- WANG Q K, WANG S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(3): 415-421.
- [26] IMBUFE A U, PATTI A F, BURROW D, *et al.* Effects of potassium humate on aggregate stability of two soils from Victoria, Australia [J]. *Geoderma*, 2005, 125(3): 321-330.
- [27] 冀保毅, 赵亚丽, 郭海斌, 等. 深耕和秸秆还田对不同质地土壤团聚体组成及稳定性的影响 [J]. 河南农业科学, 2015, 44(3): 65-70.
- JI B Y, ZHAO Y L, GUO H B, *et al.* Effects of deep tillage and straw returning on different texture soils aggregate composition and stability [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(3): 65-70.
- [28] 张鹏, 贾志宽, 王维, 等. 秸秆还田对宁南半干旱地区土壤团聚体特征的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(8): 1513-1520.
- ZHANG P, JIA ZH K, WANG W, *et al.* Effects of straw returning on characteristics of soil aggregates in semi-arid areas in southern Ningxia of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(8): 1513-1520.
- [29] 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(4): 216-220.
- ZHANG H L, ZHENG X Q, HE Q Y, *et al.* Effect of years of straw returning on soil aggregates and organic carbon in rice-wheat rotation systems [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016(4): 216-220.
- [30] 范围, 吴景贵, 李建明, 等. 秸秆均匀还田对东北地区黑钙土壤理化性质及玉米产量的影响 [J]. 土壤学报, 2018, 55(4): 55-66.
- FAN W, WU J G, LI J M, *et al.* Effects of straw return on soil physico-chemical properties of chernozem in Northeast China and maize yield therein [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(4): 55-66.
- [31] KABIRI V, RAIESI F, GHAZAVI M A. Six years of different tillage systems affected aggregate-associated SOM in a semi-arid loam soil from Central Iran [J]. *Soil and Tillage Research*, 2015, 154: 114-125.
- [32] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻茬麦土壤养分、酶活性及产量影响 [J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 127-134.
- WU Y H, HAO X SH, TIAN X H, *et al.* Effects of reduction of NPK fertilizer application rates plus rice straw return on soil nutrient, enzyme activities and wheat yield in rice-wheat rotation system [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 31(5): 127-134.
- [33] 黄容, 高明, 万毅林, 等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响 [J]. 环境科学, 2016, 37(11): 4446-4455.
- HUANG R, GAO M, WAN Y L, *et al.* Effects of straw in combination with reducing fertilization rate on soil nutrients and enzyme activity in the paddy-vegetable rotation soils [J]. *Environmental Science*, 2016, 37(11): 4446-4455.
- [34] 陈素英, 邵立威, 孙宏勇, 等. 微咸水灌溉对土壤盐分平衡与作物产量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(8): 1049-1058.
- CHEN S Y, SHAO L W, SUN H Y, *et al.* Effect of brackish water irrigation on soil salt balance and yield of both winter wheat and summer maize [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(8): 1049-1058.
- [35] 张彦群, 王建东, 龚时宏, 等. 秸秆覆盖和滴灌制度对冬小麦光合特性和产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(11): 104-110.

2017,33(12):162-169.

ZHANG Y Q, WANG J D, GONG SH H, *et al.* Effects of straw mulching and drip irrigation scheduling on photosynthetic characteristic and yield of winter wheat [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(12):162-169.

[36] 孙宏勇, 刘小京, 张喜英. 盐碱地水盐调控研究[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(10):109-117.

SUN H Y, LIU X J, ZHANG X Y, *et al.* Regulations of salt and water of saline-alkali soil: A review[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(10):109-117.

Effects of Straw Returning to Field on Physical Properties, Enzyme Activity of Saline-alkali Soil and Yield of Oil Sunflower

LI Lei, FAN Liqin, WU Xia and ZHANG Yonghong

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

Abstract Focus on the problems of soil viscosity, poor aeration and imperfect structure in saline-alkali region of North Yinchuan in Ningxia. A comparative experiment of 1 a, 2 a and the treatment without straw returning to the field were established to study the effects of straw returning on soil physical properties, enzyme activity and oil sunflower yield. The results showed that, straw returning could significantly reduce soil volumic mass, the volumic mass could reduced by 6.04%—6.49% under the treatment of straw returning 2 a, while this treatment could increase respectively the content of water-stable aggregates by 15.30%, 10.34% and 8.84% at 0—10 cm, 10—20 cm and 20—30 cm levels. Compared with CK treatment, the soil compactness at 0—10 cm was 23.24% lower than CK treatment, while, straw returning to field could effectively enhance the activity of soil urease and alkaline phosphatase activity. In particular, straw returning treatment 2 a increased urease activity by 93.79% and 59.18% at the 0—10 cm soil layer compared with CK and straw returning treatment 1 a. Straw returning to the field did not significantly reduce soil pH, but it had obvious effects on controlling salt and increasing yield. Especially, compared with CK treatment, the salt content of 0—10 cm soil decreased by 24.33% during the whole growth period, also increase the yield by 20.60%. The soil water-stable aggregates, volumic mass, enzyme activity and oil sunflower yield were significantly positively correlated. In conclusion, straw returning 2 a increases the content of soil water-stable aggregates, reduces soil volumic mass and topsoil salinity, also significantly improves urease and alkaline phosphatase activities, thus increasing the yield of oil sunflower.

Key words Oil sunflower; Saline-alkaline soil amelioration; Straw returning; Physical properties; Yield

Received 2019-04-23

Returned 2019-05-22

Foundation item Autonomous Region Research Project of Industrial Chain Innovation Demonstration in Agricultural Science and Technology Independent Innovation (No. NKYZ-16-0907); “13th Five-Year Plan” Key Science and Technology Project of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences (No. NKYZ-16-0905); Talent Award and Supplement Project of Ningxia Key Laboratory of Soil and Plant Nutrition (No. RCJB2019-2).

First author LI Lei, male, master, research assistant. Research area: saline-alkaline soil amelioration. E-mail: 993275444@qq.com

Corresponding author FAN Liqin, female, master, associate research fellow. Research area: saline-alkaline soil amelioration. E-mail: 249198172@qq.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)