

灌水处理对漫灌改滴灌红枣土壤盐分时空分布的影响

胡家帅^{1,2}, 王振华^{1,2}, 郑旭荣^{1,2}, 李朝阳³, 扁青永^{1,2}, 陈文娟^{1,2}

(1. 石河子大学水利建筑工程学院, 新疆 石河子 832000; 2. 石河子大学现代节水灌溉兵团重点实验室, 新疆 石河子 832000; 3. 塔里木大学水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要: 为确定南疆沙区成龄红枣漫灌改滴灌适宜的滴灌模式, 采用双因素组合试验设计, 研究了不同灌溉定额(900, 1 050, 1 200 mm)和灌水次数(10, 14, 18次)对红枣漫灌改滴灌后整个生育期0—200 cm土层盐分时空分布及产量的影响。结果表明: 水平方向上各处理均表现为距树干越远土壤盐分质量比越高, 增大灌溉定额使距树干60 cm处0—20 cm土层土壤盐分质量比明显增大; 增加灌水次数可以显著降低距树干60 cm处0—80 cm土层土壤盐分质量比。垂直方向上土壤盐分质量比呈“S”形分布, 表层土壤有明显积盐现象; 不同灌溉定额处理垂直方向上均出现一个低盐带(<2 g/kg), 低盐带深度范围随灌溉定额的增加而增大。漫灌相比改滴灌水平方向上土壤盐分质量比变化不大, 且表层土壤也无明显积盐现象。整个生育期内, 各处理土壤盐分质量比峰值出现在6月新稍期或7月花期; 在0—200 cm土层, 10次、1 200 mm灌水处理和14次、900 mm灌水处理的盐分淋洗效果与漫灌CK处理相近, 漫灌处理只在0—100 cm土层盐分淋洗效果明显优于改滴灌处理。灌水次数对0—200 cm土层各时间阶段土壤盐分质量比的影响弱于灌溉定额。漫灌改滴灌不同于连续滴灌, 漫灌改滴灌后, 过低或过高的灌溉定额均不利于提高红枣的产量, 与其他处理相比, 18次、1 050 mm灌溉定额处理不但具有合理的盐分时空分布, 且产量($7\,549$ kg/hm²)和水分利用效率最高, 比漫灌增产12.87%, 节水30%, 可以作为当地节水、高产和高效的红枣漫灌改滴灌灌溉制度。

关键词: 红枣; 滴灌; 灌溉定额; 灌水次数; 土壤盐分; 产量

中图分类号: S274.1; S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)01-0312-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.01.049

Effect of Different Irrigation Treatments on the Spatial and Temporal Distribution in Red Jujube's Soil Salt Under the Condition of Changing Flood Irrigation into Drip Irrigation

HU Jiashuai^{1,2}, WANG Zhenhua^{1,2}, ZHENG Xurong^{1,2},

LI Chaoyang³, BIAN Qingyong^{1,2}, CHEN Wenjuan^{1,2}

(1. College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000;

2. Key Laboratory of Modern Water-Saving Irrigation of Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi University,

Shihezi, Xinjiang 832000; 3. College of Water Resource and Architectural Engineering, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract: To determine the appropriate drip irrigation mode for southern desert aged red jujube when changing flood irrigation into drip irrigation, the effect of different irrigation quotas (900, 1 050, 1 200 mm) and irrigation times (10, 14, 18) on soil salt distribution of 0—200 cm in the whole red jujube growth period and yield after using drip irrigation are examined using the two factor combination test design. The results showed that every process in the horizontal direction performed as follows: the soil salt content became higher with the increasing distance to the tree trunk, and the increased irrigation quota could increase the soil salt content remarkably in the 0—20 cm soil layer at 60 cm distance to the trunk; the increased irrigation frequency could reduce the soil salt content significantly in the 0—80 cm soil layer at 60 cm distance to the trunk. The soil salinity appeared as an “S” shaped distribution in the vertical direction, and an obvious accumulation phenomenon in the surface soil. Different irrigation quotas showed a low salinity zone (<2 g/kg) in the vertical direction, and the depth of the low salinity zone would increase with the increasing irrigation quota.

收稿日期: 2017-08-28

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC14B01); 兵团中青年科技创新领军人才计划项目(2015BC001)

第一作者: 胡家帅(1991—), 男, 硕士研究生, 主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 515497576@qq.com

通信作者: 王振华(1979—), 男, 博士, 教授, 主要从事干旱区节水灌溉理论与技术研究。E-mail: wz2002027@163.com

Compared with the drip irrigation, the soil salinity of the flood irrigation was not changed much in the horizontal direction, and there was no obvious salt accumulation phenomenon. During the whole growth period, the soil salinity peak appeared in June of the new shoot period or July of the flowering stage. As for the 0—200 cm soil layer, the salt leaching effects of the irrigation treatment with 10 times and 1 200 mm and the treatment with 14 times and 900 mm were similar to the flood irrigation. The flood irrigation treatment was only obviously better than the drip irrigation in the 0—100 cm soil layer. The effect of irrigation times on soil salt content of 0—200 cm was weaker than the irrigation quotas. After changing into drip irrigation, neither the too low nor the too high irrigation quota was conducive to improve the yield of red jujube. Eighteen times and 1 050 mm irrigation showed a not only reasonably salt distribution but also the highest yield (7 549 kg/hm²) and water use efficiency, increased by 12.87% in yield and 30% in water saving compared with the other treatments. Thus, it can be used as the local drip irrigation regime of red jujube for the water-saving, high yield and high efficiency purpose.

Keywords: red jujube; drip irrigation; irrigation quotas; irrigation times; soil salt content; yield

枣(*Ziziphus jujuba* Mill),鼠李科枣属植物,是人们喜爱的药食兼用果品之一,也是一种重要经济林树种。2008 年以来,新疆红枣产业迅猛发展^[1],截至 2014 年底,新疆红枣种植面积已跃居全国第一,达 43×10⁴ hm²,占全国总面积的近三分之一,红枣已成为新疆农民增收的支柱型产业。但新疆红枣灌溉水利用效率普遍较低,农一师地区 90%的红枣种植仍是传统漫灌方式,致使新疆水资源更加短缺、红枣果实品质差,严重限制新疆红枣产业的发展。红枣传统漫灌种植方式在新疆地区前景堪忧,推广应用先进滴灌技术,提高红枣用水效率迫在眉睫^[2-4]。针对新疆红枣实际种植情况,连续多年漫灌突然改滴灌后红枣的灌水控盐问题亟需研究,对指导生产实践和节水灌溉具有重要意义。

目前有关滴灌土壤盐分分布特征及影响因素的研究多以棉花^[5-7]、小麦^[8]和玉米^[9-10]等作物为主,一般认为,增加灌溉定额会使垂直方向上土壤盐分峰值向下移动^[11],高频灌溉有利于提高作物产量、水分利用效率和脱盐效果^[12-13]。也有部分研究发现高频和低频灌溉对作物产量无明显影响^[14]和不利于棉花生长^[15],可能与气候、土壤等试验环境有关^[16]。少数有关滴灌红枣的研究^[17-20]表明,在干旱区采用滴灌技术可有效提高灌溉水利用效率,对红枣的生长、产量和果实品质均具有促进作用,高频灌溉土壤含盐量明显

低于低频灌溉,在花期和初果期低频灌溉土壤表层盐分积累大于高频灌溉。然而已获得的研究成果多针对常年滴灌红枣,结合南疆地区红枣实际种植情况的研究尚不足,且对红枣这种深根性作物的水盐研究多停留在 0—100 cm 土层范围。本文尝试以南疆沙区常年连续漫灌红枣为研究对象,通过大田试验研究漫灌改滴灌条件下灌水处理对红枣 0—200 cm 土层土壤盐分时空分布和产量的影响,以期对红枣漫灌改滴灌技术提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2015 年 6 月至 2016 年 10 月在新疆阿拉尔一师灌溉实验站(81°14′12″ E,40°34′28″ N)进行。该站位于阿拉尔市郊区,平均海拔 1 015 m,平均地面坡度为 5‰。试验区属于暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,年均日照时间为 2 550 h,年均太阳辐射达 601 kJ/cm²,多年平均降水量为 61 mm,年均蒸发量 2 218 mm,极端最高气温 41 ℃,极端最低气温-33.2 ℃,无霜期 201 d。实验站常年主导风向为东北风,夏季多西北风,全年平均风速 1.9 m/s,冬季平均风速为 1.2 m/s,8 级以上大风日数平均为 10 d,最多可达 30 d,最小近 2 d,最大风速 12~28 m/s。试验区 2 m 深土层内的土壤理化性质及机械组成如表 1 所示。

表 1 试验地土壤基本物理参数

土层 深度/cm	体积质量/ (g·cm ⁻³)	土壤 质地	土壤各级颗粒百分比/%							
			≤0.001	0.001<d≤0.002	0.002<d≤0.01	0.01<d≤0.05	0.05<d≤0.1	0.1<d≤0.25	0.25<d≤0.5	0.5<d≤1
0—200	1.45	砂壤土	9.02	19.35	21.02	38.86	6.12	1.86	1.12	2.65

注:表中 d 指土壤粒径(mm)。

1.2 试验设计

试验以站内 8 a 生矮化密植骏枣为试验材料,枣树于 2008 年种植,2009 年嫁接,宽窄行种植模式,宽行行距 2 m,窄行行距 0.8 m,株距 0.8 m。该地块自 2008 年种植以来多年连续漫灌,2014 年灌溉定额

1 500 mm,2015 年 6 月改为滴灌,2016 年 5 月开始进行整个生育期盐分观测。改滴灌后肥料随水滴施,肥料采用大量元素水溶肥料(N、P、K 含量为 10%,16%,26%),施肥量为 1 500 kg/hm²,生育期内病虫害防治及其他农艺管理与当地漫灌枣园相同。

试验按照灌溉定额和灌水次数设计 9 个滴灌处理(表 2),每个处理设置 3 个重复,共 27 个小区。灌水次数设 10,14,18 次 3 个水平,灌溉定额设 900,1 050,1 200 mm 3 个水平,以漫灌 CK 作为对照。小区面积 120 m²,小区之间设有保护行,保证小区间水分互不影响。滴灌带铺设为 1 行 2 管,即在树行两侧

20 cm 处各布置 1 根滴灌带,滴灌带采用新疆普疆节水公司生产的内镶贴片式滴灌带,内径 16 mm,壁厚 0.4 mm,滴头流量 3 L/h,滴头间距 30 cm。灌溉水源采用地下水,矿化度 1.0~1.4 g/L,灌前将水抽入 100 m³ 蓄水池通过调压水泵装置进入滴灌系统,在各处理进水口位置安装高精度水表记录灌水量。

表 2 试验设计

处理	萌芽期		新稍期		花期		膨大期		白熟期		完熟期		WT/mm	FT
	W/mm	F	W/mm	F	W/mm	F	W/mm	F	W/mm	F	W/mm	F		
W1F1	83	1	83	1	180	2	180	2	300	3	75	1	900	10
W2F1	90	1	90	1	225	2	225	2	330	3	90	1	1050	10
W3F1	105	1	105	1	255	2	255	2	360	3	120	1	1200	10
W1F2	83	1	83	2	180	3	180	3	300	4	75	1	900	14
W2F2	90	1	90	2	225	3	225	3	330	4	90	1	1050	14
W3F2	105	1	105	2	255	3	255	3	360	4	120	1	1200	14
W1F3	83	1	83	2	180	4	180	4	300	5	75	2	900	18
W2F3	90	1	90	2	225	4	225	4	330	5	90	2	1050	18
W3F3	105	1	105	2	255	4	255	4	360	5	120	2	1200	18
CK	165	1	165	1	330	2	420	2	420	2	0	0	1500	8

注:表中 W 指该阶段灌水量;F 指该阶段灌水频次;WT 指灌溉定额;FT 指总灌水次数。

1.3 测定项目与方法

采用取土烘干法测定土壤含水率和盐分,观测深度为 2 m,每个处理于红枣不同生育阶段取土样,取样点位于小区中间位置,水平取样距离为距树干 20,40,60 cm,垂直取土深度为 0,20,40,60,80,100,120,140,160,180,200 cm。

(1)土壤水分测定和相关参数计算。土壤根系深度在 2 m 范围内,根据土壤含水率计算耗水量、水分利用效率。

根据《灌溉试验规范》(SL 13— 2004)规定,作物耗水量的计算公式为:

$$ET_{1-2}=10\sum_{i=1}^n\gamma_iH_i(\theta_{i1}-\theta_{i2})+M+P+K+C$$
 (1)

式中:ET₁₋₂为阶段耗水量(mm);γ_i为第 i 层土壤体积分质量(g/cm³);H_i为第 i 层土层厚度(cm);θ_{i1},θ_{i2}为第 i 层土壤在始末阶段的含水率;M、P、K、C 分别为观测时段内的灌水量、降雨量、地下水补偿量和排水量(mm)。结合试验条件,试验地点地下水埋深在 3.5 m 以下,因此不考虑地下水补给量,K=0;试验处理中设计的滴灌灌水定额均不会造成深层渗漏,因此不考虑排水量大小,C=0。

基于灌水量和耗水量的水分利用效率 E_l=产量/生育期灌水量(kg/m³);E_r=产量/生育期耗水量(kg/m³)。

(2)土壤盐分测定和相关参数计算。将风干土样过 1 mm 筛,称取 20 g 放于三角瓶中,加入蒸馏水 100 mL,使用振荡机振荡三角瓶 10 min,静置 15 min 后过滤,得到水土质量比为 5:1 的澄清液,用 DDB—303A 型便携式电导率仪测定其电导率。用干燥残渣法确定盐分质量比与电导率之间的标定关系式,即

$$S=0.0021EC-0.0028(R^2=0.99)$$
 (2)

式中:S 为盐分质量比(g/kg);EC 为电导率(μS/cm)。

(3)产量测定。红枣收获时每个处理的每个重复随机选取 3 棵枣树进行产量测定,最终进行平均求得平均产量即为该处理的产量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 17.0 及 Excel 2010 进行数据分析,Origin 9.0 作图。

2 结果与分析

2.1 不同灌水处理 0—200 cm 土层土壤盐分质量比随时间的变化

2.1.1 不同灌溉定额处理 0—200 cm 土层土壤盐分质量比随时间变化 因规律相似,仅以改滴灌后 10 次灌水处理为例,分析不同灌溉定额对土壤盐分质量比时间分布的影响,各处理土壤平均盐分质量比时间分布特征如图 1 所示。由图 1 可以看出,900 mm 灌水处理 0—100 cm 土层盐分质量比 6 月 2 日(新稍期)最大,之后逐渐减小,但相差不大,5 月 3 日(萌芽期)最小;1 050 mm 灌水处理新稍期最大,其次是 7 月 1 日(花期)和 7 月 24 日(膨大期),之后显著减小;1 200 mm 灌水处理 0—100 cm 花期最大,其次是新稍期,之后明显减小。整体上,0—100 cm 土层各时间阶段土壤盐分质量比与灌溉定额呈负相关,新稍期或花期土壤盐分质量比量最大,这主要是 0—100 cm 土层土壤盐分质量比受灌水和蒸发影响较大的结果,红枣新稍期与花期冠幅小、叶密度小,使得遮阴率低,在强烈蒸发的作用下,盐分随水分向表层方向移动;红枣膨大期后,较大的冠幅使得遮阴可以覆盖整个滴灌湿润区域,同时受到 8 月降雨频繁和蒸发强度降

低的影响,土壤盐分质量比较之前时间阶段明显降低。经过一个完整的生育阶段,各灌溉定额处理0—100 cm土层土壤平均盐分质量比变化明显,9月19日(完熟期)1 200 mm灌水处理比900,1 050 mm处理分别减小59.47%,17.75%;漫灌CK处理各阶段土壤盐分质量比明显低于改滴灌处理。100—200 cm土层,各灌溉定额处理在膨大期土壤盐分质量比最高,膨大期前各时间阶段土壤盐分质量比相差不大,膨大期后明显降低;1 200 mm灌水处理各阶段土壤盐分质量比均低于漫灌CK处理。从整个观测土层来看,1 200 mm灌水处理在所有改滴灌处理中0—200 cm土层土壤盐分质量比在各观测阶段盐分淋洗效果均最优,与漫灌CK处理的土壤盐分质量比分布状况基本相同;区别在于漫灌CK处理在0—100 cm土层盐分淋洗效果显著优于1 200 mm灌水处理,100—200 cm土层盐分淋洗效果明显差于1 200 mm灌水处理。

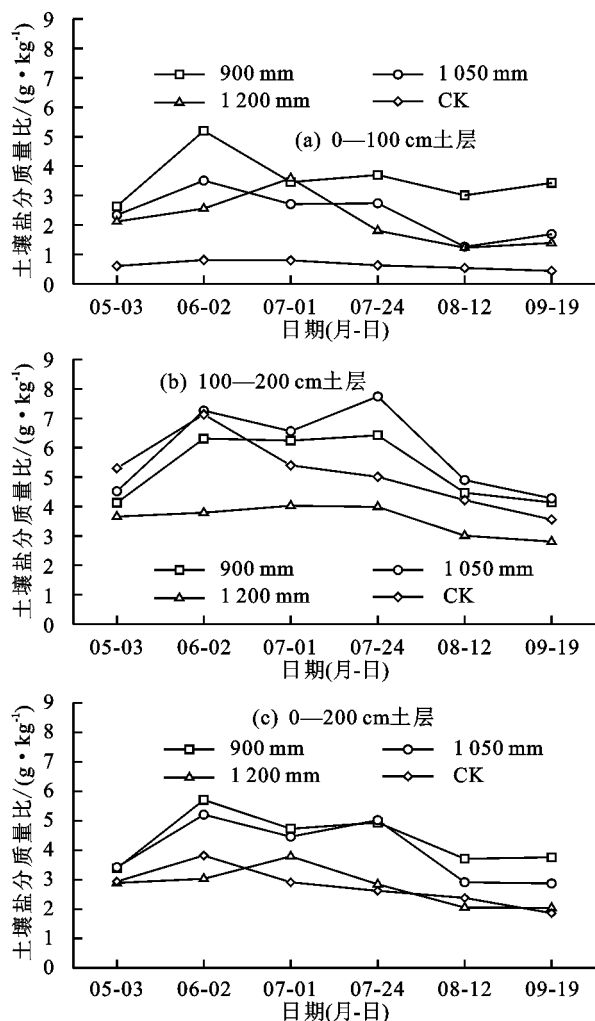


图1 不同灌溉定额处理0—200 cm土层土壤盐分质量比随时间变化

2.1.2 不同灌水次数处理0—200 cm土层土壤盐分质量比随时间变化 因规律相似,仅以改滴灌后900 mm灌溉定额处理为例,分析不同灌水次数对土壤盐分质量比时间分布的影响,各处理土壤盐分质量比时

间分布特征如图2所示。由图2可以看出,各灌水次数处理0—100 cm土层土壤平均盐分质量比新稍期最大,花期后逐渐减小,但相差不大;新稍期14次灌水比10,18次分别减小59.42%,45.62%;花期14次灌水比10,18次分别减小70.23%,61.99%;膨大期14次灌水比10,18次分别减小74.05%,27.27%;8月12日(白熟期)14次灌水比10,18次分别减小64.45%,42.78%;完熟期14次灌水比10次减小42.57%、比18次增大38.73%;漫灌CK处理各阶段土壤盐分质量比明显低于改滴灌处理,但在花期、膨大期和白熟期CK与14次改滴灌处理土壤盐分质量比相差不大。100—200 cm土层,各改滴灌处理在萌芽期土壤盐分质量比相近,新稍期开始有所差别;10,14次灌水频率处理在新稍期、花期和膨大期土壤盐分质量比相差不大,膨大期后明显降低;18次灌水频率处理新稍期土壤盐分质量比最高,其他时间阶段相差不大。萌芽期、新稍期、白熟期和完熟期,18次灌水处理土壤盐分质量比高于10,14次;花期和膨大期,10次灌水处理土壤盐分质量比高于18,14次。除新稍期外,14次灌水处理与漫灌CK处理在100—200 cm土层盐分质量比各阶段相差不大。从整个观测土层来看,14次灌水处理在所有改滴灌处理中0—200 cm土层土壤盐分质量比在各观测阶段盐分淋洗效果均最优,与漫灌CK处理的土壤盐分质量比分布状况基本相同;区别在于漫灌CK处理在0—100 cm土层盐分淋洗效果优于14次灌水处理,在100—200 cm土层盐分淋洗效果二者相差不大。

2.2 不同灌水处理土壤盐分空间分布特征

2.2.1 不同灌溉定额对土壤盐分质量比空间分布的影响 滴灌是局部灌溉,其有限湿润体范围受灌溉定额和灌水次数影响而改变,从而使土壤盐分质量比呈现不同的空间分布特征。因规律相似,仅以改滴灌后10次灌水处理为例,分析不同灌溉定额对土壤盐分质量比空间分布的影响,各处理土壤盐分质量比空间分布特征如图3所示。由图3可以看出,不同灌溉定额对水平方向盐分的影响主要集中在表层(0—20 cm)土壤,距树干20 cm土壤盐分质量比最低,其次是距树干40 cm,距树干60 cm土壤盐分质量比最高;当灌溉定额从900 mm增加至1 200 mm,距树干40 cm表层土壤盐分质量比由3.76 g/kg增加至8.27 g/kg,距树干60 cm表层土壤盐分质量比增加至15.27 g/kg,这是因为距树干20 cm处为滴头下方,土壤湿润体从滴头处开始扩散,滴头下方土壤长时间保持较高含水率,使盐分得到充分淋洗,随着水平距离的增加,湿润体超出遮阴范围,强烈的地表蒸发、土壤温度差值和水分在水平方向扩散速度的减

慢,使远离滴头区域的含水率较低,盐分大量积累。900 mm 灌溉定额处理土壤盐分质量比在 20—100 cm 土层水平方向上距树干 60 cm 明显高于距树干 20,40 cm 处,100—180 cm 土层土壤盐分质量比水平方向相差不大;采用 1 050,1 200 mm 灌溉定额,20—180 cm 土层土壤盐分质量比水平方向上均相差不大,这是因为相比 1 050,1 200 mm 灌溉定额处理,900 mm 灌溉定额处理由于灌溉定额相对少,水平方向上未完全湿润距树干 60 cm 处。

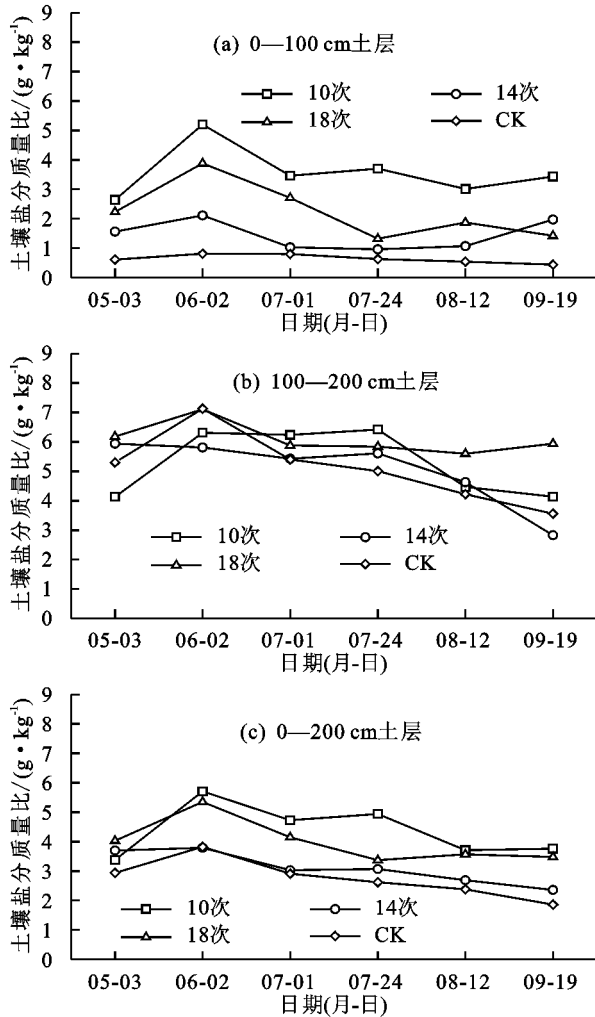


图 2 不同灌水次数处理 0—200 cm 土层土壤盐分质量比随时间变化

垂直方向上,各处理均呈“S”形变化,表层土壤平均盐分质量比随灌溉定额的增加而增大;各处理均出现一个低盐带(<2 g/kg),W1F1:20—50 cm,W2F1:20—70 cm,W3F1:40—90 cm,说明增加灌溉定额有利于 20—90 cm 上层土壤盐分充分淋洗。在 100 cm 以下土层,900,1 050,1 200 mm 灌溉定额处理土壤平均盐分质量比为 7.14,7.32,4.36 g/kg,1 200 mm 相比 900,1 050 mm 灌溉定额处理明显减少 38.94%,40.44%,1 050 mm 比 900 mm 灌溉定额处理增加 2.46%,说明 1 200 mm 灌溉定额水平对 100 cm 以下土层土壤盐分的影响强于 1 050 mm 灌溉定额水平。

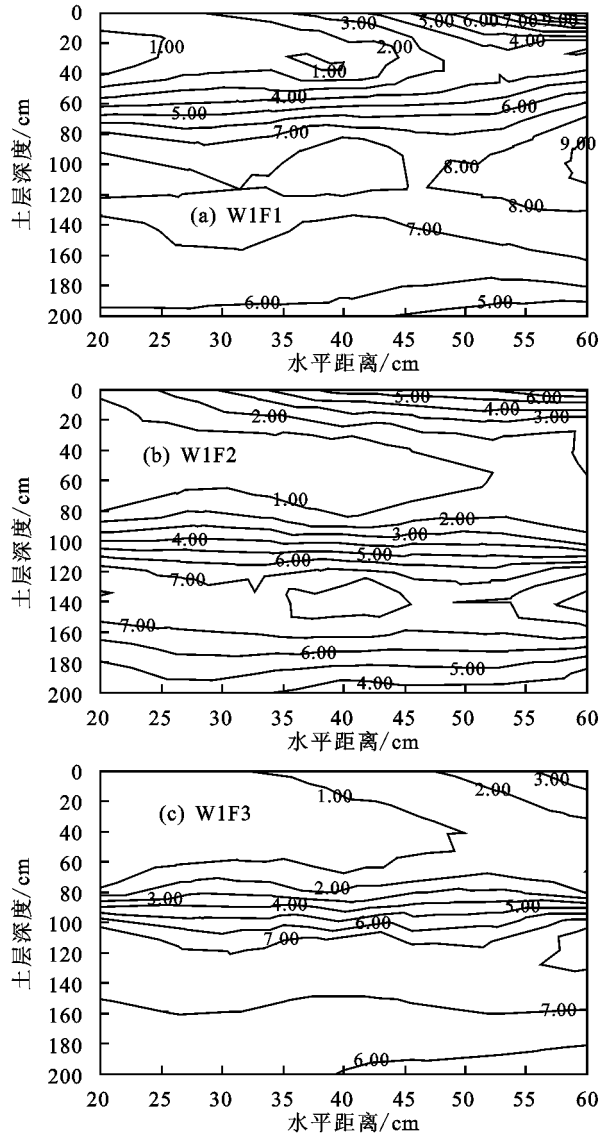


图 3 不同灌溉定额处理土壤盐分质量比空间分布

2.2.2 不同灌水次数对土壤盐分质量比空间分布的影响 因规律相似,仅以改滴灌后 900 mm 灌溉定额处理为例,分析不同灌水次数对土壤盐分质量比空间分布的影响,由图 4 可知,不同灌水次数对水平方向盐分的影响主要集中在 0—80 cm 土层,距树干 60 cm 土壤盐分质量比显著高于距树干 20,40 cm;W1F1、W1F2 和 W1F3 处理 0—80 cm 土层土壤平均盐分质量比分别为 4.5,1.88,1.17 g/kg,距树干 60,20,40 cm 土壤平均盐分质量比差值为 3.62,1.87,1.27 g/kg,说明增加灌水次数可以显著减小 0—80 cm 土层距树干 60,20,40 cm 处土壤盐分质量比差值,且深度越深减幅越大;在 80 cm 深度以下土层,土壤盐分质量比在水平方向上相差不大。垂直方向上,各处理均呈“S”形变化,10 次灌水使盐分主要集中在 60 cm 以下土层范围内,增加滴灌次数后,土壤高盐区向下移动,使 0—100 cm 土层范围内土壤盐分质量比保持在较低水平,这是因为增加滴灌次数,灌水时间间隔缩短,使 0—100 cm 土层土壤经常保持较高

含水率,让盐分得到长效淋洗。随着土层深度的增加,各处理 100 cm 以下土层土壤平均盐分质量比分别为 W1F1:6.64 g/kg、W1F2:6.47 g/kg、W1F3:6.74 g/kg,相对变幅为(−2.56%)~4.17%,说明灌水次数对 100 cm 以下深层土壤盐分分布无明显影响。由图 5 可知,漫灌 CK 处理 0—200 cm 土层水平方向土壤盐分质量比无明显差别,在垂直方向上盐分质量比呈“S”形变化,但表层土壤盐分相比改滴灌处理无显著积盐现象。

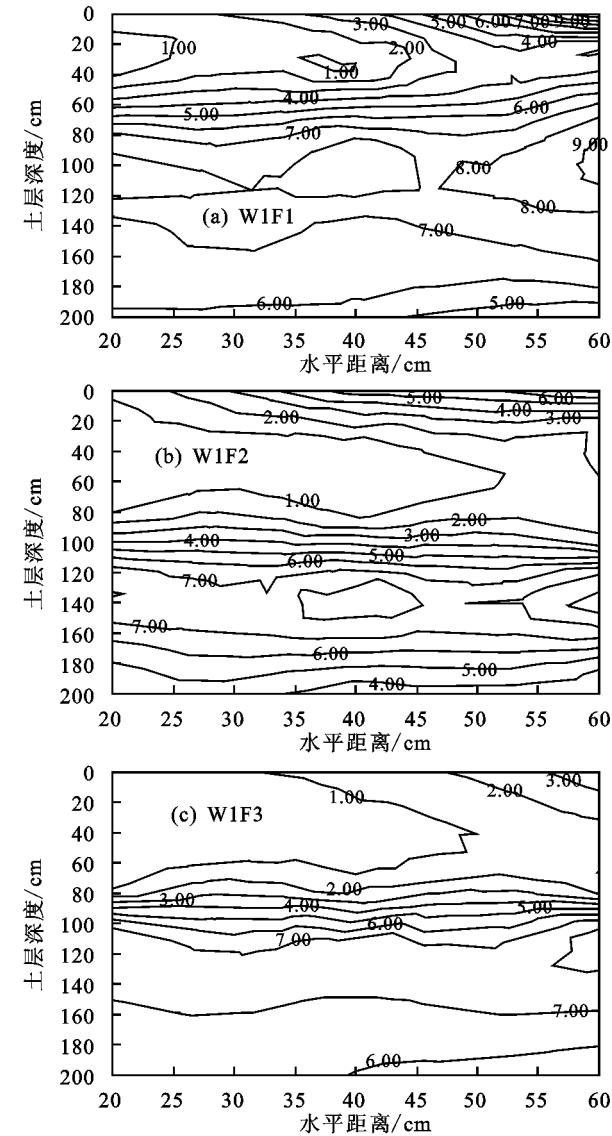


图 4 不同灌水次数处理土壤盐分质量比空间分布

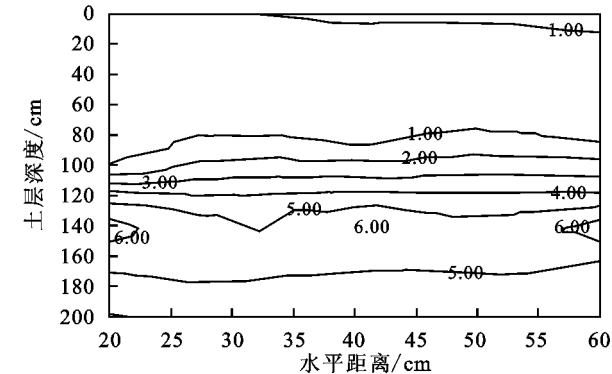


图 5 漫灌土壤盐分质量比空间分布

2.3 不同灌水处理的耗水量、产量与水分利用效率

从表 3 可以看出,耗水量随灌溉定额的增加而增大,以 10 次灌水频率为例,W1F1、W2F1、W3F1 处理耗水量分别为 1 011,1 273,1 336 mm;灌水次数对耗水量无明显影响,以 1 050 mm 灌溉定额处理为例,W2F1、W2F2、W2F3 处理耗水量分别为 1 273,1 257,1 220 mm。

在产量方面,1 050,1 200 mm 灌溉定额处理明显高于 900 mm 灌溉定额处理,如采用 10 次灌水频率,1 050,1 200 mm 灌溉定额处理产量分别为 6 642,6 933 kg/hm²,较 900 mm 灌溉定额处理分别增产 856,1 147 kg/hm²,增幅为 14.79%和 19.82%;18 次灌水频率时,1 050,1 200 mm 灌溉定额处理产量分别为 7 549,6 003 kg/hm²,较 900 mm 灌溉定额处理分别增产 2 634,1 088 kg/hm²,增幅为 53.59%和 22.13%;增加灌水次数后,1 050,1 200 mm 灌溉定额处理产量增幅明显增大,说明增加灌水次数明显提升了灌溉定额对产量的影响程度。所有改滴灌处理中,W2F3 产量最高为 7 549 kg/hm²,比漫灌 CK 处理(6 688 kg/hm²)增产 12.87%,节约水量 30%;其次是 W2F2 产量最高为 7 063 kg/hm²,比漫灌 CK 处理(6 688 kg/hm²)增产 5.61%,节约水量 30%。说明灌溉定额过低使红枣产量明显降低,灌溉定额过高不利于红枣增产;1 050 mm 灌溉定额条件下,增加灌水次数有利于改滴灌后提高红枣产量。从水分利用效率上看,采用 10 次灌水频率, E_t 随灌溉定额的增大而减小, E_r 随灌溉定额的增大呈先减小后增大趋势;14,18 次灌水频率时, E_t 与 E_r 均随着灌溉定额增大呈先增大后减小趋势。采用 900,1 200 mm 灌溉定额, E_t 与 E_r 随灌水次数的增加而减小;1 050 mm 灌溉定额处理, E_t 与 E_r 均随灌水次数的增加而增大。所有改滴灌处理 E_r 均高于漫灌对照处理 CK,W2F3 处理 E_r 最高为 0.619,比漫灌 CK 处理($E_r=0.392$)有效提升水分利用效率 57.91%。

表 3 不同灌水处理产量及分水利用效率

处理	灌溉 定额/mm	耗水量/ mm	产量/ (kg·hm ⁻²)	E_t / (kg·m ⁻³)	E_r / (kg·m ⁻³)
W1F1	900	1011	5786e	0.643c	0.572b
W1F2	900	1028	5362f	0.596d	0.522c
W1F3	900	1152	4915g	0.546e	0.427e
W2F1	1050	1273	6642c	0.633c	0.522c
W2F2	1050	1257	7063b	0.673b	0.562b
W2F3	1050	1220	7549a	0.719a	0.619a
W3F1	1200	1336	6933b	0.578d	0.561b
W3F2	1200	1397	6706c	0.559e	0.480d
W3F3	1200	1396	6003d	0.500f	0.430e
CK	1500	1707	6688c	0.446g	0.392f

注:表中数据为 3 个重复的平均值;同一列数据不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

3 讨论

漫灌改滴灌后,灌溉定额与灌水次数影响红枣生育阶段内土壤水分的时空分布,从而影响土壤盐分时空分布。本试验中,不同灌溉定额对水平方向盐分的影响基本集中在 0—20 cm 土层,土壤盐分质量比由小到大依次为距树干 20,40,60 cm,且表层土壤平均土壤盐分质量比随着灌溉定额的增加而增大,水平方向上表层土壤盐分质量比变化幅度大,主要是蒸发和灌水共同作用引起,距树干 20 cm 处为滴头下方,土壤湿润体从滴头处开始扩散,滴头下方土壤长时间保持较高的含水率,使盐分得到充分淋洗,随着水平距离的增加,湿润体超出遮阴范围,强烈的地表蒸发、土壤温度差值和水分在水平方向扩散速度的减慢,使远离滴头区域的含水率较低,盐分大量积累。

一般研究认为,灌溉定额越大,垂直方向上淋洗的盐分也越多,留在主根区的盐分减少,淋洗深度加深^[16,19];本试验中不同灌溉定额处理垂直方向上均出现一个低盐带(<2 g/kg),但受灌溉定额的影响低盐带深度范围不同,900 mm 灌溉定额:20—50 cm,1 050 mm 灌溉定额:20—70 cm,1 200 mm 灌溉定额:40—90 cm,说明灌溉定额越大,淋洗深度越深,特别表现为 20—90 cm 上层土壤盐分淋洗,这与前面叙述研究结果一致。不同灌水次数对水平方向盐分的影响主要集中在 0—80 cm 土层,增加灌水次数可以显著减小 0—80 cm 土层距树干 60,20,40 cm 处土壤盐分质量比差值,且深度越深减幅越大;在 100—200 cm 土层,土壤盐分质量比在水平方向上差异不大。垂直方向上增加滴灌次数后,土壤高盐区向下移动,但对 100 cm 以下深层土壤盐分质量比无显著影响。这主要是增加灌水次数,灌水周期缩短,在上一次灌水停止后,土壤盐分在蒸发的作用下还未来得及向上运移就又进行了下一次灌水,使得土壤盐分在垂直方向上随灌溉水向更深土层运移,在水平方向上随灌溉水向远离滴灌带的区域侧移,从而能够使垂直方向上 0—100 cm 和水平方向上土壤盐分质量比始终保持在较低水平状态。此外,高频灌溉对表层土壤盐分淋洗效果明显优于低频灌溉,这同样是因为短周期的高频灌溉有效地抑制了土壤盐分上移。漫灌处理相比改滴灌处理水平方向上土壤盐分质量比变化不大,且表层土壤也无明显积盐现象。

本试验中,各灌溉定额及灌水次数处理新稍期和花期土壤盐分质量比最大,这主要是土壤盐分质量比受灌水和蒸发影响较大的结果,红枣新稍期与花期生长期冠幅小、叶密度小,使得遮阴率低,在蒸发的作用下,盐分随水分向表层方向移动;红枣膨大期后,较大

的冠幅使得遮阴可以覆盖整个滴灌湿润区域,同时受到 8 月降雨频繁和蒸发强度降低的影响,土壤盐分质量比较之前生育阶段显著降低。1 200 mm 灌水处理和 14 次灌水处理在所有改滴灌处理中 0—200 cm 土层土壤盐分质量比分布与漫灌 CK 处理状况基本相同,盐分淋洗效果相近;区别在于漫灌 CK 处理在 0—100 cm 土层盐分淋洗效果显著优于 1 200 mm 与 14 次灌水处理,在 100—200 cm 土层盐分淋洗效果明显差于 1 200 mm 灌水处理,与 14 次灌水处理相差不大。14,18 次灌水时采用 1 050 mm 灌溉定额产量较高,10 次灌水时 1 200 mm 灌溉定额产量较高。相比之下,王则玉等^[21]在同一地区研究的 9 a 生连续滴灌红枣适宜灌溉定额约为 800 mm,而本试验中漫灌改滴灌后 900 mm 灌溉定额处理减产明显,说明连续滴灌红枣灌溉制度并不适宜于漫灌改滴灌。改滴灌后灌溉定额过低或过高均不利于提高红枣的产量,综合比较,本文中 18 次、1 050 mm 灌溉定额处理不仅具有较低的土壤盐分质量比,还可以获得较高的产量和水分利用效率,可以作为当地适宜的红枣漫灌改滴灌模式。

4 结论

(1)对于漫灌改滴灌红枣,增加灌水次数有利于土壤盐分在水平方向上的运移,灌溉定额和灌水次数对水平方向盐分影响的土层深度分别为 0—20,0—80 cm。水平方向上土壤盐分质量比自滴头处向外逐渐增加,增加灌水次数可以显著降低滴头外侧土壤盐分质量比。漫灌处理相比改滴灌处理水平方向上土壤盐分质量比变化不大,且表层土壤也无明显积盐现象。

(2)整个生育期内,漫灌改滴灌红枣在新稍期和花期土壤盐分质量比最高。灌水次数对 0—200 cm 土层各时间阶段土壤盐分质量比的影响弱于灌溉定额。在 0—200 cm 土层,10 次、1 200 mm 灌水处理和 14 次、900 mm 灌水处理的盐分淋洗效果与漫灌 CK 处理相近,漫灌处理在 0—100 cm 土层盐分淋洗效果显著优于改滴灌处理。

(3)漫灌改滴灌后,过低或过高的灌溉定额均不利于提高红枣的产量,相比而言,18 次、1 050 mm 灌溉定额不仅具有适宜的盐分时空分布,且可获得较高的产量和水分利用效率,比漫灌增产 12.87%、节水 30%,可以作为当地节水、高产和高效的红枣漫灌改滴灌灌溉制度。

参考文献:

- [1] 漆联全. 新疆红枣产业的现状、要求及其发展趋势[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(增刊 2): 8-12.
- [2] 刘国宏, 谢香文, 蒋岑. 干旱区不同水分指标下限对成龄红枣生长和产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(1): 94-98.

- [3] 玉苏甫·买买提,阿娜尔古丽·拜克热,阿丝叶·阿布都力米提. 新疆红枣产业发展现状及问题对策[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(14): 11-13.
- [4] 周和平,翟超,孙志锋,等. 新疆水资源综合利用效果及发展变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(1): 95-100.
- [5] 王振华,杨培岭,郑旭荣,等. 新疆现行灌溉制度下膜下滴灌棉田土壤盐分分布变化[J]. 农业机械学报, 2014, 45(8): 149-159.
- [6] 李文昊,王振华,郑旭荣,等. 长期膜下滴灌棉田土壤盐分变化特征[J]. 农业工程学报, 2016, 32(10): 67-74.
- [7] 姚宝林,李光永,叶含春,等. 干旱绿洲区膜下滴灌棉田土壤盐分时空变化特征研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 151-161.
- [8] 王振华,裴磊,郑旭荣,等. 盐碱地滴灌春小麦光合特性与耐盐指标研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(4): 65-72.
- [9] 杨宏伟,杨正华,侯淑梅,等. 甘肃河西地区膜下滴灌条件下春玉米田水盐特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 213-219.
- [10] 裴磊,王振华,郑旭荣,等. 土壤盐分含量对滴灌复播青储玉米光合特性及土壤水盐动态的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4): 77-84.
- [11] 张金珠,虎胆·吐马尔白,王一民,等. 不同灌溉定额对膜下滴灌棉花土壤盐分分布的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 44-47.
- [12] 吴争光,虎胆·吐马尔白,张金珠,等. 不同灌水频率棉花膜下滴灌土壤水盐运移规律研究[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(4): 50-54.
- [13] 王峰,孙景生,刘祖贵,等. 不同灌溉制度对棉田盐分分布与脱盐效果的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(12): 120-128.
- [14] Ucan K, Killi F, Gencoglan C, et al. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame(*Sesamum indicum* L.) under field condition [J]. Field Crops Research, 2007, 101(3): 249-258.
- [15] 高龙,田富强,倪广恒,等. 膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J]. 水利学报, 2010, 41(12): 1483-1491.
- [16] El Hendawy S E, Hokam E M, Schmidhalter U. Drip irrigation frequency: The effects and their interaction with nitrogen fertilization on sandy soil water distribution, maize yield and water use efficiency under Egyptian conditions [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2008, 194(3): 180-192.
- [17] 胡安焱,董新光,魏光辉,等. 滴灌条件下水肥耦合对干旱区红枣产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(6): 60-63.
- [18] 叶含春,姚宝林,王兴鹏,等. 不同灌溉制度对矮化密植红枣土壤水盐分布的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(5): 118-122.
- [19] 孙三民,安巧霞,蔡焕杰,等. 枣树间接地下滴灌根区土壤盐分运移规律研究[J]. 农业机械学报, 2015, 46(1): 160-169.
- [20] 任玉忠,王水献,谢蕾,等. 干旱区不同灌溉方式对枣树水分利用效率和果实品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 95-102.
- [21] 王则玉,谢香文,刘国宏,等. 干旱区绿洲滴灌成龄枣树耗水规律及作物系数[J]. 新疆农业科学, 2015, 52(4): 675-680.
- (上接第 311 页)
- [15] 尹川,季宏兵,魏晓,等. 黔北坡面林地土壤侵蚀与微量元素迁移研究[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 24-29.
- [16] 李吉龙,段武辉,吴江澄. 安徽蓬莱仙洞不同滴水点差异 PCP 作用及其古气候记录研究意义[J]. 第四纪研究, 2014, 34(4): 905-906.
- [17] 沈利娜,邓新辉,蒋忠诚,等. 表层岩溶带生态系统的水文地球化学效应:以弄拉兰电堂泉域为例[J]. 地球与环境, 2010, 38(2): 189-197.
- [18] 罗炼,陈康清. 双河洞最新探测长度达 200 余公里排名全球第十[EB/OL]. 2017-04-26. <http://gz.people.com.cn/n2/2017/0426/c222152-30096543.html>.
- [19] 朱文孝,李坡. 贵州绥阳双河洞国家地质公园简介[J]. 贵州地质, 2004, 21(3): 205-212.
- [20] 贺卫,李坡,车家骧. 刍议双河洞穴系统主要形成特征及演化[J]. 贵州科学, 2001, 19(1): 71-76.
- [21] 陈建庚,张英骏. 贵州绥阳双河洞系的发育与成因探讨[J]. 中国岩溶, 9(3): 247-255.
- [22] 刘平. 贵州绥阳双河洞国家地质公园洞穴基本特征及成因探讨[J]. 贵州地质, 2008, 25(4): 302-305.
- [23] 殷超,周忠发,张绍云,等. 喀斯特地区土壤 CO₂ 扩散通量变化特征及其影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2017, 26(7): 1122-1130.
- [24] 张韞. 土壤、水、植物理化分析法[M]. 北京:中国林业出版社, 2011: 5-6.
- [25] 殷超,周忠发,王平. 一种土壤水过滤收集装置:中国, CN205991896U[P]. 2017-03-01.
- [26] А И 彼列尔曼. 后生地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1975.
- [27] 蒋忠诚. 峰丛石山的岩溶作用及生态环境元素迁移典型研究[D]. 北京:中国地质科学院, 1997.
- [28] 孙爱芝,韩晓丽,强杨,等. 海原剖面 12.5—7.2kaBP 期间化学元素与粒度组成的古环境意义[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(7): 146-149.
- [29] 田均良,刘普灵,李雅琦. 黄土高原土壤剖面元素相对迁移强度初探[J]. 水土保持研究, 1995, 2(4): 51-55.