



秸秆覆盖对广西甘蔗地土壤水分变化的影响

甘磊^{1,2}, 邓婉珍², 陶涣壮², 李帅², 陈廷速³, 张建兵^{4*}

(¹桂林理工大学/广西岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心, 广西桂林 541004; ²桂林理工大学/广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 广西桂林 541004; ³广西农业科学院微生物研究所, 南宁 530007; ⁴南宁师范大学/北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001)

摘要:【目的】研究秸秆覆盖对广西甘蔗地不同土层深度土壤水分时空连续变化的影响,以探求优化广西甘蔗种植中土壤水分状况的有效途径。【方法】甘蔗试验田设无秸秆覆盖(T0)和秸秆覆盖(TS)2个处理,常规耕作,并对试验区的降水量及试验田0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层的土壤含水量进行连续动态监测,对比分析不同处理甘蔗地的土壤理化性质及土壤水分变化特征。【结果】秸秆覆盖可改善甘蔗地的土壤环境,提高土壤有机质含量,TS处理0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层的土壤有机质含量较T0处理分别显著增加42.8%、29.1%和45.4% ($P < 0.05$,下同);秸秆覆盖同时可提高甘蔗地土壤的蓄水保墒能力,使土壤含水量显著增加,TS处理0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层的土壤含水量较T0处理分别显著增加10.5%、16.0%和11.5%。在干旱缺水条件下,与T0处理相比,TS处理提高了0~50 cm土层土壤水分的向上供给,水分运动更活跃。【结论】在广西甘蔗种植中进行秸秆覆盖可增加土壤有机质含量、降低土壤蒸散发,从而改善土壤水分条件和土壤环境,为甘蔗根系生长提供良好的土壤环境,值得在广西蔗区推广。

关键词: 秸秆覆盖; 甘蔗地; 土壤含水量; 水通量; 广西

中图分类号: S152.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2021)09-2438-09

Effects of straw mulching on the change of soil moisture in sugarcane field of Guangxi

GAN Lei^{1,2}, DENG Wan-zhen², TAO Huan-zhuang², LI Shuai²,
CHEN Ting-su³, ZHANG Jian-bing^{4*}

(¹Guilin University of Technology/Guangxi Collaborative Innovation Center for Water Pollution Control and Safety in Karst Area, Guilin, Guangxi 541004, China; ²Guilin University of Technology/Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology, Guilin, Guangxi 541004, China; ³Microbiology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; ⁴Nanning Normal University/Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, Nanning 530001, China)

Abstract:【Objective】The effects of straw mulching on the spatiotemporal change of soil water in different depths of sugarcane field in Guangxi were studied to find an effective way to optimize the soil water condition in sugarcane field in Guangxi. 【Method】The experiment was conducted in a sugarcane field in Guangxi with two treatments: no straw mulching (T0) and straw mulching (TS). Rainfall data during the experiment period as well as the soil water content at 0-10 cm, 10-30 cm, and 30-50 cm depth of the fields were collected through continuous dynamic monitoring to analyze the change of soil moisture and the soil physical and chemical properties under different conditions. 【Result】Straw mulching could improve the soil environment of sugarcane field and improve the soil organic matter content. The organic matter content in TS in 0-10 cm, 10-30 cm, and 30-50 cm depths significantly increased by 42.8%, 29.1% and 45.4%, respectively compared with T0 ($P < 0.05$, the same below). Meanwhile, straw mulching could improve the water retention ability of sugar-

收稿日期: 2020-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(42067002, 41761048); 广西自然科学基金项目(2016GXNSFAA380197, 2019GXNSFDA245013)

通讯作者: 张建兵(1984-), <https://orcid.org/0000-0001-5839-2877>, 博士, 副研究员, 主要从事水土过程及其生态环境效应研究工作, E-mail: zjb1166@163.com

第一作者: 甘磊(1983-), <https://orcid.org/0000-0001-8871-9834>, 博士, 副教授, 主要从事土壤结构及土壤水热耦合运移研究工作, E-mail: allen_gl2006@163.com

cane soil and significantly enhance the soil moisture content. The soil water content under TS treatment was significantly increased by 10.5%, 16.0% and 11.5%, respectively in 0-10 cm, 10-30 cm and 30-50 cm depths. Compared with T0 treatment, TS treatment increased the soil upward water supply of 0-50 cm depth, which resulted into the more activewater movement during the water shortage. 【Conclusion】Straw mulching can reduce soil evapotranspiration and increase soil organic matter content, there by improving soil water conditions and soil environment in sugarcane planting in Guangxi, and provide a good soil environment for sugarcane root growth. It is also suggested that straw mulching is worth popularizing in sugarcane cultivated areas of Guangxi.

Key words: straw mulching; sugarcane field; soil water content; water flux; Guangxi

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(42067002, 41761048); Guangxi Natural Science Foundation(2016GXNSFAA380197, 2019GXNSFDA245013)

0 引言

【研究意义】土壤是作物根系伸展、固持的介质,为作物的生长发育提供必要的水分与养分。在农业生产过程中,土壤含水量对于作物的生长及产量有着十分重要的影响(侯贤清等,2018)。适宜的水分条件可促进作物根系发育,为作物地上部分提供更多养分和水分,进而提高作物产量(谢金兰等,2010),而土壤水分不足则会直接影响作物的生长速度及产量(苏坎坛等,1988)。甘蔗产业是广西农业经济发展的重要产业之一,土壤水分条件对甘蔗产量有重要影响。因降水季节分配不均,广西地区农业用水紧张(陆甲等,2015),加之桂中地区的水源涵养能力低,土壤贫瘠,阻碍了广西甘蔗种植业的发展。因此,研究甘蔗种植中如何减少棵间蒸发,保住有限的土壤水分以供甘蔗生长需要,对广西甘蔗产业的发展具有重要意义。【前人研究进展】合理的覆盖方式有助于改善土壤的理化性质和土壤的水、肥、气、热状况,有利于提高作物水分利用效率,对改善作物的生长环境具有重要意义(Morris et al., 2010; 侯婷等, 2019; 李俊红等, 2021)。Guenet等(2012)研究表明,秸秆覆盖能对土壤产生积极效应,增加土壤的矿质氮、全氮及有机碳含量。地膜覆盖和秸秆覆盖均可起到减少水分蒸发和增温保水的作用(汤璜芳等, 2013; 程宏波等, 2016),秸秆覆盖还能有效提升土壤速效养分和微生物活性(刘艳慧等, 2016)。李昱鹏等(2019)在西北干旱半干旱地区对梨枣地土壤的研究中发现,秸秆与地膜覆盖均能提高桶栽梨枣产量及改善梨枣的果实品质,且秸秆覆盖的作用略优于地膜覆盖;邓浩亮等(2020)研究发现,秸秆覆盖在陇中半干旱区春玉米的全生育期内保水效果显著,而平地全地膜覆盖不利于蓄集雨水,随着春玉米生长中后期耗水的增加,平地全地膜覆盖的土壤含水率低于露地平播;董云云等(2020)在半干旱区对农田土壤水分和大豆产量的研究中发现,地膜和秸

秆覆盖的增产和持水作用显著,但地膜覆盖存在膜布难降解的环境污染风险。可见,作物秸秆覆盖还田,不仅可充当天然有机肥料,提高土壤肥力,还可减少水分蒸发,提高土壤含水量,促进作物对土壤水分的有效利用(张统帅等,2020)。【本研究切入点】目前,国内关于秸秆覆盖对土壤水分方面的研究多为单一时间和空间的土壤水分变化,而针对广西地区甘蔗全生育期内秸秆覆盖对甘蔗地土壤水分时空连续变化特征的研究较少。【拟解决的关键问题】在广西武鸣设无秸秆覆盖处理和秸秆覆盖处理的甘蔗试验田,测定其土壤理化性质,长期连续监测不同土层深度的土壤含水量,分析土壤理化性质变化和水分变化特征,研究秸秆覆盖对甘蔗地不同土层深度土壤水分时空连续变化的影响,以探求优化广西地区甘蔗种植中土壤水分状况的有效途径。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于广西南宁市武鸣区的广西农业科学院里建科学研究基地(东经108°02'、北纬23°14')。试验区地势平坦,土壤母质主要为第四纪红壤土,基部岩层主要为石灰岩;属中亚热带季风气候,夏季炎热多雨,春秋易旱,冬季温暖少雨。武鸣区年平均气温为21.6℃;最热为7月,平均气温为28.6℃;最冷月为1月,平均气温为12.8℃,年平均降水量约1304.2 mm,降水分配不均,多集中在4—9月,占全年总降水量的80%。

1.2 试验方法

试验设2个处理:无秸秆覆盖处理(T0)和秸秆覆盖处理(TS)。试验田常规耕作,耕作深度均为30 cm;2个处理面积均为200.0 m²,长20.0 m、宽10.0 m、行间距离0.9 m。甘蔗品种为桂柳05-136,按常规种植大田模式管理。其中秸秆覆盖处理的覆盖材料为机械粉碎后的甘蔗秸秆,覆盖平均厚度3 cm。每处理开挖3个长、宽、深分别为60、60和50 cm的重复剖

面,分别在0~10 cm、10~30 cm、30~50 cm土层深度处水平安装水分探头(Type ML3, Devices, Cambridge, UK)进行试验田土壤水分的定位动态监测。所有探头连接至数据采集器,水分监测数据每小时自动记录一次。同时,试验区内设Vantage PRO 2型气象站以记录降水量。

试验时间为2017年1月1日—12月31日。试验开始前在0~10 cm、10~30 cm、30~50 cm土层深度处采集环刀原状土壤样品,用于室内基本理化性质分析。参照《土壤物理实验指导》的方法(程东娟和张亚丽,2012),采用吸管法测定原状土壤质地,重铬酸钾法测定土壤有机质,环刀法测定土壤容重,并计算土壤总孔隙度,每个土层的各项指标重复测定5次。

土壤基质势通过压力膜仪测定结合RETC软件拟合,根据 van Genuchten 方程 (Van Genuchten, 1980)计算,计算公式如下:

$$\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \right]^m \quad (1)$$

式中, h 为土壤吸力, θ_s 为饱和含水率, θ_r 为残余含水率, θ 为体积含水率, α 是与进气吸力相关的参数, m 和 n 为形状系数。

参照Gan等(2012)计算0~50 cm土层土壤水通量,计算公式如下:

$$|q| = |\bar{\theta}| \cdot \frac{|VL|}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

式中, $|q|$ 为绝对水通量, $|\bar{\theta}|$ 为两点之间的绝对含水量差($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), $|VL|$ 为两点之间的绝对距离(cm), t_2-t_1 为两次测量之间的时间(s)。土壤水通量方向根据水势判断。

1.3 统计分析

试验数据采用Excel 2016进行整理,以SPSS 25进行统计分析并进行差异显著性检验,采用Origin 2018制图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤基本理化性质的影响

从表1可知,在土壤质地方面,TS与T0处理的砂粒含量均随着土层深度的增加呈先增大后减小的变化趋势,黏粒含量则相反,粉粒含量随着土层深度的增加而增大;在0~10 cm土层中,2种处理的砂粒、粉粒和粘粒含量均差异不显著($P>0.05$,下同);在10~30 cm和30~50 cm土层中,TS处理的砂粒含量显著高于T0处理($P<0.05$,下同),而T0处理30~50 cm土层的粉粒和黏粒含量均显著高于TS处理。2种处理的容重均随着土层深度的增加而增大,总孔隙度和有机质含量随着土层深度的增加而减小,且TS处理0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层的有机质含量均显著高于T0处理,较T0处理分别提高42.8%、29.1%和45.4%。

2.2 不同处理对土壤含水量的影响

图1是不同处理0~50 cm土层的土壤含水量变化情况,图中的断点是因土壤水分探头出现故障,对其进行剔除。由图1可看出,试验期间TS与T0处理各土层土壤含水量与降水量的变化趋势基本一致,土壤含水量随降水量的增大而增大,且TS处理的土壤含水量增幅更大。6月6日,降雨发生(49.0 mm)后,TS与T0处理的各土层土壤含水量分别增加12.0%~22.1%和8.8%~15.0%,TS处理的含水量增幅高出T0处理1.4~1.5倍。在0~10 cm土层中,甘蔗发芽期和幼苗期(2—5月上旬)生理需水不多,TS处理的土壤含水量明显高于T0,但在甘蔗分蘖期、伸长期和成熟期期间(5月中旬—12月),甘蔗生长加快,生理需水增多,土壤水分消耗变大,TS与T0处理的0~10 cm土层土壤含水量差异不明显。在10~30 cm和30~50 cm土层中,整个试验期间均表现出TS处理的土壤含水量高于T0处理。

从表2不同处理土壤含水量的统计值可知,T0

表 1 不同处理的土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties under different treatments

处理 Treatment	土层深度(cm) Soil depth	砂粒(%) Sand	粉粒(%) Silt	黏粒(%) Clay	容重(g/cm^3) Bulk density	总孔隙度(%) Total porosity	有机质(g/kg) Soil organic matter
T0	0~10	40.33±3.01	32.55±1.99b	27.12±3.11	1.42±0.017c	47.01±0.579a	19.24±0.303Ba
	10~30	40.93±2.94B	34.29±0.55ab	24.85±3.36	1.47±0.012b	45.46±0.399b	18.22±0.309Ba
	30~50	36.13±1.41B	36.10±1.24Aa	27.79±0.18A	1.53±0.010a	43.54±0.346c	10.54±0.545Bb
TS	0~10	44.94±1.63ab	30.18±1.77	24.84±2.82	1.39±0.007b	48.06±0.221a	27.48±1.681Aa
	10~30	47.56±1.61Aa	31.99±1.32	20.45±2.47	1.45±0.031b	46.20±1.035a	23.53±0.405Ab
	30~50	41.49±2.35Ab	34.09±1.64B	24.42±1.07B	1.51±0.003a	44.21±0.097b	15.32±0.644Ac

同列数据后不同大写字母表示同一土层深度不同处理间差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示同一处理不同土层深度间差异显著($P<0.05$)。表2同

Different uppercase letters in the same column represented significant difference at the same depth under different treatments($P<0.05$), and lowercase letters represented significant difference under the same depth in different treatments($P<0.05$). The same was applied in Table 2

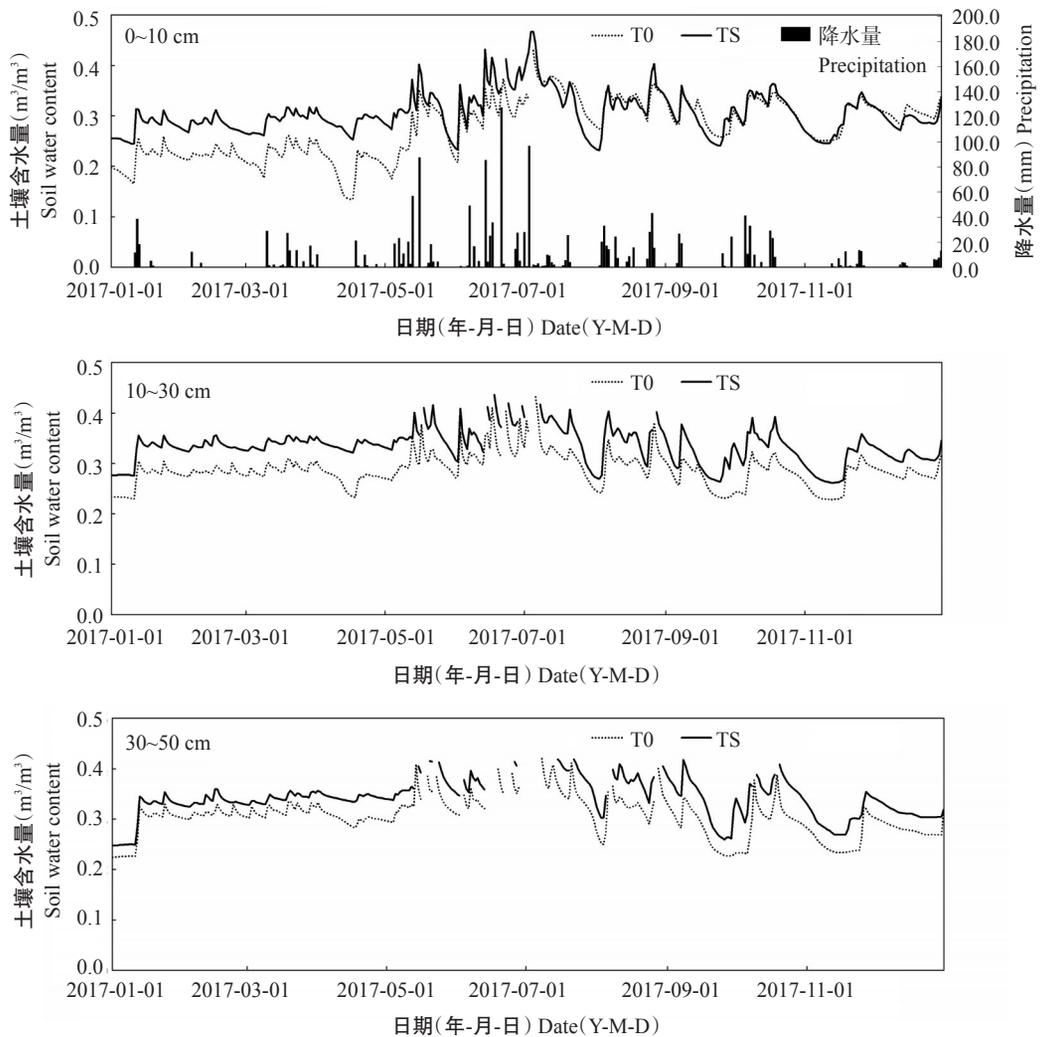


图 1 不同处理的土壤含水量变化

Fig.1 Changes of soil water content under different treatments

表 2 不同处理的土壤含水量统计值

Table 2 Statistical value of soil moisture content under different treatments

处理 Treatment	土层深度(cm) Soil depth	平均值($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) The average value	标准差($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
T0	0~10	0.277Bc	0.056	0.202
	10~30	0.288Bb	0.033	0.115
	30~50	0.305Ba	0.040	0.131
TS	0~10	0.306Ac	0.040	0.131
	10~30	0.334Ab	0.033	0.099
	30~50	0.340Aa	0.037	0.109

和TS处理30~50 cm土层的平均土壤含水量均最高, 10~30 cm土层次之, 0~10 cm土层最低, 而含水量变化幅度则是0~10 cm土层最大, 30~50 cm土层次之, 10~30 cm土层最小; 各土层TS处理的含水量变化幅度均小于T0处理; TS处理0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层的土壤平均含水量均显著高于T0处理, 较T0处理分别增加10.5%、16.0%和11.5%。

2.3 不同处理对土壤水势的影响

结合图1和图2可看出, 不同处理下的土壤水势变化趋势与土壤含水量变化趋势基本一致。在0~

10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层中, TS与T0处理的土壤水势变化趋势基本一致, 但T0处理的土壤水势波动幅度相对较大。在0~10 cm土层中, 发芽期和幼苗期期间TS处理的土壤水势明显高于T0处理, 而分蘖期、伸长期和成熟期期间TS处理的土壤水势仅略高于T0处理, 其中降雨缺乏期(4月)T0处理的土壤水势下降变幅明显大于TS处理; 在10~30 cm和30~50 cm土层中, 整个试验期间TS处理的土壤水势高于T0处理, 且T0处理的土壤水势下降变幅大于TS处理, 在伸长期和成熟期期间无降雨的情况下尤为明

显。在T0处理条件下,甘蔗发芽期和幼苗期0~10 cm土层的土壤水势明显低于10~30 cm和30~50 cm土层,分蘖期、伸长期和成熟期0~10 cm和30~50 cm土层土壤水势无明显差别;在TS处理条件下,0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层的土壤水势整体无明显差异。

2.4 不同处理对土壤水通量的影响

图3为不同处理0~50 cm土层的土壤水通量变化情况,土壤水通量值大于零表示土壤水分运动方向向上,土壤水通量值小于零表示土壤水分运动方向向下。从图3可看出,在甘蔗发芽期和幼苗期(1—5月),TS处理向上的水通量值明显小于T0处理,且TS处理的土壤含水量高于T0处理,TS与T0处理的土壤水通量值大部分为正值,甘蔗地土壤水分处于消耗过程中。在甘蔗分蘖期和伸长期前期(5—7月),

T0处理的向下土壤水通量值波动幅度大于TS处理。在甘蔗伸长期的中后期(8—10月),TS处理的土壤水通量上下波动幅度大于T0处理。在甘蔗成熟期(11—12月),TS与T0处理的土壤水通量上下波动幅度小,土壤水分运动平缓。

土壤水通量受降雨影响,在高温多雨(6月13—16日,降雨量150.2 mm)的情况下,2种处理的土壤水通量方向向下且波动幅度较大;在高温无雨(9月13—20日)的情况下,2种处理的土壤水通量波动幅度较小,但TS处理的土壤水通量方向向上,土壤水分向上运动,T0处理的土壤水通量方向向下,水分运动方向相反。

3 讨论

土壤水分是土壤中能量与物质交换循环的重

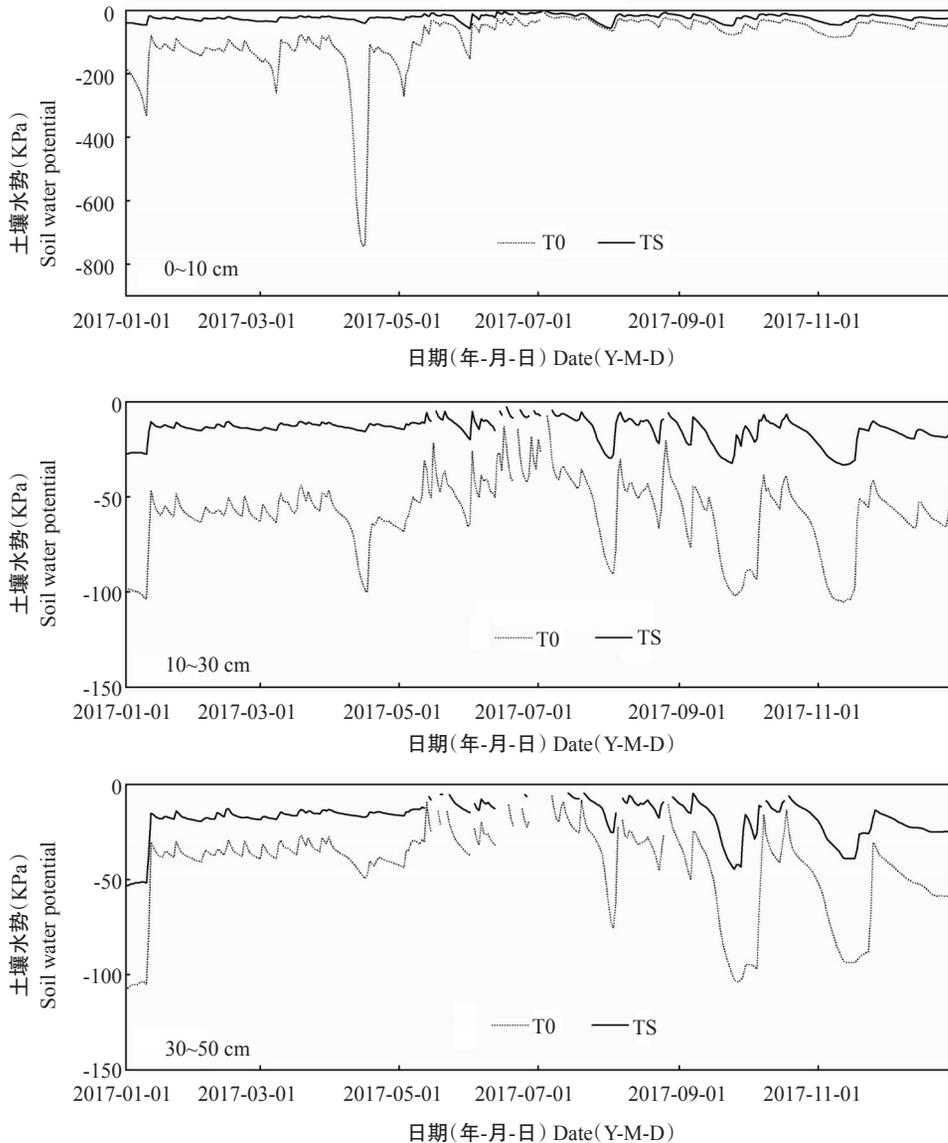


图 2 不同处理的土壤水势变化
Fig.2 Changes of soil water potential under different treatments

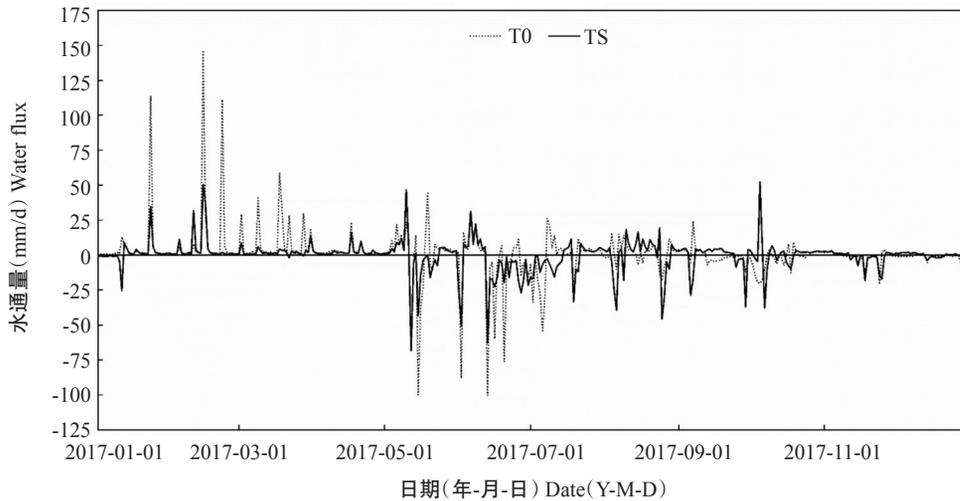


图3 不同处理的土壤水通量变化

Fig.3 Changes of soil water flux under different treatments

要载体,也是联系土壤—植被—大气系统的重要影响因子,对土壤性质、植物生长及区域生态系统均有重要影响(Qiu et al., 2011)。土壤含水量特征及其垂直分布受降雨情况影响较强烈,且在0~10 cm土层中的土壤含水量对降雨脉冲响应最剧烈(陈敏玲等, 2016)。本研究结果表明,土壤含水量随着降雨的变化而变化,在甘蔗发芽期和幼苗期,降雨较少且强度较小,T0与TS处理的土壤含水量波动幅度较小,其中0~10 cm土层中的土壤含水量波动幅度大于10~30 cm和30~50 cm土层;在分蘖期和伸长期,降雨较多且强度较大,T0与TS处理的土壤含水量波动幅度大。冯永建等(2010)研究表明,降雨量是影响土壤水势变化的主要因素,与本研究中土壤水势随降雨量变化产生明显波动的结果一致,当降雨量增大时,土壤水势也随之增大。在有较多降雨补充时,TS与T0处理的土壤水通量方向向下,说明此时的土壤水分可满足甘蔗的生长需求、叶片蒸腾及土壤蒸发损耗。而在无降雨补充的时候,TS与T0处理的土壤水通量方向基本向上,说明该情况下广西地区甘蔗种植中土壤水分整体向上运动,水分处于消耗过程,需在甘蔗地实施一定的灌溉,以弥补水分的消耗,保持土壤水分。苏坎坛等(1988)发现甘蔗早灌溉能获得更多的生长量,利于积累糖分,提高含糖量。Gan等(2018)研究表明CHL(Clock Hand Lateral)灌溉系统具有水利用效率高、适用性强且价格低廉的优点,适合用于广西甘蔗旱地种植中。在0~50 cm土层中,T0处理的土壤含水量低于TS处理,则T0处理条件下可能需要更多的灌溉水,而TS处理所需灌溉水可能更少,进而达到节水效果。

李艳等(2015)研究表明,秸秆覆盖会明显降低

土壤的蒸散发,减少土壤水分的无效损耗,进而发挥蓄水保墒作用。Chang等(2019)也发现秸秆覆盖能显著提高土壤含水量并降低地温,促进作物生长发育。本研究中,在0~10 cm、10~30 cm和30~50 cm土层中,TS处理的土壤含水量显著高于T0处理,分别较T0处理增加10.5%、16.0%和11.5%,为甘蔗生长发育提供了相对充足的水分条件,说明在广西地区甘蔗种植中秸秆覆盖处理增强了雨水入渗能力,改善了土壤的持水能力,进而增强土壤的保水效果。秸秆覆盖可阻碍土壤空气与大气的交换,降低覆盖区潜热通量输运率,显著减少水分蒸发量,且覆盖层能减少雨滴溅蚀表层土壤,利用降水积蓄下渗(林超文等, 2010; Behzadnejad et al., 2020)。另外,土壤水分状况同时受降雨、蒸发、覆盖、植物根系等外部因素的影响(刘继龙等, 2019)。深层土壤不与大气相接触,受太阳辐射等外界因素影响较小,土壤水分蒸发强度随土层深度的增加而减弱(张明忠等, 2007),从而使下层的土壤水分得到保持,因此土壤含水量表现为土层越深含水量越大。2017年4月降雨量少,为干旱期,T0处理的0~10 cm土层土壤水势下降变幅远大于TS处理,说明秸秆覆盖对于干旱条件下的土壤具有较好的保墒效果,与吴庆华等(2009)关于秸秆覆盖对土壤水动态影响的研究结果一致。在甘蔗分蘖期和伸长前期,T0处理的向下土壤水通量值下降更多,可能是因为之前干旱少雨的情况下,T0处理的土壤蒸发更多,土壤含水量更低。在甘蔗伸长中后期,一方面TS处理的向上土壤水通量大于T0处理,说明秸秆覆盖处理供甘蔗生长水分更多;另一方面TS处理的向下土壤水通量大于T0处理,说明秸秆覆盖处理利于水分入渗保持。而TS处理的土壤水通

量波动幅度略大于T0处理,说明TS处理的土壤水分运动较活跃,即秸秆覆盖在广西甘蔗种植中水分运移通畅,流通性好,可为甘蔗生长和水分保持提供更好的土壤环境。这很可能是因为进行秸秆覆盖后能促进土壤团聚体形成,增加土壤团聚体含量(张志毅等,2020),提高团聚体比例,增强土壤团聚性(Fu et al.,2020),且能在一定程度上提高土壤孔隙度,逐渐改善耕层土壤连通性,有利于土壤水分上下运动(Tao et al.,2015;Yan et al.,2018)。甘蔗在伸长期以后,根系主要集中在20~30 cm土层中,主要吸收20~30 cm土层的水分(吴炫柯等,2013),在干旱缺水(9月13—20日)条件下,T0处理0~50 cm土层的土壤水通量向下,而TS处理的土壤水分向上运动,表明在干旱条件下,T0处理的深层土壤含水量低,深层土壤水分无法向上供给,而进行秸秆覆盖处理后,可更好地调动下层水分向上供给,以供甘蔗生长发育利用,从而说明秸秆覆盖处理可改善深层土壤调蓄水分的能力,促进土壤水分的有效利用。

农业生产过程是一个能量转换的过程,农作物在生长发育过程中需不断消耗能量。因此,在农作物生长过程中需改良土壤结构,不断调节土壤的水肥含量,不断补充能量,以供作物生长吸收和利用。鲁天平(2015)研究发现,深沟秸秆覆盖可使土壤孔隙度提高11.2%~20.0%,改良土壤结构,促进植物生长。本研究发现,秸秆覆盖降低了各土层的土壤平均容重,提高了土壤总孔隙度,说明在广西甘蔗种植中秸秆覆盖有助于改良土壤物理性状,增强土壤的持水性能,促进根系对土壤水分的吸收,利于根系的发育。秸秆覆盖还可增加土壤的有机质和养分含量,培肥地力。潘雅文等(2016)在陕西的长期定位试验中研究发现,持续秸秆覆盖还田可有效增加耕层土壤有机质、全氮和速效磷含量。本研究同样发现,粉碎的秸秆经过一段时间腐蚀降解作用后,转化为有机质和速效养分,与无秸秆覆盖处理相比,秸秆覆盖处理显著增加土壤有机质含量,进而改善了土壤化学性状。同时,土壤肥力增加有助于提高土壤孔隙连通性,促进作物根系生长,以更好地吸收深层土壤水分(Naveed et al.,2014)。

前人研究表明,深松施肥(马阳等,2019)、粉垄(陈晓冰等,2019)、垄作覆膜(赵凯超等,2019)在改良土壤结构、提高土壤含水量、促进作物生长及增产等方面效果明显,秸秆覆盖(梅四卫等,2020)也可提高土壤养分和水分利用效率,增加玉米产量。在水土保持方面,秸秆覆盖能显著减少飞溅侵蚀,减少水土流失,加强土壤团聚性(Gholami et al.,2013)。本

研究表明,在广西甘蔗种植中,通过秸秆覆盖提高了甘蔗地0~50 cm土层中的土壤含水量和有机质含量,并降低了土壤容重。因此,秸秆覆盖可较好地改善土壤理化性质,进而增强土壤蓄水能力,同时能较好的调动下层土壤水分运动,有助于提高甘蔗对土壤水分的有效利用率,为甘蔗生长提供更好的土壤环境。

4 结论

广西地区甘蔗种植时进行秸秆覆盖可改善土壤的理化性质及土壤水分条件。秸秆覆盖后土壤有机质明显增加,土壤总孔隙度也略微增加,有利于降水入渗,减少土壤水分的无效散发,增强对深层土壤水分的调蓄能力,增加甘蔗全生育期0~50 cm土层的土壤含水量,提高土壤的蓄水保墒能力,进而为甘蔗生长提供相对充足的水分条件,为甘蔗根系生长提供良好的土壤环境,值得在广西蔗区推广。

参考文献:

- 陈敏玲,张兵伟,任婷婷,王姗姗,陈世莘. 2016. 内蒙古半干旱草原土壤水分对降水格局变化的响应[J]. 植物生态学报,40(7):658-668. [Chen M L, Zhang B W, Ren T T, Wang S S, Chen S P. 2016. Responses of soil moisture to precipitation pattern change in semiarid grasslands in Nei Mongol, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 40(7):658-668.] doi:10.17521/cjpe.2015.0155.
- 陈晓冰,朱彦光,李帅,韦灵,陈廷速,甘磊. 2019. 不同耕作和覆盖方式对广西地区甘蔗地土壤水热状况的影响[J]. 西南农业学报,32(8):1751-1758. [Chen X B, Zhu Y G, Li S, Wei L, Chen T S, Gan L. 2019. Changes of soil hydro-thermal properties of sugarcane field under different tillage and mulching methods in Guangxi[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 32(8):1751-1758.] doi:10.16213/j.cnki.scjas.2019.8.011.
- 程东娟,张亚丽. 2012. 土壤物理实验指导[M]. 北京:水利水电出版社. [Cheng D J, Zhang Y L. 2012. Soil physics experiment guidance[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press.]
- 程宏波,牛建彪,柴守玺,常磊,杨长刚. 2016. 不同覆盖材料和方式对旱地春小麦产量及土壤水温环境的影响[J]. 草业学报,25(2):47-57. [Cheng H B, Niu J B, Chai S X, Chang L, Yang C G. 2016. Effects of different mulching materials and methods on soil moisture and temperature and grain yield of dryland spring wheat in northwestern China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 25(2):47-57.] doi:10.11686/cyxb2015395.
- 邓浩亮,张恒嘉,肖让,张永玲,田建良,李福强,王玉才,周宏,李焯. 2020. 陇中半干旱区不同覆盖种植方式对土壤水热效应和玉米产量的影响[J]. 中国农业科学,53(2):273-287. [Deng H L, Zhang H J, Xiao R, Zhang Y L, Tian J L, Li F Q, Wang Y C, Zhou H, Li X. 2020. Effects of different covering planting patterns on soil moisture, temperature characteristics and maize yield in semi-arid region of the Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 53(2):273-287.] doi:10.3864/j.issn.0578-1752.

- 2020.02.005.
- 董云云,王飞,韩剑桥,蓝郭华,丁文斌. 2020. 地膜和秸秆覆盖对旱地农田土壤水分和大豆产量的影响[J]. 水土保持研究, 27(3): 364-371. [Dong Y Y, Wang F, Han J Q, Lan G H, Ding W B. 2020. Effects of plastic film and straw mulching on soil moisture and soybean yield in dryland farmland[J]. Research of Soil and Water Conservation, 27(3): 364-371.] doi: 10.13869/j.cnki.rswc.2020.03.052.
- 冯永建,马长明,王彦辉,杜阿朋. 2010. 华北落叶松人工林蒸腾特征及其与土壤水势的关系[J]. 中国水土保持科学, 8(1): 93-98. [Feng Y J, Ma C M, Wang Y H, Du A P. 2010. Relationship between the characteristics of transpiration of *Larix principis-rupprechtii* forest and soil water potential[J]. Science of Soil and Water Conservation, 8(1): 93-98.] doi: 10.3969/j.issn.1672-3007.2010.01.017.
- 侯婷,闫鹏科,庞群虎,马婷慧,齐雁冰,王锐. 2019. 行内覆盖对果园土壤特性及酿酒葡萄产量和品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 53(6): 869-875. [Hou T, Yan P K, Pang Q H, Ma T H, Qi Y B, Wang R. 2019. Effects of intra-row coverage on orchard soil features and wine grape yield and quality[J]. Journal of Henan Agricultural University, 53(6): 869-875.] doi: 10.16445/j.cnki.1000-2340.20191121.006.
- 侯贤清,吴鹏年,王艳丽,李培富,王西娜,李荣. 2018. 秸秆还田配施氮肥对土壤水肥状况和玉米产量的影响[J]. 应用生态学报, 29(6): 1928-1934. [Hou X Q, Wu P N, Wang Y L, Li P F, Wang X N, Li R. 2018. Effects of returning straw with nitrogen application on soil water and nutrient status, and yield of maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 29(6): 1928-1934.] doi: 10.13287/j.1001-9332.201806.023.
- 李俊红,丁志强,李舞,张洁,吕军杰,姚宇卿. 2021. 旱作区不同降水年型垄作覆盖下冬小麦土壤水分动态变化研究[J]. 江西农业学报, 33(2): 47-53. [Li J H, Ding Z Q, Li W, Zhang J, Lü J J, Yao Y N. 2021. Study on dynamic change of soil moisture of winter wheat under ridge covering in dry land in different rainfall years[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 33(2): 47-53.] doi: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2021.02.08.
- 李艳,刘海军,黄冠华. 2015. 麦秸覆盖条件下土壤蒸发阻力及蒸发模拟[J]. 农业工程学报, 31(1): 98-106. [Li Y, Liu H J, Huang G H. 2015. Modeling resistance of soil evaporation and soil evaporation under straw mulching[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31(1): 98-106.] doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2015.01.015.
- 李昱鹏,李援农,陈朋朋. 2019. 不同覆盖方式与调亏模式对梨枣产量及品质的影响[J]. 中国农村水利水电, (3): 112-118. [Li Y P, Li Y N, Chen P P. 2019. The effects of different mulching methods and regulated deficit irrigation (RDI) patterns on the yield and quality of Lizeo jujube (*Ziziphus Jujube Mill*) [J]. China Rural Water and Hydropower, (3): 112-118.] doi: 10.3969/j.issn.1007-2284.2019.03.024.
- 林超文,罗春燕,庞良玉,付登伟,黄晶晶,涂仕华,张新全. 2010. 不同覆盖和耕作方式对紫色土坡耕地降雨土壤蓄积量的影响[J]. 水土保持学报, 24(3): 213-216. [Lin C W, Luo C Y, Pang L Y, Fu D W, Huang J J, Tu S H, Zhang X Q. 2010. Influence of mulching and tillage methods on the rainfall storage by soil in purple soil area [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 24(3): 213-216.] doi: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2010.03.038.
- 刘继龙,张舜凯,任高奇,付强,张玲玲,刘璐,李佳文,于凯,徐清. 2019. 降雨对秸秆还田玉米地土壤水分空间变异性的影响[J]. 应用基础与工程科学学报, 27(4): 768-779. [Liu J L, Zhang S K, Ren G Q, Fu Q, Zhang L L, Liu L, Li J W, Yu K, Xu Q. 2019. Influence of rainfall on spatial variability of soil moisture in corn farmland under straw return condition[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 27(4): 768-779.] doi: 10.16058/j.issn.1005-0930.2019.04.006.
- 刘艳慧,王双磊,李金埔,秦都林,张美玲,聂军军,毛丽丽,宋宪亮,孙学振. 2016. 棉花秸秆还田对土壤速效养分及微生物特性的影响[J]. 作物学报, 42(7): 1037-1046. [Liu Y H, Wang S L, Li J P, Qin D L, Zhang M L, Nie J J, Mao L L, Song X L, Sun X Z. 2016. Effects of cotton straw returning on soil available nutrients and microbial characteristics[J]. Acta Agronomica Sinica, 42(7): 1037-1046.] doi: 10.3724/SP.J.1006.2016.01037.
- 鲁天平,史征,刘永萍,田云峰,吴圣华. 2015. 深沟造林条件下秸秆覆盖对土壤养分和盐分变化的影响[J]. 农业工程学报, 31(12): 165-172. [Lu T P, Shi Z, Liu Y P, Tian Y F, Wu S H. 2015. Effect of straw mulching on soil nutrient and salinity changes under condition of deep trench planting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 31(12): 165-172.] doi: 10.11974/nyjys.20180333180.
- 陆甲,廖雪萍,李耀先. 2015. 广西农业旱灾对气温降水的响应特征[J]. 气象研究与应用, 36(2): 66-69. [Lu J, Liao X P, Li Y X. 2015. The characteristics of the agricultural drought response to precipitation and temperature in Guangxi[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 36(2): 66-69.] doi: 10.3969/j.issn.1673-8411.2015.02.015.
- 马阳,吴敏,王艳群,周加森,张世卿,王继唯,彭正萍,郭丽果. 2019. 不同耕作施肥方式对夏玉米氮素利用及土壤容重的影响[J]. 水土保持学报, 33(5): 171-176. [Ma Y, Wu M, Wang Y Q, Zhou J S, Zhang S Q, Wang J W, Peng Z P, Gu L G. 2019. Effects of different tillage and fertilization methods on nitrogen utilization and soil bulk density of summer maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 33(5): 171-176.] doi: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.05.025.
- 梅四卫,朱涵珍,王术,杨习文. 2020. 不同覆盖方式对土壤肥热状况以及玉米产量影响[J]. 灌溉排水学报, 39(4): 68-73. [Mei S W, Zhu H Z, Wang S, Yang X W. 2020. Effects of different mulching methods on soil moisture, nutrient, temperature status and corn yield[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 39(4): 68-73.] doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019190.
- 潘雅文,樊军,郝明德,陈旭. 2016. 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 22(6): 1558-1567. [Pan Y W, Fan J, Hao M D, Chen X. 2016. Effects of long-term tillage and mulching methods on properties of surface soil and maize yield in tableland region of the Loess Plateau[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer Science, 22(6): 1558-1567.] doi: 10.11674/zwyf.15455.
- 苏坎坛,杨焜正,黄绍英,郑芥丹,陈代华. 1988. 土壤水分对甘蔗生理功能、产量和蔗糖份的影响[J]. 福建省农科院学报, 3(1): 23-31. [Su K T, Yang K Z, Huang S Y,

- Zheng J D, Chen D H. 1988. Effects of soil moisture on the physiological function, yield and sugar content of sugarcane[J]. Journal of Fujian Academy of Agricultural Sciences, 3(1): 23-31. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.1988.01.004.
- 汤瑛芳, 高世铭, 王亚红, 张绪成. 2013. 旱地马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 31(1): 1-13. [Tang Y F, Gao S M, Wang Y H, Zhang X C. 2013. Soil water and thermal effects of different mulching and planting methods and their influences on yield in dryland potato production[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 31(1): 1-13.] doi: 10.3969/j.issn.1000-7601.2013.01.001.
- 吴庆华, 张薇, 蔺文静, 王贵玲. 2009. 秸秆覆盖条件下土壤水动态演变规律研究[J]. 干旱地区农业研究, 27(4): 82-88. [Wu Q H, Zhang W, Lin W J, Wang G L. 2009. Study on soil water dynamics evolution law under straw mulching condition[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 27(4): 82-88.]
- 吴炫柯, 韦剑锋, 刘永裕. 2013. 甘蔗茎伸长量与土壤水分含量的相关性[J]. 中国糖料, (4): 60-61. [Wu X K, Wei J F, Liu Y Y. 2013. Correlation between sugarcane stem elongation and soil moisture[J]. Sugar Crops of China, (4): 60-61.] doi: 10.3969/j.issn.1007-2624.2013.04.023.
- 谢金兰, 罗亚伟, 梁阔, 朱秋珍, 王维赞, 刘晓燕. 2010. 土壤水分对甘蔗萌芽出苗的影响[J]. 中国糖料, (3): 29-30. [Xie J L, Luo Y W, Liang T, Zhu Q Z, Wang W Z, Liu X Y. 2010. Soil moisture effect on germination and emergence of sugarcane[J]. Sugar Crops of China, (3): 29-30.] doi: 10.3969/j.issn.1007-2624.2010.03.011.
- 张明忠, 朱红业, 张映翠, 冯光恒, 张德, 龙会英, 金杰, 史亮涛, 江功武. 2007. 云南干热河谷旱坡地两种覆盖措施对土壤水分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 25(3): 37-40. [Zhang M Z, Zhu H Y, Zhang Y C, Feng G H, Zhang D, Long H Y, Jin J, Shi L T, Jiang G W. 2007. Effect of the soil water of dry sloping field to ground-slipcovers in Yunnan Dry-hot River Valley[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 25(3): 37-40.] doi: 10.3321/j.issn:1000-7601.2007.03.008.
- 张统帅, 闫丽娟, 李广, 陈国鹏, 罗永忠. 2020. 免耕和秸秆覆盖对旱作区土壤氮素、水分和春小麦产量的影响[J]. 浙江农业学报, 32(8): 1329-1341. [Zhang T S, Yan L J, Li G, Chen G P, Luo Y Z. 2020. Effects of no tillage and straw mulching on soil nitrogen, water content and yield of spring wheat in dryland farming area[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 32(8): 1329-1341.] doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2020.08.01.
- 张志毅, 熊桂云, 吴茂前, 范先鹏, 冯婷婷, 巴瑞先, 段申荣. 2020. 有机培肥与耕作方式对稻麦轮作土壤团聚体和有机碳组分的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 28(3): 405-412. [Zhang Z Y, Xiong G Y, Wu M Q, Fan X P, Feng T T, Ba R X, Duan S R. 2020. Effects of organic fertilization and tillage method on soil aggregates and organic carbon fractions in a wheat-rice system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 28(3): 405-412.] doi: 10.13930/j.cnki.cjea.190617.
- 赵凯超, 刘淑慧, 卢垟杰, 张勇康, 赵勇勤, 王永红. 2019. 不同耕作方式对土壤酶活性、含水率和紫花苜蓿生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 38(9): 21-27. [Zhao K C, Liu S H, Lu Y J, Zhang Y K, Zhao D Q, Wang Y H. 2019. Impact of different tillage methods on soil enzyme activities and water content of alfalfa[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 38(9): 21-27.] doi: 10.13522/j.cnki.gggs.20190117.
- Behzadnejad J, Tahmasebi-Sarvestani Z, Aein A, Mokhtassi-Bidgoli A. 2020. Wheat straw mulching helps improve yield in sesame(*Sesamum indicum* L.) under drought stress[J]. International Journal of Plant Production, 14(4): 389-400. doi: 10.1007/s42106-020-00091-8.
- Chang L, Han F X, Chai S X, Cheng H B, Yang D L, Chen Y Z. 2019. Straw strip mulching affects soil moisture and temperature for potato yield in semiarid regions[J]. Agronomy Journal, 112(2): 1126-1139. doi: 10.1002/agj2.20103.
- Fu X, Wang J, Sainju U M, Liu W Z. 2020. Aggregate size distribution and associated carbon and nitrogen in mulched winter wheat and spring corn[J]. Canadian Journal of Soil Science, 99(4). doi: 10.1139/CJSS-2019-0015.
- Gan L, Peng X H, Peth S, Horn R. 2012. Effects of grazing intensity on soil water regime and flux in inner mongolia grassland, China[J]. Pedosphere, 22(2): 165-177. doi: 10.1016/S1002-0160(12)60003-4.
- Gan L, Rad S, Chen X B, Fang R J, Yan L, Su S H. 2018. Clock hand lateral, a new layout for semi-permanent sprinkler irrigation system[J]. Water, 10(6): 767. doi: 10.3390/w10060767.
- Gholami L, Sadeghi S H, Homae M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff, and sediment yield from eroded plots[J]. Soil Science Society of America Journal, 77: 268-278. doi: 10.2136/sssaj2012.0271.
- Guenet B, Juarez S, Bardoux G, Abbadie L, Chenu C. 2012. Evidence that stable C is as vulnerable to priming effect as is more labile C in soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 52: 43-48. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.04.001.
- Morris N L, Miller P C H, Orson J H, Froud-Williams R J. 2010. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment: A review[J]. Soil and Tillage Research, 108(1-2): 1-15. doi: 10.1016/j.still.2010.03.004.
- Naveed M, Moldrup P, Vogel H J, Lamande M, Wildenschild D, Jonge L W, Moldrup P, Tuller M. 2014. Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution[J]. Geoderma, 217: 181-189. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.12.001.
- Qiu Y, Fu B J, Wang J, Chen L D. 2011. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Hydrology, 240(3-4): 243-263. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00362-0.
- Tao Z Q, Li C F, Li J J, Ding Z S, Xu J, Sun X F, Zhou P L, Zhao M. 2015. Tillage and straw mulching impacts on grain yield and water use efficiency of spring maize in northern Huang-Huai-Hai Valley[J]. The Crop Journal, 3(5): 445-459. doi: 10.1016/j.cj.2015.08.001.
- Van Genuchten M Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 82: 29-41. doi: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x.
- Yan Q Y, Dong F, Lou G, Yang F, Lu J X, Li F, Zhang J C, Li J H, Duan Z Q. 2018. Alternate row mulching optimizes soil temperature and water conditions and improves wheat yield in dryland farming[J]. Journal of Integrative Agriculture, 17(11): 2558-2569. doi: 10.1016/S2095-3119(18)61986-0.