

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.03.007

吴鹏年, 王艳丽, 侯贤清, 等. 秸秆还田配施氮肥对宁夏扬黄灌区滴灌玉米产量及土壤物理性状的影响. 土壤, 2020, 52(3): 470–475.

秸秆还田配施氮肥对宁夏扬黄灌区滴灌玉米产量及土壤物理性状的影响^①

吴鹏年, 王艳丽, 侯贤清, 李培富*

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要: 针对宁夏扬黄灌区土壤质地黏重、土壤水分匮乏等导致作物产量低下等问题, 研究秸秆还田配施氮肥对土壤物理性状的改良效应。本试验设计在玉米秸秆全量粉碎还田(12 000 kg/hm²)的同时配施 4 种纯氮施用水平(0、150、300、450 kg/hm²), 以秸秆不还田常规施氮 225 kg/hm² 为对照, 研究秸秆还田配施不同量氮肥对玉米产量及土壤物理性状的影响。结果表明: 与处理前相比, 施用纯氮 300 kg/hm² 和 450 kg/hm² 可分别降低 0~20 cm 土层土壤容重 1.25% 和 3.20%, 土壤孔隙度 2.69% 和 1.89%。与秸秆不还田处理相比, 秸秆还田配施氮肥 300 kg/hm² 和 450 kg/hm² 可使 0~20 cm 土层 2~5 mm、>5 mm 机械稳定性团粒结构显著增加。秸秆还田配施氮肥可显著增加土壤含水量, 尤其在作物生长前期, 秸秆还田配施氮肥 300 kg/hm² 较对照可显著增加土壤含水量 13.64%。秸秆还田配施氮肥条件下玉米产量及产量构成因素较秸秆不还田均有增加趋势, 秸秆还田配施纯氮 300 kg/hm² 可提高玉米产量 20.21%, 增加玉米百粒重 9.37%, 以及增加穗粒数 37.91%。可见, 秸秆还田配施纯氮 300 kg/hm² 具有较好的蓄水保墒效果, 其增产效果显著, 可为该区土壤培肥提供参考。

关键词: 秸秆还田; 氮肥; 土壤容重; 土壤含水量; 玉米产量

中图分类号: S147.35; S512.1+1 文献标志码: A

Effects of Straw Returning with Nitrogen Fertilizer on Maize Yield and Soil Physical Properties Under Drip-irrigation in Yanghuang Irrigation Area in Ningxia

WU Pengnian, WANG Yanli, HOU Xianqing, LI Peifu*

(Agricultural College, Ningxia University, Ningxia 750021, China)

Abstract: In this paper, the effects of straw returning with nitrogen fertilizer on low maize yield caused by soil texture and moisture were studied in Yanghuang irrigation area in Ningxia. Four levels of pure nitrogen (0, 150, 300, 450 kg/hm²) were designed under the condition of total maize straw returning (12 000 kg/hm²), the conventional nitrogen of 225 kg/hm² without straw returning was as control (CK). The results showed that pure nitrogen of 300 kg/hm² and 450 kg/hm² reduced soil bulk density of 0–20 cm soil by 1.25% and 3.20%, and increased soil porosity by 2.69% and 1.89% respectively compared with before treatment. Compared with no straw returning, straw returning with nitrogen fertilizer of 300 kg/hm² and 450 kg/hm² significantly increased the mechanical stability of 2–5 mm and >5 mm aggregates in 0–20 cm soil. Straw returning with nitrogen fertilizer significantly increased soil moisture, especially at the early stage of crop growth, straw returning with nitrogen fertilizer of 300 kg/hm² significantly increased soil moisture by 13.64% compared with CK. Under the condition of straw returning with nitrogen fertilizer, the yield and yield components of corn increased compared with no straw returning. Corn yield of straw returning with pure nitrogen of 300 kg/hm² increased corn yield by 20.21%, 100-grain weight of maize by 9.37%, and the grain number per ear by 37.91%. Straw returning with pure nitrogen of 300 kg/hm² has a good effect on water storage and preservation, it can increase maize yield remarkably. This study can provide a reference for soil fertilization in the studied area.

Key words: Straw returning; Nitrogen fertilizer; Soil bulk density; Soil water content; Corn yield

①基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAD22B05-03)资助。

* 通讯作者(peifuli@163.com)

作者简介: 吴鹏年(1992—), 男, 宁夏银川人, 硕士研究生, 主要从事土壤培肥等相关研究。E-mail: 15121870790@163.com

宁夏扬黄灌区是宁夏重要的粮食生产地区,但该区土壤质地黏重、有机质含量偏低、养分匮乏,严重制约了作物的正常生长,从而导致该地区土壤生产效率低下。作物秸秆全量直接还田作为一种土壤快速培肥的有效方式,将在该地区迅速推广。已有研究表明^[1],通过合理的利用作物秸秆可有效提高土壤有机质含量,改善土壤结构,减缓地力衰竭,对于培肥土壤有显著的效果。作物秸秆中由于含有较高碳、氮等^[2],导致作物秸秆还田后土壤碳氮比升高^[3],因此需要增施氮肥来降低碳氮比。近年来,随着农业机械化水平的不断提高,秸秆还田技术也得到了进一步的发展,为大面积秸秆还田处理增加了可能性,一方面可减少焚烧秸秆带来的空气污染,另一方面可以提升作物秸秆的利用效率,增加农民收入。目前,对于该区秸秆还田配施氮肥技术的研究较少,加之缺乏科学的理论指导。因此本试验采取玉米秸秆还田配施不同量氮肥处理,以为当地秸秆还田配施氮肥提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016年10月至2017年10月在宁夏同心县王团镇旱作节水高效农业科技园区进行。该园区位于宁夏扬黄灌区同心县王团镇旱作节水高效农业科技园区。地理位置为36°51'42"N, 105°59'27"E,海拔1370 m,地处黄土高原与内蒙古高原交界地带,地势由南向北逐渐倾斜(南高北低),以山地为主,地形复杂,属中温带干旱大陆性气候,干旱少雨,年降水量150~300 mm,年际变率大,无霜期120~218 d,年平均气温8.6℃,≥10℃的积温约3000℃,热量充足、昼夜温差大、水分蒸发强烈。2017年降水总量为286.1 mm,其中玉米生育期(4—9月)降雨量为231.4 mm,占全年的80.9%,有效降雨量为167.5 mm。

该园区土壤类型为灰钙土,试验地土壤0~40 cm土层有机质含量为8.2 g/kg,碱解氮38.3 mg/kg,有效磷16.1 mg/kg,速效钾198.0 mg/kg, pH 8.4,属低等肥力水平。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,在玉米秸秆粉碎全量还田(12 000 kg/hm²)措施下,设置4个纯氮施用水平:秸秆还田不配施氮肥(SR+N0)、秸秆还田配施氮肥150 kg/hm²(SR+N1)、秸秆还田配施氮肥300 kg/hm²(SR+N2)、秸秆还田配施氮肥450 kg/hm²(SR+N3)、秸秆还田常规施氮225 kg/hm²对照处理(CK)。共5

个处理,4次重复,共20个小区。小区面积15 m×5 m=75 m²。

具体操作方式为:秸秆还田方式采用全量粉碎还田,于上一季玉米收获后,将玉米秸秆粉碎后均匀撒入小区,同时在不同施肥水平处理中分别撒入对应量的尿素(含氮量≥46%),秸秆不还田处理为将玉米秸秆移出田块,最后用旋耕机将秸秆和尿素旋入土壤。

玉米品种为先玉335,宽窄行种植,宽行70 cm,窄行40 cm,株距为20 cm,种植密度为90 000株/hm²;追肥方式:基施磷酸二铵(N-P-K:15-46-0)300 kg/hm²、复合肥料(硫酸钾型,N-P-K:15-15-15)495 kg/hm²,于播种前一天按小区面积称好各处理所需的量,在玉米播种前结合整地撒施后深翻入土(深翻深度20 cm);在玉米各关键生育期结合滴灌水肥一体化追施纯氮150 kg/hm²。

1.3 数据处理

玉米生育期:定期观测出苗、抽雄、吐丝、灌浆、成熟,并记录生育期。

土壤水分:在玉米关键生育期,采用土钻取土烘干法测定0~100 cm层土壤含水量(每20 cm层取土样),并结合降雨量和灌水量,计算作物的耗水量。

土壤养分:参照鲍士旦编写的《土壤农化分析》,测定播种前和收获后0~40 cm层土壤有机质、全氮、速效氮磷钾等养分指标,分析其对土壤养分的影响;测定玉米收获后植株茎、叶和籽粒中全氮含量。

玉米生长指标:在玉米生育期测定植株株高、茎粗及地上部生物量等生物学性状。

产量性状:玉米收获期,分小区进行测产,选取10株玉米进行考种,记录穗数、穗粒数、百粒重,并计算出籽率。

土壤物理指标测定:土壤容重,在2017年4月中旬试验处理前及10月初玉米成熟后,每处理区以S型布置5个采样点,按表层0~20 cm和耕层20~40 cm用环刀取样,采用环刀法测定各土层土壤容重。土壤密度近似值取2.65 g/cm³,根据文献[4]计算土壤总孔隙度:

$$\text{土壤总孔隙度}(\%)=(1-\text{容重}/\text{密度})\times 100\% \quad (1)$$

土壤团聚体含量在2017年10月初玉米成熟后,按S型5点取土法在0~20 cm、20~40 cm土层采集原状土样,自然风干后除去粗根及小石块,并将大土块按自然裂痕剥离为1 cm³左右。将风干土样过孔径为5 mm筛,利用干筛法测定机械稳定性土壤团聚体粒级分布和稳定性^[5]。

>0.25 mm机械稳定性团聚体含量DR_{0.25}根据

文献[4]计算:

$$DR_{0.25} = \sum_{i=0}^n (Wi) \quad (2)$$

式中: Wi 为对应粒径 i 的团聚体质量分数(%); i 为粒径; n 为粒径总数。

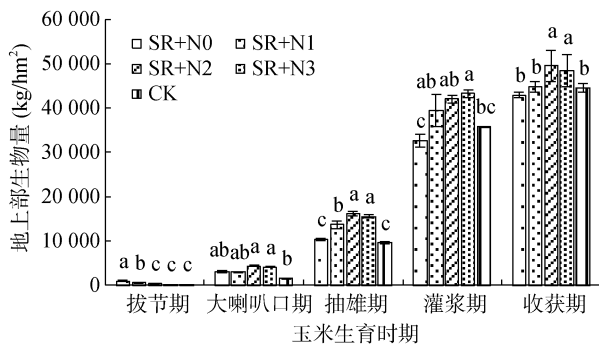
1.4 数据统计分析

采用 Excel 2016 制图, SPSS 19.0 进行方差分析, 并用 LSD 法($P < 0.05$)进行多重比较。

2 结果

2.1 秸秆还田对玉米地上部生物量的影响

秸秆还田配施氮肥处理较秸秆不还田处理在玉米不同生育期均可显著增加玉米的地上部生物量, 如图 1。在玉米关键生育期地上部生物量随着施氮量的增加呈逐渐上升的趋势。收获期 SR+N2 和 SR+N3 处理地上部生物量分别较 CK 处理增加 11.10% 和



(图中小写字母不同表示玉米同一生育期不同处理间地上部生物量差异达 $P < 0.05$ 显著水平)

图 1 秸秆还田配施氮肥对玉米地上部生物量的影响
Fig. 1 Effects of straw returning with nitrogen fertilizer on aboveground biomass of maize

8.75%, 而 SR+N0 处理则相比 CK 处理降低了 3.79%; 相对于秸秆不还田(CK)和秸秆还田不施氮肥(SR+N0), 秸秆还田配施氮肥可显著改善玉米地上部生物量。

2.2 秸秆还田对玉米产量及产量构成因素的影响

表 1 是秸秆还田配施氮肥条件下各处理玉米产量及产量构成因素表, 相对于秸秆不还田(CK)处理, 单纯秸秆还田在一定程度上会降低玉米的产量, 各处理产量高低依次为: SR+N2 > SR+N1 > SR+N3 > CK > SR+N0; SR+N0 处理较 CK 处理减产 1.05%。在秸秆还田条件下配施氮肥可显著增加玉米产量, 在一定程度上随着施氮量的增加而呈上升趋势, SR+N2 处理较 CK 处理增产 20.21%, 但当施氮量过高时产量又会呈下降趋势, SR+N3 处理较 SR+N2 减产 10.19%。通过比较各处理产量构成因素, SR+N2 处理较 SR+N1 增产主要表现在穗粒数及百粒重上, SR+N2 和 SR+N1 处理百粒重分别较 CK 处理增加 9.37% 和 6.62%, 两者穗粒数则分别较 CK 处理增加 37.91% 和 21.25%。玉米出籽率在秸秆还田配施氮肥处理下随施氮量的增加而降低, 但各处理之间差异不显著。

通过对玉米的产量和秸秆还田配施氮量进行曲线拟合, 发现在秸秆还田的基础上配施氮肥对玉米产量的影响呈二次函数, 随着施氮量的持续增加, 玉米产量会呈现减少的趋势。施氮量-产量曲线方程为: $y = -0.0381x^2 + 19.875x + 11897 (R^2 = 0.8995)$, 当 x (秸秆还田配施纯氮量)取 260 kg/hm^2 时, y (玉米产量)取得最大值 14489 kg/hm^2 , 这说明在秸秆还田配施氮肥用量为 260 kg/hm^2 时, 继续加大氮肥配施量会抑制玉米的产量。结合产出-投入比, 该地秸秆还田所配施的氮肥用量不宜超过 260 kg/hm^2 。

表 1 秸秆还田配施氮肥玉米各处理产量及产量构成因素

Table 1 Yields and yield components of maize treated with straw returning with nitrogen fertilizer

处理	穗数(个/hm ²)	穗粒数(粒/株)	百粒重(g/100粒)	籽粒产量(kg/hm ²)	出籽率(%)
CK	91 111 ± 4 157	480 c	37.87 ± 3.57 a	12 031.67 ± 270.91 c	83.85 ± 0.81 b
SR+N0	88 889 ± 6 849	454 c	39.43 ± 5.76 a	11 906.25 ± 128.52 c	87.95 ± 0.85 a
SR+N1	96 667 ± 2 721	582 b	40.38 ± 3.55 a	13 993.33 ± 418.96 ab	85.35 ± 0.54 b
SR+N2	92 222 ± 3 849	662 a	41.42 ± 2.29 a	14 461.67 ± 440.50 a	85.23 ± 1.95 b
SR+N3	85 556 ± 8 314	578 b	38.68 ± 4.66 a	13 123.33 ± 184.83 b	84.86 ± 1.83 b

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$), 下表同。

2.3 秸秆还田配施氮肥对土壤容重及土壤孔隙度的影响

玉米收获后, 秸秆还田配施氮肥能显著减少土壤容重($P < 0.05$, 图 3A)。与处理前相比, 0~20 cm 土层土壤容重随施氮量的增加而降低, 其中以 SR+N3

最为明显, 降幅达 3.20%, SR+N2 次之, 降幅为 1.25%。而 CK 和 SR+N1 土壤容重较处理前差异不显著, SR+N0 处理则较处理前有增加趋势。20~40 cm 土层土壤容重变化和 0~20 cm 类似, 其中 SR+N3 处理较处理前降低 6.29% ($P < 0.05$), SR+N0、SR+N1、SR+N2

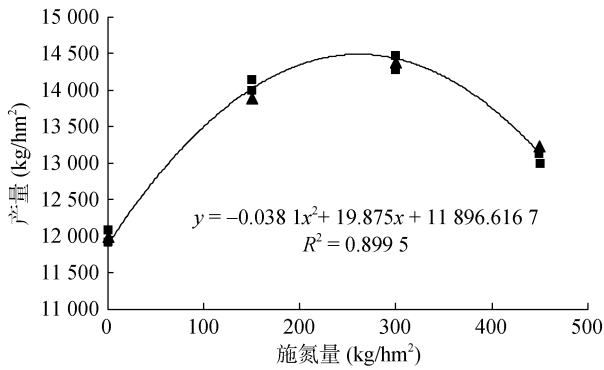


图 2 秸秆还田下不同施氮量-玉米产量回归曲线

Fig. 2 Regression of maize yield with straw returning with different rates of nitrogen fertilizer

处理间差异不显著，较处理前降低 3.56%，CK 处理与处理前无明显差异。可见，秸秆还田配施一定

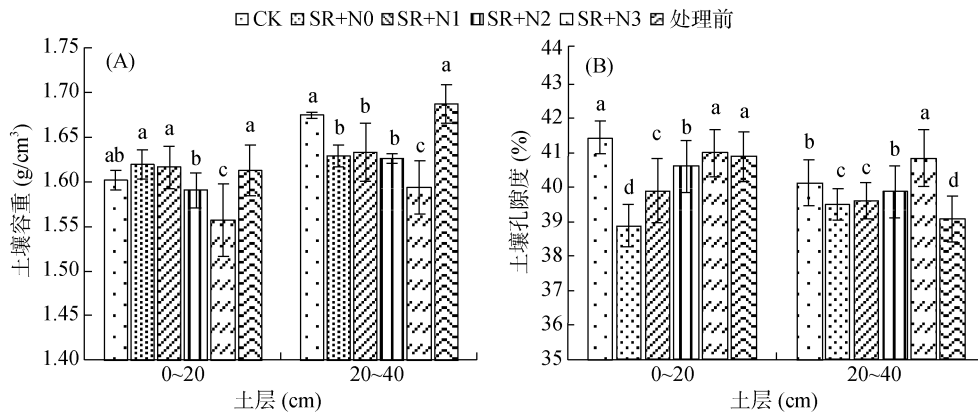


图 3 秸秆还田对处理前后土壤容重及孔隙度的影响

Fig.3 Effects of straw returning on soil bulk density and porosity before and after treatment

2.4 秸秆还田配施氮肥对土壤含水量的影响

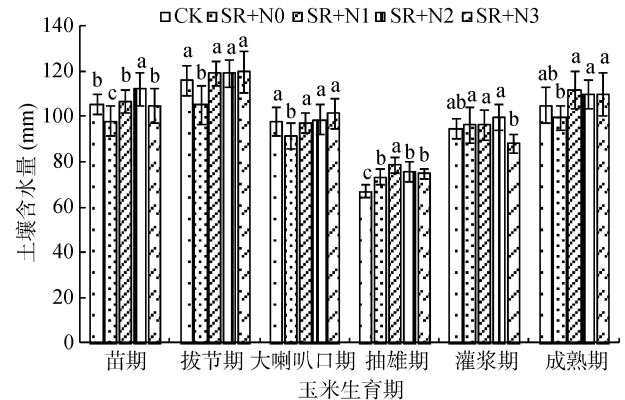
图 4 反映的是玉米不同生育时期 0 ~ 100 cm 土层土壤含水量。土壤含水量呈先减小后增加的趋势；与秸秆不还田相比，秸秆还田配施氮肥可显著增加土壤含水量 1.66% ~ 6.38%；与秸秆还田不施氮肥相比，秸秆还田配施氮肥可显著提高土壤含水量 13.64%(拔节期)~ 7.29%(抽雄期)；尤以 SR+N2 表现最为显著。灌浆期由于雨水的补充使得各处理土壤蓄水量差异不显著。SR+N0 处理在玉米各生育时期土壤含水量均显著低于其他处理，可能是因为玉米秸秆的不完全腐熟，使得土壤温度增加，从而促进了土壤水分的蒸发速度；苗期、拔节期和大喇叭口期 SR+N0 处理土壤含水率分别较 CK 处理降低 7.48%、8.24% 和 6.78%。因此与秸秆不还田(CK)及秸秆还田不施氮肥 (SR+N0) 相比，秸秆还田配施氮肥可有效增加土壤的保水、蓄水能力。

2.5 土壤团聚体

由表 2 可知，经过一年的秸秆还田配施氮肥处理，0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤 >0.25 mm 机

量的氮肥相对于秸秆不还田施氮肥可有效降低土壤容重。

秸秆还田配施氮肥处理下能够显著增加土壤孔隙度($P < 0.05$, 图 3B)，以 0 ~ 20 cm 土层尤为显著，且随施氮量的增加呈逐渐增加的趋势。0 ~ 20 cm 土层土壤中 SR+N3 较处理前增加 2.70%，而 SR+N0 较处理前显著降低 5.1%，而 CK 则与处理前无显著差异。20 ~ 40 cm 土层土壤孔隙度在低施氮水平呈现降低趋势，SR+N0 和 SR+N1 分别较处理前减少 4.08% 和 6.54%；而高施氮水平下土壤孔隙度则呈逐渐上升的趋势，SR+N2、SR+N3 分别较处理前增加 2.96% 和 1.89%，而 CK 与处理前没有显著差异。这说明在秸秆还田基础上配施氮肥可有效改善耕层土壤的孔隙度，从而增加土壤透气性和贮水能力。



(图中小写字母不同表示玉米同一生育期不同处理间土壤含水量差异达 $P < 0.05$ 显著水平)

图 4 不同处理下 0 ~ 100 cm 土层土壤含水量

Fig. 4 Soil moisture content of 0-100cm soil under different treatments

械稳定性团粒质量分数(DR_{0.25})较对照均显著增加，且随着施氮量的增加而呈增加趋势；而 <0.25 mm 机械稳定性团粒质量分数则相对于对照处理显著降低。0 ~ 20 cm 土层中 >5 mm 和 <0.25 mm 机械稳定性

团粒质量分数显著大于其他粒径。SR+N2 和 SR+N3 处理下 0~20 cm 土层 >5 mm 机械稳定性团粒质量分数较对照分别显著增加 24.71% 和 29.05%, 2~5 mm 和 1~2 mm 粒径团粒质量分数增幅介于 11.28%~36.05%, 而 0.5~1 mm 和 0.25~0.5 mm 粒径团粒质量分数增幅分别为 29.96% 和 24.24%。20~40 cm 土

层中各粒径机械稳定性团粒质量分数均小于 0~20 cm 土层, 秸秆还田配施氮肥处理下, >5 mm 粒径团粒质量分数随施氮量的增加而增加, 增幅达 2.27%~28.23%, 而 2~5 mm、1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm 级粒径团粒质量分数均较 CK 处理有所增加, 增幅分别为 14.8%、36.05%、26.23%、18.41%。

表 2 不同处理下 0~40 cm 土层土壤不同团粒体粒径分布
Table 2 Aggregate size distribution in 0-40 cm soils under different treatments

土层(cm)	处理	团聚体粒径分布(mm)						
		>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	DR _{0.25}	<0.25 mm
0~20	CK	16.02	12.03	8.46	10.12	8.42	55.05	44.95
	SR+N0	18.42	13.59	8.68	11.27	8.22	60.18	39.82
	SR+N1	20.52	15.82	9.68	12.34	10.28	68.64	31.36
	SR+N2	21.28	13.56	11.24	14.45	10.85	71.38	28.62
	SR+N3	22.58	14.12	13.23	13.72	10.32	73.97	26.03
20~40	CK	12.43	10.02	8.24	9.92	7.92	48.53	51.47
	SR+N0	12.72	11.45	9.34	9.23	8.03	50.77	49.23
	SR+N1	14.59	12.08	9.28	11.45	9.52	56.92	43.08
	SR+N2	15.25	13.84	10.25	12.56	9.96	61.86	38.14
	SR+N3	17.32	13.56	11.56	13.78	10.67	66.89	33.11

3 讨论

秸秆还田配施氮肥可改善耕层土壤物理性状^[6]。赵丽亚等^[7]认为, 秸秆还田可显著降低土壤容重, 白伟等^[8]研究表明秸秆还田配施氮肥与秸秆不还田相比可降低 0~20 cm 土层土壤容重 3.2%, 0~40 cm 土层土壤 2.0%, 国内外学者就秸秆还田对土壤理化性状做了许多研究, 多数研究表明^[9-10], 秸秆还田配施氮肥可有效降低土壤容重, 同时增大土壤孔隙度。本研究认为, 秸秆还田配施氮肥与单一秸秆还田处理(CK)相比可显著降低土壤的容重, 尤以 0~20 cm 最为显著, SR+N3 处理较对照降幅达 3.20%。土壤孔隙度的变化与土壤容重的变化趋势相反, 0~20 cm 土层土壤孔隙度随施氮量的增高而上升, SR+N3 处理较对照增加 2.70%, 这与李玮等^[11]的研究结果一致。

土壤含水量是反应土壤保水能力的重要指标, 秸秆还田可提高土壤的蓄水保水能力, 从而保证作物需水关键生育期的水分供应。陈素英等^[12]研究认为秸秆还田可显著提高土壤的蓄水保墒效果。张亮等^[13]通过对比施氮跟秸秆还田方式对于土壤水分的影响, 认为相同施氮量条件下秸秆还田较秸秆不还田 0~60 cm 土层土壤含水量增加明显。解文艳等^[14]研究发现, 秸秆还田秋施肥比秸秆不还田玉米水分利用效率显著提高。本研究结果表明, 秸秆还田配施氮肥较秸秆不还田可增加 0~100 cm 土层土壤蓄水量, 相同秸

秆还田条件下, 不同施氮量直接影响土壤蓄水量, SR+N0 处理土壤蓄水量显著低于其他处理, 原因可能是在不施氮肥情况下秸秆腐熟不完全, 土壤质地较紧实。

有关研究表明^[15-16], 有机物料与氮肥配施会促进土壤小团聚体向大团聚体的转化和重新分布, 进而形成较好的土壤。这与本试验结果一致, 秸秆还田配施不同量氮肥可显著提高各处理 >5 mm、2~5 mm 和 >0.25 mm 土壤机械稳定性团粒数量。这是因为秸秆还田在腐解过程中产生不同类有机质, 提高了土壤微生物的活性, 促进腐殖质的产生, 进而有利于土壤大团粒的形成^[17]。

王静等^[18]研究结果认为, 秸秆还田对作物产量增加有促进作用。大量研究表明^[19-22], 秸秆还田配施氮肥可有效提高作物产量及地上部生物量。霍竹等^[23]研究表明, 秸秆还田配施氮肥可提高玉米产量 34.63%。本试验结果表明, 秸秆还田配施 300 kg/hm² 氮肥处理增产 20.21%。

4 结论

1) 秸秆还田配施氮肥处理较秸秆不还田处理可显著降低土壤容重, 增加土壤孔隙度, SR+N3 处理最为显著。

2) 与秸秆不还田相比, 秸秆还田配施氮肥处理

可显著增加土壤含水量, 以 SR+N2 处理最为显著; 与秸秆还田不施氮肥相比, 秸秆还田配施氮肥可提高土壤蓄水、保水能力。

3) 与秸秆不还田相比, 秸秆还田配施氮肥处理可显著增加 0~20 cm 土层 2~5 mm 和 >5 mm 土壤机械稳定性团粒质量分数, 20~40 cm 土层中 <0.25 mm 和 >5 mm 机械稳定性团粒质量分数显著大于其他粒径, 尤以 SR+N3 处理表现最佳。

4) 秸秆还田配施氮肥对玉米有显著的增产效果, SR+N2 处理较对照增产 20.21%, 而秸秆还田配施氮肥用量过高则会减产。

参考文献:

- [1] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [2] 侯贤清, 李荣, 吴鹏年, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤碳氮含量与玉米生长的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(9): 238-246.
- [3] 王旭东, 陈鲜妮, 王彩霞, 等. 农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 252-257.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] Kemper W D, Rosenau R C. Aggregate stability and size distribution[J]. Methods of Soil Analysis, 1986, 1: 425-442.
- [6] 白伟, 逢焕成, 牛世伟, 等. 秸秆还田与施氮量对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J]. 玉米科学, 2015(3): 99-106.
- [7] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3359-3371.
- [8] 白伟, 安景文, 张立祯, 等. 秸秆还田配施氮肥改善土壤理化性状提高春玉米产量[J]. 农业工程学报, 2017, 33(15): 168-176.
- [9] Tangyuan N, Bin H, Nianyuan J, et al. Effects of conservation tillage on soil porosity in maize-wheat cropping system[J]. Plant Soil & Environment, 2009, 55(8): 327-333.
- [10] Zhang P, Ting W, Jia Z K. Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China[J]. Geoderma, 2014, 230/231: 41-49.
- [11] 李玮, 乔玉强, 陈欢, 等. 秸秆还田和施肥对砂姜黑土理化性质及小麦-玉米产量的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 5052-5061.
- [12] 陈素英, 张喜英, 刘孟雨. 玉米秸秆覆盖麦田下的土壤温度和土壤水分动态规律[J]. 中国农业气象, 2002(4): 35-38.
- [13] 张亮, 黄婷苗, 郑险峰, 等. 施氮对秸秆还田冬小麦产量和水分利用率的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(1): 49-54.
- [14] 解文艳, 樊贵盛, 周怀平, 等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 60-67.
- [15] 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.
- [16] 朱刘兵, 李慧, 韩燕来, 等. 化肥与有机物料配施对黄褐土团聚体分布及有机碳含量的影响[J]. 土壤通报, 2015(5): 1181-1188.
- [17] Sodhi G P S, Beri V, Benbi D K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions under long-term application of compost in rice-wheat system[J]. Soil & Tillage Research, 2009, 103(2): 412-418.
- [18] 王静, 屈克伟. 秸秆还田对土壤养分和作物产量的影响[J]. 现代农业科技, 2008(20): 179.
- [19] 李孝勇, 武际, 朱宏斌, 等. 秸秆还田对作物产量及土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(5): 870-871.
- [20] 赵鹏, 陈阜, 马新明, 等. 麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 162-166.
- [21] 赵鹏, 陈阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1014-1018.
- [22] 苗峰, 赵炳梓, 陈金林. 秸秆还田与施氮量耦合对冬小麦产量和养分吸收的影响[J]. 土壤, 2012, 44(3): 395-401.
- [23] 霍竹, 王璞, 付晋峰. 秸秆还田与氮肥施用对夏玉米物质生产的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 95-98.