

干旱区膜下滴灌高密度栽培加工番茄耗水规律研究

王进¹, 晋绿生¹, 何福才², 杜红¹, 陈玉东², 樊新燕¹, 白书军¹

(1. 乌兰乌苏农业气象试验站, 新疆石河子 832003; 2. 石河子水利局, 新疆石河子 832003)

摘要: 在覆膜滴灌条件下, 对高密度栽培加工番茄的耗水规律及产量进行研究。结果表明: 高密度栽培加工番茄最大耗水时段在6月26日—8月7日, 日均耗水量6.15 mm, 其中7月上旬的日均耗水量为6.8 mm, 7月中旬的日均耗水量最大, 为7.3 mm, 7月下旬的日均耗水量为5.1 mm。日平均气温在20℃~25℃时, 田间蒸散量最大, 均值达205.19 mm, 天数为56 d, 日均耗水量3.66 mm, 以每次灌水40 mm, 应灌水次数为5~6次, 间隔9~10 d。同时, 大田不同灌溉量试验表明, 随着灌溉量的增加, 加工番茄的产量逐步提高。利用蒸渗计计算理论灌量, 通过回归计算, 可得最大理论产量约188.69 t/hm²。

关键词: 膜下滴灌; 蒸散量; 加工番茄; 产量

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)02-0145-05

新疆地处欧亚大陆腹地, 面积广阔, 气候干旱少雨, 水分的缺乏大大限制了新疆农业的发展。“膜下滴灌”是把地膜栽培与节水滴灌技术结合, 既起到提高地温, 减少地面蒸发的作用, 又利用滴灌的可控制灌溉特性减少深层渗漏, 达到综合节水增产的效果, 同时还可将肥料溶于滴灌水中进行随水滴灌施肥, 大大提高了肥料的利用效率^[1-2]。植物耗水是由植物和土壤的蒸散以及由根系层向下的渗漏构成, 而在像新疆这样十分干旱的地区植物蒸散量构成了植物耗水量的主要部分。同时参考作物蒸散量的变化会导致某一区域的水文环境的改变, 从而影响该地区植被的耗水特性。所以研究参考作物蒸散量的变化规律是土壤—植被—大气系统水分传输研究的关键环节, 也是确定区域生态需水量的关键环节^[3-4]。新疆具有种植加工番茄得天独厚的优势条件, 已成为全球第二大番茄主产区之一, 番茄生产能力占全国的90%以上, 番茄制品产量和出口量均位居世界第二位, 是新疆农业的主要支柱产业之一^[4]。膜下滴灌高密度栽培加工番茄已成为一种趋势。但相关高密度栽培加工番茄耗水规律研究寥寥无几。因此, 本文就膜下滴灌高密度栽培加工番茄的全生育期耗水规律进行分析, 以期为高密度栽培加工番茄的合理灌水提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点

本试验于2009—2010年在新疆乌兰乌苏农业

气象试验站进行(44°17'N、85°49'E, 海拔高度468.2 m)。该站位于准葛尔盆地南缘, 地处于天山北坡带中心位置, 气候属于典型的温带大陆性气候, 冬季长而严寒, 夏季短而炎热, 年平均气温7.0℃, 日照约2 861.2 h, 无霜期约170 d, 年降水量210.6 mm, 年蒸发量1 664.1 mm。试验地土壤类型为灰漠土, 土壤质地为中壤土, 土壤肥力中等, 土壤基本肥力情况为: 有机质1.90%、全氮0.125%、全磷0.204%、碱解氮78.0 mg/kg、速效磷91.5 mg/kg、速效钾315 mg/kg。

1.2 试验材料与方法

试验材料品种为石红206, 品种特性是早熟, 植株矮, 株型紧凑, 株高约40~60 cm, 平均单果重60 g, 最大可达80 g, 果实色泽红, 番茄红素含量14 mg/100g鲜重, 可溶性固形物含量4.3%~4.8%。果实硬度好, 成熟集中, 适宜密植, 丰产潜力大。试验材料由新疆石河子蔬菜研究所提供。

两年大田试验分别于2009年4月25日, 2010年5月1日播种。采用高密度栽培方式, 一膜四行, 一机四膜宽窄行配置, 采用1.2 m宽膜覆盖, 一膜一管, 宽窄行配置(20 cm + 30 cm + 20 cm), 株距20 cm, 背垅行80 cm, 平均留苗株数约13.2万株/hm²。待定植后进行四个不同的水分处理, 见表1。灌水前测定土壤湿度, 当0~50 cm土壤湿度平均值达到表1下限值时, 进行灌水, 直到湿润峰达到地膜边缘时停止灌水。每个处理重复三次。小区面积25.6 m²,

收稿日期: 2011-07-22

基金项目: 新疆气象局科研基金项目“高温影响晚播膜下滴灌加工番茄产量机理及减轻高温危害技术的研究”(200713); 石河子农业科技攻关计划项目“高密度栽培加工番茄需水需肥规律研究”(2009CB825101); 公益性行业(气象)科研专项经费项目“蒸渗计在气象观测中的应用试验研究”(GYHY201106043)

作者简介: 王进(1979—), 男, 宁夏吴忠人, 博士研究生, 研究方向为农业气象及节水灌溉。E-mail: apple6405@sohu.com。

共计 12 个小区。

本研究所用蒸散量资料为乌兰乌苏农业气象试验站的大型称重式蒸渗仪测定。蒸渗仪由兰州干旱气象研究所研制,蒸渗仪桶内土柱面积 4.0 m²,土柱

深度 2.5 m,采用原状土,达到与周围土层填充一致。栽培模式与大田试验一致。采用膜下滴灌,留苗株数与试验田内相同,病虫害及灌水施肥按大田常规管理。

表 1 各生育期不同处理土壤水分下限占田间持水量百分比 (%)

Table 1 Proportion of minimum soil moisture in field capacity at various growing stages of tomato

处理 Treatment	苗期~初花期 Seedling~initial flowering	初花期~结果初期 Initial flowering~initial fruit-setting	果实青熟期 Fruit green ripening	果实完熟期 Fruit maturity
T1	45	45	55	50
T2	50	50	60	55
T3	55	55	65	60
T4	60	60	90	60

1.3 测定项目及方法

蒸散量测定:从每年 4 月 1 日起调试蒸散仪到最佳状态,仪器每小时自动采集数据,数据单位换算为 mm。产量测定:在果实成熟期分批采收成熟果实,累计值作为最终产量。

2 结果与分析

2.1 高密度栽培加工番茄主要生育期

加工番茄播种期一般在 4 月中下旬,5 月上旬出苗,下旬定植,6 月上旬为初花期,中、下旬为结果初期,7 月为果实青熟期,8 月为果实完熟期,具体见表 2,其中果实青熟期为关键需水期,也是产量形成关键期。由于 2010 年 4 月北疆片区降水较多,同时冬季积雪较厚,开春融化导致土壤相对湿度较大,机械无法下地。因此,播种期推后到 5 月 1 日。

2.2 高密度栽培加工番茄全生育期的田间蒸散量及滴灌量估算

2009—2010 年的蒸散量资料计算结果表明,高密度栽培加工番茄从播种至停止生长期间的田间蒸散量为 465.6 mm,降水量为 114.9 mm,测定土壤蓄水量为 37.8 mm,实际灌溉量为 349 mm。(1)式为水量平衡方程

$$R + I = ET + q + \Delta S \quad (1)$$

式中, R 为降水量, I 为灌溉量, ET 为蒸散量, q 为地表径流, ΔS 为土壤蓄水量。因蒸渗仪内无径流,所以 $q = 0$,则 $I = ET + \Delta S - R$ 。

根据两年的蒸散量平均值计算加工番茄全生育期的充分灌水量应为 388.5 mm,相当于 3 885 m³/hm²,缺水量 39.5 mm。

表 2 加工番茄主要发育期天数(d)

Table 2 The duration of days of various growth stages of tomato

年份 Year	播种时间 Sowing date (M-d)	播种~出苗 Sowing~ emergence	出苗~定植 Emergence~ seedling setting	初花期~结果初期 Initial flowering~ initial fruit-setting	果实青熟期 Fruit green ripening	果实完熟期 Fruit maturity	播种~停止 Sowing~harvest
2009	04-25	10	20	37	39	20	126
2010	05-01	11	18	35	37	18	119
均值 Mean	—	11	19	36	38	19	123

表 3 加工番茄全生育期蒸散量及灌水量估算(mm)

Table 3 The estimated amount of evapotranspiration and drip irrigation in whole growing period tomato

年份 Year	播种~出苗 Sowing~ emergence	出苗~定植 Emergence~ seedling setting	初花期~ 结果初期 Initial flowering~ initial fruit- setting	果实 青熟期 Fruit green ripening	果实 完熟期 Fruit maturity	播种~ 停止 Sowing~ harvest	总降水量 Total precip- itation	土壤 蓄水量 Soil moisture	理论灌量 Theoretic irrigation amount	实际灌量 Actual irrigation amount
2009	8.6	27.5	123.5	247	87.3	493.9	106.2	27.3	415	357
2010	11.4	21.9	100.4	219	84.6	437.3	123.5	48.2	362	342
平均 Mean	10.0	24.7	112.0	233.0	85.9	465.6	114.9	37.8	388.5	349

2.3 高密度栽培加工番茄的最大耗水时段与最大耗水量

图 1 是 2010 年高密度栽培加工番茄全生育期降水量,全生育期降水量为 123.5 mm。图 2 是 2010 年高密度栽培加工番茄全生育期灌水量,全生育期灌水量 342 mm。图 3 高密度栽培加工番茄全生育期水分蒸散过程,全生育期蒸散量 437.3 mm。

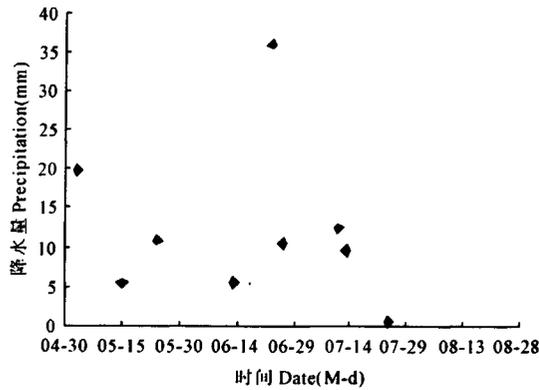


图 1 高密度栽培加工番茄全生育期降水量

Fig.1 Precipitation in whole growing period of tomato

6.15 mm,其中 7 月上旬的日均耗水量为 6.8 mm,7 月中旬的日均耗水量最大为 7.3 mm,7 月下旬的日均耗水量为 5.1 mm。在这段时间(6 月 26 日—8 月 7 日)总耗水量 276 mm,若每次灌水 40 mm;约需灌水 7 次,平均 6~7 d 灌水一次。若一次降水量为 5.0 mm,可推迟灌水 1 d,10 mm 以上推迟 2 d,20 mm 以上可推迟 3~4 d。

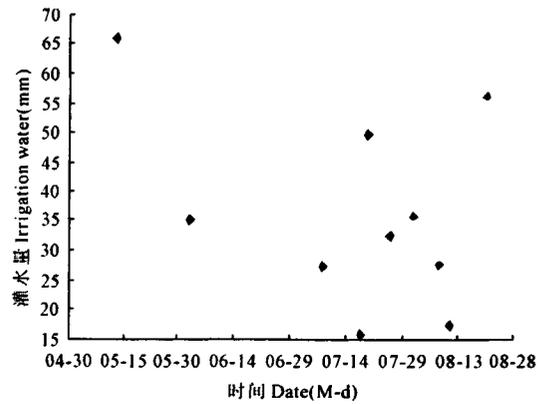


图 2 高密度栽培加工番茄全生育期灌水量

Fig.2 Irrigation amount in whole growing period of tomato

从 5 月 1 日到 30 日是播种到出苗定植的过程,由于采用覆膜技术,因此,大大减小了土壤表层水分蒸发,只有加工番茄幼苗叶片微弱的蒸腾作用消耗水分,曲线平缓。从 6 月 1 日定植后开始,蒸渗仪的水分蒸散量逐步增加,到 7 月中下旬达最大,日最大值达到 9.18 mm。月蒸散量表现为,5 月总蒸散量 34.9 mm,6 月总蒸散量 75.8 mm,7 月总蒸散量达到 197.4 mm,8 月总蒸散量 142.4 mm,其中 7 月上旬 67.6 mm,7 月中旬 72.76 mm,7 月下旬 56.97 mm。8 月上旬 45.85 mm,8 月中旬 48.23 mm,8 月下旬 48.36 mm。6 月日均耗水量 2.6 mm,7 月日均耗水量 6.6 mm,8 月日均耗水量 4.7mm。根据加工番茄的生育特点,通过分析发现高密度栽培加工番茄最大耗水时段在 6 月 26 日—8 月 7 日,日均耗水量

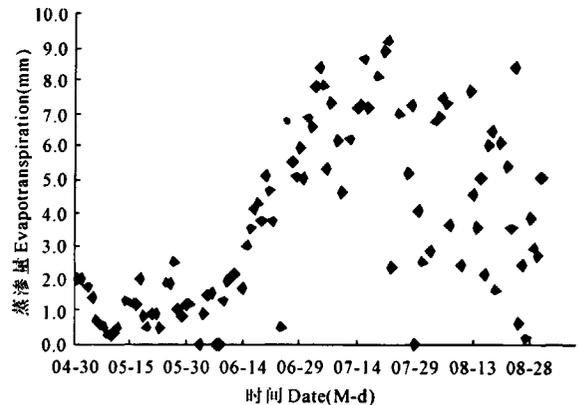


图 3 高密度栽培加工番茄全生育期水分蒸散过程

Fig.3 The process of evapotranspiration in whole growing period of tomato

表 4 加工番茄日均蒸散量及最大蒸散量(mm)

Table 4 The average and maximum daily evapotranspiration

年份 Year	播种~出苗 Sowing~ emergence	出苗~定植 Emergence~ seedling setting	初花期~ 结果初期 Initial flowering~ initial fruit- setting	果实 青熟期 Fruit green ripening	果实 完熟期 Fruit maturity	播种~ 停止 Sowing~ harvest	7 月日均蒸散量 Average daily evapotranspiration in July			日最大蒸散量 Maximum daily evapotranspiration		
							上旬 First 10-day	中旬 Mid 10-day	下旬 Last 10-day	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.
2009	0.86	1.38	3.34	6.08	3.37	3.68	6.78	7.02	5.35	5.96	9.33	7.32
2010	1.04	1.22	2.87	5.92	4.70	3.67	6.94	7.52	4.81	6.02	9.03	7.56
平均 Mean	0.95	1.30	3.10	6.00	4.03	3.68	6.86	7.27	5.08	5.99	9.18	7.44

2.4 不同温度时段间的蒸散量、耗水量估算

由表 5 可知,日平均气温在 20℃~25℃时,田间蒸散量最大,均值达 205.19 mm,天数为 56 d,日均耗水量 3.66 mm,总耗水量 205.19 mm,以每次灌水

40 mm,应灌水次数为 5~6 次,间隔 9~10 d。日平均气温在 20℃~30℃~25℃时,为第二耗水时段。天数为 35 d,蒸散量为 158.84 mm。

表 5 不同界限温度之间天数及蒸散量

Table 5 The duration of days and evapotranspiration in different temperature levels

项目 Item	年份 Year	5℃~10℃	10℃~15℃	15℃~20℃	20℃~25℃	25℃~30℃~25℃	≥30℃
天数 Days (d)	2009	—	8	25	61	32	—
	2010	2	2	25	51	37	2
	平均 Mean	2	5	25	56	35	2
蒸散量 Evapotranspiration (mm)	2009	—	12.31	88.72	225.43	137.44	—
	2010	2.51	3.03	57.51	184.95	180.24	8.84
	平均 Mean	2.51	7.67	73.12	205.19	158.84	8.84

2.5 不同灌水处理的产量比较

在加工番茄的采收期,分两次将各处理的果实采收。图 4 结果表明,各灌水处理随着灌量的增加,产量逐步提高,其中 T1 与 T2 在 5% 水平差异显著,在 1% 水平差异不显著。T1 与 T3、T4 在 5% 水平差异显著,T2 与 T3、T4 在 5% 水平差异显著,T3 与 T4 在 5% 水平差异显著。各处理产量分别为 T1:113.7 t/hm²、T2:128.8 t/hm²、T3:144.2 t/hm²、T4:159.6 t/hm²。各处理灌水量分别为 T1:1 975.4 m³/hm²、T2:2 582.7 m³/hm²、T3:2 798.8 m³/hm²、T4:3 087.2 m³/hm²。通过图 5 分析灌水量与产量的关系,表明灌水量与产量的相关系数为 0.94,回归方程为 $y = 0.0408x + 30.187$ 。将表 3 中的最大理论灌量 3885 m³/hm²,代入回归方程计算产量,得出结果表明产量可达到 188.69 t/hm²,即单位面积产量达到 12.57 t/667m²。因此,高密度栽培的加工番茄产量还有提高的空间。

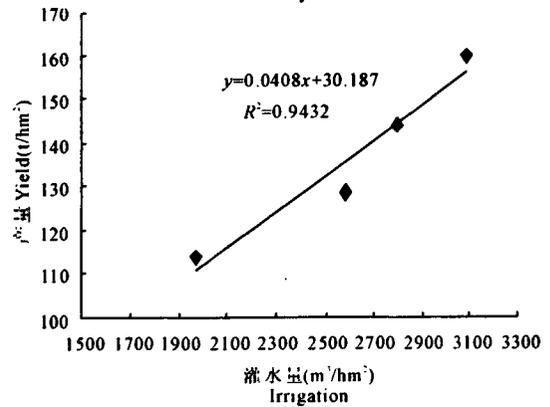


图 5 灌水量与产量的相关分析

Fig.5 The relationship between irrigation and tomato yield

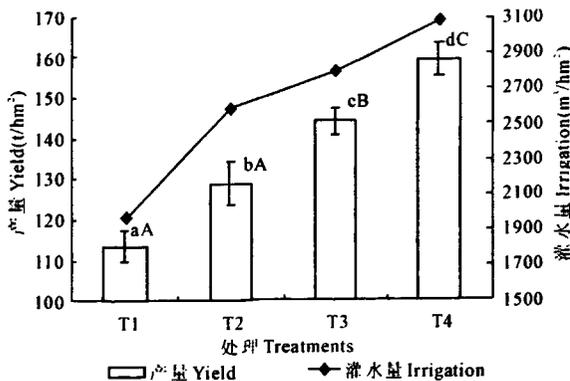


图 4 不同灌水处理下产量比较

Fig.4 Tomato yield in different irrigation treatments

3 结论与讨论

新疆昼夜温差大、日照长、降雨量少,具有种植番茄得天独厚的优势条件,所产番茄红素高、病虫害少、霉菌低、可溶性固形物含量高,是西北地区、全国乃至全球最佳的番茄种植区之一。近年来,随着国际分工的演变,世界番茄生产正向以中国为主的发展中国家转移,为新疆番茄提供了难得发展机遇。经过“十五”和“十一五”期间的跨越式发展,新疆已成为全球第二大番茄主产区之一,番茄生产能力占全国的 90% 以上,番茄制品产量和出口量均位居世界第二位,番茄产业成为新疆独具特色的优势产业、创汇产业和红色主导产业^[5-6]。

作物耗水量是指作物蒸腾量与土壤蒸发量之和,通常亦称为农田蒸散量^[7-8]。目前确定作物耗水量主要有模式估算和直接测量两种方式。由于条件所限,目前一般都采用前一种方法来研究作物蒸散规律。模式估算的方法很多,现在普遍认可并广

泛应用的是联合国粮农组织(UN-FAO)推荐的彭曼-蒙蒂斯方法。直接测量即通过专用仪器设备如蒸渗计(Lysimeter)来测定,但是,由于这些专用设备造价较高,一般仅应用于相关的试验研究^[9]。张旭东、杨兴国等利用甘肃定西大型称重式蒸渗计(Lysimeter)实时观测得到的1993—1997(1995年除外)4 a春小麦生育期日蒸散资料,并进行了分析,发表了旱作春小麦的耗水规律及对产量的影响研究成果^[10-11]。

本试验通过乌兰乌苏农业气象试验站的大型称重式蒸渗计,连续两年实时观测高密度栽培酱用番茄的全生育期耗水规律。研究发现高密度栽培加工番茄最大耗水时段在6月26日—8月7日,日均耗水量6.15 mm,其中7月上旬的日均耗水量为6.8 mm,7月中旬的日均耗水量最大为7.3 mm,7月下旬的日均耗水量为5.1 mm。日平均气温在20℃~25℃时,田间蒸散量最大,均值达205.19 mm,天数为56 d,日均耗水量3.66 mm,总耗水量205.19 mm,以每次灌水40 mm计,应灌水次数为5~6次,间隔9~10 d。日平均气温在20℃~30℃~25℃时,为第二耗水时段,天数为35 d,蒸散量为158.84 mm。大田不同灌溉量试验表明,随着灌溉量的增加,酱用番茄的产量逐步提高,利用蒸渗计的最大理论灌量,通过回归方程,可得最大理论产量约12.57 t/667m²。

2010年新疆石河子地区加工番茄原料种植了0.88万hm²,产番茄约88万t,平均产量100 t/hm²,根据加工能力的提高,按照2010年的平均单产,

2011年生产番茄原料总产超过133.4万t,需要种植1.33万hm²番茄。若实现高产平均产量达到120 t/hm²,只需要种植1.113万hm²,不但可节省约0.22万hm²耕地用于其他作物,而且还有利于精耕细作,提高土壤的投入产出效率,提高番茄产业的竞争能力。因此,高密度种植加工番茄可能成为解决单位面积高产的有效途径。

参考文献:

- [1] 邵光成,蔡焕杰,吴磊.新疆大田膜下滴灌的发展前景[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):122-127.
- [2] 郑旭荣,胡晓棠,李明思,等.棉花膜下滴灌田间耗水规律的试验研究[J].节水灌溉,2000,(5):25-27.
- [3] 王幼奇,樊军,邵明安,等.黄土高原地区近50年参考作物蒸散量变化特征[J].农业工程学报,2008,24(9):6-10.
- [4] 冯志明,杨艳昭,丁晓强,等.甘肃地区参考作物蒸散量时空变化研究[J].农业工程学报,2004,20(1):99-103.
- [5] 张彦军.新疆兵团加工番茄产业的调查与思考[J].新疆农业科技,2003,(6):12-14.
- [6] 陈轩波.对新疆发展番茄产业的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2000.
- [7] 唐克丽.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.
- [8] 牛振国,李保国,张凤荣.参考作物蒸散量的分布模型[J].水科学进展,2002,13(3):303-307.
- [9] Martin Smith. CROPWAT a computer program for irrigation and management [C]//FAO, FAO Irrigation and Drainage paper 46. Rome, FAO, 1992.
- [10] 张旭东,杨兴国,杨启国.半干旱区旱作春小麦耗水规律研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):63-66.
- [11] 张旭东,柯小新,杨兴国.甘肃河东小麦需水规律及其分布特征[J].干旱地区农业研究,1999,17(1):39-44.

Study on water consumption rules of tomato with high-density planting and mulched drip irrigation

WANG Jin¹, JIN Lü-sheng¹, HE Fu-cai², DU Hong¹, CHEN Yu-dong², FAN Xin-yan¹, BAI Shu-jun¹

(1. Wulanwusu Agro-meteorological Experiment Station, Shihezi, Xinjiang 832003, China;

2. Shihezi Water Resources Bureau, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: Under the condition of high-density planting and mulched drip irrigation, the rules of water consumption and yield of tomato are studied. The results show that the maximum water consumption period is from June 26 to August 7, CWC is 6.8 mm in early July, CWC is 7.3 mm in mid July, CWC is 5.1 mm in late July, and the everyday capacity of water consumption (CWC) is 6.15 mm. When the average daily temperature is in 20℃~25℃, the maximum evapotranspiration is 205.19mm, the duration is 56 days, the CWC is 3.66 mm, and the total CWC is 205.19 mm. During this period of time, the frequency of drip irrigation should be 5~6 times, with a quantity of 40 mm in each time of irrigation, and the interval between two times of irrigation should be 9~10 days. The field experiment shows that tomato yield increases gradually along with the increase of irrigation and, calculated by means of the regression equation, the maximum theoretical yield may reach 188.69 t/hm².

Keywords: mulched drip irrigation; evapotranspiration; tomato; yield