

灌水量和生物有机肥对滴灌枣田水盐动态及土壤养分属性的影响

张健利^{1,2,3}, 王振华^{1,2,3}, 陈睿^{1,2,3}, 刘茹华^{1,2,3}

(1.石河子大学水利建筑工程学院,新疆 石河子 832000;2.现代节水灌溉兵团重点实验室,新疆 石河子 832000;3.农业农村部西北绿洲节水农业重点实验室,新疆 石河子 832000)

摘要: 通过探究不同灌溉水平下施用生物有机肥对红枣田土壤水分、盐分及土壤养分属性的影响,为红枣种植提供适宜的水肥方案。设置 2 个灌溉水平(W1:6 000 m³/hm²,W2:6 600 m³/hm²),3 个基施水平(S1:1 200 kg/hm²,S2:1 650 kg/hm²,S3:2 100 kg/hm²),以不施加生物有机肥作为对照(W1CK,W2CK),共 8 个处理,开展田间试验。施加生物有机肥可以提高土壤含水率、土壤有机质和总碳含量,且同一灌溉水平下,随施肥量的增加均表现为 S3>S2>S1>CK。W1 灌溉水平下,较 CK 处理相比,施加生物有机肥后 0—150 cm 土壤含水率、土壤有机质和总碳含量分别提高 3.20%~17.97%,9.96%~20.31%,2.03%~5.42%,W2 灌溉水平下,较 CK 处理相比,各项指标分别提高 5.37%~20.19%,6.55%~21.18%,2.09%~6.34%。施加生物有机肥可以降低 0—150 cm 土壤盐分含量和土壤 pH,且同一灌溉水平下,随施肥量的增加均表现为 S3<S2<S1<CK。W1 灌溉水平下,较 CK 处理相比,施加生物有机肥后 0—150 cm 土壤盐分含量和土壤 pH 分别降低 7.70%~15.74%和 0.86%~2.87%,W2 灌溉水平下,较 CK 处理相比,各项指标分别降低 8.90%~23.66%和 0.96%~2.52%。不同水肥(生物有机肥)处理对比中,W1S3 处理较当地常规灌溉处理(W2CK)0—150 cm 土壤含水率、土壤有机质和总碳含量分别增加 4.45%,21.85%,7.31%,土壤盐分含量和土壤 pH 分别降低 2.59%和 2.08%。结合当地水资源匮乏、水肥不易保持的特点,且考虑减小地下水污染风险,建议 W1S3 处理代替当地常规灌溉处理(W2CK)是较为适宜的水肥方案。

关键词: 滴灌红枣;生物有机肥;灌溉水平;土壤水盐;土壤养分属性

中图分类号:S641.2;S275.6

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2023)01-0323-09

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2023.01.041

Effects of Irrigation Amount and Bio-organic Fertilizer on Water and Salt Dynamics and Soil Nutrient Properties of Jujube Field Under Drip Irrigation

ZHANG Jianli^{1,2,3}, WANG Zhenhua^{1,2,3}, CHEN Rui^{1,2,3}, LIU Ruhua^{1,2,3}

(1.College of Water Conservancy & Architectural Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2.Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Production & Construction Group, Shihezi, Xinjiang 832000; 3.Key Laboratory of Northwest Oasis Water-Saving Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi, Xinjiang 832000)

Abstract: This study aimed to explore the effects of bio-organic fertilizer application on soil moisture, salinity, and soil nutrient properties in jujube fields under different irrigation levels, providing suitable water and fertilizer solutions for jujube cultivation. Two irrigation levels (W1 6 000 m³/hm², W2 6 600 m³/hm²), three basal application levels (S1—S2—S3: 1 200—1 650—2 100 kg/hm²) were set up with no bio-organic fertilizer as the control (W1CK, W2CK), totally eight treatments. A field experiment was conducted. Applying bio-organic fertilizer could increase soil water content, soil organic matter, and total carbon content at the same irrigation level. The increase in fertilizer application all showed that S3 > S2 > S1 > CK. At the W1 irrigation level, the water content, soil organic matter, and total carbon content of 0—150 cm soil increased by 3.20%~17.97%, 9.96%~20.31% and 2.03%~5.42% after the application of bio-organic fertilizer compared with the CK. At the W2 irrigation level, the above indices increased by 5.37%~20.19%,

收稿日期:2022-05-19

资助项目:兵团南疆重点产业创新发展支撑计划项目(2020DB004);兵团重大科技项目(2021AA003-1)

第一作者:张健利(1995—),男,硕士研究生,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:1228856528@qq.com

通信作者:王振华(1979—),男,博士,教授,主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail:wzh2002027@163.com

6.55%~21.18% and 2.09%~6.34%, respectively. Application of bio-organic fertilizer could reduce the salinity content and soil pH of 0—150 cm soil at the same irrigation level. The increase in fertilizer application all showed that $S3 < S2 < S1 < CK$. At the W1 irrigation level, the salinity content and soil pH of the 0—150 cm soil decreased by 7.70%~15.74% and 0.86%~2.87% after the application of bio-organic fertilizer compared with the CK, while both indices were reduced by 8.90%~23.66% and 0.96%~2.52% respectively at the W2 irrigation level. In the comparison of different irrigation and fertilization (bio-organic fertilizer) treatments, the W1S3 treatment increased soil water content, soil organic matter, and total carbon content by 4.45%, 21.85% and 7.31%, respectively, compared with the local conventional irrigation treatment (W2CK) at 0—150 cm, soil salinity content and soil pH decreased by 2.59% and 2.08%, respectively. Considering the local water scarcity and easy loss of water fertilizer, and also the risk of groundwater pollution reduction, it is suggested that W1S3 treatment instead of the local conventional irrigation treatment (W2CK) should be a more appropriate irrigation and fertilization management.

Keywords: drip irrigation red jujube; bio-organic fertilizer; irrigation level; soil moisture and salinity; soil nutrient properties

新疆深处欧亚大陆内部,土壤蒸发强烈、雨水稀少,气候干燥,是典型的干旱灌溉农业区,水资源短缺已成为限制干旱区农业发展的重要因素。此外,新疆作为我国土壤荒漠化现象最严重的地区之一^[1],特别是南疆地区,恶劣的气候条件造成严重的土壤沙化,由于沙化土壤土质疏松,保水保肥性能较差,容易造成土壤水肥流失,进而导致作物水肥利用效率和产量品质降低。另外,新疆是我国受盐碱化危害最严重的地区^[2],新疆盐碱地面积达到 0.2 亿 hm^2 ,约占新疆土地面积的 $1/8$ ^[3],盐碱土因其特殊的理化性质,不适宜大多数作物生长,土壤盐碱化严重限制新疆农林业的发展,因此改良盐碱地增加耕地面积,合理利用开发盐碱地资源,缓解人地矛盾,是当前现代化农业研究的热点^[4]。故而,水资源短缺、土壤沙化及盐碱化严重,是制约新疆干旱区农作物生长的重要因素。

生物有机肥兼备有机肥料和微生物肥料的特点,具有改善土壤理化性状、调节土壤酸碱平衡、提高土壤保水保肥能力的优点^[5]。施加(生物)有机肥不仅能够减少化肥的施用量,还可以通过调节土壤微生态环境和改善土壤结构来提升土壤养分的缓冲能力,以此来防止盐类集聚,因此施加有机肥是盐渍化土壤改良的有效方式^[6-7]。邵孝候等^[8]研究表明,较单施化肥相比,单施生物有机肥可以提高土壤含水率和灌溉水利用效率,降低土壤盐分离子总量和土壤电导率;朱海等^[9]研究表明,在滨海盐渍土中通过化肥减量配施不同比例的有机肥,可以有效改善土壤的结构、降低土壤的容重和电导率,有机肥的施入还有利于土壤含水率和土壤持水能力的提高;李凤霞等^[10]研究表明,在盐碱土中施加生物有机肥,可以有效降低土壤的碱化度、pH 和盐分含量,为盐碱地修复改良提供重要依据。而沙化

土改良的有效措施是土壤质地改良^[11],通过施加有机肥、秸秆、或绿肥等,来逐步改善沙化土壤的理化性状^[12],该类措施既可提升沙土的保水保肥性能,又可促进作物增产提质。因此,在土壤沙化及盐碱化较为严重、水资源紧张的南疆地区,滴灌条件下结合生物有机肥,对提高水肥利用效率、改土培肥和作物增产具有一定的优势。

国内外对有机肥相关研究已经取得丰硕的成果,且大多集中于对作物生长方面的研究,在特定土壤条件下施用有机肥的相关研究较少,目前施加有机肥对滨海盐渍土改良效果的研究是国内外研究学者关注的焦点^[8]。而在新疆干旱地区土壤沙化及盐碱化严重条件下,有机肥对土壤改良效果的研究甚少。因此本文通过研究不同灌溉水平下施用生物有机肥对红枣田土壤水分、盐分、土壤有机质等方面的影响,以期为南疆干旱区滴灌红枣水肥高效利用提供理论依据,也为南疆地区土壤沙化盐碱化改良提供实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年 4 月 25 日至 10 月 17 日,在新疆昆玉市 224 团农七连($79^{\circ}17'36''\text{E}$, $37^{\circ}21'26''\text{N}$)进行。昆玉市属暖温带极端干旱荒漠气候,四季多风沙,盐碱化、沙化、荒漠化严重,生态环境极其脆弱。该地区光照充足,年日照时间约 2 610.6 h,日照率为 62%,无霜期长,年均约 214 天,昼夜温差大,年均气温 12.2°C ,年均蒸发量和降水量分别为 2 824,33.4 mm,试验地土壤质地为砂壤土,地下水位约 3 m。试验地 0—150 cm 土壤 pH、田间持水率(质量含水率)和土壤容重分别为 8.24,14.73%, 1.54 g/cm^3 。试验前不同土层养分含量见表 1。

表 1 不同土层土壤养分含量

| 土层 深度/cm | 有机质/ (g·kg ⁻¹) | 总碳/ (g·kg ⁻¹) | 有效钾/ (mg·kg ⁻¹) | 有效磷/ (mg·kg ⁻¹) | 铵态氮/ (mg·kg ⁻¹) |
|-------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 0—20 | 19.75 | 1.69 | 60.50 | 22.87 | 1.31 |
| 20—40 | 16.30 | 1.50 | 58.04 | 20.90 | 1.16 |
| 40—60 | 14.85 | 1.54 | 54.35 | 18.65 | 0.89 |
| 60—80 | 12.30 | 1.63 | 50.37 | 16.99 | 0.64 |
| 80—100 | 10.36 | 1.67 | 50.84 | 16.29 | 0.60 |
| 100—120 | 7.81 | 1.57 | 50.37 | 15.22 | 0.54 |
| 120—150 | 4.99 | 1.47 | 46.13 | 13.06 | 0.40 |

1.2 试验材料

试验材料为当地成龄骏枣,树龄为 10 年,枣树的行距和株距分别为 4.0,0.8 m。灌溉采用滴灌,“1 行 2 管”布置方式,枣树两侧布设 2 条滴灌带,滴灌带间距 0.6 m。滴灌带滴头流量和间距分别为 3.2 L/h 和 0.30 m(单翼迷宫式滴灌带)。供试生物有机肥参数:有机质 $\geq 60\%$,有效活菌数 ≥ 0.2 亿/g,N+P₂O₅+K₂O $\geq 5\%$,蘑菇渣、豆饼、骨粉等作为原料,含有枯草、地衣和解淀粉等多种微生物菌群,具有促肥、抑病、抗盐碱效果,利用纯发酵工艺(呱呱酵生物有机肥由新疆根力多生物科技有限公司提供)。每个处理化肥用量与当地生产实践一致,相关参数见表 2。

表 2 试验设计

| 处理 | 灌溉水平/ (m ³ ·hm ⁻²) | 基肥水平/ (kg·hm ⁻²) | 追肥/ (kg·hm ⁻²) |
|------|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| W1CK | | 0 | |
| W1S1 | 6000 | 1200 | |
| W1S2 | | 1650 | 尿素(N,46.4%);362.26 |
| W1S3 | | 2100 | 磷酸一铵(P ₂ O ₅ ,61%);254.72 |
| W2CK | | 0 | 磷酸二氢钾(K ₂ O,34%);486.79 |
| W2S1 | 6600 | 1200 | |
| W2S2 | | 1650 | |
| W2S3 | | 2100 | |

1.3 试验方法

依据当地生产实践,制定生物有机肥用量和红枣灌溉制度(表 2 和表 3)。生物有机肥作为基肥于 4 月 15 日施入,施入方式为穴施(穴深 0.3 m),在枣树行单侧施入(距枣树 0.4 m)。每次灌水时化肥作为追肥随水施入。基于当地土壤为沙壤土,保水保肥效果较差,极易导致土壤养分和水分淋失,故可采取降低灌水量的措施,以此缓解土壤养分和水分流失的状况,本试验设置 3 个基肥水平(S1:1 200 kg/hm²,S2:1 650 kg/hm²,S3:2 100 kg/hm²),2 个灌溉水平(W1:6 000 m³/hm²,W2:6 600 m³/hm²,W2 为当地灌溉水平),以不施加生物有机肥作为对照(W1CK,W2CK),试验总计 8 个处理,每个处理重复 3 次,每个处理小区长

70 m,宽 4 m,面积 280 m²。试验设计见表 2。

表 3 红枣生育期灌溉制度

| 生育期 | 日期 (月-日) | 灌溉、 施肥周期/d | 灌溉、 施肥比例/% | 灌溉、 施肥次数 |
|-------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| 萌芽新梢期 | 04-25—05-31 | 36 | 20 | 2 |
| 花期 | 06-01—07-01 | 30 | 20 | 2 |
| 果实膨大期 | 07-02—08-06 | 35 | 30 | 3 |
| 白熟期 | 08-07—09-11 | 35 | 20 | 2 |
| 完熟期 | 09-12—10-17 | 35 | 10 | 1 |
| 全生育期 | 04-25—10-17 | 171 | 100.0 | 10 |

1.4 测定项目与方法

(1)土壤水盐测定:各处理于每次灌水后 2 天取土采样,取样点在滴灌带正下方,每 20 cm 进行土层取样,直至 150 cm。利用烘干法测定土壤含水率,之后将该土样进行研磨风干,称取风干后的土样 20 g 过筛(1 mm 筛)并置于三角瓶中,添加 100 mL 蒸馏水,振荡 10 min,静置 15 min 后过滤,获得澄清液,用电导率仪测定澄清液的电导率值(EC),利用干燥残渣法^[13]标定土壤含盐量与电导率之间的关系式:

$$y = 0.008EC - 0.23 \quad R^2 = 0.962 \quad (1)$$

式中:y 为土壤含盐量(g/kg);EC 为电导率(μ S/cm)。

(2)作物生育期内土壤盐分累积量是判别作物生长发育环境的重要标志,依据盐分平衡原理计算土壤盐分盈亏量(ΔM),计算公式为:

$$\Delta M = M_a - M_b \quad (2)$$

式中: ΔM 为土壤盐分盈亏量(g/kg); M_a 和 M_b 分别为生育期末和生育期前土壤含盐量(g/kg)。

(3)土壤有机质、总碳、pH 测定:在红枣生育期末,各处理在 2 个穴坑中间取土采样,每 20 cm 进行土层取样,直至 150 cm。采用 CN-802 化学分析仪(意大利米兰 VELP)测定各处理各土层土壤总碳含量。分别利用酸度计和重酸钾容量法^[14]测定土壤的 pH 和有机质含量。

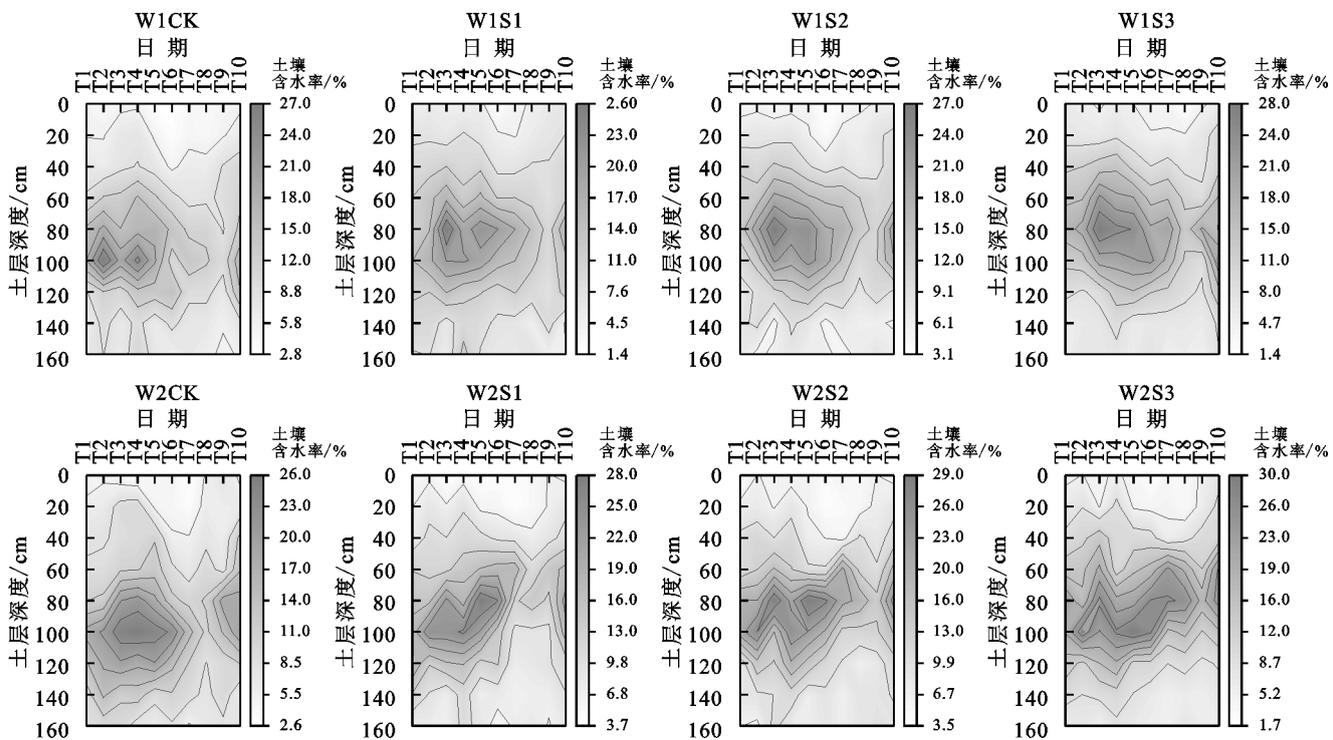
1.5 数据处理

试验数据整理分析用 Excel 2016 软件,用 Origin 2022 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同水肥(生物有机肥)处理对红枣田土壤水分的影响

由图 1 可知,在垂直方向上,各处理土壤水分表现为先增后降的趋势,灌水量越大,土壤水分迁移深度越深,W1 灌溉水平下,土壤水分最大值分布于 80—100 cm,而 W2 灌溉水平下,土壤水分最大值可迁移至 120 cm。在水平方向上,随生育期推进,土壤含水率有明显的时间波动特征,在果实膨大期和白熟期(7 月 2 日至 9 月 11 日),各处理各层土壤含水率低于其他生育期,这是由于该阶段气温最高土壤蒸发最强烈且该阶段为红枣需水最大期,因此造成各处理各层土壤含水率普遍偏低。



注:T1~T9 分别为 4 月 27 日,5 月 13 日,6 月 3 日,6 月 28 日,7 月 5 日,7 月 18 日,7 月 31 日,8 月 10 日,8 月 25 日,9 月 10 日。下同。

图 1 不同处理生育期土壤水分变化

2.2 不同水肥(生物有机肥)处理对红枣田土壤盐分的影响

由图 2 可知,在垂直方向上,各处理土壤盐分含量整体呈先减少后增加的趋势,并且有明显的分层特征,在 20,80 cm 处分层现象较为明显,表层区域(0—20 cm)土壤盐分积累量最大,中层区域(20—80 cm)土壤盐分含量相对稳定且处于最低水平,深层区域(80—150 cm)土壤盐分含量处于波动状态且含量较高。随生育期推进,各处理各层土壤盐分有明显的时间波动特征,(6 月 3 日至 8 月 10)当地气温最高,受强烈的土壤蒸发作用导致表层(0—20 cm)土壤盐分积累最为严重;各处理中层区域(20—80 cm)和深层区域(80—150 cm)随时间变化土壤盐分总体呈先增加

后降低趋势,这主要是因为(4 月 27 日至 6 月 3 日)灌水次数较多,气温较低,且红枣根系对水分和盐分吸收的影响较小,故该时间段灌水洗盐作用明显,表现出中层区域(20—80 cm)和深层区域(80—160 cm)土壤盐分较低的现象,之后随气温升高和根系吸水造成部分盐分上升,导致土壤盐分含量较高,而完熟期(9 月 12 日至 10 月 17 日),气温较低,红枣根系对水分和盐分的吸收作用减少,灌水后洗盐作用又增大,故后期阶段土壤盐分又表现出较低的现象。

施加生物有机肥可以降低 0—150 cm 土壤盐分含量,且同一灌溉水平下,施肥量越高,土壤盐分含量越低,表现为 $S3 < S2 < S1 < CK$ 。在整个生育期内,W1 灌溉水平下,较 CK 处理相比,W1S1、W1S2 和 W1S3 处

理 0—150 cm 土壤盐分含量分别降低 7.70%, 11.29% 和 15.74%; W2 灌溉水平下, 较 CK 处理相比, W2S1、W2S2 和 W2S3 处理 0—150 cm 土壤盐分含量分别降低 8.90%, 18.20% 和 23.66%。灌水量越大对 0—150 cm 土

层脱盐效果越明显, W2 较 W1 灌溉水平 0—150 cm 土壤盐分含量降低 17.30%。不同水肥(生物有机肥)处理对比中, W1S3 处理较当地常规处理(W2CK)0—150 cm 土壤盐分含量降低 2.59%。

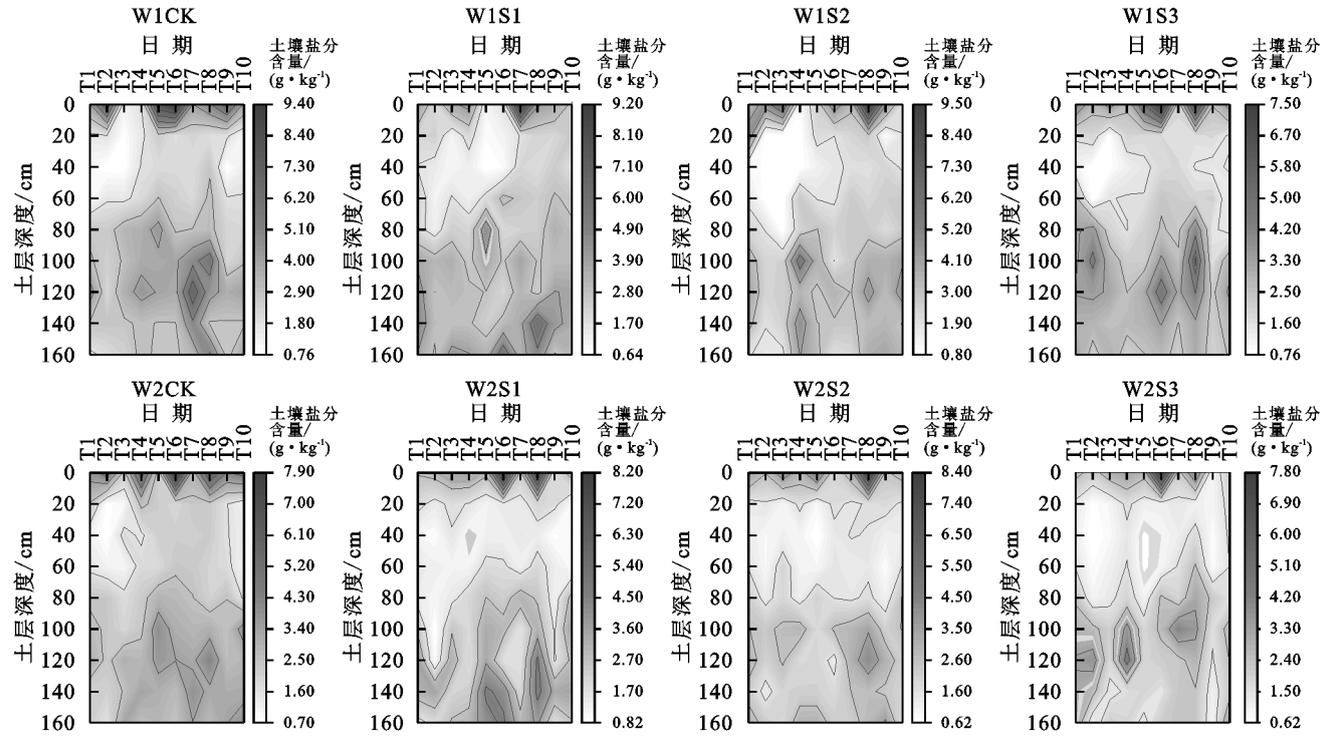


图 2 不同处理生育期土壤盐分变化

2.3 不同水肥(生物有机肥)处理各土层土壤脱盐率

表 4 为生育期内各处理各层土壤盐分盈亏量。明显看出, 各处理在各土层均表现出脱盐状态, 0—20 cm 土层脱盐量高于 20—80, 80—150 cm。20—80 cm 土壤盐分变化有较强的规律, 表现为相同施肥水平下, 灌水量越大脱盐效果越好; 相同灌溉水平下, 随生物有机肥施用量的增加脱盐效果越好, 表现为 S3>S2>S1>CK。在 0—20, 80—150 cm 各处理土壤盐分变化无明显规律, 这是因为受当地强烈的土壤蒸发作用, 表层(0—20 cm)土壤盐分聚集现象严重, 故各处理无明显规律, 而深层(80—150 cm)由于各

处理试验前土壤盐分本底值含量差异不同且含量较高, 故试验后各处理土壤脱盐也无明显的变化规律。试验前后不同处理各土层盐分含量变化见图 3。

表 4 不同处理生育期始末土壤盐分变化率

| 土层深度/cm | 灌溉定额/ (m ³ ·hm ⁻²) | 施肥量/(kg·hm ⁻²) | | | |
|---------|----------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | | CK | S1 | S2 | S3 |
| 0—20 | W1 | -3.21 | -2.31 | -7.17 | -2.04 |
| | W2 | -3.26 | -2.77 | -6.28 | -7.28 |
| 20—80 | W1 | -0.38 | -0.47 | -0.81 | -0.82 |
| | W2 | -0.92 | -1.01 | -1.79 | -1.96 |
| 80—150 | W1 | -0.34 | -0.68 | -0.72 | -1.02 |
| | W2 | -0.30 | -0.55 | -1.60 | -1.54 |

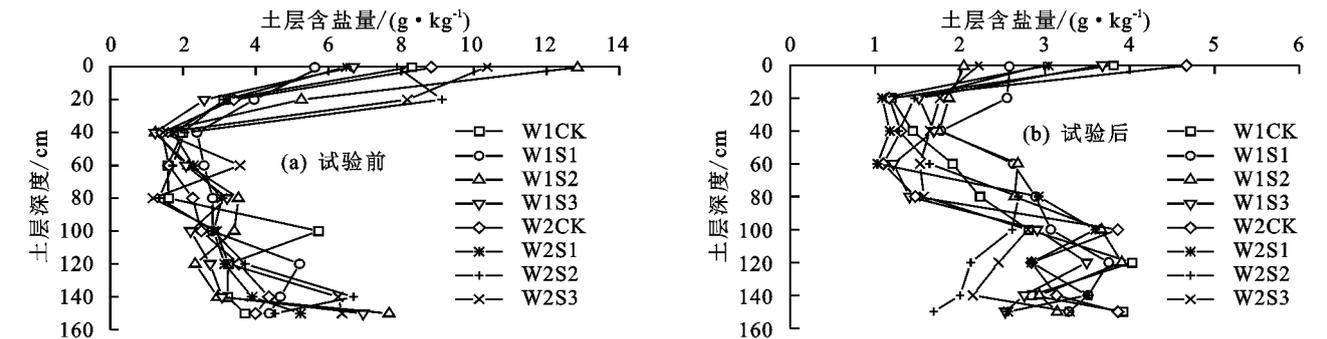


图 3 试验前后不同处理土壤盐分变化

2.4 不同水肥(生物有机肥)处理对红枣田土壤 pH 的影响

由图 4 可知, 各处理土壤 pH 均随土层深度的增加

总体呈升高趋势, 根际附近(80—100 cm)土壤 pH 略低于非根际土壤 pH。相同施肥(生物有机肥)水平下, 灌水量越大, 0—150 cm 土壤 pH 越小, 表现为 W2<W1,

W2 较 W1 灌溉水平 0—150 cm 土壤 pH 降低 0.72%。同一灌溉水平下,随生物有机肥施用量的增大,0—150 cm 土壤 pH 降低,表现为 $S3 < S2 < S1 < CK$, W1 灌溉水平下,较 CK 处理相比, W1S1、W1S2 和 W1S3 处理增施生物有机肥后土壤 pH 分别降低 0.86%、2.05%、2.87%;

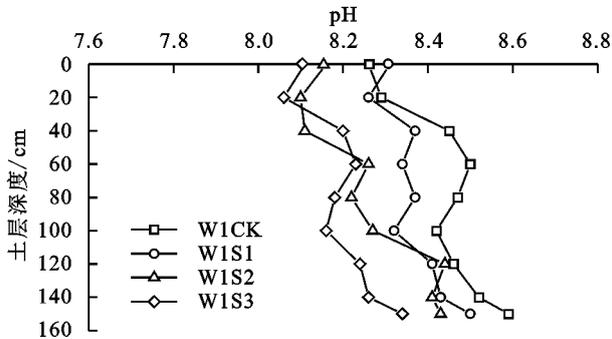
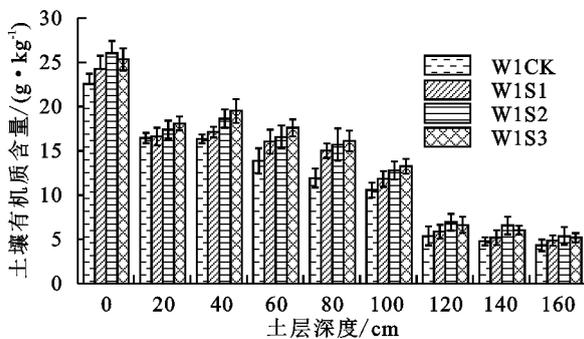


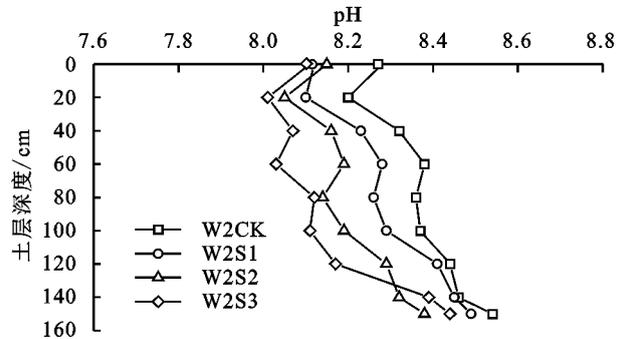
图 4 不同处理对土壤 pH 的变化

2.5 不同水肥(生物有机肥)处理对红枣田土壤有机质和总碳的影响

由图 5 可知,在 0—150 cm 土层,各处理土壤有机质含量随土层深度增加总体呈下降趋势,表层土壤有机质含量富集程度最强。同一灌溉水平下,增施生物有机肥有利于土壤有机质的积累,且 0—150 cm 土壤有机质含量均表现为 $S3 > S2 > S1 > CK$ 。W1 灌溉水平下,较 CK 处理相比, W1S1、W1S2 和 W1S3 处理 0—150 cm 土壤有机质含量分别提高 9.96%、18.64%、20.31%; W2 灌溉水平下,较 CK 处理相比, W2S1、W2S2 和 W2S3 处理 0—150 cm 土壤有机质含量分别提高 6.55%、14.66%、21.18%。同一施肥水平下,灌水量增大,0—150 cm 土壤有机质含量降低, W2 较 W1 灌溉水平 0—150 cm 土壤有机质含量降低 0.55%~4.57%,平均降低 2.70%。不同水肥(生物有机肥)处



理对比中, W1S3 处理 0—150 cm 土壤有机质含量最高,且较当地常规灌溉处理(W2CK)土壤有机质含量增加 21.85%。



理对比中, W1S3 处理 0—150 cm 土壤有机质含量最高,且较当地常规灌溉处理(W2CK)土壤有机质含量增加 21.85%。

由图 6 可知,在 0—150 cm 土层,各处理土壤总碳含量随土壤深度增加总体呈下降—上升—下降的趋势,表层土壤总碳含量最高。同一灌溉水平下,随生物有机肥施用量的增加 0—150 cm 土壤总碳含量均表现为 $S3 > S2 > S1 > CK$ 。较 CK 处理相比, W1 和 W2 灌溉水平下,施加生物有机肥 0—150 cm 土层总碳含量分别提高 2.03%~5.42%和 2.09%~6.34%。相同施肥水平下,灌水量增大,0—150 cm 土壤总碳含量降低, W2 较 W1 灌溉水平,0—150 cm 土壤总碳含量降低 0.90%~1.75%,平均降低 1.42%。不同水肥(生物有机肥)处理对比中, W1S3 处理较当地常规灌溉处理(W2CK)0—150 cm 土壤总碳含量增加 7.31%。

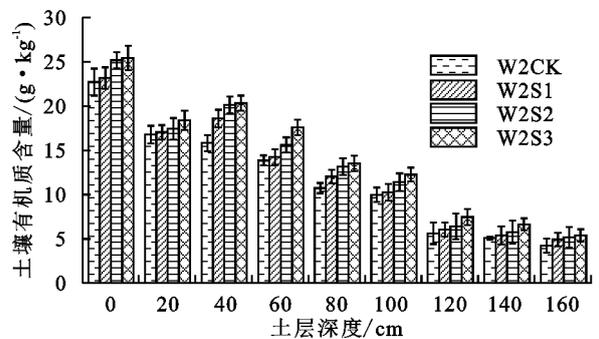


图 5 不同处理土壤有机质含量

3 讨论

3.1 有机肥和灌水量对枣田土壤水分的影响

本试验以南疆沙土作为研究对象,较纯土相比(CK 处理),施加生物有机肥后可降低土壤水分入渗速率,一定程度上增强土壤的持水性能,有效缓解土壤水分渗漏流失的现状,这对于作物根层土壤储水能力和含水率的提升及作物水分利用效率的提高具有

重要意义。此外也有利于减少土壤氮磷钾等营养元素的流失,降低地下水污染风险。故而,在当地生产实践中施加生物有机肥具有重大的现实意义。

本试验中增施生物有机肥提高土壤含水率,这是由于生物有机肥中含有大量的有机质,而有机质能够促进土壤水稳性团聚体的形成进而有利于土壤水分的保持^[15-16],刘效东等^[17]同样指出,土壤有机质含量

与土壤水分存在正相关关系,且对土壤水分有显著的控制作用。区别于其他研究^[15-17]施用有机肥仅在施肥范围附近含水率有所提高,而本试验施用有机肥后影响土层深度更深,这是由于本试验土壤类型为沙土,土壤结构疏松且通气透水性较强,故而灌水后水分、有机质等淋失速度较快,且迁移深度更深,因此,生物有机

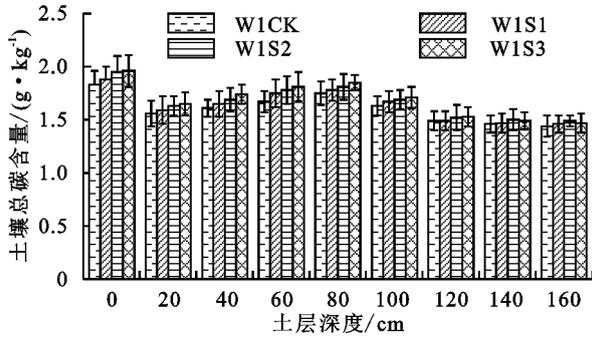
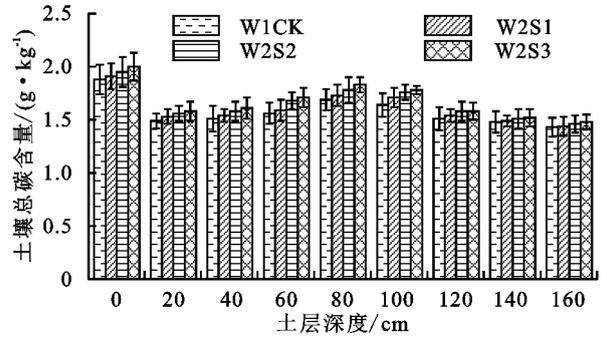


图 6 不同处理土壤总碳含量

3.2 有机肥和灌水量对枣田土壤盐分和 pH 的影响

作物根区土壤盐分含量过大造成土壤溶液浓度上升、渗透势降低,引起作物生理性干旱,严重时抑制作物对水、肥的吸收利用,从而影响作物的生长^[22]。本试验中,灌水量越大,土壤盐分含量越低,W2 灌溉水平下,盐分迁移深度更深,且峰值出现的越深,说明脱盐效果最好。W1 灌溉水平,土壤盐分可迁移至 80 cm 以下,且由于红枣根系主要分布在 80 cm 左右,故本试验 W1 灌溉水平也能起到很好的脱盐效果,缓解因盐分过大对红枣根系造成的不利影响。土壤阴阳离子含量失调对土壤的物理性状产生负面作用,具体表现为引起土壤盐碱化现象^[23],而施肥方式对土壤盐分离子有明显的调控作用^[24]。已有学者^[25]认为,通过施加有机肥或有机肥配施可有效改善盐渍土土壤生态环境和土壤结构,从而促进土壤脱盐、抑制土壤返盐,以此来调控土壤水肥盐平衡。本研究结果表明,施用生物有机肥降低 20—80 cm 土壤盐分含量,可能是因为施用生物有机肥后增加土壤有效 Ca^{2+} 含量,与此同时有机质受微生物分解产生的有机酸促进土壤吸附 Ca^{2+} ,并置换出土壤颗粒中大量的 Na^+ ,从而起到土壤脱盐脱碱的作用^[23]。耿泽铭^[26]研究表明,施加有机肥后对土壤水溶性盐离子的含量、阳离子交换量、碱化度和 pH 均有显著改善调控作用。另外,本研究结果表明,同一灌溉水平下,随生物有机肥增加,0—80 cm 盐分含量减少,这可能是因为施加生物有机肥提高土壤有机质含量,从而提升土壤抑制水盐上移的能力,并促进土壤有效脱盐^[8]。谢乘陶^[27]同样研究认为,土壤中有机质含量与土壤盐渍程度密切相关,具体体现为土壤有机质含量增加,土壤水盐上移的能

力降低。纵观整个生育期,相较于 CK 处理,施用生物有机肥后各处理最高土壤水分迁移深度略低于 CK 处理,这可能是因为生物有机肥与土壤混合后形成水凝胶,提高入渗水的黏滞性,起到阻渗效果,并且使土壤的吸附能力增强,进而减缓土壤水分入渗速率和减少水分入渗量^[18-21]。



力降低。

本研究中,随土层深度增加,土壤 pH 逐渐增大,这与邓彩云等^[28]研究结果相似。本研究中,根际土层(80—100 cm) pH 略低于附近非根际土层 pH,可能是由于根系对土壤中阴阳离子吸收不平衡导致的^[29],另外,根系分泌的有机酸、根系微生物活动产生的有机酸和 CO_2 、根系呼吸产生的 CO_2 等因素也会造成土壤 pH 的降低^[30]。同一施肥水平下,灌水量越大,0—150 cm 土壤 pH 越小,这可能是因为灌水量越大,淋洗效果越强烈,土壤溶液中的盐基离子(钾、钙、钠等盐基离子)易随水向下淋失或移动, H^+ 取代土壤吸收性复合体上的盐基离子,使土壤盐基饱和度降低,氢饱和度上升,土壤的酸碱平衡被打破,土壤逐渐呈酸性反应而导致土壤酸化^[31]。本研究表明,施加生物有机肥降低土壤 pH,这可能是因为有机肥中的有机质分解产生有机酸和 CO_2 ,从而使土壤 pH 下降^[32]。

3.3 有机肥和灌水量对枣田土壤有机质和总碳的影响

土壤有机质是土壤的重要组成部分,是评价土壤养分的重要指标之一,不仅可以为植物生长发育提供营养物质,还能通过改变土壤理化性状以此来改善土壤结构,在提高土壤保水性、改土培肥等方面有着重大影响,因此土壤有机质对植物生长和土壤质地改良有着重要的作用^[33]。自然条件下,土壤有机质主要来自于植被凋落物及作物根系有机质的输入和分解的动态平衡^[34],其中上层土壤有机质大部分来自植物的凋落物,凋落物在土地表面迅速积累且经过微生物作用而分解并经由淋溶效应进入土层,因此使得土层中土壤有机质表现出从土层表面向深部逐步下降

的趋势^[35],下层土壤有机质含量较小且来源贫瘠,包括上层有机质淋溶物和根系及其分泌物^[36],因此,本试验中,在不施加生物有机肥条件下(W1CK, W2CK)土壤有机质含量随着土层深度增加呈下降趋势。此外,施加有机肥也可以为土壤提供外源有机质,较单施化肥相比更有助于土壤有机质的累积和土壤肥力的提升^[37]。本试验生物有机肥埋深在 30 cm 左右,故在长期肥料溶解过程中 20—100 cm 范围内含量较大,尽管该区域存在下渗现象,但该区域仍然富集,同一灌溉水平下,在 20—100 cm 土层,随施肥量增加有机质含量表现为 $S3 > S2 > S1 > CK$ 。在土壤表层,因有机质表现出“表聚性”,故本试验各处理土壤有机质含量在表层最大,且各处理之间无明显规律性变化。而 120—150 cm 土层有机质含量主要来源于上层土壤灌水后的淋溶,该淋溶量较小,故各处理在 120—150 cm 土层土壤有机质含量较小且各处理间无明显规律,但仍然较 CK 处理含量高。

农田系统的碳投入涵盖有机肥、作物根系及其残茬的投入,自然状态下不施肥处理时作物根系及其残茬输入的有机碳量足以维持土壤有机碳的平衡^[32]。有机肥的施加为土壤带来大量的有机碳源,并通过提高微生物活性,加速土壤有机碳和养分转化,进而提升土壤有机碳的固定量^[38]。本试验研究表明,不施加生物有机肥时,总碳含量整体呈先下降—上升—下降的趋势,表层土壤碳含量最大,这主要是因为表层有机质含量丰富,故分解的碳含量较多。20 cm 土层总碳含量主要来源于表层的淋溶,故含量较小。20—100 cm 土层总碳含量来源主要有外源有机质带入后分解的碳及根系的分泌物输入的碳,故整体含量较高,其中,80—100 cm 为红枣根系主要聚集地,该区域的总碳来源于根系分泌物及输入外源有机肥中碳的释放,故在 80—100 cm 范围总碳含量较附近土层碳含量更高。120—150 cm 土层由于淋溶的碳含量较少,故各处理碳含量整体较小。本试验表明,有机无机肥料配合施用对土壤有机碳的贡献显著高于单独施用化肥的处理,这一研究结果与前人^[39]研究结果一致。

4 结论

同一灌溉水平下,增施生物有机肥可以提高土壤含水率、土壤有机质和总碳含量,均表现为 $S3 > S2 > S1 > CK$ 。同一灌溉水平下,增施生物有机肥可以降低土壤盐分含量和土壤 pH,均表现为 $S3 < S2 < S1 < CK$ 。灌水量越大,土壤有机质和总碳含量越低,表现为 $W2 < W1$ 。不同水肥(生物有机肥)处理对比中,

W1S3 处理对水盐等指标的调控作用优于当地常规灌溉处理(W2CK)。

针对南疆地区水资源匮乏、土壤沙化、盐碱化严重多重考验,通过降低灌水量并施加高量生物有机肥仍然可以对土壤水盐等指标起到良好的调控作用,并在增加土壤潜在养分的同时,降低地下水污染的风险,因此,W1(6 000 m³/hm²)灌溉水平下增施高量生物有机肥 S3(2 100 kg/hm²)替代当地常规灌溉(W2CK),是较为适宜于南疆地区红枣种植的水肥(生物有机肥)组合方案。

参考文献:

- [1] 陈灿平,高玉翔.西部地区生态环境与生态文明制度建设研究[J].西南民族大学学报(人文社会科学版),2013,34(12):138-141.
- [2] 刘星宏,张青青,张鹏,等.北疆盐碱地空间分布特征分析[J].中国农业科技导报,2020,22(8):141-148.
- [3] 王相平,杨劲松,张胜江,等.石膏和腐植酸配施对于干旱盐碱区土壤改良及棉花生长的影响[J].土壤,2020,52(2):327-332.
- [4] 王斌,马兴旺,单娜娜,等.新疆盐碱地土壤改良剂的选择与应用[J].干旱区资源与环境,2014,28(7):111-115.
- [5] 何凯,石纹豪,李振轮.生物有机肥防治植物土传病害研究进展[J].河南农业科学,2014,43(6):1-5.
- [6] Su Q R, Li W X, Chi F Q. Effect of organic fertilizer application on soil salt content and the yield of rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(4): 299-301.
- [7] 吕品.松嫩平原稻区防止次生盐渍化的研究[J].国土与自然资源研究,2002(1):39-41.
- [8] 邵孝候,张宇杰,常婷婷,等.生物有机肥对盐渍土壤水盐动态及番茄产量的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2018,46(2):153-160.
- [9] 朱海,杨劲松,姚荣江,等.有机无机肥配施对滨海盐渍农田土壤盐分及作物氮素利用的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(3):441-450.
- [10] 李凤霞,王长军,肖国举,等.生物有机肥对宁夏盐碱地土壤理化性质及微生物的影响[J].宁夏农林科技,2021,62(7):18-22.
- [11] 何建龙,蒋齐,吴旭东,等.哈巴湖国家级自然保护区固沙林地土壤颗粒分形特征[J].干旱地区农业研究,2020,38(1):217-222.
- [12] 顾美英,葛春辉,马海刚,等.生物炭对新疆沙土微生物区系及土壤酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(4):225-230,273.
- [13] 陈文娟,李明思,秦文豹,等.水平翻耕措施对覆膜滴灌土壤水盐分布调控效果研究[J].农业机械学报,2020,51(3):276-286.

- [14] 权国玲,谢开云,全宗永,等.复合微生物肥料对羊草草原土壤理化性质及酶活性的影响[J].草业学报,2016,25(2):27-36.
- [15] 艾海舰.土壤持水性及孔性的影响因素浅析[J].干旱地区农业研究,2002,20(3):75-79.
- [16] 董亚辉,戴全厚,邓伊晗,等.喀斯特山区退耕地水稳性团聚体演变特征及土壤养分效应[J].水土保持通报,2010,30(2):138-141.
- [17] 刘效东,乔玉娜,周国逸.土壤有机质对土壤水分保持及其有效性的控制作用[J].植物生态学报,2011,35(12):1209-1218.
- [18] 史文娟,梁嘉平,陶汪海,等.添加 γ -聚谷氨酸减少土壤水分深层渗漏提高持水能力[J].农业工程学报,2015,31(23):94-100.
- [19] 邢旭光,张盼,马孝义.掺混菜籽油渣减少土壤入渗改善持水特性[J].农业工程学报,2017,33(2):102-108.
- [20] Tang J T, Fan C J, Lin Q F, et al. Smooth, stable and optically transparent microcapsules prepared by one-step method using sodium carboxymethyl cellulose as protective colloid[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2014, 459: 65-73.
- [21] Busscher W J, Bjerneberg D L, Sojka R E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils [J]. Soil and Tillage Research, 2009, 104(2): 215-220.
- [22] 许迪,李益农,龚时宏,等.面向可持续灌溉农业发展的涝渍盐碱管理[J].排灌机械工程学报,2019,37(1):63-72.
- [23] 项子宸,修海峰,马琨,等.淋洗条件下不同改良剂对浙江东部滨海盐碱土的改良效果[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(3):344-359.
- [24] 程万莉,王淑英,赵刚,等.茶渣生物有机肥对温室盐碱土改良的效果[J].甘肃农业科技,2020(增刊1):49-54.
- [25] 田小明,李俊华,危常州,等.连续3年施用生物有机肥对土壤有机质组分、棉花养分吸收及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,7(4):374-378.
- [26] 耿泽铭.施用生物有机肥对盐渍土改良效果及玉米产量的影响[D].山东泰安:东北农业大学,2013.
- [27] 谢承陶.盐渍土改良与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1993.
- [28] 邓彩云,王玉刚,牛子儒,等.开垦年限对干旱区土壤理化性质及剖面无机碳的影响[J].水土保持学报,2017,31(1):254-259.
- [29] 刘冰逸,罗敏,邵阳,等.土壤根际区放射性核素迁移影响因素研究进展[J].环境工程,2021,39(12):227-233.
- [30] Hinsinger P, Plassard C, Tang C, et al. Origins of root mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: A review[J]. Plant and Soil, 2003, 248(1/2): 43-59.
- [31] 朱齐超.区域尺度中国土壤酸化定量研究及模型分析[D].北京:中国农业大学,2017.
- [32] 郭念,闫金龙,魏世强,等.三峡库区消落带典型土壤厌氧呼吸对铁还原及磷释放的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):271-276.
- [33] Garcíadiaz A, Marqués M J, Sastre B, et al. Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain[J]. Science of the Total Environment, 2018, 621(15): 387-397.
- [34] Guo L B, Sims R E H. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1999, 75(1/2): 133-140.
- [35] Kemp P R, Reynolds J F, Virginia R A, et al. Whitford. Decomposition of leaf and root litter of Chihuahuan desert shrubs: Effects of three years of summer drought [J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(1): 21-39.
- [36] 陈庆强,沈承德,孙彦敏,等.鼎湖山土壤有机质深度分布的剖面演化机制[J].土壤学报,2005,42(1):1-8.
- [37] 李艳,陈义,唐旭,等.长期不同施肥模式下南方水稻土有机碳的平衡特征[J].浙江农业学报,2018,30(12): 2094-2101.
- [38] 蒋太明,罗龙皂,李渝,等.长期施肥对西南黄壤有机碳平衡的影响[J].土壤通报,2014,45(3):666-671.
- [39] Hao Q J, Cheng B H, Jiang C S. Long-term tillage effects on soil organic carbon and dissolved organic carbon in a purple paddy soil of Southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 260-265.