

膜下滴灌不同灌水定额及水氮耦合 对打瓜耗水规律的影响

徐剑, 赵经华, 洪明, 马亮, 马英杰

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 为研究不同灌水定额和不同施氮量对北疆打瓜耗水规律的影响, 2016-2017年在新疆阿勒泰地区灌溉试验站陆续开展2 a大田打瓜灌水试验, 讨论连续2 a不同灌水定额及水氮互作下打瓜耗水规律。2016年试验设置5个不同的灌水定额分别为300、375、450、525、600 m³/hm²。2017年设置3个不同灌水定额分别为300、450、600 m³/hm², 3个不同施氮量分别为0、138、276 kg/hm², 共9个处理。研究结果表明: 不同灌水定额和水氮互作下打瓜旬均耗水量变化规律均呈先增大后减小变化规律; 耗水量、耗水强度和果实膨大期的耗水模数随着灌水定额增加而呈“增大-平缓”态势; 打瓜作物系数随灌水定额增加而增大, 且在0.360~0.431间变化, 其中600 m³/hm²灌水定额耗水量、耗水强度和作物系数最大; 合适的水氮供给量有利于打瓜耗水模数、作物系数、耗水量和耗水强度增大, 作物系数在0.317~0.445间变化; 与其他生育阶段相比, 不同灌水定额和水氮互作均在果实膨大期对打瓜耗水量、耗水强度和作物系数的影响最大。研究可为理解大田打瓜的耗水特性和当地打瓜节水高效生产提供依据。

关键词: 灌水定额; 水氮互作; 耗水量; 耗水强度; 耗水模数; 作物系数; 耗水规律; 北疆打瓜

中图分类号: S275.6; S642.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)02-0231-08

Effects of different irrigation quota and water and nitrogen coupling on water consumption of seeding-watermelon under mulch drip irrigation

XU Jian, ZHAO Jinghua, HONG Ming, MA Liang, MA Yingjie

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to study the effects of different irrigation quotas and nitrogen application rates on water consumption of melon in northern Xinjiang, a 2-year field experiment of melon irrigation was carried out at Altay Irrigation Experimental Station from 2016 to 2017. In 2016, five different irrigation quotas were set at 300 m³/hm², 375 m³/hm², 450 m³/hm², 525 m³/hm² and 600 m³/hm² respectively. In 2017, three different irrigation quotas were set up to 300 m³/hm², 450 m³/hm² and 600 m³/hm² respectively. Three different nitrogen rates were 0, 138 kg/hm² and 276 kg/hm², respectively. The results showed that: Under different irrigation quotas and water-nitrogen interaction, the change law of average water consumption in ten days of watermelon-beating showed the law of first increasing and then decreasing. Water consumption, water consumption intensity and water consumption modulus during fruit expansion increased with the increase of irrigation quota. The crop coefficient increased with the increase of irrigation quota, and changed from 0.360 to 0.431, among which 600 m³/hm² irrigation quota had the largest water consumption, water consumption intensity and crop coefficient. Suitable water and nitrogen supply increased water consumption modulus, crop coefficient, water consumption and water consumption intensity, and crop coefficient varied from 0.317 to 0.445. Compared with other growth stages, different irrigation quotas and water-nitrogen interaction had the greatest impact on water consumption, water consumption intensity and crop coefficient during fruit expansion stage. The study can provide a basis for understanding the water consumption charac-

收稿日期: 2018-06-29; 修回日期: 2018-09-13

基金项目: 新疆维吾尔自治区高教项目(XJEDU2017T004)

作者简介: 徐剑(1993-), 男, 新疆库尔勒人, 在读硕士研究生, 主要从事灌溉节水理论研究。

通讯作者: 赵经华(1979-), 男, 新疆奇台人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事节水灌溉技术研究及教学工作。

teristics of the field and the water-saving and efficient production of local melon.

Key words: irrigation quota; water and nitrogen interactions; water consumption; water consumption intensity; water consumption modulus; crop coefficient; water consumption law; seeding-watermelon

1 研究背景

打瓜 (*Catullus landaus* var. *megulasnemus* Lin et Chao) 为葫芦科 (*Cucurbitaceae*) 西瓜属 (*Citrullus* Schrad) 植物, 打瓜及籽粒具有丰富蛋白质和不饱和脂肪酸, 适合高血压及心血管疾病患者食用^[1], 常作药材^[2]。打瓜具有抗旱及喜热等特点。阿勒泰福海县位于准噶尔盆地北部, 地广人稀, 为农作物大规模种植提供了先决条件。随着北疆经济的发展, 作为农民增收作物的打瓜在北疆经济作物中越来越重要, 以其投入少、易种植、市场广等优点深受农户喜爱, 且打瓜种植面积逐渐增加, 阿勒泰及塔城地区打瓜种植面积的增加最为显著^[3-4]。

新疆位于中国西北干旱区, 存在年降雨量低、年蒸发量高、农业水资源不足且利用率低等弊端^[5-6]。北疆打瓜灌溉种植管理模式相对守旧, 灌溉种植管理过程中浪费水资源现象严重, 因此, 研究打瓜耗水规律和灌溉制度, 对北疆发展节水灌溉打瓜具有实际意义。目前对打瓜的研究主要集中在生理特征和农艺措施方面^[7-8]。在耗水规律方面, 对甜瓜、西瓜和葡萄等经济作物的耗水规律研究较多^[9-12], 而对打瓜耗水指标和作物系数方面的研究鲜有报道。因此, 为类似研究提供理论支持, 研究打瓜耗水规律具有重要意义。桑艳朋^[13]和郑国保等^[14]认为甜瓜和黄瓜耗水量随生育期而呈现出平缓-增加-减小的

态势, 在果实膨大期耗水量达到最大 (由于对打瓜耗水规律的研究鲜有报道, 故与同科作物比较分析, 下同)。孔德杰^[15]与郭生虎等^[16]研究表明, 在整个生育期, 膜下滴管黄瓜耗水强度呈“单峰”变化规律, 在结果盛期达到最大, 成熟期下降。庞秀明^[17]研究表明, 不同调亏处理下甜瓜作物系数随生育阶段延后而逐渐增大, 且在果实膨大期达到最大。

本文在两年试验的基础上, 利用不同灌水定额试验和水肥耦合试验, 研究不同灌水定额和水氮互作对打瓜各生育阶段耗水参数及作物系数的影响, 揭示北疆打瓜耗水规律, 以期为北疆打瓜节水灌溉提供一定科学依据。

2 材料与方法

2.1 试验区概况

试验于2016年5-9月和2017年5-8月在阿勒泰地区灌溉实验站 (东经 87°35'56", 北纬 47°00'56") 进行。用环刀分别取 0~20、20~40、40~60 cm 土层土样, 并测定土壤容重, 结果分别为 1.80、1.89、1.86 g/cm³。打瓜试验地田持水率为 20.1%。2016 年和 2017 年打瓜生育期内气温大于 15℃ 的活动积温分别为 2302℃ 和 2285℃。研究地基本气象数据见表 1。经测定土壤养分全氮 0.027%, 速效氮 19.5 mg/kg, 速效磷 9.0 mg/kg, 速效钾 92.4 mg/kg。水源来自哈拉霍英干渠, 水质 pH 值为 8.10, 偏碱性。

表 1 打瓜生育期期间试验基地气象概况

年份	气象因素	5月	6月			7月			8月			9月
		下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬
2016年	最高温度/℃	29.64	34.62	31.51	32.87	32.67	35.32	34.84	35.50	31.64	32.59	32.56
	平均温度/℃	18.97	23.74	21.66	21.59	24.43	24.54	24.67	23.43	22.36	21.41	19.82
	最高风速/(m·s ⁻¹)	9.06	9.06	8.05	9.06	6.54	8.05	7.05	7.05	5.03	4.53	9.06
	平均风速/(m·s ⁻¹)	2.01	2.42	2.89	1.58	1.97	1.46	1.05	1.66	0.84	0.89	1.04
	总降雨量/mm	0.80	11.30	14.80	5.80	22.80	2.00	4.80	7.40	0.60	0	0
	有效降雨/mm	0	0	14.2	5.80	22.8	0	0	5.10	0	0	0
2017年	最高温度/℃	33.42	32.36	37.18	36.20	37.32	33.29	39.29	33.39	35.48	28.52	
	平均温度/℃	20.30	21.63	25.68	25.76	25.12	24.58	26.39	23.25	20.93	18.43	
	最高风速/(m·s ⁻¹)	13.09	11.08	14.09	8.56	9.06	6.54	5.54	6.54	8.05	5.03	
	平均风速/(m·s ⁻¹)	3.34	2.74	1.78	2.17	1.80	1.41	0.85	1.32	1.02	1.00	
	总降雨量/mm	24.00	16.80	2.60	4.40	3.40	0	0	10.80	11.80	0	
	有效降雨/mm	23.60	14.00	0	0	0	0	0	0	6.20	0	

2.2 试验材料

打瓜供试品种为“黑大片”,生育期 105 d 左右,籽粒心白边黑或者淡黄色。选用滴头间距 0.3 m、滴头流量 3.0 L/h 的单翼迷宫式滴灌带作为毛管。其他农艺措施与当地一致。

2.3 试验方法

2016 年打瓜试验设 5 个不同灌水定额(表 2),分别为 300(W1)、375(W2)、450(W3)、525(W4)、600 m³/hm²(W5),每个处理 3 个重复。打瓜试验田面积为 0.6 hm²,单个小区面积为 0.04 hm²,小区布置以 W1 至 W5 灌水定额的大小顺序方式排列。5 月 21 日播种,节水方式选用膜下滴灌技术,采用 1 膜 1 管 2 行、40~80 cm 宽窄行种植方式。灌溉周期为 7 d,在果实纵径 5 cm 左右时进行第一次灌溉,加出苗水共 8 次灌溉。

一方面,与其他生育期相比,6 月上中旬处于幼苗期阶段的打瓜自身抗旱能力最弱。另一方面,6 月上中旬试验地平均风速和平均气温相对 5 月下旬和 6 月下旬较高(表 1),在未达到灌溉设计时间时,打瓜已经出“塌焉”,不利于打瓜幼苗生长,为保证试验正常进行,故在 6 月 16 日进行第 1 次灌溉,灌溉时间提前 16 d(表 2)。因 7 月下旬为福海县农业用水高峰期,试验用水调度延迟,故在后期灌溉周期有所变动。

表 2 2016 年试验处理及采用的水定率 m³/hm²

处理	日期/(月-日)							灌溉次数	
	06-16	07-02	07-09	07-16	07-24	07-30	08-07		
W1	300	300	300	300	300	300	300	2100	7
W2	375	375	375	375	375	375	375	2625	7
W3	450	450	450	450	450	450	450	3150	7
W4	525	525	525	525	525	525	525	3675	7
W5	600	600	600	600	600	600	600	4200	7
灌水周期/d	16	7	7	8	6	8			

2017 年田间试验设计包含灌水定额、施肥量两个因素(表 3)。氮肥(符号为 N)设 3 个水平:N1、N2、N3,分别为 0、138、276 kg/hm²;灌水定额(符号为 W)设 3 个水平:W1、W2、W3,分别为 300、450、600 m³/hm²,试验重复 3 次,1 个重复 9 个处理,即 W1N1、W1N2、W1N3、W2N1、W2N2、W2N3、W3N1、W3N2、W3N3 处理。打瓜作物试验区面积共 0.513 hm²,单个小区面积 187 m²,用随机顺序排列方式,各小区之间相隔 1.2 m。5 月 18 日播种,灌溉周期和种植模式与 2016 年一致。

5 月 14 日施底肥是 195 kg/hm² 的磷酸二铵,钾肥 105 kg/hm²。7 月高温少雨(表 1),在试验过程中还未达到灌溉设计时间打瓜已出现“塌焉”现象,为保证打瓜产量,故在实际灌水中缩短灌水周期 1~2 d。

表 3 2017 年试验处理及采用的灌溉制度

日期	灌溉周期/d	灌水定额/(m ³ ·hm ⁻²)			施氮量/(kg·hm ⁻²)		
		W1	W2	W3	N1	N2	N3
05-22		出苗水: 75~120					
06-14		补水: 75~120					
07-04		300	450	600			
07-10		300	450	600	0	55.2	110.4
07-16	6	300	450	600	0	82.8	165.6
07-23	7	300	450	600			
07-28	5	300	450	600			
08-04	7	300	450	600			
08-12	8	300	450	600			
08-25		收获					
总计		2100	3150	4200	0	138	276

2.4 监测内容和方法

利用基于 TDR 原理的 TRIME-HD2(德国)仪器测定土壤含水率,每个处理设 3 个 Trime 探测管,Trime 探测管之间的间隔为 20 cm。在垂直方向上,单个 Trime 管每隔 10 cm 设 1 个测点,共 6 个测点。灌水前后、雨后加测。Trime 管布置如图 1 所示。

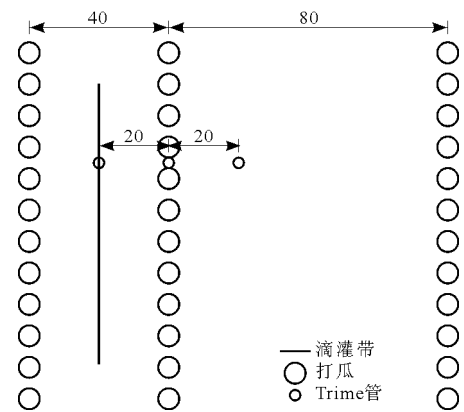


图 1 打瓜种植模式及田间 Trime 管平面布置(单位:cm)

采用水量平衡原理^[18]计算作物全生育期耗水量 ET:

$$ET = W_T + P_0 + K + M - (W_t - W_0) \quad (1)$$

式中:W_T为计划湿润层增加的储水量,mm;当次降雨量大于 5 mm,记为有效降雨量 P₀;土壤计划湿润

层为 600 mm;经水位取样检测结果表明,该地区地下水水位在 6 m 以下,因此不计地下水补给($K = 0$); M 为时段灌水量,mm; W_i 和 W_0 分别为时段末与时段初土壤计划湿润层储水量,mm。

利用 Penman - Monteith 公式计算参考作物腾发量 ET_0 ;作物系数(K_c) 是用各个生育期实际耗水量与参考作物腾发量的比值计算。采用同倍比放大法^[19],利用株数、面积和籽粒干质量折算产量;利用产量与耗水量计算作物水分利用效率(WUE)。

3 结果与分析

3.1 不同灌水定额对打瓜旬均耗水量的影响

不同灌水定额对打瓜旬均耗水量变化规律影响不同(图 2),打瓜耗水表现为“单峰”变化规律。在苗后期打瓜耗水略有增加,随后逐渐减小;打瓜耗水量在伸蔓现蕾期处于“低谷”值,进入开花坐果期时耗水量快速增大,在果实膨大期达到最大值;进入成熟期时,耗水量开始减小,在 8 月下旬打瓜耗水量趋于平缓。旬均耗水量的最大值出现在 7 月下旬的 W4 处理。

从图 2 还可以看出,当耗水量处于低谷值时,各处理间的增幅(最大与最小耗水量之差,下同)较小,为 0.9 mm;当耗水量处于峰值时,各处理间增幅

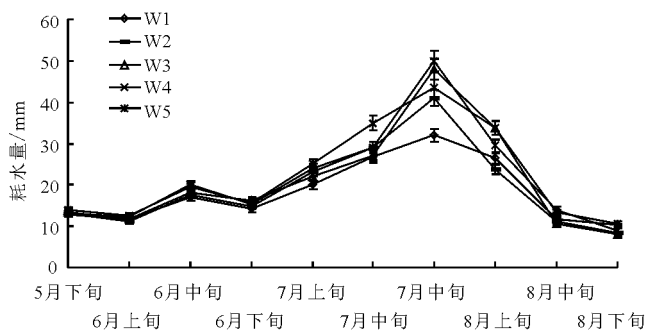


图 2 不同灌水处理下打瓜旬均耗水量变化规律

3.3 2016 和 2017 年打瓜全生育期 ET_0 变化规律

依托小型气象站,在时段 2016 年 5 月 21 日至 9 月 1 日和 2017 年 5 月 18 日至 8 月 25 日内,对气温、风速和太阳辐射等气象数据进行观测,利用 Penman 公式计算参考作物腾发量 ET_0 ,降雨量及 ET_0 变化规律见图 4 和 5 所示,各生育期参考作物腾发量及降雨量值见表 4 和 5。

从图 5、6 可以看出,两年的参考作物腾发量趋势线变化规律类似,参考作物蒸发蒸腾量随着时间的推移逐渐降低。结合图 2 和图 4 可以看出,与 5 月下旬和 6 月下旬相比,6 月上中旬打瓜耗水量和

较大,果实膨大期耗水量增幅差最大为 18.2 mm。表明,与其他生育期相比,在果实膨大期不同灌水定额对打瓜旬均耗水量影响更大,果实膨大期是打瓜需水敏感期。

3.2 水氮互作对打瓜旬耗水量的影响

与不同灌水定额对打瓜旬均耗水量的影响类似,不同水氮耦合处理下打瓜旬均耗水量变化规律呈“单峰”变化规律(图 3)。在苗期至伸蔓现蕾期,打瓜耗水量变化趋于平缓;进入开花坐果期时打瓜耗水量快速增大,在果实膨大期达到最大;在成熟期耗水量减小,旬耗水量的最大值出现在 7 月中下旬的 W3N2 处理。苗期至伸蔓现蕾期,不同水氮处理间耗水量增幅较小,最大增幅为 2.4 mm;当耗水量处于峰值时,不同水氮处理间增幅较大,最大增幅为 29.6 mm。说明,在果实膨大期不同水氮组合对打瓜影响更大,也说明果实膨大期是打瓜需水供肥敏感期。在节水灌溉设计时,因保证此阶段水氮适当充足,在其他时段可以适当减少水氮供应。

综上所述,在不同灌水定额与水氮耦合下,打瓜旬均耗水量变化规律基本一致,均表现为“单峰”变化规律,且在 7 月中下旬旬均耗水量最大;与其他生育期相比,在果实膨大期,打瓜对不同灌水处理和不同水氮处理的响应差异较明显。

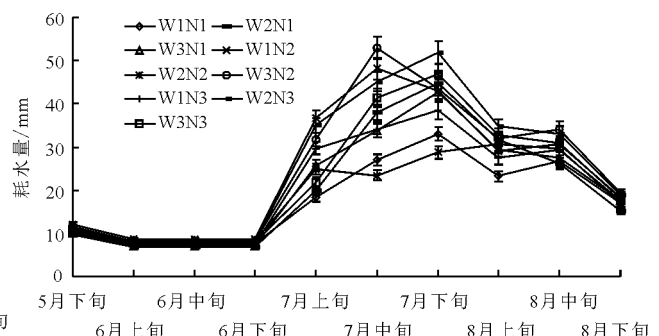


图 3 水氮互作下打瓜旬均耗水量变化规律

参考作物蒸发蒸腾量较高,这可能是引起打瓜“塌焉”的原因之一。

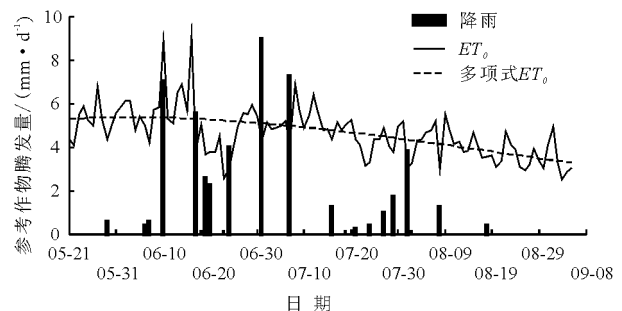


图 4 2016 年观测时段内的降雨量及 ET_0

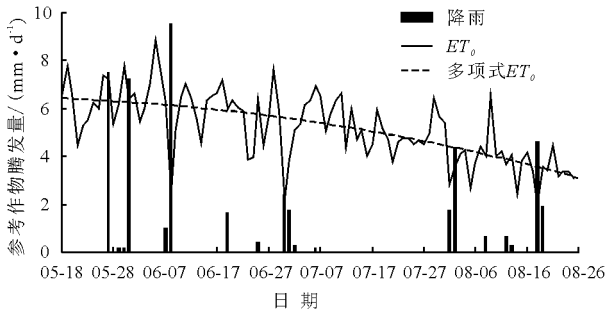


图 5 2017 年观测时段内的降雨量及 ET_0

3.4 不同灌水定额对打瓜各生育阶段耗水参数的影响

不同灌水定额对打瓜耗水量与耗水强度影响不同(表 6),并求得打瓜耗水量和耗水强度增长率(相邻两个处理对应耗水参数的差与后者处理耗水参数的比值,表 7)。

表 4 2016 年打瓜各生育阶段参考作物腾发量及降雨量累积值

生育期	日期/(月-日)	降雨量/mm	参考作物腾发量(ET_0)
出苗期	05-21 - 05-30	0.8	51.54
苗期	05-31 - 06-17	19.1	106.24
伸蔓现蕾期	06-18 - 06-25	12.8	30.53
开花坐果期	06-26 - 07-11	22.8	84.07
果实膨大期	07-12 - 08-05	12.4	112.60
成熟期	08-06 - 09-01	2.4	106.82
总计	102	70.3	491.81

表 5 2017 年打瓜各生育阶段参考作物腾发量及降雨量累积值

生育期	日期/(月-日)	降雨量/mm	参考作物腾发量(ET_0)
出苗期	05-18 - 05-29	12.2	74.60
苗期	05-30 - 06-19	31.2	132.44
伸蔓现蕾期	06-20 - 06-25	0.6	32.48
开花坐果期	06-26 - 07-10	7.2	83.09
果实膨大期	07-11 - 08-02	9.8	111.42
成熟期	08-03 - 08-25	12.8	85.76
总计	100	68.8	519.82

表 6 不同灌水定额对打瓜各生育阶段耗水量及耗水强度的影响

处理	出苗期		苗期		伸蔓现蕾期		开花坐果期		果实膨大期		成熟期		全生育期	
	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度	总耗水量	耗水强度
W1	11.7	1.2	25.0	1.4	12.3	1.5	29.8	1.9	69.2	2.8	35.0	1.3	183.0	1.7
W2	11.8	1.2	24.7	1.4	12.7	1.6	33.6	2.1	79	3.2	31.2	1.2	193.0	1.8
W3	12.3	1.2	25.6	1.4	13.5	1.7	32.8	2.0	89.3	3.6	35.5	1.3	209.0	1.9
W4	12.0	1.2	27.4	1.5	13.7	1.7	34.6	2.2	90.8	3.6	37.7	1.4	216.3	1.9
W5	12.6	1.3	27.6	1.5	13.7	1.7	36.4	2.3	91.8	3.7	41.0	1.5	223.1	2.0

表 7 不同灌水定额下打瓜耗水量及耗水强度增长率 %

处理	开花坐果期		果实膨大期		成熟期	
	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度	耗水量	耗水强度
W1	0	0	0	0	0	0
W3	9.9	9.9	29.0	29.00	1.4	1.4
W5	11.0	11.0	2.8	2.80	15.4	15.4

在开花坐果期,当灌水定额从 30 mm 增加至 45 mm,耗水量和耗水强度均增加 10%;当灌水定额从 45 mm 增加至 60 mm,耗水量和耗水强度均增加 11%。在果实膨大期,当灌水定额从 30 mm 增加至 45 mm,耗水量和耗水强度均增加 29%;当灌水定额从 45 mm 增加至 60 mm,耗水量和耗水强度均增加 3%。在成熟期,当灌水定额从 30 mm 增加至 45 mm,耗水量和耗水强度均增加 1.4%;当灌水定额从 45 mm 增加至 60 mm,耗水量和耗水强度均增加 15.4%。与其他生育期相比,在果实膨大期不同灌水定额下耗水量及耗水强度增长率最大。综上所述,打瓜耗水量和耗水强度随着灌水定额的增加而增加,且当灌水定额增加至一定时,耗水量和耗水强度增加的趋势逐渐减缓。

不同灌水定额对打瓜耗水模数及作物系数影响不同(表 8),两年不同灌水定额下打瓜耗水模数均为“双峰”变化规律,在苗期和果实膨大期到达峰值。并在果实膨大期达到最大值。在 2016 年打瓜开花坐果期和成熟期,当灌水定额从 30 mm 增加至 60 mm,各处理耗水模数存在增大趋势,但各处理间

耗水模数变化量(该生育阶段,最大与最小耗水模数之差)均小于3%;在果实膨大期,当灌水定额从30 mm增加至45 mm,耗水模数增加5%。当灌水定额从45 mm增加至60 mm,打瓜耗水模数基本不变。在2017年打瓜开花坐果期和成熟期,当灌水定额从30 mm增加至60 mm,各灌水定额处理耗水模数相近,耗水模数变动量小于3%;在果实膨大期,当灌水定额从30 mm增加至45 mm,N1处理耗水模数增加13%,N2处理和N3处理耗水模数均增加4%左右。当灌水定额从45 mm增加至60 mm,N1处理耗水模数减少,N2处理和N3处理耗水模数微幅增加。综上表明,2016年和2017年打瓜耗水模数变化具有一致性,均在果实膨大期表现最大,且在开花坐果期和成熟期,打瓜耗水模数随灌水定额增大而呈现出基本不变态势;在果实膨大期,打瓜耗水模数随灌水定额增大而增大,当灌水定额继续增大,耗水模数基本不变。

与不同灌水定额下耗水模数变化规律类似,两年不同灌水定额下打瓜作物系数均为“双峰”变化

规律,在伸蔓现蕾期和果实膨大期到达峰值,并在果实膨大期达到最大值。2016年灌水试验,在打瓜开花坐果期,当灌水定额从30 mm增加至60 mm,打瓜作物系数持续增大,其中W5处理作物系数最大,W1处理最小,增幅(最大与最小作物系数的差值)为0.08;在果实膨大期,W5处理作物系数最大,W1处理最小,增幅为0.2;在成熟期,W5处理作物系数最大,W2处理最小,增幅为0.09。2017年灌水试验,在开花坐果期和成熟期,当灌水定额从30 mm增加至60 mm,N1、N2和N3处理下打瓜作物系数逐渐增大,作物系数增幅均在0.1左右。在果实膨大期,当灌水定额从30 mm增加至60 mm,N1处理和N3处理作物系数先增大后减小,增幅均为0.23。N2处理作物系数逐渐增大,增幅为0.39;综上表明,两年灌水试验下打瓜作物系数变化规律类似,均在果实膨大期达到最大值,且作物系数随灌水定额增大而增大,当灌水定额继续增大,作物系数减小。从幅值分析可以看出,与其他生育阶段相比,不同灌水定额对果实膨大期的打瓜作物系数影响最大。

表8 不同灌水定额对打瓜各生育阶段耗水模数及作物系数的影响

生育期	参数	2016年					2017年								
		W1	W2	W3	W4	W5	N1			N2			N3		
							W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
出苗期	耗水模数/%	6.4	6.1	5.9	5.5	5.6	4.5	4	4.4	5.6	4.1	3.8	3.6	3.5	3.8
	作物系数 K_c	0.228	0.229	0.238	0.233	0.244	0.122	0.111	0.115	0.131	0.138	0.131	0.119	0.133	0.126
苗期	耗水模数/%	13.6	12.8	12.2	12.7	12.4	7.8	7.1	7.7	9.9	7.1	6.7	6.3	6.2	6.6
	作物系数 K_c	0.235	0.233	0.241	0.258	0.26	0.121	0.113	0.113	0.128	0.136	0.128	0.121	0.128	0.121
伸蔓现蕾期	耗水模数/%	6.7	6.6	6.5	6.3	6.2	2.2	2.0	2.2	2.8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.9
	作物系数 K_c	0.401	0.416	0.442	0.449	0.45	0.142	0.126	0.132	0.151	0.157	0.151	0.139	0.151	0.145
开花坐果期	耗水模数/%	16.3	17.4	15.7	16.0	16.3	11.0	12.0	14.0	17.0	16.0	14.0	13.0	14.0	10.0
	作物系数 K_c	0.355	0.399	0.39	0.412	0.432	0.265	0.289	0.349	0.349	0.493	0.433	0.397	0.469	0.313
果实膨大期	耗水模数/%	37.8	40.9	42.7	42.0	41.2	32.0	45.0	40.0	33.0	38.0	39.0	31.0	37.0	38.0
	作物系数 K_c	0.615	0.702	0.793	0.807	0.815	0.574	0.808	0.754	0.521	0.862	0.906	0.691	0.924	0.853
成熟期	耗水模数/%	19.1	16.2	17.0	17.4	18.4	28.0	30.0	31.0	38.0	27.0	29.0	26.0	26.0	28.0
	作物系数 K_c	0.328	0.292	0.333	0.353	0.384	0.676	0.711	0.723	0.77	0.781	0.863	0.746	0.863	0.804
全生育期	作物系数 K_c	0.360	0.378	0.406	0.418	0.431	0.317	0.36	0.364	0.342	0.428	0.435	0.369	0.445	0.394

3.5 水氮互作对打瓜各生育阶段耗水参数的影响

不同水氮处理对打瓜耗水模数和作物系数影响不同(表8)。在开花坐果期,W1N2处理耗水模数最大,W3N3最小,增幅(最大与最小耗水模数的差值)为7%。W2N2处理作物系数最大,W1N1处理

最小。增幅为0.228;在果实膨大期,W2N1处理耗水模数最大,W1N3处理最小,增幅为14%。W2N3处理作物系数最大,W1N2处理最小,增幅为0.403;在成熟期,W1N2处理耗水模数最大,W1N3处理最小,增幅为12%。W3N2作物系数最大,W1N1处理

最小,增幅为 0.187。在以上 3 个生育阶段中,W3N3 处理的耗水模数和作物系数均非最大。分析表明,与高水氮供给量相比,合适的水氮供给量下打瓜耗水模数和作物系数较大。从幅值分析得出,与其他生育阶段相比,不同水氮互作对果实膨大期打瓜耗水模数和作物系数影响最大。

不同水氮耦合处理对打瓜耗水量与耗水强度影响不同(表 9)。不同水氮处理对打瓜耗水量与耗水强度影响不同。在开花坐果期,W2N2 处理耗水量与耗水强度最大,W1N1 处理最小,耗水量和耗水强度增幅分别为 19 和 1.2 mm/d。在果实膨大期,W2N3 处理耗水量

与耗水强度最大,W1N2 处理最小,耗水量和耗水强度增幅分别为 45 和 2 mm/d。在成熟期,W3N2 处理和 W2N3 处理耗水量与耗水强度最大,W1N1 处理最小,耗水量和耗水强度增幅分别为 16 和 0.7 mm/d。在以上 3 个生育阶段中,W3N3 处理的耗水量和耗水强度均非最大。分析表明,与最高水氮供给量处理相比,合适的水氮供给量对打瓜耗水量和耗水强度的交互效应较强,即适宜的水氮供给量有利于打瓜耗水量和耗水强度的增大。从幅值分析可以看出,与其他生育阶段相比,不同水氮互作处理对果实膨大期打瓜耗水量与耗水强度影响较大。

表 9 水氮互作对打瓜各生育阶段耗水量及耗水强度的影响

生育期	耗水	W1N1	W2N1	W3N1	W1N2	W2N2	W3N2	W1N3	W2N3	W3N3
出苗期	耗水量/mm	9.1	8.3	8.6	9.8	10.3	9.8	8.9	9.9	9.4
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8
苗期	耗水量/mm	16	15	15	17	18	17	16	17	16
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8
伸蔓现蕾期	耗水量/mm	4.6	4.1	4.3	4.9	5.1	4.9	4.5	4.9	4.7
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8
开花坐果期	耗水量/mm	22	24	29	29	41	36	33	39	26
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	1.5	1.6	1.9	1.9	2.7	2.4	2.2	2.6	1.7
果实膨大期	耗水量/mm	64	90	84	58	96	101	77	103	95
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	2.8	4.0	3.6	2.5	4.2	4.4	3.4	4.5	4.1
成熟期	耗水量/mm	58	61	62	66	67	74	64	74	69
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	2.4	2.9	2.6	2.7	2.8	3.1	2.7	3.1	2.9
全生育期	总耗水量 mm	174	201	203	184	238	243	204	248	220
	耗水强度/(mm·d ⁻¹)	1.5	1.8	1.7	1.6	2.1	2.1	1.7	2.1	1.9

4 结 论

本试验通过在北疆阿勒泰地区开展为期 2 a 打瓜大田试验,设置不同灌水定额和施氮量方式,在测定打瓜各生育阶段土壤含水率和基本气象指标的基础上,研究不同灌水定额和水氮互作下打瓜的耗水规律。主要结论如下:

(1)不同灌水定额和水氮互作下打瓜旬均耗水量变化规律呈先增大后减小变化规律,均在果实膨大期达到最大值,且在果实膨大期,不同灌水定额和水氮互作对打瓜旬均耗水量的影响较其他生育阶段大。其中灌水定额 525 m³/hm² 与灌水定额 600 m³/hm² 和施氮量 138 kg/hm² 水氮耦合旬均耗水量最大。两年的参考作物蒸腾蒸发量趋势线变化规律类似,均随着时间延后而逐渐降低。

(2)在不同灌水定额条件下,打瓜耗水量和耗

水强度随着灌水定额的增加而增加,当灌水定额继续增加,耗水量和耗水强度增长减缓,600 m³/hm² 灌水定额耗水量和耗水强度最大。在果实膨大期,打瓜耗水模数随灌水定额增大而增大,当灌水定额继续增大,耗水模数无明显变化。在开花坐果期和成熟期,随灌水定额增大打瓜耗水模数无明显变化。打瓜作物系数随灌水定额增加而增大,其中 600 m³/hm² 灌水定额作物系数最大。与其他生育阶段相比,不同灌水定额对果实膨大期打瓜耗水量、耗水强度和作物系数影响最大。

(3)在水氮互作条件下,合适的水氮供给量有利于打瓜耗水模数、作物系数、耗水量和耗水强度增大,且在果实膨大期,不同水氮互作对打瓜耗水模数、作物系数、耗水量和耗水强度影响最大。在全生育期,其中灌水定额 450 m³/hm² 和施氮量 276 kg/hm² 水氮耦合处理平均耗水量和作物系数均最

大,灌水定额 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和施氮量 $138 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 等水氮耦合处理平均耗水强度最大。

参考文献:

- [1] 钟芹. 打瓜籽蛋白的提取及理化性质和应用[D]. 石河子:石河子大学, 2015.
- [2] 张义晖, 田丽萍, 薛琳, 等. 打瓜干皮中多糖的含量测定及降血糖作用机制[J]. 医药导报, 2017, 36(5):477-480.
- [3] 常成. 塔城地区打瓜产业发展调研报告[J]. 新疆农机化, 2011(6):40-42.
- [4] 郝邵英. 浅析阿勒泰地区打瓜种植技术[J]. 农民致富之友, 2016(18):176.
- [5] 苏宏超, 沈永平, 韩萍, 等. 新疆降水特征及其对水资源和生态环境的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(3):343-350.
- [6] 田龙, 李锡铜, 邝海菊. 基于农业用水的新疆水资源利用策略研究[J]. 山西科技, 2017, 32(5):30-32.
- [7] 毛国新, 李源. 寒冷区高密度种植籽瓜膜下滴灌技术[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(4):263-266.
- [8] 刘程惠, 胡文忠, 宋颖凡, 等. 超声波提取打瓜籽油工艺优化[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(12):223-229.
- [9] 张芮, 王旺田, 吴玉霞, 等. 水分胁迫度及时期对设施延迟栽培葡萄耗水和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1):155-161.
- [10] 谭军利, 田军仓, 王西娜, 等. 底墒差异对压砂地西瓜耗水规律的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32

(1):94-99.

- [11] 高慧娟. 厚皮甜瓜耗水规律与调亏灌溉效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2010.
- [12] 宋文, 张玉龙, 韩巍, 等. 渗灌灌水定额对温室黄瓜产量和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8):61-66.
- [13] 桑艳朋. 膜下滴灌条件下甜瓜田间需水规律的研究[D]. 石河子:石河子大学, 2005.
- [14] 郑国保, 张源沛, 孔德杰, 等. 不同灌水量对日光温室黄瓜需水规律和水分利用的影响[J]. 节水灌溉, 2012(1):22-24+27.
- [15] 孔德杰, 郭生虎, 张源沛, 等. 不同灌水次数对温室黄瓜耗水规律及水分利用效率的影响[J]. 长江蔬菜, 2011(4):43-46.
- [16] 郭生虎, 孔德杰, 张源沛, 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]. 安徽农业科学, 2010, 29(36):20568-20570.
- [17] 庞秀明. 干旱荒漠绿洲区西瓜耗水规律与调亏灌溉模式的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2005.
- [18] 陈凯丽, 赵经华, 黄红建, 等. 不同滴灌灌水定额对小麦的耗水特性和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(3):65-68+84.
- [19] 艾鹏睿, 赵经华, 马英杰, 等. 不同灌水定额下北疆地区滴灌打瓜耗水规律的研究[J]. 节水灌溉, 2016(11):39-43.

(上接第230页)

- [5] KHABBAZIAN M, KALLAKIN V N, MEEHAN C L. 3D numerical analyses of geosynthetic encased stone columns[J]. Geotextiles & Geomembranes, 2012, 35(12):61-68.
- [6] 叶朝良, 刘尧军, 冯怀平. 端夯扩碎石桩复合地基现场试验研究[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(2):62-66.
- [7] 陈建峰, 韩杰. 夯扩碎石桩单桩荷载试验数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(9):1366-1370.
- [8] 陈建峰, 韩杰. 夯扩碎石桩群桩承载性状研究[J]. 中国公路学报, 2010, 23(1):26-31.
- [9] XIAO D, JIANG G L, LIAO D, et al. Influence of cement-fly ash-gravel pile-supported approach embankment on abutment piles in soft ground[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2018, 10(5):977-985.
- [10] ZHANG Chonglei, JIANG Guanlu, LIU Xianfeng, et al. Lateral displacement of silty clay under cement-fly ash-gravel pile supported embankments: Analytical consideration and field evidence. Journal of Central South University, 2015, 22(4):1477-1489.
- [11] 刘创, 张可能, 刘源. 红黏土地层微型 CFG 桩复合地基试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(1):

194-196+202.

- [12] 王双, 王睿, 杨彪, 等. 变荷载作用下碎石桩复合地基固结简化分析[J]. 岩土力学, 2015, 36(1):34-40.
- [13] 马培建, 徐陆军. 城镇道路路基质量主控指标符合性研究[J]. 黑龙江交通科技, 2017, 40(9):9-10.
- [14] 黄拓, 昌振东, 漆帅. 路面结构的路基刚度提高方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(10):2777-2782.
- [15] 闻世强, 陈育民, 丁选明, 等. 路堤下浆固碎石桩复合地基现场试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(5):1559-1563.
- [16] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基路面现场测试规程: JTG E60-2008[S]. 北京:人民交通出版社, 2008.
- [17] ALAMGIR M, MIURA N, POOROOSHASB H B, et al. Deformation analysis of soft ground reinforced by columnar inclusions[J]. Computers and Geotechnics, 1996, 18(4):267-290.
- [18] 国家铁路局. 铁路工程地质原位测试规程: TB 10018-2018[S]. 北京:中国铁道出版社, 2018.
- [19] 邹团结, 周德泉, 栗小祜, 等. 隧道弃碴压实变形规律试验研究[J]. 公路工程, 2016, 41(2):191-195.
- [20] 贺成斌, 赵明华, 马缤辉, 等. 格栅套筒加筋碎石桩复合地基沉降计算方法[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(2):88-94.