

在灌水定额下设施黄瓜肥水高效耦合技术研究

孙振荣¹, 王海鹏^{1*}, 薛莲¹, 蒲明¹, 何潇¹, 王妮妮²

(1. 兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000;

2. 兰州市农产品质量监督管理中心, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 以设施黄瓜常规滴灌水量为定额, 设置 5 种不同的滴施肥量 [T1 (CK)、T2、T3、T4 和 T5], 建立 5 种水肥耦合模式, 滴施肥量从 T1 向 T5 呈 5 种不同梯度, 以寻求肥水耦合抛物线的最佳拐点, 确定适合当地设施黄瓜最优肥水耦合的技术参数。结果表明, 设施黄瓜株高、单瓜重、瓜条长度, 单株产量、单株结果数等植株生长势和产量因子、维生素 C、可溶性糖、全氮、全磷、全钾、硝酸盐、亚硝酸盐等品质特性以及水分生产效率和施肥农学效率均在定额滴灌下, 两个不同品种 5 个处理高效滴施肥耦合规律趋于一致, 总体趋势为 T3> T4> T2> T5> T1, T3 处理表现最优, T1 表现最弱, 随着各处理滴肥量增加, 各生长因子、品质因子和效益评价因子均在 T3 处理出现抛物线峰值拐点, 说明设施黄瓜在定额滴灌条件下, 采取优化滴施肥耦合技术, 可以产生最优的生长势、产量、品质和效益。

关键词: 灌水定额; 黄瓜; 肥水; 高效耦合

甘肃省兰州市地处西部黄河上游, 平均海拔 2300 m, 是中国北菜南调和西菜东运高原夏菜的重要生产基地, 蔬菜常年种植面积 5.5 万 hm^2 , 其中黄瓜面积 1.7 万 hm^2 , 占到三分之一。水肥因素决定着黄瓜的产量和品质, 本地黄瓜水肥管理滞后, 灌溉水利用系数只有 0.5, 主要以滴灌和沟灌为主, 施肥主要以冲施为主, 肥料利用率只有 35%, 水肥生产效益较低。本研究在黄瓜传统定额灌溉基础上进行水肥高效耦合, 寻找黄瓜水肥高效耦合量化参数, 以提高水肥利用效率。

国内对作物水肥耦合技术研究颇多: 黄瓜供肥及时适量, 可节水、节肥、提高水肥利用率^[1], 肥水耦合作物吸收更快、效率更高^[2]。水肥一体化较大水冲施肥 58%^[3], 硝酸盐含量随施肥量的增加而增大^[4], 灌水量对黄瓜生长、产量和品质均有极显著影响^[5], 温室黄瓜在膜下滴灌条件下产量与总耗水量存在抛物线关系^[6]。施肥和水肥交互作用下, 适当降低施肥量可以提高番茄产量^[7], 采用大量元素配方的施肥处理可以降低土

壤硝态氮累积和提高番茄氮素吸收利用^[8]。黄瓜在滴灌条件下, 施用大量氮肥会造成土壤局部酸化和次生盐渍化, 应该选择高氮低磷中钾溶解性好的水溶肥^[9], 过量施氮会带来土壤酸化和次生盐渍化风险^[10]。由于以灌溉定额为前提研究黄瓜肥水耦合技术尚少, 本研究以本地设施黄瓜常规滴灌水量为定额, 设 T1、T2、T3、T4 和 T5 共 5 种不同的滴施肥量, 其中 T1 为对照 CK (当地传统水肥模式), 共建立 5 种水肥耦合模式, 各处理滴灌水量相同, 从 T1 向 T5 滴施肥量呈 5 种不同梯度, 以寻求肥水耦合抛物线最佳拐点, 确定适合当地设施黄瓜最优肥水耦合技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

本试验采取定位跟踪方式, 于 2017 至 2018 年连续在甘肃省兰州市七里河区彭家坪镇石板山设施温室蔬菜生产基地内进行, 试验地土壤类型为黄绵土, 土壤基本理化性状见表 1。

表 1 供试设施温室耕层土壤基础理化性状

有机质	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	容重	田间持水量	CEC
(g/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(g/cm^3)	(%)	(cmol/kg)
14.62	0.82	84.67	22.64	181.53	1.15	28.45	5.24
							8.2

收稿日期: 2020-06-02; 录用日期: 2020-08-01

基金项目: 甘肃省兰州市科技计划项目 (2016-3-10)。

作者简介: 孙振荣 (1969-), 男, 陕西省彬州市人, 本科, 正高级农艺师, 主要从事作物水肥一体化研究。E-mail: misterszr@163.com。

通讯作者: 王海鹏, E-mail: whpwhpp@163.com。

2017年黄瓜供试品种“津优2号”，2018年供试品种“新泰密刺”，以检验不同品种在相同处理下的试验效果。试验在早春茬黄瓜中进行，采取设施垄作栽培，株距35 cm，行距60 cm，种植密度46500株/hm²。12月下旬育苗，1月上旬定植，2月上旬开花结果，4月底采收，7月下旬拉秧。每处理小区面积24 m²，3次重复，每处理数据均取区组平均值。所有处理最佳滴水量以当地传统灌溉量为统一定量，不同生育时期不同处理最佳滴肥量按照营养元素低、中、高含量采取不同配比模式设计，其中T1为最低滴肥量，T5为最高滴肥量，呈现5种不同梯度施肥量，以寻求抛物线峰值，确定最优肥水耦合处理。

通过多点调查，本地黄瓜传统滴灌量为1350.0 m³/hm²，其中定植期滴水量300.0 m³/hm²，开花结果期滴水量600.0 m³/hm²，采收期滴水量450.0 m³/hm²，各处理滴肥量设计如下，T1 (CK)：滴肥 (纯养分) 总量2040.0 kg/hm²，定植期630.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比20:5:17；开花结果期

690.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比23:5:18；采收期720.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比20:0:28。T2：滴肥 (纯养分) 总量2130.0 kg/hm²，定植期660.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比21:5:18；开花结果期720.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比24:5:19；采收期750.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比21:0:29。T3：滴肥 (纯养分) 总量2220.0 kg/hm²，定植期690.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比22:5:19；开花结果期750.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比25:5:20；采收期780.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比22:0:30。T4：滴肥 (纯养分) 总量2310.0 kg/hm²，定植期720.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比23:5:20；开花结果期780.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比26:5:21；采收期810.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比23:0:31。T5：滴肥 (纯养分) 总量2400.0 kg/hm²，定植期750.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比24:5:21；开花结果期810.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比27:5:22；采收期840.0 kg/hm²，N:P₂O₅:K₂O 配比24:0:32。各处理各生育时期施肥量见表2。

表2 黄瓜各生育时期肥料滴灌纯量

(kg/hm²)

生育期	滴灌时间 (月-日)	T1 (CK)	T2	T3	T4	T5
定植期	01-10	150.0	157.5	172.5	180.0	195.0
	01-25	225.0	247.5	247.5	262.5	270.0
	02-05	255.0	255.0	270.0	277.5	285.0
小计		630.0	660.0	690.0	720.0	750.0
开花结果期	02-10	172.5	187.5	195.0	210.0	217.5
	02-22	247.5	262.5	270.0	277.5	285.0
	03-12	270.0	270.0	285.0	292.5	307.5
小计		690.0	720.0	750.0	780.0	810.0
采收期	04-15	187.5	202.5	202.5	217.5	225.0
	04-26	247.5	270.0	285.0	285.0	292.5
	04-15	285.0	277.5	292.5	307.5	322.5
小计		720.0	750.0	780.0	810.0	840.0
合计		2040.0	2130.0	2220.0	2310.0	2400.0

1.2 测定项目与方法

1.2.1 植株生长势、产量因子、滴灌时间、滴灌量

每处理随机选取20株黄瓜植株样品，各项测量结果取其平均值。黄瓜结果盛期测量株高生长势，收获期测定各试验小区的产量、单瓜重、瓜条长度、单株产量、单株结果数等产量因子。各生育时期每次滴灌时记载滴灌时间、灌施水量和滴施肥量。

1.2.2 黄瓜果实品质

选择黄瓜维生素C、可溶性糖、全氮、全磷、

全钾、硝酸盐、亚硝酸盐7种生理营养指标作为研究重点。其中，维生素C采用2,6-二氯酚酚滴定法测定^[5]；可溶性糖采用NY/T 1278-2007铜还原碘量法测定^[7]；全氮采用紫外分光光度法测定；全磷采用GB 5009.87-2016分光光度法测定；全钾采用GB 5009.91-2017火焰原子吸收光谱法测定；硝酸盐与亚硝酸盐采用紫外分光、离子色谱法测定；数据全部采用SPSS 15.0进行方差处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同耦合模式对黄瓜生长量的影响

2.1.1 不同耦合模式对株高的影响

两个品种不同处理的植株高度均随生长进程而

增加, 增长趋势表现基本一致。株高与各处理施肥量的关系表现为, 随着施肥量增加, 黄瓜各生长期株高先呈正增长, 后呈负增长, 其中 T3 处理株高最大, T1 (CK) 最小, 不同处理主要生育时期株高测量数值见表 3。

表 3 不同处理主要生育时期株高 (cm)

处理	2017 年 (津优 2 号)				2018 年 (新泰密刺)			
	现蕾期	开花期	结果早期	结果后期	现蕾期	开花期	结果早期	结果后期
T1 (CK)	77.5e	96.3e	127.6e	141.7e	73.2e	94.0e	124.2e	135.4e
T2	78.8c	99.7c	131.5c	145.5c	75.4c	96.1c	126.5c	138.0c
T3	81.2a	102.5a	135.6a	148.3a	77.6a	98.6a	129.7a	139.2a
T4	79.7b	101.4b	134.2b	147.4b	76.8b	97.9b	127.6b	138.6b
T5	79.6d	97.6d	129.7d	143.9d	74.7d	94.8d	125.1d	36.7d

注: 表中数据采用 LSD 方差分析, 同一列各处理数据后相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$), 不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.1.2 不同耦合模式对瓜条长度的影响

两个品种不同处理的瓜条长度变化趋势与株高相似, 各处理间差异显著, 不同处理的瓜条长度见表 4。

表 4 不同处理的瓜条长度 (cm)

处理	2017 年 (津优 2 号)	2018 年 (新泰密刺)
T1 (CK)	30.4e	21.7e
T2	32.4c	22.5c
T3	34.5a	24.6a
T4	33.6b	23.4b
T5	31.8d	22.1d
平均	32.5	22.9

2.1.3 不同耦合模式对单瓜重的影响

两个品种不同耦合模式单瓜重表现为: T3>T4>T2>T5>T1 (CK), 表现规律与株高、瓜条长度相同, 不同处理的瓜条长度见表 5。

表 5 不同处理的单瓜重 (g)

处理	2017 年 (津优 2 号)	2018 年 (新泰密刺)
T1 (CK)	191.4e	234.6e
T2	195.3c	238.9c
T3	198.7a	245.2a
T4	196.9b	242.6b
T5	193.7d	236.6d
平均	195.2	239.6

2.1.4 不同耦合模式对单株结果数的影响

两个品种不同耦合模式单株结果数表现为: T3>T4>T2>T5>T1 (CK), 表现规律与株高、瓜条长度和单瓜重相同, 不同处理的单株结果数见表 6。

表 6 不同处理的单株结果数 (个)

处理	2017 年 (津优 2 号)	2018 年 (新泰密刺)
T1 (CK)	19e	20e
T2	20c	22c
T3	23a	25a
T4	22b	23b
T5	19d	21d
平均	195.2	239.6

2.1.5 不同耦合模式对单株产量的影响

两个品种不同耦合模式单株产量表现为: T3>T4>T2>T5>T1 (CK), 表现规律与株高、瓜条长度、单瓜重和单株结果数相同, 不同处理的单株产量见表 7。

表 7 不同处理的单株产量 (g)

处理	2017 年 (津优 2 号)	2018 年 (新泰密刺)
T1 (CK)	4460.9e	4769.7e
T2	4624.8c	4980.7c
T3	4860.6a	5246.5a
T4	4761.2b	5124.8b
T5	4520.3d	4886.4d

2.2 不同耦合模式对黄瓜产量的影响

研究表明, 两个不同品种在 5 个处理下的增产规律一致, 均表现为 T3 处理最优, 基本趋势为 T3>T4>T2>T5>T1 (CK), 其中 2017 年“津优 2

号” T3 产量较 T1 (CK) 增产 16.55%, 2018 年“新泰密刺” T3 产量较 T1 (CK) 增产 12.00%, 均在本品种中表现最优。不同处理对黄瓜产量的影响见表 8。

表 8 不同耦合模式处理对黄瓜产量的影响

处理	2017 年 (津优 2 号)				2018 年 (新泰密刺)			
	小区平均产量 (kg)	平均产量 (kg/hm ²)	较对照增产 (kg/hm ²)	较对照增产 (%)	小区平均产量 (kg)	平均产量 (kg/hm ²)	较对照增产 (kg/hm ²)	较对照增产 (%)
T1 (CK)	161.9	67461.0e	—	—	307.4	128089.5e	—	—
T2	182.1	75879.0c	8418.0	12.48	331.9	138298.5c	10209.0	7.97
T3	188.7	78628.5a	11167.5	16.55	344.3	143466.0a	15376.5	12.00
T4	184.9	77046.0b	9585.0	14.21	337.2	140506.5b	12417.0	9.69
T5	178.3	74295.0d	6834.0	10.13	328.5	136882.5d	8793.0	6.86

2.3 不同耦合模式对黄瓜品质因素的影响

研究表明, 2017 年“津优 2 号” 黄瓜品种 T3 处理维生素 C 含量 32.6 mg/100 g, 可溶性糖 3.5 g/100 g, 全氮 3.6 g/100 g, 全磷 60.5 g/100 g, 全钾 271.5 g/100 g, 硝酸盐 26.4 mg/kg, 亚硝酸盐 0.89 mg/kg, 分别较 T1 (CK) 增长 14.0%、29.6%、24.1%、24.5%、25.5%、-24.8%、-21.2%, 在各处

理中均表现最优水平。

2018 年“新泰密刺” 黄瓜品种 T3 处理维生素 C 45.7 mg/100 g, 可溶性糖 5.6 g/100 g, 全氮 3.9 g/100 g, 全磷 72.4 g/100 g, 全钾 271.5 g/100 g, 硝酸盐 14.2 mg/kg, 亚硝酸盐 0.67 mg/kg, 分别较 T1 (CK) 增长 13.4%、30.2%、39.3%、21.3%、10.1%、-33.3%、-31.6%, 在各处理中均表现最优水平 (表 9)。

表 9 不同处理对黄瓜品质因素的影响

品种	处理	维生素 C		可溶性糖		全氮		全磷		全钾		硝酸盐		亚硝酸盐	
		测量值 (mg/100 g)	增减 (%)	测量值 (g/100 g)	增减 (%)	测量值 (mg/kg)	增减 (%)	测量值 (mg/kg)	增减 (%)						
津优 2 号	T1(CK)	28.6	—	2.7	—	2.9	—	48.6	—	195.8	—	35.1	—	1.13	—
	T2	31.7	10.8	3.0	11.1	3.2	10.3	57.3	17.9	226.4	15.6	29.3	-16.5	0.99	-12.4
	T3	32.6	14.0	3.5	29.6	3.6	24.1	60.5	24.5	245.7	25.5	26.4	-24.8	0.89	-21.2
	T4	32.1	12.2	3.2	18.5	3.4	17.2	58.6	20.6	239.7	22.4	28.9	-17.7	0.96	-15.0
	T5	31.2	9.1	2.9	7.4	3.0	3.4	57.1	17.5	221.7	13.2	32.3	-8.0	1.05	-7.1
新泰密刺	T1(CK)	40.3	—	4.3	—	2.8	—	59.7	—	246.7	—	21.3	—	0.98	—
	T2	42.7	6.0	5.0	16.3	3.4	21.4	68.4	14.6	260.3	5.5	18.6	-12.7	0.89	-9.2
	T3	45.7	13.4	5.6	30.2	3.9	39.3	72.4	21.3	271.5	10.1	14.2	-33.3	0.67	-31.6
	T4	44.2	9.7	5.2	20.9	3.7	32.1	70.5	18.1	264.5	7.2	16.8	-21.1	0.75	-23.5
	T5	41.2	2.2	4.8	11.6	3.1	10.7	66.3	11.1	254.1	3.0	19.4	-8.9	0.94	-4.1

2.4 不同耦合模式效益分析

2.4.1 水分生产效率分析

对两个品种不同耦合模式的水分生产效率分析结果见表 10。2017 年“津优 2 号” 黄瓜品种 T1 (CK)、T2、T3、T4 和 T5 处理水分生产效率分别为

499.7、562.1、582.4、570.7 和 550.3 kg/(hm²·mm), T2、T3、T4 和 T5 分别较 T1 (CK) 增长 12.49%、16.55%、14.21% 和 10.13%; 2018 年“新泰密刺” 黄瓜品种 T1 (CK)、T2、T3、T4 和 T5 处理水分生产效率分别为 948.8、1024.4、1062.7、1040.8 和

表 10 不同耦合模式对水分生产效率的影响

处理	2017年(津优2号)					2018年(新泰密刺)				
	灌水量 (m^3/hm^2)	灌水量 (mm)	产量 (kg/hm^2)	水分生产效率		灌水量 (m^3/hm^2)	灌水量 (mm)	产量 (kg/hm^2)	水分生产效率	
				结果 [$kg/(hm^2 \cdot mm)$]	增减 (%)				结果 [$kg/(hm^2 \cdot mm)$]	增减 (%)
T1 (CK)	1350	135	67461.0e	499.7	—	1350	135	128089.5e	948.8	—
T2	1350	135	75879.0c	562.1	12.49	1350	135	138298.5c	1024.4	7.97
T3	1350	135	78628.5a	582.4	16.55	1350	135	143466.0a	1062.7	12.00
T4	1350	135	77046.0b	570.7	14.21	1350	135	140506.5b	1040.8	9.70
T5	1350	135	74295.0d	550.3	10.13	1350	135	136882.5d	1013.9	6.86

1013.9 $kg/(hm^2 \cdot mm)$), T2、T3、T4 和 T5 分别较 T1 (CK) 增长 7.97%、12.00%、9.70% 和 6.86%。两个品种 T3 处理下水分生产效率均为最高。

对 2017 年“津优 2 号”黄瓜品种不同处理水分生产效率进行对比发现(图 1), 5 个处理水分生产效率曲线呈抛物线状, 随着 T1 (CK)、T2、T3、T4、T5 施肥量的增加, 水分生产效率最初呈上升态势, T3 达到峰值 582.4 $kg/(hm^2 \cdot mm)$ 。

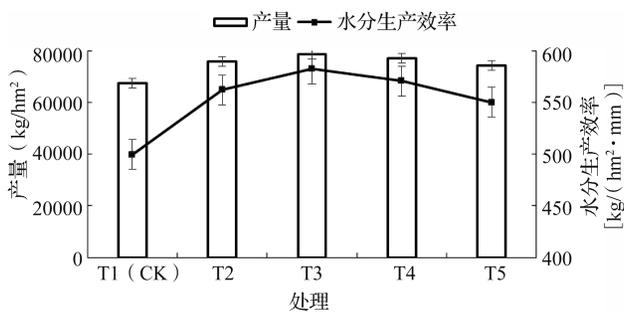


图 1 2017 年(津优 2 号)产量与水分生产效率

对 2018 “新泰密刺” 黄瓜品种不同处理水分

生产效率进行对比发现(图 2), 5 个处理水分生产效率曲线同样呈抛物线状, 随着 T1 (CK)、T2、T3、T4、T5 施肥量的增加, 水分生产效率最初呈上升态势, T3 达到峰值 1062.7 $kg/(hm^2 \cdot mm)$ 。

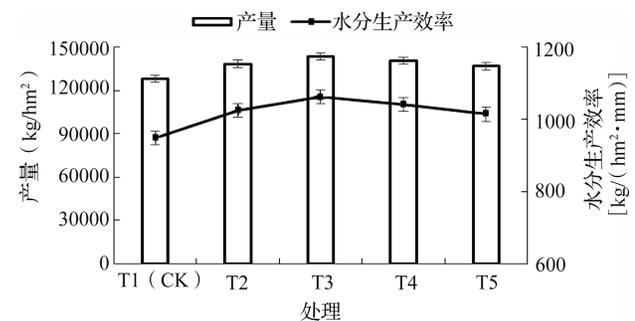


图 2 2018 年(新泰密刺)产量与水分生产效率

2.4.2 施肥农学效率分析

以 T1 (CK) 作为对比分别计算两个品种不同处理的施肥农学效率(AE)(表 11), 结果表明, 2017 年“津优 2 号”黄瓜品种 T2、T3、T4、T5 处理 AE 分别为 3.95、5.03、4.15 和 2.85 kg/kg ;

表 11 不同耦合模式施肥效益分析

处理	2017年(津优2号)			2018年(新泰密刺)		
	施肥纯量 (kg/hm^2)	较对照增产 (kg/hm^2)	施肥农学效率 (kg/kg)	施肥纯量 (kg/hm^2)	较对照增产 (kg/hm^2)	施肥农学效率 (kg/kg)
T1 (CK)	2040.0	—	—	2040.0	—	—
T2	2130.0	8418.0c	3.95c	2130.0	10209.0c	4.79c
T3	2220.0	11167.5a	5.03a	2220.0	15376.5a	6.93a
T4	2310.0	9585.0b	4.15b	2310.0	12417.0b	5.38b
T5	2400.0	6834.0d	2.85d	2400.0	8793.0d	3.66d

2018“新泰密刺”黄瓜品种 T2、T3、T4、T5 处理 AE 分别为 4.79、6.93、5.38 和 3.66 kg/kg；两个品种均为 T3 处理 AE 最高。

以 T1 (CK) 为对比, 分别对两个品种的 T2、T3、T4、T5 处理的产量与施肥农学效率进行图示对比 (图 3、图 4), 随着 T1 (CK)、T2、T3、T4、T5 施肥量递增, 两个品种黄瓜增产柱状图和 AE 曲线走势一致, 5 个处理 AE 曲线同样呈抛物线状, 随着 T1 (CK)、T2、T3、T4、T5 施肥量的增加, AE 最初呈上升态势, T3 分别达到峰值 5.03 和 6.93 kg/kg。

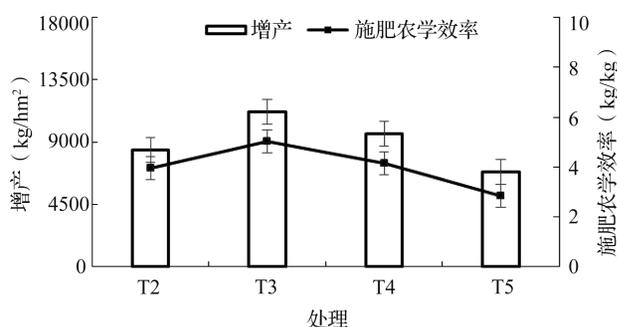


图 3 2017 年 (津优 2 号) 产量与施肥农学效率

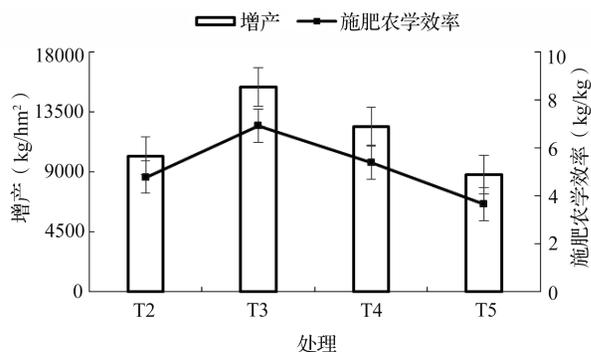


图 4 2018 年 (新泰密刺) 产量与施肥农学效率

3 小结与讨论

合理的灌溉施肥方式可明显提高黄瓜果实中的维生素 C 含量, 施肥量合理可明显增加产量, 但过量施肥不仅导致经济效益下降, 而且使品质变劣^[11], 黄瓜氮、磷要配合施用, 当氮、磷肥超过一定用量时不再增产^[12], 初瓜期前追肥以高氮型水溶肥为主, 结瓜后交替施用高氮型和高钾型水溶肥, 可提高黄瓜产量和品质^[13]; 在水肥一体化模式下, 随着氮、磷、钾施用量的增加, 黄瓜产量和品质均表现为先升后降的规律^[14], 只有合

理的水肥配比才能有效增加番茄果实维生素 C 含量^[15]; 灌水量与施氮量、施磷量与施钾量相互作用, 会降低番茄果实硝酸盐含量^[16], 氮是引起硝酸盐过多积累的主因^[17], 过量施氮会带来土壤酸化和次生盐渍化风险^[10]; 早期分次与实时浇灌及滴灌, 有利于提高辣椒产量和品质^[18], 氮肥和钾肥合理配施才能得到较高的番茄维生素 C 含量^[19], 滴灌方式病情指数比普通沟灌低^[20]; 黄瓜高频灌溉利于果实上市, 低频灌溉延缓了果实的成熟^[21]; 在各种肥料配比下, 黄瓜产量随灌水量的增大先增后降^[22], 水肥一体化减量化肥对于可溶性固形物的含量有一定提升作用^[23], 这些均与本试验结论相似。

本研究认为, 设施黄瓜株高、单瓜重、瓜条长度、单株产量、单株结果数等植株生长势和产量因子、维生素 C、可溶性糖、全氮、全磷、全钾、硝酸盐、亚硝酸盐等品质特性以及水分生产效率和施肥农学效率在定额滴灌条件下, 两个不同品种 5 个处理水肥滴施高效耦合规律为 T3>T4>T2>T5>T1 (CK), T3 表现最优, T1 (CK) 表现最差, 随着各处理滴施肥量增加, 各生长因子、品质因子和效益评价因子均在 T3 出现抛物线峰值, 充分说明了设施黄瓜在定额滴灌条件下, 采取水肥滴施高效耦合技术, 可以产生最优的生长势、产量、品质和效益。

参考文献:

- [1] 郑育锁, 陈子学, 肖波, 等. 温室黄瓜水肥一体化技术的效应分析 [J]. 天津农业科学, 2007 (2): 26-28.
- [2] 孔海民, 薛晨晨, 邵伟强, 等. 水肥一体精量化施肥对春季设施小黄瓜产量的影响和效益分析 [J]. 浙江农业科学, 2016, 57 (3): 323-325.
- [3] 刘建英, 赵宏儒, 张丽清, 等. 保护地黄瓜水、肥一体化高效栽培技术 [J]. 华北农学报, 2005 (S1): 206-208.
- [4] 杨俊华, 燕飞, 孙丽丽, 等. 不同水肥组合对温室沙地栽培黄瓜产量和品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报, 2014, 42 (12): 111-118.
- [5] 张自坤, 刘作新, 张颖, 等. 日光温室黄瓜地下滴灌灌溉制度的试验研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26 (6): 76-81.
- [6] 张西平, 赵胜利, 杜光, 等. 日光温室黄瓜滴灌灌溉制度研究 [J]. 中国农村水利水电, 2007 (12): 25-27, 31.
- [7] 虞娜, 张玉龙, 张玉玲, 等. 灌溉和施肥对温室番茄产量和品质影响效应的研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2009 (4): 31-35.
- [8] 姜红娜, 李银坤, 陈菲, 等. 负水头灌溉施肥对日光温室

- 番茄生长及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015 (6): 65-69, 107.
- [9] 孙振荣. 作物水肥一体化技术理论研究与实践指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [10] 汪俊玉, 刘东阳, 宋霄君, 等. 滴灌水肥一体化条件下番茄氮肥适宜用量探讨 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (6): 98-103.
- [11] 于舜章. 山东省设施黄瓜水肥一体化滴灌技术应用研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20 (6): 173-176.
- [12] 徐福利, 王振, 徐慧敏, 等. 日光温室滴灌条件下黄瓜氮、磷、有机肥肥效与施肥模式研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (1): 177-182.
- [13] 诸海焱, 李建勇, 朱恩, 等. 水肥一体化条件下设施黄瓜的氮磷钾吸收分配规律研究 [J]. 上海农业学报, 2017, 33 (1): 74-78.
- [14] 王颀, 吴春涛, 李丹丹, 等. 水肥一体化模式下日光温室黄瓜氮磷钾优化施肥方案的研究 [J]. 园艺学报, 2018, 45 (4): 764-774.
- [15] 代顺冬, 胡田田, 陈思, 等. 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实 Vc 含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (2): 26-31.
- [16] 陈思, 周振江, 牛晓丽, 等. 根系分区交替灌溉条件下番茄果实硝酸盐含量的水肥耦合效应研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (6): 37-41.
- [17] 张洁瑕, 刘树庆, 胡吉敏. 高寒半干旱区水肥耦合对西芹收获期硝酸盐效应研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2008 (6): 39-45.
- [18] 刘方, 龙永根, 刘元生, 等. 早期水肥耦合对贵州山区辣椒生长及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014 (6): 59-62.
- [19] 牛晓丽, 胡田田, 周振江, 等. 水肥供应对番茄果实维生素 C 含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (3): 37-42.
- [20] 张亚莉, 周桂荣, 王宏宇, 等. 膜下滴灌与膜下沟灌对设施黄瓜生长发育及生长环境的影响 [J]. 北方园艺, 2011 (13): 55-56.
- [21] 窦超银, 孟维忠, 延玮辰, 等. 大棚膜下滴灌黄瓜结果期适宜灌溉频率试验研究 [J]. 节水灌溉, 2017 (5): 52-54.
- [22] 王荣莲, 于健, 赵永来, 等. 滴灌施肥水肥耦合对温室无土栽培水果黄瓜产量的影响 [J]. 节水灌溉, 2009 (3): 15-17, 22.
- [23] 张鹏, 范家慧, 程宁宁, 等. 水肥一体化减量施肥对芒果产量、品质及肥耗的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (2): 114-118.

High efficiency coupling technology of fertilizer and water for cucumber under irrigation quota

SUN Zhen-rong¹, WANG Hai-peng^{1*}, XUE Lian¹, PU Ming¹, HE Xiao¹, WANG Ni-ni² (1. Agricultural Science and Technology Research Extension Center of Lanzhou, Lanzhou Gansu 730000; 2. Agricultural Product Quality Supervision and Management Center of Lanzhou, Lanzhou Gansu 730000)

Abstract: In order to find the best inflection point of fertilizer water coupling parabola and determine the best technical parameters of fertilizer water coupling for local facilities cucumber, 5 different drip fertilization modes were set up with conventional drip irrigation amount as quota, including T1 (CK), T2, T3, T4 and T5. The results showed that the plant growth and yield factors, such as plant height, single melon weight, strip length, single plant yield and number of fruit per plant, the quality characteristics of vitamin C, soluble sugar, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, nitrate, nitrite, water production efficiency and fertilization agronomic efficiency were all lower than those of the fixed drip irrigation treatment, and two different varieties and five treatments were applied with high efficiency and the coupling law of fertilizer tended to be the same, and the general trend was T3 > T4 > T2 > T5 > T1 (CK). T3 showed the best performance, while T1 (CK) showed the weakest performance. With the increase of the amount of drip fertilizer, the growth factor, quality factor and benefit evaluation factor all appeared the parabola peak inflection point in T3, which indicated that the optimal growth potential, yield, quality and benefit could be produced by adopting the coupling technology of drip fertilization under the condition of constant drip irrigation.

Key words: irrigation quota; cucumber; fertilizer and water; high efficiency coupling