

秸秆等氮量替代化肥对土壤水分和玉米干物质积累的影响

徐路路¹, 王娟玲^{2,3}, 王晓娟^{2,3}, 刘恩科^{2,3}

(1.山西大学生命科学学院,太原 030031;2.山西农业大学山西有机旱作农业研究院,
太原 030031;3.有机旱作农业山西省重点实验室,太原 030031)

摘要: 为了探究秸秆等氮量替代化肥的可行性及其对土壤水分和玉米干物质积累的影响,进行连续6年的大田试验,2020年是施肥第5年,2021年是施肥第6年,保持225 kg/hm²的等氮量,设置5个施肥处理:CK(单施化肥,100%化肥氮)、S25(25%秸秆氮+75%化肥氮)、S50(50%秸秆氮+50%化肥氮)、S75(75%秸秆氮+25%化肥氮)、S100(100%秸秆氮),研究秸秆等氮量替代化肥对土壤贮水量、水分利用效率、土壤耗水量、土壤养分和玉米干物质积累量的影响。结果表明:(1)2020年试验中,在播种前和灌浆期,0—80 cm土层土壤贮水量为S50>S25>CK>S100>S75;在大喇叭口期和抽雄期为S50>S25>CK>S75>S100;在成熟期为S50>CK>S25>S100>S75;在2021年试验中,大喇叭口期,0—80 cm土层土壤贮水量为S25>S50>S100>CK>S75;在抽雄期,0—80 cm土层土壤贮水量为S25>S50>CK>S100>S75;(2)2020年和2021年试验中,在玉米生长的整个生育时期中,各处理组的0—200 cm各土层土壤贮水量随土层深度的变化趋势一致,并且S25和S50处理大于CK,而S75和S100处理小于CK;(3)2020年和2021年试验中,与CK相比各秸秆替代处理组的土壤耗水量和水分利用效率无显著差异,但2021年试验中S50的土壤耗水量显著大于S100,提高了5.00%;(4)2020年试验中,各秸秆替代处理组的土壤有机质和碱解氮含量较CK均无显著差异,S100处理土壤速效磷含量较CK显著降低50.75%;2021年试验中,与CK相比,S25、S50、S75、S100的土壤有机质含量分别显著增加27.40%,38.13%,36.30%,22.60%,S50的土壤碱解氮含量较CK增加27.74%,S25、S50、S75、S100处理土壤速效磷含量较CK分别显著降低31.48%,22.22%,30.56%,45.68%。(5)2020年试验中,在玉米各个生育时期中,秸秆替代化肥处理的玉米单株干物质积累量与CK相比均无显著差异,但2021年试验中,在玉米抽雄期、灌浆期和成熟期这3个生育时期,S50处理的玉米单株干物质积累量最多,与CK相比分别增加22.49%,34.06%,12.58%;在玉米灌浆期和成熟期这2个生育时期,S75处理的玉米单株干物质积累量,与CK相比分别增加22.39%,12.11%。大体上,玉米单株干物质积累量随秸秆替代化肥比例的增加先增加后减少。从保障土壤水分、养分和干物质积累量的角度考虑,S50是试验条件下最有潜力的秸秆等氮量替代化肥方式。

关键词: 秸秆等氮量替代化肥; 土壤水分; 干物质

中图分类号:S345

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2022)05-0319-08

DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.05.039

Effects of Equal Nitrogen Amount of Straw Instead of Chemical Fertilizer on Soil Moisture and Dry Matter Accumulation of Maize

XU Lulu¹, WANG Juanling^{2,3}, WANG Xiaojuan^{2,3}, LIU Enke^{2,3}

(1.College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030031;

2.Shanxi Institute of Organic Dryland Farming, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031;

3.Shanxi Key Laboratory of Organic Dryland Farming, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031)

Abstract: In order to explore the feasibility of straw iso-nitrogen replacement of chemical fertilizer and its effect on soil moisture and dry matter accumulation of maize, field experiments were carried out for six consecutive years. 2020 was the fifth year of fertilization, 2021 was the sixth year of fertilization, and 225 kg/hm² iso-nitrogen amount was maintained. Five fertilization treatments were set up, which were CK (single fertilizer, 100% fertilizer nitrogen), S25 (25% straw nitrogen + 75% fertilizer nitrogen), S50 (50% straw

收稿日期:2022-01-20

资助项目:山西省优秀青年拔尖人才项目(HNZXBJ001);国家重点研发计划项目(2021YFD1901101-4);国家公益性行业专项(201503124)

第一作者:徐路路(1995—),女,在读硕士研究生,主要从事植物营养研究。E-mail:2998958647@qq.com

通信作者:王晓娟(1986—),女,博士,研究员,主要从事有机旱作农业研究。E-mail:juanwxj@126.com

nitrogen + 50% fertilizer nitrogen), S75 (75% straw nitrogen + 25% fertilizer nitrogen) and S100 (100% straw nitrogen), and the effects of straw equal nitrogen instead of chemical fertilizer on soil water storage, water use efficiency, soil water consumption, soil nutrient and dry matter accumulation of maize were studied. The results showed that: (1) In the experiment of 2020, soil water storage in 0–80 cm soil layer was $S50 > S25 > CK > S100 > S75$ before sowing and during filling stage, it was $S50 > S25 > CK > S75 > S100$ in trumpet and tasseling stage. At maturity, it was $S50 > CK > S25 > S100 > S75$. In the test of 2021, soil water storage in 0–80 cm soil layer was $S25 > S50 > S100 > CK > S75$ in the large trumpet period. At tasseling stage, soil water storage in 0–80 cm layer was $S25 > S50 > CK > S100 > S75$. (2) In the experiment of 2020 and 2021, during the whole growth period of maize growth, the variation trend of soil water storage in each layer of 0–200 cm in each treatment group with soil depth was consistent, and soil water storage of S25 and S50 treatments were larger than that of CK, while soil water storage of S75 and S100 treatments were smaller than that of CK. (3) In 2020 and 2021, compared with CK, there were no significant differences in soil water consumption and water use efficiency of each straw replacement treatment group, but in 2021, soil water consumption of S50 was significantly higher than that of S100, increased by 5.00%. (4) In the experiment of 2020, the content of soil organic matter and alkali-hydrolyzable nitrogen in each straw replacement treatment group had no significant difference compared with CK, and the content of soil available phosphorus in S100 treatment was significantly lower than that of CK by 50.75%. In 2021, compared with CK, soil organic matter content of S25, S50, S75 and S100 significantly increased by 27.40%, 38.13%, 36.30% and 22.60%, respectively. Soil alkali-hydrolyzable nitrogen content of S50 increased by 27.74% compared with CK. Compared with CK, soil available phosphorus content of S25, S50, S75 and S100 significantly declined by 31.48%, 22.22%, 30.56% and 45.68%, respectively. (5) In the experiment of 2020, in each growth period of maize, there was no significant difference in dry matter accumulation per plant treated with straw instead of chemical fertilizer compared with CK. However, in the experiment of 2021, the dry matter accumulation per plant in S50 treatment was the highest in tasseling stage, filling stage and maturity stage, with a increase by 22.39%, 34.06% and 12.58%, respectively, compared with CK. Compared with CK, the dry matter accumulation per plant of S75 increased by 22.49% and 12.11%, respectively, in the filling stage and maturity stage. In general, dry matter accumulation per maize plant increased first and then decreased with the increasing of proportion of straw replacing fertilizer. In order to ensure soil moisture and nutrient, as well as dry matter accumulation, S50 was a potential way to replace chemical fertilizer under the conditions of this experiment.

Keywords: straw with equal nitrogenous instead of chemical fertilizer; soil moisture; dry matter

山西省是典型的旱作农业区,其玉米种植面积占粮食总种植面积的 50.08%^[1]。在干旱半干旱地区,农业生产主要依靠降水,但降水大多通过径流和无效蒸发消耗掉,农业生产利用的降水量不到降水总量的 1/3^[2]。秸秆可减少土壤蒸发,提高土壤的抗旱性,添加粉碎秸秆具有阻截和蓄积土壤水分,提高土壤含水量的积极作用^[3]。

秸秆还田和施氮对土壤具有保水缓温的效果^[4]。马晓丽等^[5]在渭北旱塬上进行的秸秆还田试验表明,秸秆还田可提高水分利用效率和耗水量,有利于土壤蓄水保墒;吴鹏年等^[6]的大田试验发现,秸秆还田的条件下,配施一定量氮肥可以明显提高土壤贮水量,其中配施氮肥 300 kg/hm² 处理在 2 个试验年份中,最高可分别增加 13.6% 和 22.1%;郑欣荣等^[7]发现,

秸秆还田在水分入渗过程中具有阻水性,使水分在秸秆层停留时间较长,提高了浅层土壤的含水率;白伟等^[8]研究表明,秸秆还田配施氮肥作用于耕层构造,显著提高土壤含水量,降低土壤容重;有试验^[9]结果表明秸秆还田可以提高土壤肥力和水分利用效率,其中还田量 13 500 kg/hm² 效果最好;而也有研究^[10]表明,9 000 kg/hm² 的秸秆还田量效果最好。作物秸秆含有丰富的氮、磷、钾等营养元素,2015 年我国秸秆资源量约 71 878.53 万 t^[11]。

单秸秆还田会增加土壤碳氮比,且秸秆释放养分速率慢,不利于作物前期的生长,秸秆还田配施氮肥可以调节土壤的碳氮比^[12]。用作物秸秆替代化肥不仅可以减少化肥过量使用带来的负面影响,而且可以资源化利用秸秆养分,更对于土壤蓄水保墒具有重要

意义。前人的研究多集中在秸秆还田或者定量秸秆还田配施不同量化肥,对等氮量条件下秸秆替代化肥的研究比较少。因此本试验通过连续 6 年定点试验,探讨秸秆等氮量替代化肥对土壤水分、养分和玉米干物质积累的影响,以期为当地玉米种植过程中,秸秆还田和氮肥的科学施用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

此试验设计开始于 2016 年 4 月,2020 年和 2021 年分别为种植的第 5 年和第 6 年,试验基地位于山西省晋中市榆次区东阳镇东阳村(112°40′05″E,37°33′22″N),该地区属温带大陆性气候,年平均降水量 440.7 mm,年均气温 9.8 ℃,年平均无霜期 158 天,海拔 800 m。2016 年 4 月试验前测基础土土壤特征为:有机质含量 13.0 g/kg,全氮含量 1.3 g/kg,全磷含量 0.9 g/kg,全钾含量 27.1 g/kg,碱解氮含量 51.2 mg/kg,速效磷含量 7.7 mg/kg,速效钾含量 176.4 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置 5 个处理,总氮量均为 225 kg/hm²,施氮比例见表 1,各处理的秸秆还田量见表 2。大田试验为 3 次重复,15 个小区,每个小区面积 30 m²(5 m×6 m),并且保持各小区总磷量相等,均为 105 kg/hm²,计算方法为,先算出秸秆所带入的磷,再施用磷酸一铵使总磷为 105 kg/hm²,计算磷酸一铵所带入的化肥氮,再施用尿素到达所用化肥氮比例。

表 1 各处理的施氮比例

处理	秸秆氮		化肥氮	
	比例/%	添加量/ (kg·hm ⁻²)	比例/%	添加量/ (kg·hm ⁻²)
CK	0	0	100	225.00
S25	25	56.25	75	168.75
S50	50	112.50	50	112.50
S75	75	168.75	25	56.25
S100	100	225.00	0	0

表 2 各处理的秸秆还田量

处理	单位:kg/hm ²	
	2019 年 秸秆还田量	2020 年 秸秆还田量
CK	0	0
S25	6363.12	6793.48
S50	12726.24	13586.96
S75	19089.37	20380.43
S100	25452.49	27173.91

在 2019 年和 2020 年的秋季收获后,将秸秆粉碎按试验设计量还田,2020 年和 2021 年 5 月中旬于种植前在试验田施入化肥,化肥为磷酸一铵和尿素,种植玉米密度理论为 49 500 株/hm²,正常田间管理,

各小区一致,玉米收获后用对角线 5 点取样法,于各小区取 0—20 cm 土用于土壤养分的测定。

2016 年和 2017 年降水可以满足作物生长,因此在这 2 年没有灌水,本试验是从 2018 年开始灌水的,各试验年份的灌水情况为:2018 年灌水 3 次(6 月 25 日、7 月 4 日和 8 月 15 日),灌水量分别为 48.7,48.7,48.8 mm;2019 年灌水 4 次(6 月 19 日、7 月 9 日、7 月 20 日和 8 月 16 日),灌水量分别为 56.2,56.2,56.3,56.3 mm;2020 年灌水 1 次(7 月 2 日),灌水量为 95.63 mm;2021 年灌水 2 次(7 月 9 日和 8 月 14 日),灌水量分别为 63.75,59.20 mm。2020 年和 2021 年全生育期降水量分别为 349,323 mm。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤水分及水分利用效率 在玉米的播种前 1 天和大喇叭口期、抽雄期、灌浆期、成熟期用中子仪测 0—200 cm 土壤水分,每隔 20 cm 测定 1 次,共 10 个层次。

土壤贮水量^[13]计算公式为:

$$W=\sum \Delta \theta_i \times Z_i \times 10/100 \tag{1}$$

式中:W 为土壤贮水量(mm); $\Delta \theta_i$ 为土壤第 i 层次的土壤体积含水量(mm); Z_i 为第 i 层次的土壤厚度(cm);i 为土壤层次。

土壤耗水量^[14]计算公式为:

$$E_T=P+\Delta W+I+K-R \tag{2}$$

式中: E_T 为土壤耗水量(mm);P 为全生育期降雨量(mm); ΔW 为播种和收获时土壤贮水量之差(mm);I 为生育期灌溉量(mm);K 为地下水的补给量(mm);R 为地表径流量(mm);由于试验区地势平坦,地表径流和地下水等因素均可忽略不计。

水分利用效率^[15]公式为:

$$WUE=Y/E_T \tag{3}$$

式中:WUE 为水分利用效率[kg/(hm²·mm)];Y 为玉米籽粒产量(kg/hm²); E_T 为土壤耗水量(mm)。

1.3.2 土壤养分 土壤有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法;碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用 0.5 mol/LNaHCO₃法,参照《土壤农化分析》^[16]。

1.3.3 干物质积累 在玉米的各生育时期,每小区取 3 株植株的地上部分,称重,并 105 ℃杀青 20 min,80 ℃烘干至恒重,称重。

1.4 数据处理

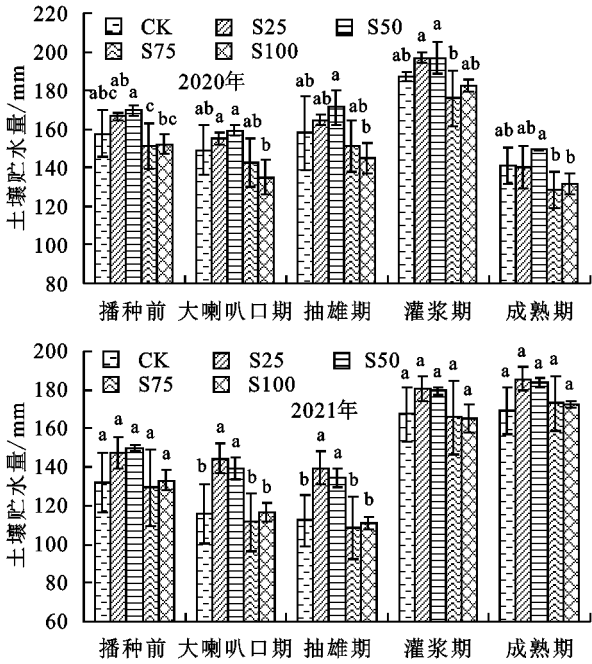
采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析,Microsoft Excel 2016 和 Origin 2021 软件制作图表。

2 结果与分析

2.1 玉米生育时期 0—80 cm 土层土壤贮水量

玉米根系主要分布在 0—80 cm,所以本试验主

要研究 0—80 cm 土层土壤贮水量(图 1)。



注:图柱上方不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

图 1 玉米各生育期 0—80 cm 土层土壤贮水量

2020 年试验中,在播种前、大喇叭口期、抽雄期、灌浆期和成熟期,与 CK 相比,各替代处理组的 0—80 cm 土层土壤贮水量均无显著差异;在播种前,S25 的 0—80 cm 土层土壤贮水量比 S75 显著增加 10.32%,S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量分别比 S75 和 S100 显著增加 12.41%,11.70%;在大喇叭口期,S25 和 S50 比 S100 的 0—80 cm 土层土壤贮水量分别显著增加 14.86%,17.98%;在抽雄期,S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量比 S100 显著增加 18.02%;在灌浆期,S25 和 S50 较 S75 分别显著增加 11.78%,11.83%;在成熟期,S50 比 S75 和 S100 的 0—80 cm 土层土壤贮水量分别显著增加 16.18%,13.40%。

2021 年试验中,在播种前、灌浆期和成熟期,与 CK 相比,各替代处理组的 0—80 cm 土层土壤贮水量均无显著差异,且各处理组之间也无显著差异;但在大喇叭口期,S25 和 S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量比 CK 分别显著增加 24.90%,20.47%,S25 和 S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量比 S75 分别显著增加 29.36%,22.77%,S25 和 S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量比 S100 分别显著增加 23.67%,19.28%;在抽雄期,S25 和 S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量分别比 CK 显著增加 24.3%,19.71%,分别比 S75 显著增加 28.64%,23.90%,分别比 S100 显著增加 25.75%,21.12%。由于 2021 年成熟期降雨量较多,所以其 0—80 cm 土层土壤贮水量较 2020 年成熟期大。

2.2 玉米生育时期 0—200 cm 土层土壤贮水量的垂直变化

2020 年试验中,在玉米生长的整个生育时期中,各处理组的 0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化趋势是一致的,并且 S25 和 S50 处理大于 CK,而 S75 和 S100 处理小于 CK(图 2);播种前、大喇叭口期和抽雄期这 3 个时期的 0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化规律相同,都是 0—40 cm 随土层深度的增加而增加,因为本试验中,在秸秆还田时,所有处理都进行了翻耕,耕层土壤比较疏松,导致水分蒸发散失,40—160 cm 随土层深度的增加而减少,160—200 cm 随土层深度的增加而增加;在灌浆期,0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化趋于平稳;在成熟期,0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化为 0—40 cm 随土层深度的增加而增加,40—160 cm 随土层深度的增加趋于平稳,可能与在成熟期玉米耗水较少有关,160—200 cm 随土层深度的增加而增加;播种前—大喇叭口期—抽雄期,100—200 cm(深层土)各土层土壤贮水量的变化保持基本不变;抽雄期—灌浆期 100—200 cm 各土层土壤贮水量整体有所增加,可能与此时降雨量较大有关;灌浆期—成熟期 100—200 cm 各土层土壤贮水量整体有所减少。

2021 年试验中,在玉米生长的整个生育时期中,各处理组的 0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化有规律性(图 3);S25 和 S50 处理大于 CK,而 S75 和 S100 小于 CK;在播种前,各处理组的 0—40 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的增加而增加,40—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化不大,趋于平稳;在大喇叭口期和抽雄期各处理组的 0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化趋势一致,呈平稳增加的趋势;灌浆期和成熟期,各处理组的 0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化趋势相同:各处理组的 0—40 cm 各土层土壤贮水量随土层深度增加而增加,各处理组(除 S75 外)的 40—140 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的增加而减少,140—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的增加而增加;播种前—大喇叭口期—抽雄期,100—200 cm 各土层土壤贮水量的变化保持基本不变;抽雄期—灌浆期 100—200 cm 各土层土壤贮水量整体有所增加;灌浆期—成熟期 100—200 cm 各土层土壤贮水量变化不大。

2.3 土壤耗水量和水分利用效率

2020 年和 2021 年试验中,与 CK 相比各秸秆替

代处理组的土壤耗水量无显著差异, 但 2021 年试验中 S50 的土壤耗水量显著大于 S100, 提高 5.00%(表 3)。与 CK 相比, 各秸秆替代处理组的水分利用效率在 2020 年和 2021 年均无显著差异。

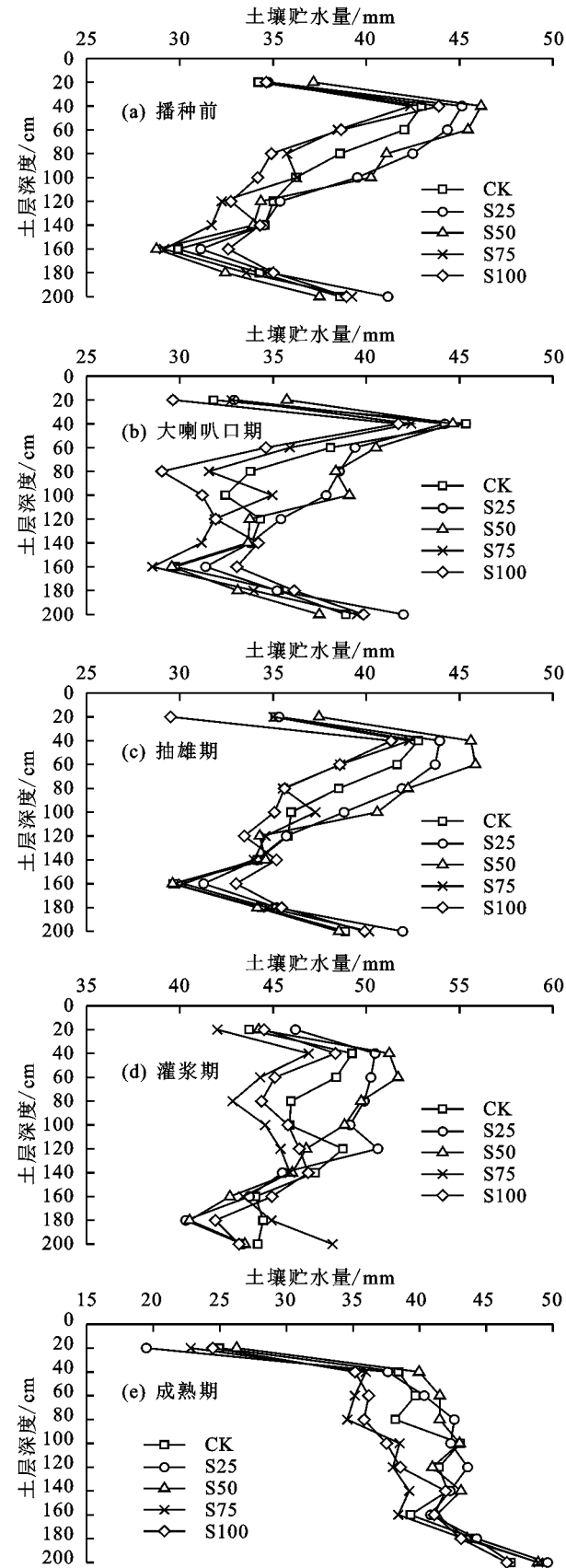


图 2 2020 年玉米各生育期土壤水分垂直动态

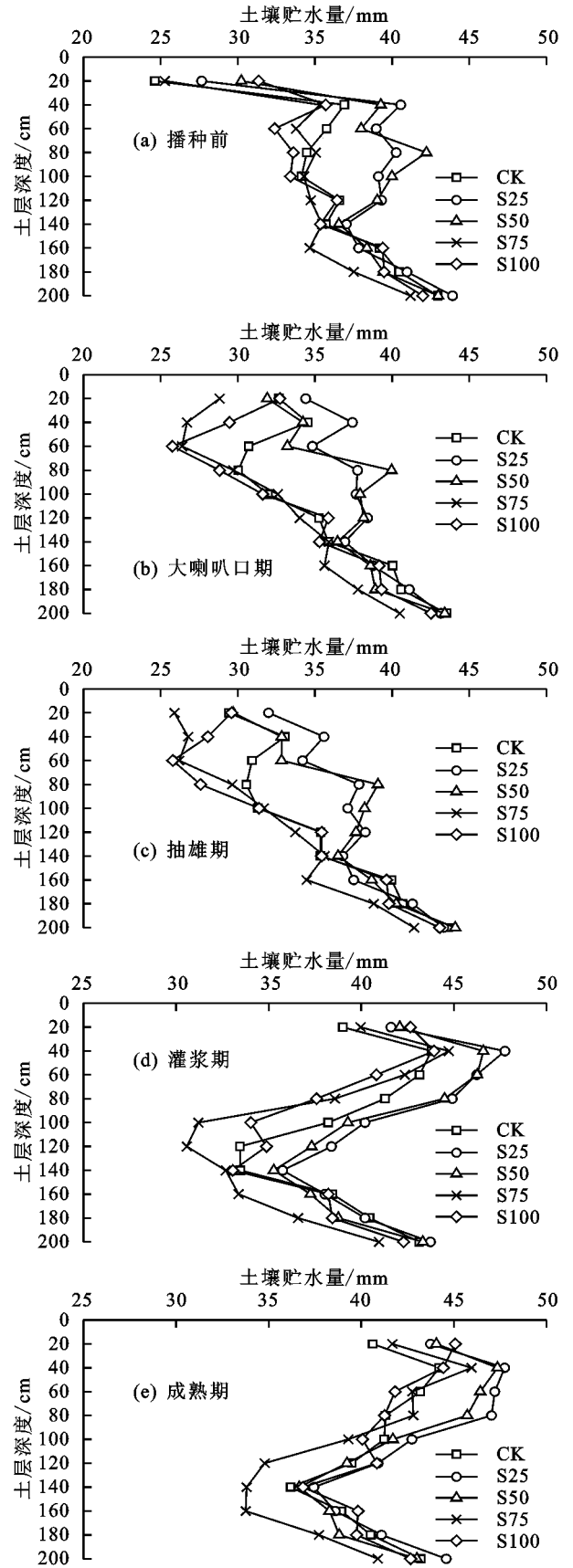


图 3 2021 年玉米各生育期土壤水分垂直动态

2.4 土壤养分

2020 年试验中, 各秸秆替代处理组的土壤有机质含量较 CK 无显著差异, 但在一定程上各秸秆替代处理组的土壤有机质含量较 CK 有增加的趋势,

其中 S50 处理的土壤有机质含量最大。但 2021 年试验中,与 CK 相比,S25、S50、S75、S100 的土壤有机质含量分别显著增加了 27.40%,38.13%,36.30%,22.60%,S50 的土壤有机质含量最大(图 4)。可见,有机肥替代化肥较单施化肥可以提高土壤有机质含量,其中 S50 处理的效果最好。

表 3 土壤耗水 and 水分利用效率

处理	土壤耗水量(E_T)/mm		水分利用效率(WUE)/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)	
	2020 年	2021 年	2020 年	2021 年
CK	412.84±23.47a	397.82±2.96ab	26.61±1.13a	30.21±1.13a
S25	424.89±15.33a	400.49±11.97ab	27.10±0.54a	29.47±2.54a
S50	411.67±7.52a	410.81±9.50a	27.61±1.06a	28.59±1.22a
S75	423.11±17.95a	399.77±0.93ab	27.62±0.79a	30.36±3.79a
S100	424.04±11.09a	392.45±8.86b	27.11±0.82a	27.63±0.63a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($p<0.05$)。

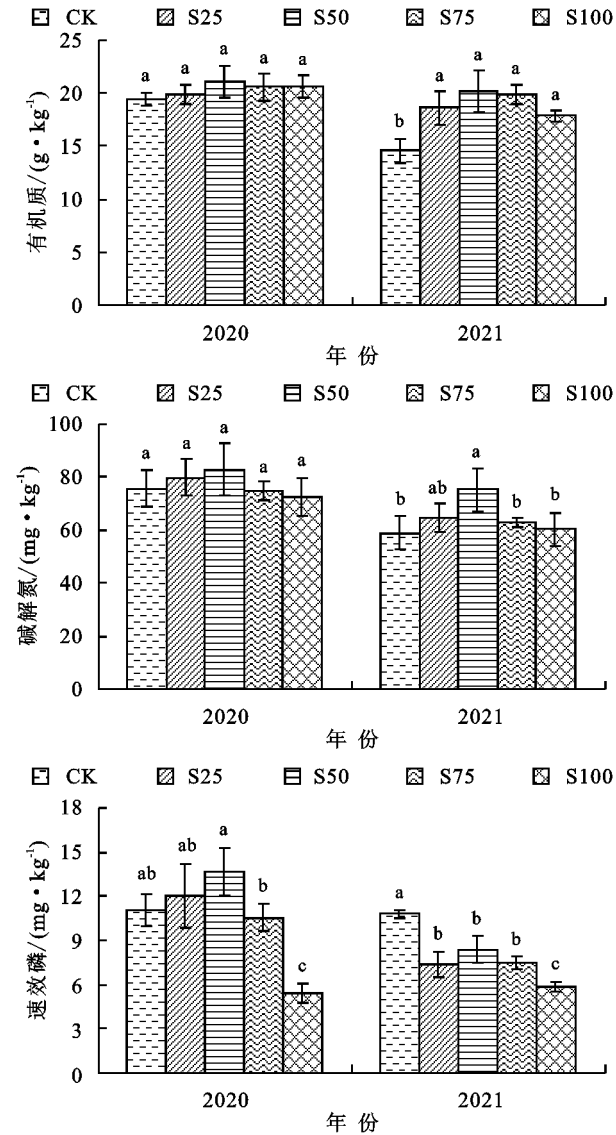


图 4 土壤养分变化

与 CK 相比,各处理组土壤碱解氮含量在 2020 年无显著差异,S50 的土壤碱解氮含量最大。2021 年试验中,与 CK 相比,S50 的土壤碱解氮含量显著增加了 27.74%,S25、S75、S100 的土壤碱解氮与 CK 相比无显著差异。在秸秆各替代处理组中,S50 处理有利于土壤碱解氮含量的增加。

2020 年试验中,与 CK 相比,S100 处理土壤速效磷含量显著降低了 50.75%,S25、S50、S75 与 CK 相比无显著差异。2021 年试验中,与 CK 相比,S25、S50、S75、S100 处理土壤速效磷含量分别显著降低了 31.48%,22.22%,30.56%,45.68%,其中 S50 处理降低的最少。

2.5 单株干物质积累量

2020 年试验中,在玉米大喇叭口期、抽雄期、灌浆期和成熟期,秸秆替代化肥处理的玉米单株干物质积累量与 CK 相比均无显著差异。但 2021 年试验中,在玉米大喇叭口期 S25 处理的玉米单株干物质积累量与 CK 相比显著减少了 16.05%;在玉米抽雄期、灌浆期和成熟期这 3 个生育时期,S50 处理的玉米单株干物质积累量最多,与 CK 相比分别增加 22.39%,34.06%,12.58%;在玉米灌浆期和成熟期这两个生育时期,S75 处理的玉米单株干物质积累量,与 CK 相比分别增加了 22.49%,12.11%(图 5)。大体上,玉米单株干物质积累量随秸秆替代化肥比例的增加先增加后减少。

3 讨论

已有研究^[17]表明,秸秆还田对土壤水分的影响具有双重性,生育前期秸秆腐解消耗水分,与作物争夺水分,生育后期对土壤水分具有积极作用。本试验中,总体上来看,低比例(S25、S50)秸秆替代化肥 0—80 cm 土层土壤贮水量高于高比例(S75、S100)秸秆替代化肥。可能是因为秸秆还田量越少,秸秆腐解率越高^[18],并且尿素可以促进玉米秸秆的腐解^[19],低比例的秸秆腐解速度较快,在生育期消耗的水分相对于高比例的秸秆少,从而使 0—80 cm 土层土壤贮水量增加。此外,秸秆替代比例越多,翻耕时秸秆所占体积越大,不利于土壤保水。

在 2021 年试验的大喇叭口期和抽雄期 S25 和 S50 的 0—80 cm 土层土壤贮水量显著大于 CK,说明

S25 和 S50 可以提高 0—80 cm 土层土壤贮水量; 而到灌浆期和成熟期时, 各处理组的 0—80 cm 土层土壤贮水量无显著差异, 可能是因为随着秸秆腐解过程结束, 秸秆还田改善了土壤物理状况, 增强土壤蓄水保水能力^[20], 而使得 S25、S50 与 S75、S100 差异不显著, 此外也可能是因为雨水的补充而使各处理组 0—80 cm 土层土壤贮水量无显著差异^[21]。灌浆期土壤贮水量最大, 这对于玉米灌浆非常重要。

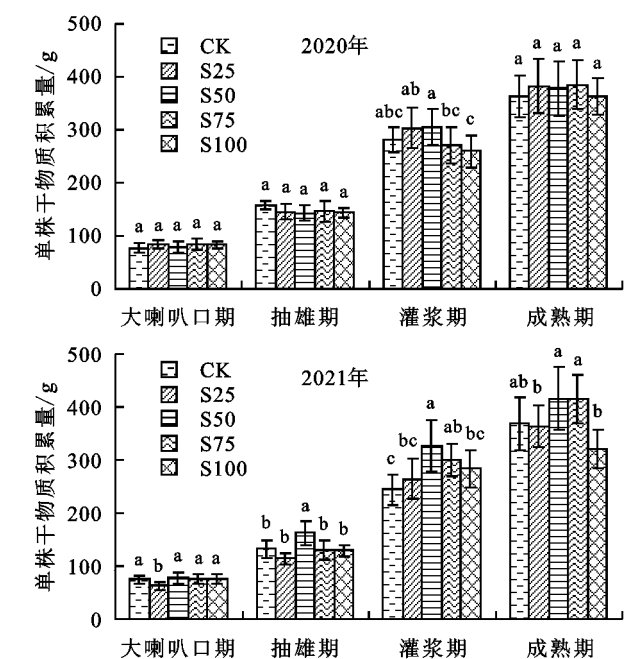


图 5 玉米各生育期干物质积累量

秸秆还田对土壤水分的影响可达 2 m^[22], 在玉米各生育时期, 大体上, 0—200 cm 各土层土壤贮水量的大小为 S25 和 S50 大于 CK, S75 和 S100 小于 CK, 说明适量的秸秆替代化肥有利于土壤蓄水保墒, 并不是秸秆还田量越多越好。在播种前、喇叭口期和抽雄期, 100—200 cm 土层土壤贮水量随生育时期无明显变化, 在灌浆期和成熟期, 100—200 cm 土层土壤贮水量随生育时期也无明显变化, 但是在抽雄期到灌浆期 100—200 cm 土层土壤贮水量随生育时期变化明显, 可能是因为这个时期降雨和灌水量比较多。

秸秆配方能有效提高春玉米的土壤水分利用效率^[15]。在本试验中, 与单施化肥相比, 秸秆替代化肥的土壤耗水量和水分利用效率均无显著差异。这与张哲等^[23]研究认为, 秸秆还田量越多作物水分利用效率越高的结论不一致, 可能是因为秸秆还田量和氮素水平不一致^[24]; 也可能与秸秆还田配施氮肥影响作物根系形态有关^[8]。试验年限也会影响试验结果, 仍需要进一步深入研究。

本试验中, 与单施化肥相比, 秸秆替代化肥处理提高了土壤有机质含量, 其中 S50 的土壤有机质含量

最大。这可能是因为秸秆替代化肥处理与单施化肥相比较, 可以调节土壤的 C/N, 有利于土壤微生物的生长, 促进微生物对秸秆的分解释放有机态养分, 进而提高了土壤有机质含量; 另一方面, 秸秆替代化肥比例过高, 使土壤 C/N 比过高而不利于微生物生长, 进而使有机质的增量较少^[25]。与单施化肥相比, S50 处理显著提高了土壤碱解氮含量。一方面, 可能与秸秆吸附作用保留氮素, 减少氮素损失有关^[26]; 另一方面, 秸秆含碳量大, 增加土壤氮素的矿化, 使土壤碱解氮含量增加, 也可能与根系对碱解氮的吸收有关。与单施化肥相比, 秸秆替代化肥处理显著降低了土壤速效磷含量, 其中 S100 降低最多。这可能是因为 S100 的施肥处理没有投入化肥磷, 而使速效磷含量最低。

秸秆施用数量和氮肥用量都与玉米的长势存在很大关系^[27]。本试验中, S50 处理的单株干物质积累量在抽雄期、灌浆期和成熟期大于 CK, S75 处理的单株干物质积累量在灌浆期和成熟期大于 CK, 说明 S50 和 S75 处理有利于玉米单株干物质积累量增加。

综上所述, 对 2 年各生育时期测定的土壤水分、养分和干物质积累量结果分析发现, 各秸秆替代化肥处理组中, S50 处理效果最好。

4 结论

本试验中, 与单施化肥相比, 秸秆等氮量替代化肥可以显著增加玉米单株干物质积累量, 其中秸秆替代 50% 化肥的干物质积累量最大; 大体上, 低比例秸秆替代 (S25 和 S50) 的 0—80 cm 土层土壤贮水量有大于高比例秸秆替代 (S75 和 S100) 的趋势; 秸秆替代化肥与单施化肥相比, 对 0—200 cm 各土层土壤贮水量随土层深度的变化趋势影响不大, 但是整体上 S25、S50 大于 CK, S75、S100 小于 CK; 与 CK 相比各处理组的土壤耗水量和水分利用效率无显著差异; 各秸秆替代化肥处理较 CK 显著增加了土壤有机质含量, 显著降低了土壤速效磷含量, 在各秸秆替代化肥处理中, S50 的土壤有机质和速效磷含量最大, S50 较 CK 显著增加了土壤碱解含量。从保障土壤水分、秸秆干物质积累量和收获后土壤养分的角度考虑, S50 是本试验条件下最有潜力的秸秆等氮量替代化肥方式。

参考文献:

- [1] 张祖光, 郝卫平, 李昊儒, 等. 山西省春玉米生育期干旱特征分析[J]. 中国农业气象, 2015, 36(6): 754-761.
- [2] 闫洪亮, 李盖. 干旱半干旱地区秸秆还田研究进展[J]. 现代农业, 2015(6): 31-32.
- [3] 舒方瑜, 董勤各, 冯浩, 等. 不同有机物料对黄土高原治沟造地土壤水分运移的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36

- (1):74-79.
- [4] 孙媛,任广鑫,冯永忠,等.秸秆还田和施氮对土壤水热因子及呼吸速率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(3):146-152.
- [5] 马晓丽,贾志宽,肖恩时,等.渭北旱塬秸秆还田对土壤水分及作物水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):59-64.
- [6] 吴鹏年,王艳丽,李培富,等.滴灌条件下秸秆还田配施氮肥对宁夏扬黄灌区春玉米产量和土壤理化性质的影响[J].应用生态学报,2019,30(12):4177-4185.
- [7] 郑欣荣,王利书,齐鸣,等.秸秆还田下灌水量对土壤水分运移特性研究[J].节水灌溉,2018(11):20-23,28.
- [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] Zhang P, Chen X L, Wei T, et al. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China [J]. Soil and Tillage Research,2016,160:65-72.
- [10] Wang X J, Jia Z K, Liang L Y, et al. Changes in soil characteristics and maize yield under straw returning system in dryland farming [J].Field Crops Research, 2018,218:11-17.
- [11] 宋大利,侯胜鹏,王秀斌,等.中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J].植物营养与肥料学报,2018,24(1):1-21.
- [12] 李涛,何春娥,葛晓颖,等.秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(12):1633-1642.
- [13] 张丽华,徐晨,于江,等.半湿润区秸秆还田对土壤水分、温度及玉米产量的影响[J].水土保持学报,2021,35(4):299-306.
- [14] 余坤,冯浩,李正鹏,等.秸秆还田对农田土壤水分与冬小麦耗水特征的影响[J].农业机械学报,2014,45(10):116-123.
- [15] 王珍,冯浩,吴普特,等.土壤扩蓄增容肥对春玉米产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2009,25(11):114-119.
- [16] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版,2000.
- [17] 牛芬菊,张雷,李小燕,等.旱地全膜双垄沟播玉米秸秆还田对玉米生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(3):161-165,188.
- [18] 王汉朋,景殿玺,周如军,等.玉米秸秆还田量对土壤性质、秸秆腐解及玉米纹枯病的影响[J].玉米科学,2018,26(6):160-164,169.
- [19] 曹莹菲,张红,赵聪,等.秸秆腐解过程中结构的变化特征[J].农业环境科学学报,2016,35(5):976-984.
- [20] 高飞,崔增团,孙淑梅,等.甘肃中东部旱区秸秆还田量对土壤水分、玉米生物性状及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):74-78.
- [21] 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[J].土壤,2020,52(3):470-475.
- [22] 张忠学,温金祥,吴文良.华北平原冬小麦夏玉米不同培肥措施的节水增产效应研究[J].应用生态学报,2000,11(2):219-222.
- [23] 张哲,孙占祥,张燕卿,等.秸秆还田与氮肥配施对春玉米产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(3):144-152.
- [24] 李荣,侯贤清,吴鹏年,等.秸秆还田配施氮肥对土壤性状与水分利用效率的影响[J].农业机械学报,2019,50(8):289-298.
- [25] 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):4446-4456.
- [26] Yang H S, Yang B, Dai Y J, et al. Soil nitrogen retention is increased by ditch-buried straw return in a rice-wheat rotation system [J].European Journal of Agronomy,2015,69:52-58.
- [27] 朱风云.秸秆还田与氮肥配施对春玉米产量及水分利用效率的影响[J].江西农业,2019(12):35.