

# 不同生育期淋洗对微咸水滴灌玉米农田水盐及产量的影响

田彤, 李仙岳, 史海滨, 郭宇, 朱科, 丁宗江, 冷旭, 胡琦

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

**摘要:** 为了明确不同淋洗时间对微咸水滴灌农田脱盐和增产的影响, 在内蒙古河套灌区进步村节水综合试验站开展了微咸水滴灌试验, 分别在拔节期(T1)、抽雄期(T2)、灌浆期(T3)设置1次畦灌淋洗, 以及生育期无淋洗(CK)共4个处理, 研究不同生育期淋洗对微咸水滴灌农田水盐及作物产量的影响。结果表明: 不同生育期淋洗后0—60 cm平均土壤含水率提高了18.9%, 且T1、T2和T3处理0—40 cm土壤含水率显著高于CK处理, 持续时间分别为12, 25, 28天; 生育期淋洗后土壤储水量和作物耗水量分别平均增加了20.92%和21.52%。生育期淋洗后膜内平均盐分降低了78.0%, 拔节期、抽雄期、灌浆期淋洗后盐分分别下降了0.20, 0.36, 0.44 mS/cm。淋洗后膜内0—60 cm脱盐率平均提高55.01%, 60—100 cm脱盐率平均提高125.79%, 且淋洗后膜外脱盐率高于膜内, 平均高38.90%。拔节期淋洗显著提高产量及其构成因子, 产量提高了18.8%, 穗长、穗宽和行粒数分别提高6.8%, 5.5%, 7.0%, 收获指数提高了7.8% ( $P < 0.05$ ); 抽雄期淋洗产量提高了8.1% ( $P < 0.05$ ), 而灌浆期淋洗对产量无显著影响 ( $P > 0.05$ ), 故在拔节期淋洗土壤作物受盐胁迫时间较短, 增产效应最明显。

**关键词:** 淋洗时间; 微咸水滴灌; 土壤盐分; 脱盐率; 产量

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)03-0260-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.03.039

## Effects of Leaching at Different Growth Stages on Soil Water, Soil Salt and Yield in a Drip-irrigated Maize Farmland with Brackish Water

TIAN Tong, LI Xianyue, SHI Haibin, GUO Yu, ZHU Ke, DING Zongjiang, LEN Xu, HU Qi

(Water Conservancy and Civil Engineering College, Inner Mongolia Agriculture University, Hohhot 010018)

**Abstract:** In order to improve crop yield under drip irrigation with brackish water and to clarify the effects of different leaching time on desalination and increasing yield, a salt leaching was conducted at the jointing stage (T1), tasseling stage (T2) and filling stage (T3) respectively in the Jingbu saving water experiment station of the Hetao irrigation area, Inner Mongolia. With no leaching in the growth period as control (CK), a total of 4 treatments were carried out to study the effects of leaching at different growth stages on soil water and salt and crop yield under mulched drip irrigation with brackish water. The results showed that the soil water contents increased by 18.9% from 0—60 cm after leaching at different growth stages, and the soil water contents of 0—40 cm under T1, T2 and T3 were significantly higher than that of CK, which durations were 12, 25, 28 days respectively. After the salt leaching, the soil water storages and water consumptions increased by 20.92% and 21.52%, respectively. The average salt contents below mulch decreased by 78.0% after leaching, and the salt content decreased by 0.20, 0.36, 0.44 mS/cm after leaching at jointing and tasseling and filling stage respectively. After leaching, the desalination rates below mulch increased by 55.01% from 0—60 cm, and by 125.79% from 60—100 cm. The desalination rates beyond mulch after leaching was higher than that below mulch by 38.9% averagely. The salt leaching at the jointing stage significantly increased maize yield and its components, by 18.8% for yield, by 6.8%, 5.5% and 7.0% for spike length, ear width and grain number, respectively, and by 7.8% ( $P < 0.05$ ) for harvest index. The salt leaching at the tasseling stage increased yield by 8.1% ( $P < 0.05$ ), but the effect of leaching at the filling period was not significant ( $P > 0.05$ ). Therefore, the salt leaching at the jointing stage resulted in the less salt stress, under

收稿日期: 2018-11-20

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400205); 国家自然科学基金项目(51469022, 51669020)

第一作者: 田彤(1994—), 女, 硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 447461383@qq.com

通信作者: 李仙岳(1980—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: lixianyue80@126.com

which crop yield could be increased obviously.

**Keywords:** leaching time; drip irrigation with brackish water; soil salinity; desalination rate; yield

我国地下微咸水资源储量多、分布广,目前可开采利用的地下微咸水总量可达 130 亿  $m^3$ <sup>[1]</sup>。而在西北干旱和半干旱地区,总体上区域地下水位较浅,地下可利用的微咸水占比较大,如内蒙古河套灌区,矿化度 2~5 g/L,深度在 10~40 m 的浅地下微咸水可开采量为 7.21 亿  $m^3$ <sup>[2]</sup>,且该地区年降水量不足 200 mm,淡水资源匮乏已成为农业可持续发展的瓶颈,故高效利用充足的微咸水资源是缓解用水供需矛盾的重要解决途径<sup>[3]</sup>。已有研究<sup>[4-9]</sup>表明,不同作物盐分的耐受性不同,利用微咸水产生的轻微盐分胁迫可以提高甜瓜、小麦、棉花及橄榄等作物的产量,而对番茄无显著影响。微咸水一方面为作物生长提供了水分,另一方面增加了土壤盐分,虽然微咸水滴灌也对土壤盐分具有淋洗作用,可以使作物根区形成近圆柱体形状的微润区域<sup>[10]</sup>,但灌水量小且蒸发强烈,生育期灌溉对累积盐分的淋洗作用有限<sup>[11]</sup>,易造成盐分在湿润体边缘累积。在非生育期进行淋洗已成为抑制土壤盐渍化的有效方法,对此国内外学者开展了很多工作,Phocaides 等<sup>[12]</sup>研究表明,在年降水量较小的区域,若采用微灌方式,则需要每年进行 1 次盐分的灌溉淋洗。在河套灌区通过采用秋浇、春灌等在非生育期进行大定额灌溉,从而达到有效淋洗土壤盐分的效果<sup>[13]</sup>。在生育期进行咸水灌溉会不可避免的产生土壤盐分累积,从而影响作物产量,为此很多学者<sup>[14-17]</sup>通过咸水与淡水交替灌溉的方式,进行土壤盐分的淋洗,降低微咸水灌溉时盐分对作物的胁迫。杨树青等<sup>[14]</sup>研究显示采用“淡—咸—咸”的灌溉方式是淡水和咸水最优的轮灌配置方式。朱成立等<sup>[15]</sup>研究显示低矿化度的微咸水可在作物苗期进行灌溉,而高矿化度咸水只能在灌浆成熟期进行灌溉,闵勇等<sup>[16]</sup>研究表明,微咸水—淡水交替方式,应在拔节期进行淡水灌溉,灌浆期进行微咸水灌溉。张刘东等<sup>[17]</sup>利用 SWAP 模型模拟了微咸水非充分灌溉对玉米生长的影响,结果表明盐分主要累积在 50 cm,对深层(100 cm)土壤盐分影响较小。而微咸水滴灌条件下,只要微咸水的矿化度不高于 3.0 g/L,对棉花生长的影响较小<sup>[18]</sup>,葵花的临界矿化度为 3.5 g/L<sup>[19]</sup>。微咸水滴灌条件下盐分会逐渐累积,对作物产生负面影响,而在生育期进行相应的淋洗可有效降低土壤盐分。尽管目前对滴灌条件下微咸水灌溉进行了相应的研究,但对于微咸水滴灌条件下淋洗时间以及淋洗后脱盐效果、盐分平衡等研究较少。

故本研究主要在微咸水滴灌条件下,在不同生育

期进行畦灌淋洗,探索不同淋洗时间对微咸水滴灌农田土壤水盐迁移,土壤脱盐效果以及对玉米产量的影响效应。研究结果为微咸水灌溉推广提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2017 年 4—10 月在内蒙古河套灌区永济灌域双河镇进步村节水综合试验站(40°41' N,107°18' E)进行,该地区光照充足,热量丰富,年均气温 7.0 °C,年均日照时间 3 222 h,无霜期 120 d,降雨稀少,多年平均降水量仅有 188 mm,而多年平均蒸发量高达 1 900 mm,属于典型的干旱缺水型地区。试验区 0—100 cm 土层以粉砂壤土为主,平均黏粒(<0.002 mm)占 4.28%,粉粒(0.002~0.05 mm)占 70.33%,砂粒(>0.05 mm)占 25.39%,土壤平均容重为 1.42 g/cm<sup>3</sup>,浅地下微咸水资源丰富,平均矿化度为 2.54 g/L,平均埋深为 208 cm。

### 1.2 试验设计

供试作物为玉米(品种为“钧凯 918”),采用滴灌覆膜宽窄行种植方式,滴头设计流量 2.4 L/h,滴灌布设方式为 1 膜 1 管 2 行(图 1),宽行 70 cm,窄行 40 cm,株距 30 cm。灌溉水源为地下微咸水,平均矿化度为 2.54 g/L,试验在当地及往年滴灌灌水经验的基础上,考虑了玉米需水量的特点,根据试验区基本资料按设计灌水定额计算,设置了玉米灌水定额为 22.5 mm,并当土壤水分低于 75%田间持水量时进行灌溉。在拔节期(T1)、抽雄期(T2)和灌浆期(T3)采用黄河水畦灌淋洗 1 次,以及生育期无淋洗(CK)共 4 个处理,每种处理设 3 个重复,采用随机田间区组排列布置,小区长 20 m,宽 7 m,面积 140 m<sup>2</sup>。淋洗灌水定额为 105 mm,矿化度为 0.54 g/L,并用水表计量水量,灌水时间见图 2。不同处理施肥方式完全一致,基肥采用一体化农机施入,磷肥和钾肥作为基肥一次性施入,施氮量为 210 kg/hm<sup>2</sup>,分 3 次施入,1/3 随基肥施入,2/3 在拔节期和灌浆期分别追施氮素,磷肥和钾肥一次性基施 140 kg/hm<sup>2</sup>,肥料均为换算后的纯施入量。

### 1.3 试验观测指标及方法

气象数据测定:采用自动监测气象站,每 1 h 测定 1 次大气压强、地温、气温、降雨量、太阳辐射等,定期用电脑采集数据;

土壤水分、负压和盐分测定:每 10 天测 1 次,降雨前后加测,取土位置为滴头下方和膜间(图 1),深度为 0—10,10—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 土

层,土壤水分采用土钻法定测;在 90,110 cm 埋设土壤负压计;将土样自然风干、碾压过 1 mm 标准筛,然后与去离子水按 1:5 混合搅拌,静置澄清后用电导率仪(佑科 DDS-11A)测量土壤电导率(EC);土壤浸提液中  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  采用双指示剂中和滴定法测定,  $\text{SO}_4^{2-}$  采用 EDTA 容量法测定,  $\text{Cl}^-$  采用  $\text{AgNO}_3$  滴定法测定,  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  采用 EDTA 络合滴定法测定,  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  采用火焰光度法<sup>[20]</sup>测定,土壤全盐量为 8 种离子含量之和。

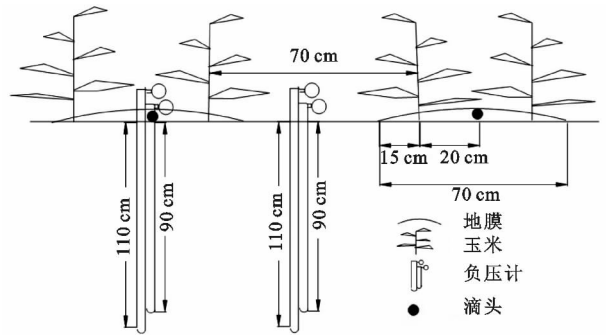


图 1 作物种植及监测位置示意

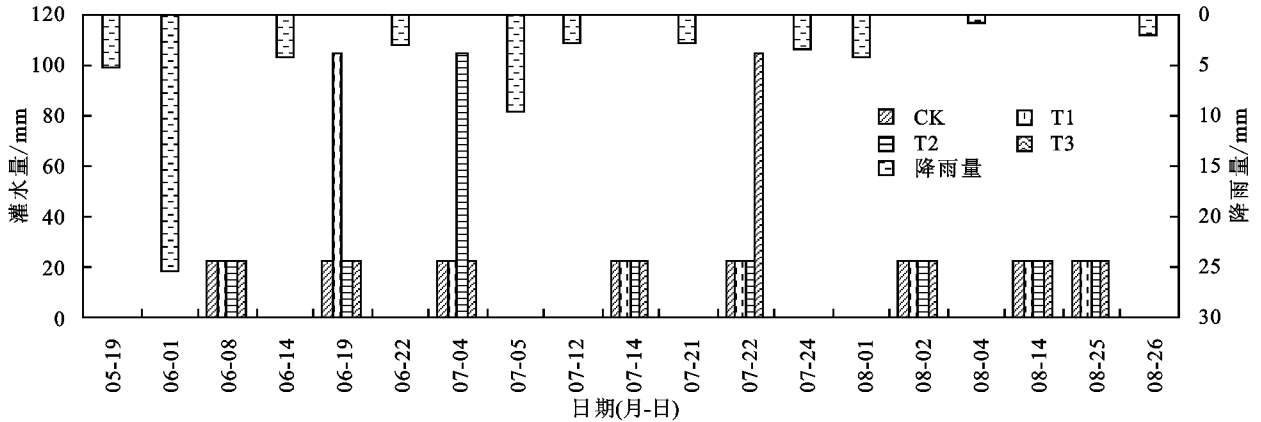


图 2 生育期降雨与灌水量分布

玉米产量测定:在每个小区中间选 1 条滴灌带连续选取 2 行玉米 10 株,分别测定穗长、穗粗、行粒数和百粒重,每个处理 3 次重复,以平均值作为该处理单位面积的产量构成要素,并根据种植密度折算鲜穗单位面积产量。

作物耗水量计算:根据水量平衡法计算夏玉米各生育期内的耗水量变化<sup>[21]</sup>,计算公式为:

$$ET = P + I + \Delta SW_s - Q$$

式中:ET 为作物全生育期内总耗水量(mm);P 为有效降水量(>5 mm,mm);I 为有效灌溉水量(mm);Q 为地下水补给量和渗漏量(mm),采用负压计进行测定并基于达西公式计算;SW<sub>s</sub> 为土壤储水量(mm)。

#### 1.4 数据处理

数据处理采用 Excel 2013 软件,采用 SPSS 21.0 软件进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同生育期淋洗对微咸水滴灌土壤水分及耗水量的影响

滴灌后主要影响滴头下面的覆膜区,故选取了滴头下方的土壤水分动态过程进行分析,由图 3 可知,总体上看 0—40 cm 受到滴灌的影响较大,生育期土壤水分波动强烈;滴灌对 40—100 cm 土壤水分影响较小,由于该区域干旱少雨,整个生育期 0—100 cm 土壤水分总体呈减小趋势。生育期淋洗后,均引起土壤含水率急剧上升,拔节期(T1)、抽雄期(T2)、灌浆

期(T3)淋洗后,与未淋洗(CK)处理相比,土壤含水率均有明显的提高,灌后在 0—40 cm 土层的土壤含水率分别增加了 13.26%,23.49%,20.07%;在 40—60 cm 土层,土壤含水率分别增加了 12.91%,23.48%,20.19%;而 60—100 cm 土层的影响较小,增加百分比分别为 5.5%,14.28%,7.40%,可见不同处理 0—60,60—100 cm 土层淋洗后土壤含水率分别提高了 18.90%和 14.28%。另外由于不同阶段农田耗水强度不同,淋洗后土壤含水率的持续时间不同,T1、T2 和 T3 处理在 0—40 cm 土壤含水率分别在 12,25,28 天后与未淋洗处理相比,无显著差异,而 60—100 cm 则分别在 10,12,19 天后无显著差异。

不同生育期淋洗后储水量明显增加(表 1),由于苗期不同处理灌溉量一致,不同处理储水量无显著差异( $P>0.05$ )。T1、T2 和 T3 处理与 CK 相比,对应生育期内储水量分别增加了 72.3,66.9,62.9 mm,均呈显著差异;由于成熟期内无灌水处理,不同处理的储水量无显著差异( $P<0.05$ ),但灌浆期淋洗后较高的土壤水分可持续到成熟期,故储水量最大;淋洗后储水量增加程度分别为拔节期淋洗处理>抽雄期淋洗处理>灌浆期淋洗处理。淋洗对耗水量的影响规律与储水量相似,T1、T2 和 T3 处理的耗水量与 CK 处理相比,对应生育期内耗水量增加别为 21.1,27.7,26.0 mm,均呈显著差异( $P<0.05$ )。在生育期淋洗处理与 CK 处理相比,拔节期、抽雄期和灌浆期淋洗处理,日均耗水量分别增加了 3.77,4.53,4.61 mm。不同生育期淋洗对滴灌农

田耗水量的影响程度大小为 T3 处理 > T2 处理 > T1

处理,其中灌浆期淋洗对耗水量影响最大。

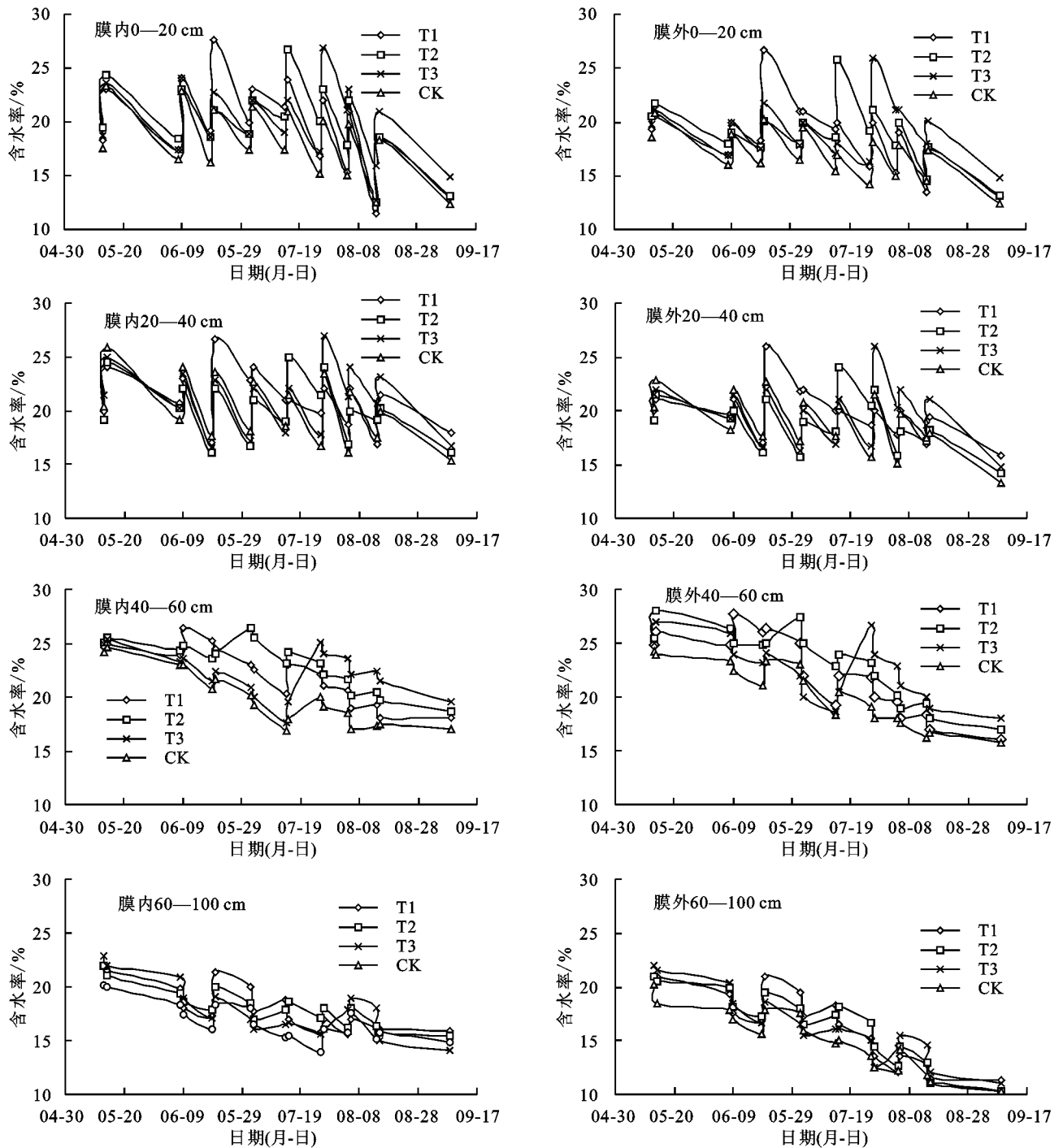


图 3 不同处理土壤含水率变化趋势

表 1 不同黄河水淋洗时期作物储水量和耗水量变化

单位: mm

处理	苗期		拔节期(淋洗)		抽雄期(淋洗)		灌浆期(淋洗)		成熟期	
	储水量	耗水量	储水量	耗水量	储水量	耗水量	储水量	耗水量	储水量	耗水量
T1	298.7a	41.0a	303.1a	98.1a	270.4b	119.9b	212.8c	85.8b	253.6a	39.2ab
T2	295.4a	47.3a	243.2b	83.4b	345.8a	142.9a	226.7bc	88.9b	238.8a	42.7a
T3	284.4a	46.0a	232.9b	79.7b	300.5b	118.1b	321.3a	106.0a	265.4a	36.3ab
CK	293.2a	44.8a	230.8b	77.0b	278.9b	115.2b	258.4b	85.0b	255.6a	35.4b

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

### 2.2 不同生育期淋洗对微咸水滴灌电导率 EC 分布的影响

总体上微咸水滴灌后滴头下方土壤(膜内)盐分有

明显的下降趋势,虽然微咸水的盐分含量(2.54 g/L)远低于土壤中的盐分,但是滴灌灌水定额较小,湿润峰通常在0—40 cm,对40—60 cm的EC无显著影响( $P >$

0.05), 60—100 cm 几乎无影响(图 4)。不同生育期淋洗后使 EC 进一步下降, 淋洗后 0—40 cm 对应处理的 EC 平均比 CK 处理下降了 35.68%, 40—60 cm 土壤 EC 平均下降了 72.88%, 60—100 cm 的 EC 平均下降 125.43%, 0—100 cm 土壤 EC 平均下降 78.00%。微咸水滴灌后其水平湿润峰边缘(膜外)的土壤每层都处于积盐状态, 表层土壤的积盐速度远大于深层土壤, 特别是 0—20 cm 日均积盐量达到 7.12 g。而 60—100 cm 日积盐量为 1.13 g。3 个生育期淋洗后均使土壤 EC 出现断崖式下降, 淋洗时间越靠后, EC 下降程度越明显, 与

CK 处理相比拔节期、抽雄期、灌浆期淋洗后 EC 下降值分别为 0.20, 0.36, 0.44 mS/cm。生育期淋洗后土壤上层 EC 的下降程度远高于土壤下层, 如淋洗后在 0—20 cm 土层 3 个处理 EC 平均下降值为 0.67 mS/cm, 显著大于 60—100 cm 的 EC 平均值 0.17 mS/cm ( $P < 0.01$ )。另外, 由于滴灌影响, 膜外 EC 值始终大于膜内, 导致畦灌淋洗对水平湿润峰(膜外)土壤 EC 的影响远大于滴头下方(膜内)与 CK 处理对比, 生育期淋洗后 0—20, 20—40 cm 土层膜外 EC 平均下降值远大于膜内, 差值分别为 0.13, 0.33 mS/cm。

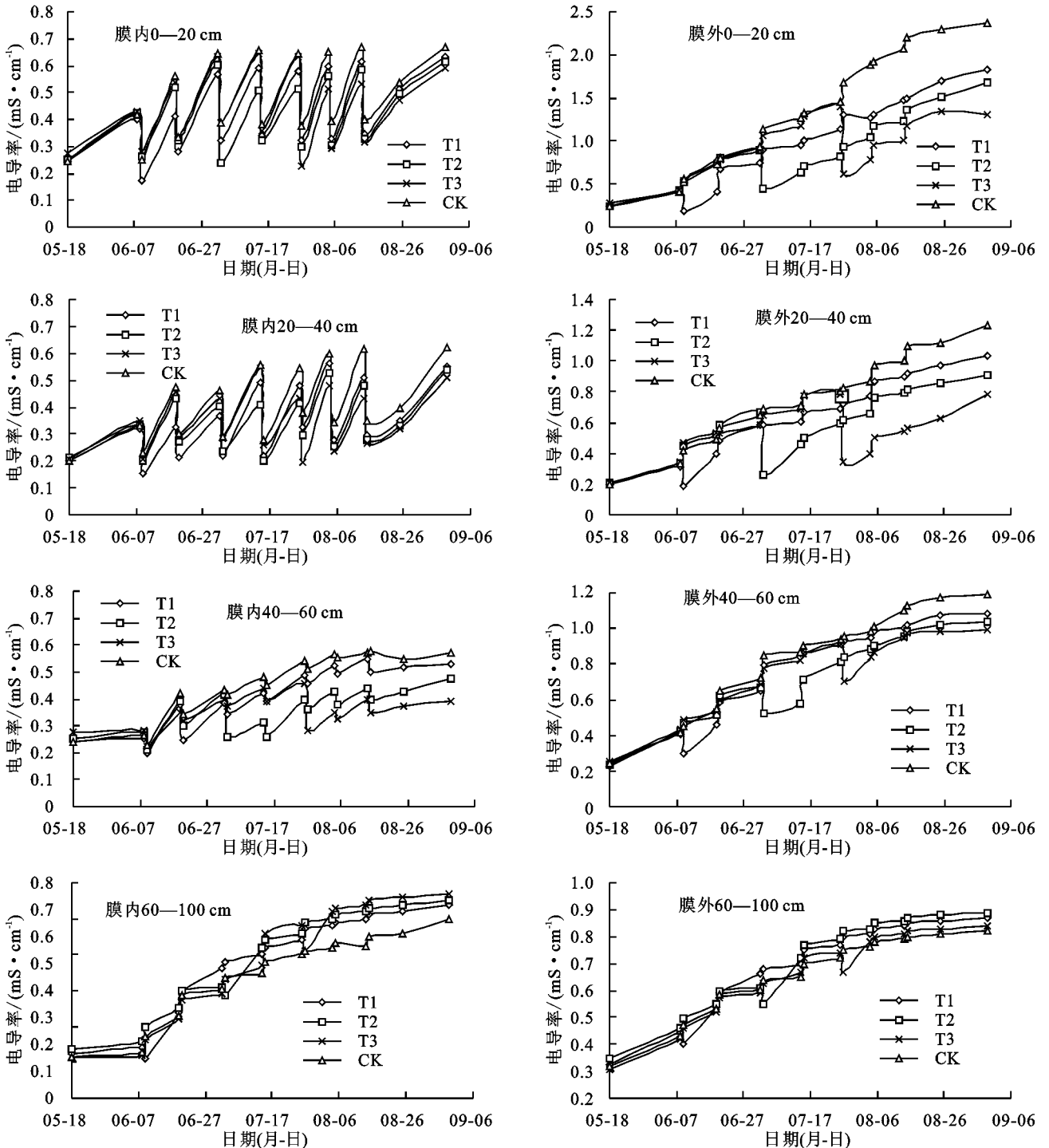


图 4 不同处理膜内和膜外土壤剖面盐分变化趋势

### 2.3 不同生育期淋洗对微咸水滴灌农田脱盐率的影响

由表 2 可知,不同生育期淋洗后脱盐效果均较明显,膜内 0—60 cm 微咸水滴灌与畦灌淋洗均使土壤脱盐,但畦灌淋洗后的平均脱盐率比 CK 处理提高 55.01%,而 60—100 cm 微咸水滴灌处理 CK 却处于积盐状态,对应的生育期淋洗处理平均脱盐率提高了 125.79%。灌浆期畦灌淋洗处理的盐分淋洗率明显高于其他处理,3 次不同生育期淋洗盐分的处理 T1、T2 和 T3, T3 处理膜内平均淋洗率为

54.78%,高于 T1 和 T2 处理 21.88%和 6.68%。微咸水滴灌时形成以滴头为圆心的椭圆形,盐分随水分向膜外迁移,膜外不同生育期平均脱盐率比膜内提高 38.90%,特别是 40—60 cm 土层差异最大,提高 52.46%。微咸水滴灌次数越多,淋洗后脱盐效果越好。在拔节期、抽雄期和灌浆期淋洗后 0—100 cm 的脱盐率分别为 42.29%,51.13%,54.78%。与 CK 相比,淋洗后不同处理在 0—100 cm 土层脱盐率呈显著差异( $P < 0.05$ )。

表 2 不同淋洗时间对各处理不同土层盐分淋洗的影响

处理	土层 深度/cm	拔节期				抽雄期				灌浆期			
		膜内		膜外		膜内		膜外		膜内		膜外	
		变化值/ (g·kg <sup>-1</sup> )	脱盐率/ %	变化值/ (g·kg <sup>-1</sup> )	脱盐率/ %	变化值/ (g·kg <sup>-1</sup> )	脱盐率/ %	变化值/ (g·kg <sup>-1</sup> )	脱盐率/ %	变化值/ (g·kg <sup>-1</sup> )	脱盐率/ %	变化值/ (g·kg <sup>-1</sup> )	脱盐率/ %
T1	0—20	-0.65	59.58	-0.65	60.42	-0.71	41.49	0.54	-20.27	-0.75	41.95	0.57	-14.64
	20—40	-0.44	54.60	-0.34	63.52	-0.40	37.65	0.60	-17.24	-0.43	32.32	0.22	-8.19
	40—60	-0.34	43.68	-0.25	49.51	-0.09	13.84	0.50	-21.54	-0.03	5.66	0.13	-2.17
	60—100	-0.14	13.31	-0.06	14.43	0.29	-3.45	0.13	-3.03	0.35	-3.33	0.20	-5.32
T2	0—20	-0.43	35.74	0.38	-22.53	-1.06	69.46	-1.31	69.78	-0.62	42.25	0.41	-13.41
	20—40	-0.37	40.07	0.41	-31.11	-0.43	67.44	-1.21	68.09	-0.31	28.37	0.19	-6.67
	40—60	-0.21	21.08	0.22	-10.74	-0.41	51.18	-0.40	54.21	-0.03	8.69	0.16	-3.54
	60—100	0.10	-4.41	0.19	-8.37	-0.06	12.89	-0.06	16.23	0.22	-3.23	0.16	-3.82
T3	0—20	-0.40	32.30	0.41	-24.78	-0.71	39.03	0.60	-18.89	-1.21	79.27	-2.37	75.72
	20—40	-0.37	37.61	0.44	-34.29	-0.37	33.12	0.47	-12.07	-0.68	69.04	-0.12	77.43
	40—60	-0.03	9.58	0.25	-13.23	-0.03	6.68	0.38	-13.04	-0.50	54.53	-0.59	63.08
	60—100	0.13	-5.70	0.19	-10.12	0.04	-7.75	0.19	-6.61	-0.06	16.26	-0.06	15.54
CK	0—20	-0.46	37.98	0.50	-34.45	0.88	39.57	0.72	-22.58	-0.78	41.58	0.74	-14.71
	20—40	-0.25	30.62	0.35	-26.70	-0.46	36.74	0.63	-6.15	-0.46	30.90	0.19	-5.13
	40—60	-0.18	19.05	0.16	-8.04	0.14	3.54	0.47	-18.06	-0.03	5.61	0.13	-2.13
	60—100	0.13	-3.07	0.19	-9.30	0.19	-2.42	0.16	-5.64	0.22	-5.46	0.16	-4.03

### 2.4 不同生育期淋洗对微咸水滴灌玉米产量及其构成因子的影响

不同生育期淋洗对微咸水滴灌玉米产量及其构成因子有明显影响,总体上经过生育期淋洗后产量均会提高。由表 3 可知,淋洗时间越早,作物受盐胁迫的时间越短,产量相应越高,如拔节期和抽雄期淋洗的 T1 和 T2 处理产量分别比 CK 提高了 18.8%和 8.1%,差异显著( $P < 0.05$ ),但灌浆期淋洗处理产量比 CK 处理仅提高了 0.7%,差异不显著( $P > 0.05$ )。同样玉米产量构成因子也有相似的结论,如生育期畦灌淋洗后各产量构成

因子均高于 CK 处理,其中拔节期畦灌淋洗处理的穗长、穗宽和行粒数高于 CK 处理 6.8%,5.5%,7.0% ( $P < 0.05$ ),而抽雄期和灌浆期与 CK 相比,差别较小,特别是灌浆期畦灌淋洗后产量构成因子分别仅比 CK 处理提高 0.6%,1.8%,1.7%,无显著差异( $P > 0.05$ )。收获指数与产量变化相似,拔节期淋洗处理的收获指数最大为 47.5%,与 CK 处理相比提高了 7.8%。由于生育期淋洗处理后明显降低了土壤盐分,提高了玉米产量,产量增加量高于耗水量,故 WUE 均高于 CK 处理,大小顺序分别为 T1>T2>T3。

表 3 不同处理产量及水分利用效率差异性分析

小区	穗行数	穗长/ cm	穗宽/ cm	行粒数	百粒重/ g	经济产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	收获 指数/%	耗水量/ mm	WUE/ (kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
T1	16.88a	16.63a	4.63a	42.78a	35.86a	11049a	47.5a	383.99b	27.27a
T2	16.50a	15.87b	4.50b	41.67b	33.89b	10054ab	46.2b	405.17a	26.04b
T3	16.39a	15.67b	4.47bc	40.67c	32.64cd	9365b	44.9c	386.10b	25.93bc
CK	16.34a	15.57b	4.39cd	40.00c	32.41c	9300b	44.0d	357.39c	24.22d

### 3 讨论

土壤中盐分一般以水分作为载体进行迁移,主要包括 2 个过程:其一是在灌水过程中盐分随着水分向四周扩散运移的过程,当灌水后会在滴头附近形成半径不等低于前期土壤盐分的脱盐区<sup>[22]</sup>;另一过程是土壤水分随着土壤蒸发和植物蒸腾进行再分布,盐分也会随之进行迁移<sup>[23]</sup>。灌水脱盐主要受灌水量、蒸发和灌水时间等因素的影响。本文主要探讨了不同生育期淋洗对微咸水滴灌脱盐效果的影响。微咸水滴灌灌水和畦灌淋洗均能使膜内 0—60 cm 土层出现不同程度脱盐,对于微咸水滴灌,仍对膜内土壤有淋洗作用,这与已有的研究<sup>[22]</sup>结果一致。不同生育期淋洗处理 60—100 cm 的脱盐率显著高于未淋洗处理,脱盐效果明显,主要是因为灌溉水源为淡水,淋洗过程未带入土壤盐分且淋洗水量较大,能增强深层土壤的脱盐效果。微咸水滴灌后受灌溉影响,水平方向上,盐分随着灌水入渗向湿润峰边缘迁移,导致膜外土壤含盐量始终大于膜内,垂直方向上,受蒸发影响出现盐分表聚,浅层土层盐分累积始终大于深层土壤,这与李金刚等<sup>[1]</sup>研究结果一致。玉米生育后期上层土壤盐分增量明显大于下层,其原因可能是灌溉微咸水带入的盐分离子与土壤胶体及土壤中原有离子发生交换,增强土壤胶体的絮凝作用,改变土壤团粒结构,且后期蒸发强烈,大量盐分随水分向表层聚集,高含盐量土层不断扩展。在灌浆期进行淋洗土壤脱盐率最高,这是由于在灌浆期,微咸水灌溉导致盐分累积较大,淋洗后脱盐率较高;而拔节期进行淋洗后,随着微咸水滴灌次数增加,盐分逐渐累积,从而在收获后脱盐率较低。在拔节期和抽雄期进行淋洗后能显著提高玉米产量,这是由于玉米在拔节期前主要进行营养生长,抗盐胁迫能力较弱,土壤盐分会产生抑制作用<sup>[24]</sup>,越早淋洗,土壤处于低盐的时间越长,从而产量较高,玉米各生育期对盐分敏感程度为拔节期>抽雄期>灌浆期,这与朱成立等<sup>[21]</sup>得出的玉米各生育期敏感程度为拔节期>壮苗期>灌浆期结论十分相近。在拔节期淋洗与 CK 处理相比产量提高了 18.8%,差异显著( $P<0.05$ ),生物量的增加是最明显的,水分利用效率也相应提高,这与闵勇等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。本试验针对不同生育期淋洗对与土壤盐分和玉米产量的影响进行了研究,表明了微咸水对玉米拔节期影响较大,在拔节期进行灌溉淋洗可以明显提高微咸水滴灌农田产量,确定了适宜的淋洗时期。

### 4 结论

(1)全生育期不同处理在 0—60,60—100 cm 土

壤含水率分别提高了 18.90%和 14.28%;而拔节期、抽雄期和灌浆期淋洗后,0—40 cm 土壤含水率显著高于 CK,维持时间分别为 12,25,28 天。不同生育期淋洗后土壤储水量和作物耗水量均明显增加,与 CK 相比,平均增加了 20.92%和 21.52%;不同生育期淋洗对滴灌农田耗水量的影响程度大小为灌浆期处理>抽雄期处理>拔节期处理。

(2)微咸水滴灌后土壤盐分总体呈累积状态,滴头下方 0—40 cm 土壤盐分出现短时期下降,与 CK 对比,不同生育期畦灌淋洗后 0—100 cm 土壤 EC 平均下降 78.00%。膜外土壤 EC 随灌水次数增加呈上升趋势,淋洗后 EC 显著下降,淋洗时间越靠后,EC 下降程度越明显,与 CK 处理相比拔节期、抽雄期、灌浆期淋洗后 EC 分别下降了 0.20,0.36,0.44 mS/cm,且淋洗后膜外土壤 EC 降低值大于膜内。

(3)在膜内 0—60 cm 淋洗后脱盐率比微咸水滴灌脱盐率提高 55.01%,而 60—100 cm 土层微咸水滴灌处理均处于积盐状态,与 CK 相比,淋洗脱盐率平均提高 125.79%。淋洗后膜外脱盐率比膜内提高 38.90%,特别是 40—60 cm,提高了 52.46%。不同生育期淋洗脱盐效果顺序为灌浆期淋洗处理>抽雄期淋洗处理>拔节期淋洗处理,其中灌浆期淋洗脱盐率达到 54.78%。

(4)拔节期和抽雄期淋洗后产量较对照均显著提高( $P<0.05$ ),其中拔节期淋洗后产量提高了 18.8%,而灌浆期淋洗产量无显著提高;同时拔节期淋洗处理收获指数提高了 7.8%,穗长、穗宽和行粒数分别提高 6.8%,5.5%,7.0%。

#### 参考文献:

- [1] 李金刚,屈忠义,黄永平,等.微咸水膜下滴灌不同灌水下限对盐碱地土壤水盐运移及玉米产量的影响[J].水土保持学报,2017,31(1):217-223.
- [2] 田富强,温洁,胡宏昌,等.滴灌条件下干旱区农田水盐运移及调控研究进展与展望[J].水利学报,2018,49(1):126-135.
- [3] 王全九,单鱼洋.微咸水灌溉与土壤水盐调控研究进展[J].农业机械学报,2015,46(12):117-126.
- [4] 郭丽,郑春莲,曹彩云,等.长期咸水灌溉对小麦光合特性与土壤盐分的影响[J].农业机械学报,2017,48(1):183-190.
- [5] 宋露露,田军仓,王怀博,等.基于正交试验的温室甜瓜微咸水灌溉管理模式优化[J].灌溉排水学报,2014,33(2):36-39.
- [6] Chen W, Hou Z, Wu L, et al. Evaluating salinity distribution in soil irrigated with saline water in arid regions of northwest China [J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(12): 2001-2008.

- [7] Hu H C, Tian F Q, Hu H P. Soil particle size distribution and its relationship with soil water and salt under mulched drip irrigation in Xinjiang of China [J]. *Science China(Technological Sciences)*, 2011, 54(6): 1568-1574.
- [8] Chedlia B A, Salwa M, Bechir B R, et al. Saline water irrigation effects on soil salinity distribution and some physiological responses of field grown Chemlali olive [J]. *Journal of Environmental Management*, 2012, 113:538-549.
- [9] 汪洋,田军仓,高艳明,等.非耕地温室番茄微咸水灌溉试验研究[J].*灌溉排水学报*,2014,33(1):12-16.
- [10] 刘小刚,朱益飞,余小弟,等.不同水头和土壤容重下微润灌溉湿润体内水盐分布特性[J].*农业机械学报*,2017,48(7):189-197.
- [11] 胡宏昌,田富强,张治,等.干旱区膜下滴灌农田土壤盐分非生育期淋洗和多年动态[J].*水利学报*,2015,46(9):1037-1046.
- [12] Phocaides A. Handbook on Pressurized Irrigation Techniques [M]. 2nd ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- [13] 卢星航,史海滨,李瑞平,等.覆盖后秋浇对翌年春玉米生育期水热盐及产量的影响[J].*农业工程学报*,2017,33(1):148-154.
- [14] 杨树青,叶志刚,史海滨,等.蒙河套灌区咸淡水交替灌溉模拟及预测[J].*农业工程学报*,2010,26(8):8-17.
- [15] 朱成立,强超,黄明逸,等.咸淡水交替灌溉对滨海垦区夏玉米生理生长的影响[J].*农业机械学报*,2018,49(12):253-261.
- [16] 闵勇,朱成立,舒慕晨,等.微咸水—淡水交替灌溉对夏玉米光合日变化的影响[J].*灌溉排水学报*,2018,37(3):9-17.
- [17] 张刘东,王庆明.咸水不充分灌溉对土壤盐分分布的影响及 SWAP 模型模拟[J].*节水灌溉*,2015(7):32-35,39.
- [18] 郭仁松,林涛,徐海江,等.微咸水滴灌对绿洲棉田水盐运移特征及棉花产量的影响[J].*水土保持学报*,2017,31(1):211-216.
- [19] 郑凤杰,杨培岭,任树梅,等.微咸水滴灌对食用葵花的生长影响及其临界矿化度的研究[J].*灌溉排水学报*,2015,34(12):19-23.
- [20] 李彬,史海滨,张建国,等.节水改造前后内蒙古河套灌区地下水水化学特征[J].*农业工程学报*,2014,30(21):99-110.
- [21] 朱成立,舒慕晨,张展羽,等.咸淡水交替灌溉对土壤盐分分布及夏玉米生长的影响[J].*农业机械学报*,2017,48(10):220-228,201.
- [22] 马文军,程琴娟,李良涛,等.微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响[J].*农业工程学报*,2010,26(1):73-80.
- [23] 栗现文,靳孟贵,袁晶晶,等.微咸水膜下滴灌棉田漫灌洗盐评价[J].*水利学报*,2014,45(9):1091-1098,1105.
- [24] 孙林,罗毅,杨传杰,等.不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征[J].*土壤学报*,2012,49(3):428-436.
- (上接第 259 页)
- [10] 刘海芳,马军辉,金辽,等.水稻土 FDA 水解酶活性的测定方法及应用[J].*土壤学报*,2009,46(2):365-367.
- [11] 翟优雅,张立新,高梅,等.施用磷肥对烤烟烟叶氮磷钾养分以及酸性磷酸酶和多酚氧化酶活性的影响[J].*中国土壤与肥料*,2014(2):53-57.
- [12] 曾庆宾,李涛,王昌全,等.微生物菌剂对烤烟根际土壤脲酶和过氧化氢酶活性的影响[J].*中国农学通报*,2016,32(22):46-50.
- [13] 李庆凯,刘苹,唐朝辉,等.两种酚酸类物质对花生根部土壤养分、酶活性和产量的影响[J].*应用生态学报*,2016,27(4):1189-1195.
- [14] 石振,马凤鸣,李彩凤,等.外源酚酸类物质对大豆幼苗生长的影响[J].*作物杂志*,2008(3):40-43.
- [15] 顾元,常志州,于建光,等.外源酚酸对水稻种子和幼苗的化感效应[J].*江苏农业学报*,2013,29(2):240-246.
- [16] 杨苞梅,李国良,姚丽贤,等.有机肥施用模式对蔬菜产量、品质及土壤酶活性的影响[J].*土壤通报*,2011,42(1):70-76.
- [17] 宋慧,高小丽,王晓曼,等.外源酚酸对小豆根际土壤酶活性及微生物群落结构的影响[J].*农业科学与技术*,2017(10):1935-1940.
- [18] 李庆凯,刘苹,唐朝辉,等.两种酚酸类物质对花生根部土壤养分、酶活性和产量的影响[J].*应用生态学报*,2016,27(4):1189-1195.
- [19] 方斯文,张爱华,贾明慧,等.化感作用对土壤酶影响的研究进展[J].*中国农学通报*,2012,28(32):249-252.
- [20] 荣丽,李守剑,李贤伟,等.华西雨屏区不同退耕模式细根(包括草根)分解过程中土壤酶动态[J].*植物生态学报*,2010,34(6):642-650.
- [21] 王延平,倪桂萍,姜岳忠,等.酚酸对杨树人工林土壤养分有效性及酶活性的影响[J].*应用生态学报*,2013,24(3):667-674.
- [22] 母容,潘开文,王进闯,等.阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响[J].*生态学报*,2011,31(3):793-800.
- [23] 沙海宁,孙权,周明,等.氮素供应对土壤酶活性及设施番茄生理抗性和产量的影响[J].*北方园艺*,2010(7):9-11.
- [24] 曹银珠,赵同科,刘树庆,等.脲酶/硝化抑制剂双控过程中硝化抑制尿素分解效应[J].*水土保持学报*,2015,29(4):143-147.
- [25] 潘芳慧,张晓玮,王友保.施磷对吊兰修复镉污染土壤及土壤酶活性的影响[J].*水土保持学报*,2018,32(3):346-351.