

# 不同灌水量对膜下滴灌冬马铃薯生长及水分利用效率的影响

李燕山<sup>1</sup>, 白建明<sup>1</sup>, 许世坤<sup>2</sup>, 普红梅<sup>1</sup>, 王云华<sup>2</sup>,  
季寿堂<sup>2</sup>, 谢富生<sup>2</sup>, 隋启君<sup>1</sup>

(1. 云南省农业科学院经济作物研究所/云南省马铃薯工程技术研究中心, 云南 昆明 650205;

2. 陆良县农业技术推广中心, 云南 陆良 655600)

**摘要:** 通过田间试验, 设置 1350 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>、1650 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>、1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>、2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 4 个灌水量和 1 个常规沟灌为对照, 研究膜下滴灌对马铃薯的生长、产量和水分利用效率的影响。结果表明: 膜下滴灌马铃薯生长发育快, 株高、单株茎叶鲜重、单株结薯数、单株块茎鲜重高于常规沟灌, 膜下滴灌较沟灌增产 6 416.08 kg·hm<sup>-2</sup>, 增产 21.29%, 水分利用率高 79.5 kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>。膜下滴灌下不同灌水量马铃薯水分利用率随灌水量增加呈降低趋势, 产量和耗水量随灌水量增加而增加, 滴灌 1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 的产量最高, 为 39 732.0 kg·hm<sup>-2</sup>, 当灌水量增加到 2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 时, 产量较滴灌 1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 处理的下降 6 624.5 kg·hm<sup>-2</sup>, 下降 16.67%。从产量提高和节水方面考虑, 在生育期间有效降雨量在 70 mm 左右时, 灌水量在 1650~1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> 较为适宜。

**关键词:** 马铃薯; 膜下滴灌; 灌水量; 水分利用率; 产量

中图分类号: S275.6; S532.07 文献标志码: A

## Effects of different irrigation amount on winter potato growth and water use efficiency by drip irrigation under film

LI Yan-shan<sup>1</sup>, BAI Jian-ming<sup>1</sup>, XU Shi-kun<sup>2</sup>, PU Hong-mei<sup>1</sup>,  
WANG Yun-hua<sup>2</sup>, JI Shou-tang<sup>2</sup>, XIE Fu-sheng<sup>2</sup>, SUI Qi-jun<sup>1</sup>

(1. Industrial Crops Research Institute, YAAS, Potato Engineering Technology Center of Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650205, China;

2. The Center for Agricultural Technology Extension in Luliang County, Luliang, Yunnan 655600, China)

**Abstract:** Through the field test, set up four irrigation treatments as 1350 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, 1650 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, 1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, 2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup> and one control group as common furrow irrigation, have researched the effects on growth, yield and water use efficiency of potato by drip irrigation under film. The results showed that: Compared the drip irrigation under film with the conventional furrow irrigation, the potato growth was fast, the plant height, fresh weight per plant, the tuber numbers and fresh tuber weight per plant were total higher than the furrow irrigation, also the added yield was 6416.08 kg·hm<sup>-2</sup>, increasing yield rate was 21.29%, the water use efficiency was higher than 79.5 (kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>). The water use efficiency of potato by drip irrigation under film has shown a decrease trend with increasing irrigation quantity, but the yield and water consumption were added with the increasing irrigation amount. The yield was the maximum as 39 732.0 kg·hm<sup>-2</sup> when the drip irrigation amount was 1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>. When the irrigation amount increased to 2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, the yield was decreased 6 624.5 kg·hm<sup>-2</sup>, the decrease rate was 16.67%, compared with the irrigation treatment of 1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>. So considering the aspects of increasing yield and saving water, the suitable irrigation amount was 1650~1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>, when the effective rainfall was 70 mm more or less in growing period.

**Keywords:** potato; drip irrigation under film; irrigation amount; water use efficiency; yield

收稿日期: 2015-04-02

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项“西南水旱轮作区规模化周年高效生产技术研究及示范”子专题(201303129); 公益性行业(农业)科研专项“西南地区季节性干旱主要农作物节水抗旱综合技术与示范”子专题(201303127); “十二五”农村领域国家科技计划课题(2012BAD02B05-3)

作者简介: 李燕山, 男, 云南楚雄人, 助研, 主要从事马铃薯育种与栽培技术研究。E-mail: 280858009@qq.com。

通信作者: 隋启君, E-mail: suiqijun@foxmail.com。

发展冬马铃薯可增加复种指数,增加粮食总产量,显著增加农民收入。冬马铃薯生产的关键因素是水,自2009年以来,云南省出现了持续严重的秋、冬、春连旱天气,造成冬马铃薯严重减产,干旱已成为制约云南乃至西南大部分区域冬马铃薯生产的瓶颈问题。马铃薯的生长需要一定的水分环境,在保证产量的前提下,能够最大程度地节水,这就需要对马铃薯生产过程中的水环境进行人为控制,传统的沟渠漫灌方式其水资源浪费较大,已不适应冬马铃薯产区的发展要求。

滴灌是一种通过灌水器将水分、养分均匀持续、高频率地运送到作物根区的一种现代灌水技术,具有节水、增产、省肥、省工、不挑地等优点,非常适合灌溉垄作作物,而目前国内对于滴灌的研究大多是围绕果树、蔬菜、棉花等产值较高的作物开展<sup>[1-4]</sup>。近年在马铃薯生产中把滴灌和覆膜相结合形成膜下滴灌技术,已在北方形成成熟的技术并大面积推广,相关研究也逐渐增多。江俊艳<sup>[5]</sup>等研究表明,膜下滴灌条件下,灌水量小,地表蒸发量少,不向深层渗漏,能维持根区最佳土壤含水量,比传统灌溉节水70%~80%,比喷灌节水20%~30%。王玉明<sup>[6]</sup>等研究表明,膜下滴灌比露地滴灌平均增产26%,水分利用效率提高28.5%,灌水的平均生产效率提高26%。秦军红等<sup>[7]</sup>研究表明,膜下滴灌对马铃薯的地上部分生长、块茎产量和品质(淀粉和还原糖含量)、水分利用效率均有显著影响,其产量和水分利用效率分别为55 596.00 kg·hm<sup>-2</sup>和170.45 kg·hm<sup>-2</sup>·mm<sup>-1</sup>,分别是覆膜不滴灌的2.86倍和1.02倍,且收获时块茎淀粉含量增加了0.94%,还原糖含量降低了0.02%。龙瑞平等<sup>[8]</sup>研究表明,云南春作马铃薯滴灌栽培出苗率和大薯率高,产量可达53 363.85 kg·hm<sup>-2</sup>,比对照增产58%,增产效果和经济效益显著。我国西南地区冬马铃薯上的应用几乎是空白。针对冬马铃薯生产中的干旱现状,为了提高水资源的利用效率,大力推广冬马铃薯膜下滴灌技术,本研究为探讨膜下滴灌条件下冬马铃薯的节水效率和增产机理,笔者以常规沟渠灌水为对照,研究了膜下滴灌条件下不同灌水量对马铃薯形态指标和水分利用率的影响,为该技术的大面积推广应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以‘会-2号’品种的一级种为材料。

### 1.2 试验时间和地点

试验于2013年12月—2014年5月在云南省陆良县小百户镇中坝村进行。该地区平均海拔1 840 m,属北亚热带高原季风气候,光、热、水、土资源较好,具有冬无严寒、夏无酷暑、春暖干燥、秋凉湿润的特点,年均气温14.7℃,≥10℃活动积温4 436.3℃,无霜期249 d,年日照时数2 239.1 h,年太阳辐射量524 kJ·cm<sup>-2</sup>,年均降雨量900~1 000 mm。试验地土壤0~20 cm养分含量:有机质21.3 g·kg<sup>-1</sup>,全氮15.26 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮102.2 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷71.3 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾130 mg·kg<sup>-1</sup>,pH5.6,室内分析在云南农科院经济作物研究所马铃薯栽培生理研究室进行。

### 1.3 试验设计和方法

试验设膜下滴灌 T1:1350 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>、T2:1650 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>、T3:1950 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>、T4:2250 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>四个灌水量和对照常规沟灌(CK,灌水量为3600 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>)共5个处理,3次重复,高垄双行种植,宽行行距0.7 m,窄行行距0.4 m,采用一膜一带种植2行马铃薯,密度为4 000株·667m<sup>-2</sup>,小区面积11 m<sup>2</sup>。播前每667 m<sup>2</sup>施有机肥1 500 kg,复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O为16:9:10)120 kg。于12月22日播种,采用牛犁开沟播种,人工起垄,铺设滴灌带及喷施除草剂后覆膜。灌水量用水表严格控制,从水坝直接用水泵抽水;主管为帝恒PE盘管(直径75 mm、压强0.6 Pa线管),在主管加过滤设备,滴灌带规格为壁厚16 mm、直径300 mm、压强0.2 Pa,滴头流量为3 L·h<sup>-1</sup>。遇到降雨时各处理的灌水时间依次后延,为保证出苗整齐,于2月12日统一灌111 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>出苗水,3月6日苗出齐,整个生育周期具体灌溉方案见表1。从3月26日开始,每10天取1次样(若遇特殊天气推后或提前1天取样),全生育期共取样6次,每次每小区取3株,带回室内洗净晾干,测定株高、茎叶鲜重、单株结薯数、单株块茎鲜重,对收获的茎叶和块茎在实验室分别称重后装入纸袋,贴标签,在干燥箱中105℃杀青1 h,再在80℃恒温下烘至恒重,称其干重。

生育期间用马铃薯晚疫病监测系统测定降雨量;播种后和收获期,使用TZS-1土壤水分测定仪测定20~30 cm耕作层土壤含水率,收获后测产,计算农田蒸散量(ET)、水分利用效率(WUE)。马铃薯耗水量采用田间水量平衡法<sup>[9]</sup>,在此试验中,由于地下水位深,不考虑地下水补给,没有地表径流,且设计的单次灌溉量不足以形成渗漏,下渗的水分可以忽略不计;水分利用效率计算<sup>[10]</sup>采用如下公式:  $WUE = Y/E_{tc}$ ,式中:WUE为水分利用效率,Y为作物产量, $E_{tc}$ 为作物整个生长季的腾发量。

表 1 马铃薯生育期滴灌方案

Table 1 Drip irrigation scheme in potato growth period

处理 Treatment	各时期灌水量/( $\text{m}^3 \cdot 667\text{m}^{-2}$ )									灌溉定额 Irrigation quota /( $\text{m}^3 \cdot 667\text{m}^{-2}$ )
	02-12	02-27	03-07	03-14	03-31	04-12	04-19	04-25	05-09	
T1	7.4	5.4	6.7	7.4	8.1	10.8	14.8	15.5	13.5	90
T2	7.4	6.7	7.4	6.7	11.5	17.5	18.9	16.8	17.5	110
T3	7.4	8.1	8.1	10.8	16.8	22.2	20.2	20.2	16.8	130
T4	7.4	10.1	10.1	10.8	18.9	26.9	23.6	22.2	20.2	150
CK		30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	240

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水处理对马铃薯地上部生长的影响

株高是衡量马铃薯群体株型状况是否合理的形态指标之一,在生长过程中植株过高或过矮即表明生长发育过旺或不良。由表 2 可看出,滴灌不同灌水处理株高在苗齐后 60 d 均高于常规沟灌处理,滴灌下马铃薯株高随生育期推进,株高增长较常规沟灌增长迅速。膜下滴灌各处理的株高从 3 月 26 日到 5 月 3 日增长较迅速,此后略有降低,不同灌水处理株高在出苗后 40 d 左右时表现出株高随灌水量增加而增加,其中灌水量  $1350 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $2250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理株高从苗齐的 40~45 d 后增长变缓,且较其它灌水量处理变矮,这说明水分不足和过高均会影响马铃薯的生长发育。

滴灌和常规灌水马铃薯分枝数也随着生育进程的推进呈增加趋势,滴灌不同灌水处理平均分枝数较常规灌水的少 2.4 个,滴灌不同灌水量对分枝数影响规律性不强,滴灌处理和常规沟灌分枝数在各生育时期没有明显差异。出苗 30 d 后各生育阶段分枝数变化不大,而常规灌水处理分枝直到收获期还在形成,并且达到最大值。

随着生育进程的推进,滴灌与常规沟灌处理的马铃薯茎叶鲜重都呈逐渐增加的趋势,但沟灌处理茎叶较滴灌增长缓慢。膜下滴灌不同灌水处理的单株茎叶鲜重在出苗后表现出随灌水量的增加而增加的趋势,整个生育期间  $1350 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌水量的茎叶鲜重均较其它灌水量处理低,因此在马铃薯的生长发育过程中,适宜的灌水量能促进马铃薯地上植株的生长,以增加光合有效面积。常规沟渠灌水的茎叶鲜重增长基本保持一个相同的速度,从出苗后一直到收获期均在增长,出苗后的 45 d 内滴灌各灌水处理的茎叶鲜重较常规灌水处理的高,而常规灌水处理茎叶鲜重到收获期达到最高,这说明膜下滴灌方式通过人为的控制灌水量和灌水时期,可与马铃

薯不同生育时期的水分需求相适应,适时适量地满足马铃薯各时期茎叶生长的需求。

### 2.2 不同灌水处理对马铃薯地下部生长的影响

由表 3 可以看出,膜下滴灌和常规沟渠灌水马铃薯的单株结薯数变化趋势相同,均随着生育进程的推进呈增加趋势,从滴灌各灌水量处理对单株结薯数来看,随灌水量的增加,单株结薯数呈增加趋势,而在出苗 50 d 后,当灌水量达到  $2250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时,单株结薯数反而降低;整体来看滴灌与常规沟灌相比,滴灌能增加马铃薯单株结薯数。在出苗后 20 d 时  $1350 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  和  $1950 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌水量处理的马铃薯还没有薯块形成,出苗后 30 d 滴灌和常规灌水单株结薯数均达到 4 个左右。各灌水处理随生长发育进程,单株结薯数也逐渐增加,从出苗后 30~50 d 各灌水处理单株结薯数增幅不明显,尤其  $2250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌水量单株结薯数从块茎形成到收获,结薯数增加不明显,各处理在出苗后 60 d 达到最大结薯数平均为 8 个,其中  $1950 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌水量的单株结薯数增幅较明显,出苗后 60 d 达到最高 9.8 个,其次是  $1650 \text{ m}^3$  灌水量单株结薯数为 8.7 个,  $1350 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌水量单株结薯数为 8 个,  $2250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  灌水量单株结薯数为 7.6 个。由于马铃薯在出苗后 50~60 d 左右出现持续高温天气,随着灌水量增加和灌水周期的缩短,单株结薯数有减少的趋势。常规沟灌的单株结薯数块茎形成后一直到收获均有薯块形成,在收获期单株结薯数显著高于膜下滴灌处理的,但整个生育过程中各生育阶段薯块形成个数差异不大。

膜下滴灌和常规沟渠灌水马铃薯单株块茎鲜重变化趋势相同,均随着生育进程的推进呈增加趋势,滴灌条件下单株块茎鲜重在出苗后 60 d 内随灌水量的增加呈增加趋势,但是灌水量达到  $2250 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,在出苗后 60 d 后随着单次灌水量增加及灌水频率增加,单株块茎反而降低。这可能跟冬马铃薯的灌溉制度有关,冬马铃薯生育期内一般降雨较少,

整个生育期内需进行滴灌,在马铃薯的苗期和块茎形成期,各处理灌水量差异不大,到块茎膨大期以后,马铃薯需水量增大,灌水对马铃薯株高、单株结

薯数、单株块茎鲜重等的影响出现在生育后期,若后期灌水过量,造成土壤水分含量过高、土壤通气性差等影响了马铃薯块茎的形成和膨大。

表 2 不同灌水处理对马铃薯地上部生长的影响

Table 2 Effects of different irrigation treatments on ground growth of potato

性状 Characters	处理 Treatment	日期 Date					
		03-26	04-03	04-13	04-23	05-03	05-13
株高 Plant height /cm	T1	11.0	32.7 ± 0.8abAB	38.1 ± 1.8abA	45.5 ± 2.3abA	53.5 ± 1.1abABC	43.5 ± 0.3bB
	T2	23.1	29.5 ± 1.0bcAB	35.0 ± 2.1bA	52.0 ± 3.8aA	63.0 ± 3.1aA	58.7 ± 1.3aA
	T3	15.1	33.6 ± 0.8aA	35.7 ± 2.2bA	47.7 ± 1.2abA	59.0 ± 2.1aAB	39.7 ± 3.3bB
	T4	18.4	33.7 ± 1.2aA	44.7 ± 0.7aA	46.7 ± 0.9abA	48.0 ± 4.5bcBC	39.0 ± 3.5bB
	CK		27.7 ± 0.9cB	38.1 ± 4.2abA	43.0 ± 4.0bA	42.7 ± 1.8cC	46.7 ± 2.4bAB
分枝数 Number of branches	T1	0.0	4.3 ± 0.9aA	4.3 ± 0.3aA	4.3 ± 0.3aA	6.0 ± 0.6aA	2.6 ± 0.3cB
	T2	2.0	4.0 ± 1.0aA	4.7 ± 0.7aA	4.3 ± 1.7aA	6.0 ± 0.0aA	3.3 ± 0.3bcB
	T3	1.0	4.3 ± 0.3aA	3.7 ± 1.5aA	5.0 ± 0.6aA	4.7 ± 1.2aA	4.7 ± 0.3abAB
	T4	4.0	4.3 ± 0.3aA	5.0 ± 1.0aA	4.3 ± 0.7aA	5.0 ± 0.0aA	4.0 ± 0.6bcAB
	CK		3.3 ± 0.3aA	4.3 ± 1.2aA	5.0 ± 0.0aA	5.0 ± 1.5aA	6.0 ± 0.6aA
茎叶鲜重 Leaf and stem weight per plant /g	T1	39.9	176.6 ± 3.5cB	218.9 ± 14.7cC	335.0 ± 8.7bB	365.7 ± 19.2abA	196.6 ± 14.1bcB
	T2	121.8	270.9 ± 14.9bA	280.4 ± 13.4bAB	367.1 ± 12.8bAB	402.9 ± 16.7abA	239.1 ± 31.9bAB
	T3	94.3	267.9 ± 4.2bA	280.4 ± 14.7bAB	432.2 ± 8.3aA	393.7 ± 24.7abA	251.3 ± 22.6bAB
	T4	141.7	311.0 ± 9.2aA	328.4 ± 13.9aA	358.5 ± 8.4bB	415.7 ± 8.5aA	157.7 ± 6.9cB
	CK		157.3 ± 6.6cB	245.1 ± 14.0cBC	252.4 ± 28.9cC	352.6 ± 8.1bA	344.9 ± 25.9aA

注:同列数据后小写字母表示差异达显著水平( $P < 0.05$ )。下同。

Note: The lower-case letter in the same column represented the significant difference at 0.05 level. The same as below.

表 3 不同灌水处理对马铃薯地下部生长的影响

Table 3 Effects of different irrigation treatments on underground growth of potato

性状 Characters	处理 Treatment	日期 Date					
		03-26	04-03	04-13	04-23	05-03	05-13
单株结薯数 Tuber number per plant	T1	0.0	4.3 ± 0.8aA	4.7 ± 0.3bA	5.6 ± 0.3aA	8.0 ± 0.6abA	5.7 ± 0.7bB
	T2	3.0	4.7 ± 0.7aA	4.7 ± 0.3bA	6.7 ± 0.9aA	8.7 ± 0.7abA	6.0 ± 0.6bB
	T3	0.0	4.7 ± 0.7aA	5.3 ± 0.3abA	6.0 ± 1.0aA	9.7 ± 0.3aA	6.3 ± 0.3bAB
	T4	4.3	5.3 ± 1.3aA	6.0 ± 0.6aA	6.3 ± 0.3aA	7.0 ± 0.6bA	6.0 ± 0.0bAB
	CK		4.7 ± 0.3aA	5.0 ± 0.0abA	5.7 ± 1.2aA	7.7 ± 0.3bA	8.0 ± 0.6aA
块茎鲜重 Tuber fresh weight/g	T1	0.0	52.1 ± 2.6cB	179.0 ± 5.6bB	319.9 ± 37.7bB	506.4 ± 21.3cB	578.2 ± 4.5cB
	T2	8.7	67.1 ± 2.2bcAB	211.8 ± 16.5bB	408.7 ± 26.5aAB	507.4 ± 24.7cB	668.3 ± 21.1bcAB
	T3	0.0	89.3 ± 7.1abAB	201.9 ± 3.9bB	448.7 ± 7.4aA	619.7 ± 40.2bAB	829.4 ± 26.5aA
	T4	21.4	103.1 ± 16.0aA	299.5 ± 12.3aA	463.1 ± 6.9aA	724.3 ± 28.6aA	651.3 ± 39.6bcAB
	CK		52.0 ± 3.3cB	194.4 ± 14.4bB	311.9 ± 24.5bB	534.7 ± 29.4bcB	754.0 ± 72.9abAB
根长 Root length /cm	T1	11.4	19.1 ± 1.0bA	19.8 ± 0.6bB	25.3 ± 2.4abAB	30.0 ± 3.2abA	26.0 ± 1.2bB
	T2	9.5	20.7 ± 1.3abA	22.0 ± 0.4abAB	27.7 ± 2.1aAB	31.0 ± 4.0aA	28.7 ± 2.7bAB
	T3	5.5	20.0 ± 0.5abA	21.7 ± 1.2abAB	20.7 ± 2.7bB	21.7 ± 1.7bA	28.3 ± 2.6bAB
	T4	11.0	19.5 ± 0.7abA	21.3 ± 0.9abAB	26.0 ± 1.5abAB	27.0 ± 2.6abAB	30.0 ± 1.5abAB
	CK		22.7 ± 0.9aA	24.1 ± 0.8aA	29.0 ± 0.6aA	33.5 ± 1.2aA	34.0 ± 2.0aA

从马铃薯根部生长来看,随着生育进程的推进,滴灌与常规灌水处理的马铃薯根长都呈逐渐增加的

趋势,滴灌不同灌水处理根长在各时期均低于常规沟渠灌水的。灌水量  $1\ 950\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  的根长在各生

育阶段根长均低于其它灌水处理的,出苗 30 d 后,随着马铃薯的生长发育,各灌水处理根长表现出 T2 > T4 > T5,所以滴灌条件下适宜灌水量能促进马铃薯根系发达,生长较集中,而灌水量不足或过量均使根系生长分散、较弱。

### 2.3 不同灌水量对马铃薯产量及水分利用率的影响

由表 4 可以看出,膜下滴灌不同灌水量下产量差异显著,随灌水量的增加而增加,当灌水量达到  $1\ 950\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时产量最高,随着灌水量增加到  $2\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时,产量出现显著下降;当灌水量从 T1 处理的  $1\ 350\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  逐渐增加到 T3 处理的  $1\ 950\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时,产量也由 T1 处理的  $35\ 790.6\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  增加到 T3 的最高产量  $39\ 732.0\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,分别较 T1 和 T2 处理增产 9.9% 和 5.7%,当灌水量增加到 T4 处理的  $2\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时产量为  $33\ 107.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,较 T3 处理

显著下降  $6\ 624.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,下降幅度 16.67%,而与 T1 处理产量差异不显著。膜下滴灌各灌水处理产量均较对对照常规沟渠灌水的产量高,分别增产 18.76%、24.7%、31.84%、9.9%,膜下滴灌各灌水处理平均产量为  $36\ 552.35\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,较对对照常规沟渠灌水处理增产  $6\ 416.08\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均增产率 21.29%。就耗水量来说,耗水量随灌水量的增加呈增加趋势,膜下滴灌各灌水量处理的耗水量为  $201.4 \sim 294.1\ \text{mm}$ ,均低于对对照常规沟灌耗水量 ( $425.2\ \text{mm}$ )。从膜下滴灌各灌水量处理的水分利用率来看,水分利用率随灌水量的增加,呈现降低的趋势,T1 处理的水分利用率最高为  $177.7\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,T4 处理的水分利用率最低为  $112.6\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,膜下滴灌处理平均水分利用率为  $150.4\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,较对对照常规沟渠灌水水分利用率  $70.9\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$  高  $79.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。

表 4 不同灌水处理对马铃薯产量和水分利用率的影响

Table 4 Effects of different irrigation treatments on yield and water use efficiency of potato

处理 Treatment	灌水量 Irrigation amount /mm	有效降雨量 Effective rainfall /mm	土壤贮水量变化 The change of soil water storage/mm	耗水量 Water consumption /mm	产量 Yield /( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	较对照 ± Compared with the control ± /( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	增产率 Yield increasing rate /%	水分利用率 Water use efficiency /( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
T1	135.4	71	-4.9	201.4	35790.6 abABC	5654.3	18.76	177.7
T2	165.7	71	-1.8	234.8	37579.4 aAB	7443.1	24.70	160.0
T3	194.9	71	-3.3	262.6	39732.0 aA	9595.7	31.84	151.3
T4	225.3	71	-2.1	294.1	33107.5 bcBC	2971.2	9.90	112.6
CK	359.8	71	-5.6	425.2	30136.3 cC			70.9

## 3 讨论与结论

灌溉方式对马铃薯的产量和水分利用率产生不同的影响。Janat 等<sup>[11]</sup>研究了滴灌和漫灌条件下马铃薯的氮肥利用率和产量形成,结果表明,滴灌施肥比漫灌显著提高了马铃薯氮肥利用率和块茎产量。王凤新等<sup>[12]</sup>研究表明,滴灌马铃薯比沟灌马铃薯平均产量高  $10\ 705\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,水分利用率高 2.4 倍。本试验研究表明,膜下滴灌马铃薯生长发育快,株高、单株茎叶鲜重、单株结薯数、单株块茎鲜重高于常规沟灌,而膜下滴灌马铃薯的分枝数、根长较沟灌的少;滴灌较对照沟灌增产  $6\ 416.08\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,增产率 21.29%,水分利用率高  $79.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。

膜下滴灌以高频率、小流量的灌水方式进行灌溉,使水分能及时供应到马铃薯根系分布范围的土壤中,同时减少水分的渗漏和蒸发,提高了水分利用率。本试验结果表明,膜下滴灌条件下水分利用率显著高于常规沟灌,且不同灌水量马铃薯水分利用

率随灌水量的增加呈现降低的趋势,这一试验结果与买自珍<sup>[13]</sup>、黄彩霞<sup>[14]</sup>试验得出的马铃薯水分利用率随滴灌量增加而增加的结论不相符,其中黄彩霞对加工型马铃薯不同生育期进行滴灌,当进行全生育期补灌最高灌水量  $1\ 950\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  处理的水分利用率也较其它处理的降低。这可能是北方春作区与南方冬作区在马铃薯品种特性、生长季节、生育期间气候条件、不同生育阶段灌水的不同而有差异。郭琛等<sup>[15]</sup>的研究结果表明灌溉次数相同时,杂交棉的产量和水分利用效率随灌溉量的增加而升高,但产量和水分利用效率并不总是随灌溉量的增加而增加。刘梅先等<sup>[16]</sup>通过两年试验比较研究新疆地区棉花在不同滴灌量和滴灌频率下的产量和水分利用效率表明,少量滴灌 (300 mm) 可以显著提高水分利用效率,但是减产严重,过量滴灌 (450 mm) 水分利用效率最低,也不能显著提高产量,375 mm 滴灌量为产量和水分利用效率的最佳结合点。

有研究表明,在马铃薯块茎形成初期及前期充

分灌水可以增加单株马铃薯的块茎数量<sup>[17]</sup>,在块茎膨大期和成熟期,马铃薯对水分亏缺反应最为敏感<sup>[18]</sup>。本试验在马铃薯整个生育期内进行滴灌,马铃薯苗期和块茎形成期灌水量差异不大,灌水差异主要集中在块茎膨大期后,所以不同处理对马铃薯植株生长和块茎经济性状的影响也延后。通过试验发现,滴灌条件下灌水量对产量及其构成各要素都有一定的影响,株高、单株结薯数、单株块茎鲜重在生育前期呈现随灌水量的增加而增加的趋势,而在马铃薯生育后期水分不足或水分过量都会对产量及其构成造成不良的影响。当灌水量达到  $2\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时,单株结薯数在出苗 50 d 后较其它灌水量处理的降低,而单株块茎鲜重在出苗后 60 d 后,随着单次灌水量增加和灌水频率增加后,单株块茎产量也出现降低。

马铃薯是大量需水的作物,尤其在块茎形成期以及块茎膨大期都是马铃薯需水的关键期,这时缺水必然使产量下降,如果这时对马铃薯进行灌溉尤其是滴灌,既能提高单产,又能节水。本试验通过对马铃薯全生育期共计 9 次灌水处理表明,膜下滴灌各灌水处理产量均较对正常规沟渠灌水的产量高,较对正常规沟渠灌水处理增产,增产 21.29%;而且马铃薯膜下滴灌产量和耗水量随灌水量的增加而增加,当灌水量达到  $1\ 950\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时产量最高,随着灌水量增加到  $2\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  时,产量出现显著下降。从产量提高和节水方面考虑,在生育期间有效降雨量在 70 mm 左右时,灌水量在  $1\ 650 \sim 1\ 950\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$  较为适宜,在马铃薯膨大期和淀粉积累期灌水过量,反而会造成马铃薯减产。

#### 参考文献:

[1] 粟晓玲,石培泽,杨秀英,等.石羊河流域干旱沙漠区滴灌条件下苹果树耗水规律研究[J].水资源与水工程学报,2005,16(1):19-23.

- [2] 孔德杰,张源沛,郭生虎,等.不同灌水量对日光温室黄瓜耗水规律及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):42-47.
- [3] 刘新永,田长彦,马英杰,等.南疆膜下滴灌棉花耗水规律以及灌溉制度研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):108-112.
- [4] 王小兵,李明思,何春燕.膜下高频滴灌棉花田间耗水规律的试验研究[J].水资源与水工程学报,2008,19(1):39-42.
- [5] 江俊艳,汪有科.不同灌水量和灌水周期对滴灌马铃薯生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):121-125.
- [6] 王玉明,张子义,樊明寿.马铃薯膜下滴灌节水及生产效率的初步研究[J].中国马铃薯,2009,23(3):148-151.
- [7] 秦军红,蒙美莲,陈有君,等.马铃薯膜下滴灌增产效应的研究[J].中国农学通报,2011,(18):204-208.
- [8] 龙瑞平,肖继坪,郭华春,等.覆膜滴灌栽培对云南春作马铃薯生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):54-57.
- [9] 王丽霞,陈源泉,李超,等.不同滴灌制度对棉花/马铃薯模式中马铃薯产量和 WUE 的影响[J].作物学报,2013,39(10):1864-1870.
- [10] 李广敏,关军锋.作物抗旱生理与节水技术研究[M].北京:气象出版社,2001:184.
- [11] Jant M. Efficiency of nitrogen fertilizer for potato under fertigation utilizing a nitrogen tracer technique[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2007,38(17):2401-2422.
- [12] 王凤新,康跃虎,刘士平.滴灌与沟灌马铃薯覆膜效应研究[J].中国生态农业学报,2003,11(4):99-102.
- [13] 买自珍,蒋儒龄,陆俊武,等.马铃薯垄作膜下滴灌关键技术研究[J].宁夏农林科技,2010,(2):2-7.
- [14] 黄彩霞,施林.不同灌水量对加工型马铃薯产量及生态生理指标的影响[J].灌溉排水学报,2008,27(5):96-99.
- [15] 郭琛,祁通,侯振安.滴灌条件下灌溉量和频率对杂交棉生长和产量的影响[J].新疆农业科学,2010,47(9):1872-1877.
- [16] 刘梅先,杨劲松,李晓明,等.膜下滴灌条件下滴水量和滴水频率对棉田土壤水分分布及水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2011,22(12):3203-3210.
- [17] Shock C C, Zalewski J C, Stieber T D, et al. Impact of early-season water deficits on russet Burbank plant development, tuber yield and quality[J]. Am J Potato Res, 1992,69:793-803.
- [18] Fabeiro C F, Martin S O, de Juan J A. Yield and size of deficit irrigated potatoes[J]. Agriculture Water Management, 2001,48:255-266.