

# 根系分区水肥耦合对大棚甜瓜产量和品质的影响

赵志华<sup>1</sup>, 李建明<sup>1</sup>, 张大龙<sup>1</sup>, 李军<sup>1</sup>, 贾笑蕊<sup>2</sup>, 徐菲<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西安石油大学 计算机学院, 陕西 西安 710000)

**摘要:**以厚皮甜瓜“一品天下 208”为试材, 采用根系分区交替滴灌和沟施肥的水肥耦合方式, 研究了灌水上限及施肥量对甜瓜生长、产量及品质的影响。结果表明: 提高灌水上限可以显著促进甜瓜植株生长及根系活力、增加果肉厚度, 而对果实营养物质的含量及产量先提高后降低; 同一灌水上限, 双侧施肥或多施肥更有利于甜瓜植株生长及根系活力、果肉厚度、果实营养物质含量及产量的增大; 根系两侧交替水肥耦合比始终单侧水肥耦合更有利于植株生长及根系活力、果肉厚度、果实营养物质含量及产量的增大。但并非水分越多越利于叶面积、根系活力及产量的增大, 其应该有一个最佳灌水上限; 水分亏缺且低肥情况下, 始终单侧水肥耦合与交替水肥耦合对叶面积、根系活力及产量的影响差异性不显著; 充足的水分可以减小低肥与高肥对叶面积影响的差异性。T5(灌水上限 85%, 交替灌溉, 施氮 120 kg/hm<sup>2</sup>、施 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>、施 K<sub>2</sub>O 180 kg/hm<sup>2</sup>, 双侧施肥)的水肥耦合方案最为高效、优质。

**关键词:**根系分区; 交替滴灌; 水肥耦合; 大棚甜瓜; 产量; 品质

**中图分类号:**S 652.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)06-0035-06

甜瓜是设施栽培主要作物之一, 种植面积逐年增大, 然而瓜农对于甜瓜温室化栽培的水肥管理的盲目性越发明显<sup>[1-2]</sup>。大棚种植不同于露地, 棚内空气湿度过高与土壤连作障碍一直是影响设施栽培的两大难题<sup>[3]</sup>。采用节水灌溉和新型灌水方式与施肥技术等方法解决上述问题的重要途径<sup>[3-5]</sup>。水肥耦合技术便是实现水肥调控高效化的一项综合技术, 对水肥耦合技术深入研究, 可以获得增加肥料利用率和提高水分利用率的科学依据, 从而为实现灌溉和施肥的高效化管理提供科学指导<sup>[6]</sup>。根系是作物最活跃的养分和水分吸收器官, 其分

布直接影响土壤水分和养分的有效性<sup>[7-9]</sup>。该研究采用根系分区交替滴灌和沟施肥的水肥耦合调控方式, 分析灌水上限及施肥量对甜瓜生长、产量及品质的影响, 以期为实现甜瓜“两高一优”的栽培模式提供水肥最佳耦合的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2012 年 3~7 月在西北农林科技大学北园艺场 3 号塑料大棚内进行。试验用大棚长 45 m, 宽 7.8 m, 高 3.5 m, 南北走向, 覆盖华盾牌无滴聚乙烯薄膜。土壤理化性质: 土壤容重 1.38 g/cm<sup>3</sup>, 最大田间持水量 24.6%, 有机质 14.27 g/kg, 碱解氮 89.94 mg/kg, 速效磷 19.25 mg/kg, 速效钾 100.07 mg/kg, pH 7.5。

### 1.2 试验材料

供试甜瓜品种为厚皮甜瓜“一品天下 208”, 超早熟、抗病性强, 种子由陕西杨凌千普农业开发有限公司提

**第一作者简介:**赵志华(1986-), 男, 河南滑县人, 在读硕士, 研究方向为设施作物生理生态。E-mail:1986zhaozhijia@163.com.

**责任作者:**李建明(1966-), 男, 陕西洛川人, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事设施园艺研究工作。E-mail:lijianming66@163.com.

**基金项目:**国家“863”计划资助项目(2011AA100504)。

**收稿日期:**2012-12-13

孵化期, 用 40% 毒死蜱乳油 1 000~1 500 倍液、2.5% 高效氯氟氰菊酯乳油 1 500 倍液、25% 杀虫双水剂 200~400 倍液等药剂交替喷雾防治。红蜘蛛: 可用 1.8% 阿维柴油乳剂 1 000 倍, 20% 三氯杀螨醇乳油 500~600 倍, 20% 灭扫利乳油 2 000 倍等交替喷雾防治。美洲斑潜蝇: 可挂黄板诱杀, 同时可用 1.8% 阿维菌素乳油 2 000~3 000 倍液或 4.5% 高效氯氟氰菊酯乳油 3 000~5 000 倍液喷雾防治。

## 4 采收

水果黄瓜是连续多次坐瓜, 要及时收瓜, 以免挂瓜太多, 大量消耗养分, 使植株长势变弱, 形成早衰。采收标准: 嫩瓜, 瓜条大小适宜, 粗细均匀, 花冠尚存。

## 5 生产档案

建立田间生产档案。对生产技术、病虫害防治中各环节所采取的措施进行详细记录。

供。材料于 2012 年 3 月 21 日定植,当年 6 月 15 日采收。

### 1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 该试验采用高垄栽培,垄高 15 cm,垄宽 80 cm,垄长 600 cm,小区之间埋深 70 cm 的塑料薄膜,然后在小区中部沿定植方向埋深 60 cm 的泡沫板(长 600 cm、高 60 cm、厚 1 cm),以防小区间水肥相互渗透。每小区布置 2 条滴灌管,分居泡沫板两侧,距板 10 cm 左右。沿泡沫板定植,使瓜苗根系分部与泡沫板两侧,甜瓜株距 40 cm,每小区 16 株。试验设 9 个处理,每个处理 5 次重复,水肥处理方案见表 1。非交替灌溉(FJ),即小区内泡沫板一侧水分保持在 45%~60%,另一侧灌水下限为 60%、灌水上限如表所示;交替灌溉(J),即小区内上一次灌水侧土壤含水量下降至 60%时,在另一侧灌水至其对应灌水上限。如此交替进行,直到果实采收前 1 周。记录每次灌水时间及灌水量。单侧施肥(D),即始终将肥料施于小区内土壤含水量高的一侧,另一侧不施肥;双侧施肥(S),即小区内两侧均匀施肥。小区施肥量计算对应的土地面积为小区面积。

1.3.2 水分因素 土壤灌水下限作为水分变量,缓苗 7 d 后开始处理。采用滴灌方式,水表定量灌水,灌水量由公式(1)计算,同时记录灌水日期、灌水量、灌水次数。计划湿润层深度见表 1。灌水上、下限由自动土壤水分监测仪器 EASYAG 监控。 $V=rs \times S \times h \times Q \times (q-x) \times \eta$  ..... (1), 式中, $V$  为灌水量, $m^3$ ;  $Q$  为田间持水量(质量含水量);  $rs$  为土壤容重, $g/cm^3$ ;  $\eta$  为灌溉效率,取 100%;  $S$  为灌溉面积, $m^2$ ;  $q$  为土壤水分上限,  $x$  为水分下限,以相对田间持水量百分比表示;  $h$  为计划湿润层深度,  $m$ 。其中,计划湿润层深度:苗期 10 cm,伸蔓期 20 cm,坐果及膨果期 30 cm。

表 1 试验方案

Table 1 The experiment schema

处理 Treatments	灌水上限 Irrigation low limit/%	灌溉方式 Irrigation method	N /kg · hm <sup>-2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg · hm <sup>-2</sup>	K <sub>2</sub> O /kg · hm <sup>-2</sup>	施肥方式 Fertilization method
T1	70	FJ	120	150	180	D
T2	70	J	120	150	180	S
T3	70	J	240	300	360	S
T4	85	FJ	120	150	180	D
T5	85	J	120	150	180	S
T6	85	J	240	300	360	S
T7	100	FJ	120	150	180	D
T8	100	J	120	150	180	S
T9	100	J	240	300	360	S

1.3.3 肥料因素 供试肥料为昆仑牌尿素(含 N 46.4%)、昆阳牌过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%)、罗布泊牌农业用硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 51%)。定植前不施基肥,追肥以沟施的方式在甜瓜苗期、坐果期和膨瓜期分 3 次施入,每次追施氮、磷、钾占肥料总量(表 1)的比重:苗期 N 60%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

30%、K<sub>2</sub>O 20%,剩余的肥料于坐果期和膨大期用量相同(均为 N 20%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 35%、K<sub>2</sub>O 40%)。

### 1.4 项目测定

1.4.1 生长发育情况 定期测定甜瓜各处理的生长发育指标,定期测定甜瓜株高、单株叶面积见公式(2)、地上部分和地下部分干重、根系活力(TTC 法)等情况。其中,地上部分及地下部分干重分别于打顶前和成熟期各测定 2 次,样品分类后,在鼓风干燥箱中 105℃ 杀青 30 min,然后在 75℃ 条件下烘干至恒重,用精度 0.001 g 的电子天平称量。 $LA = \sum (0.7896 \times L_i^{1.848}) \dots\dots (2)$ ,

式中, $LA$  为单株叶面积, $cm^2$ ;  $L_i$  为每片叶的叶长, $cm$ <sup>[10]</sup>。

1.4.2 产量与品质指标 每株甜瓜于第 12~16 节位留 1 个瓜,其余打掉。果实成熟后,分别统计各小区的产量。果实全部用于指标测定,测定果皮厚度及品质指标。纵向切果实,用直尺测定果肉厚度;利用手持糖量计测定可溶性固形物含量;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 测定;维生素 C 含量采用钼蓝比色法测定<sup>[11]</sup>。

1.4.3 经济效益评价 根据每个处理的投入和产出,分析各处理的经济效益。

### 1.5 数据分析

利用 Excel 2007 对试验数据进行处理分析并作图。同时,用 SAS 8.0 软件 ANOVA 过程处理,并用 Duncan 过程进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水肥耦合处理灌溉量的比较

该试验在塑料大棚内进行,甜瓜生长期田间耗水均由滴灌方式进行供给。小区与小区之间均由塑料薄膜隔离,植株根系由泡沫板隔离,有效的防止了其水肥相互渗透。由表 2 可知,当肥料条件相同时,甜瓜的 3 个生育期均表现出灌水上限越大,则灌水频率越小,而平均每次灌水量越大,且总灌水量越大;同一灌水上限,当施肥量相同时,双侧施肥处理的灌水频率和每次灌水量大于单侧施肥;同一灌水上限,施肥量大的处理,灌水频率较大。其中,上述表现在甜瓜苗期和伸蔓期极为明显,坐果及膨果期次之。另外,同一灌水上限的不同处理,因施肥量与施肥方式的不同而引起其对应灌水频率的差异随着灌水上限的增大而减小。可能原因是,一方面原土壤中基肥充足,增施追肥对甜瓜生长影响不大;另一方面充足的水分有利于甜瓜对肥料的吸收,从而减小了施肥多少对植株生长的差异性。这便是水肥耦合本质的体现。

### 2.2 不同水肥耦合处理对甜瓜植株生长的影响

2.2.1 不同处理对甜瓜株高和茎粗的影响 株高和茎粗可以最直观的反映不同处理之间甜瓜植株长势的差

表 2 不同处理甜瓜不同生育期灌水次数、灌水量比较

Table 2 Comparison of irrigation frequency and requirement at different growth stages of cantaloup under different treatments

处理 Treatment	苗期 Seeding stage		伸蔓期 Stretching stage		坐果及膨果期 Swelling stage		整个生育期 Whole life
	灌水次 数/次	灌水量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	灌水次 数/次	灌水量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	灌水次 数/次	灌水量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>	灌水量 /m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup>
T1	13	296	8	364	10	683	1 343
T2	14	319	10	455	12	820	1 594
T3	14	319	11	501	13	888	1 708
T4	7	397	5	567	6	1 021	1 986
T5	9	511	6	681	7	1 191	2 383
T6	10	567	7	794	8	1 362	2 723
T7	6	545	4	726	4	1 089	2 360
T8	6	545	5	908	5	1 362	2 814
T9	6	545	5	908	5	1 362	2 814

异性。由图 1 可知,定植后,各处理株高和茎粗随生育期延长而均逐渐增加。直到打顶之前,各处理平均株高较大的处理其平均茎粗也较大,其大小顺序如下:T9>T8>T6>T7>T5>T3>T4>T2>T1。该试验结果表明,相同的肥料条件下,提高灌水上限可以显著促进甜瓜植株生长;同一灌水上限的各处理,双侧施肥(均匀施肥)或增施肥有利于甜瓜植株的生长;根系两侧交替胁迫比始终单侧胁迫更有利于植株的生长。相同肥料条件下,灌水上限由 70%增加到 85%对植株株高和茎粗的

影响大于灌水上限由 85%增加到 100%而产生的影响,说明在灌水上限 85%~100%之间有一定的节水空间。另外,打顶前,不同的水肥耦合方式定植后 10~30 d 期间株高均增长平缓,而茎粗急剧增长;定植后 30~40 d 期间株高急剧增长,而茎粗增长放慢;其后二者增长均放慢。茎粗是衡量壮苗的一个重要指标,一定程度上决定养分的运输能力,其达到一定大小才确保甜瓜后期的正常生长发育<sup>[12]</sup>,说明各处理株高和茎粗的最快增长阶段不重叠,株高的快速增长阶段滞后。

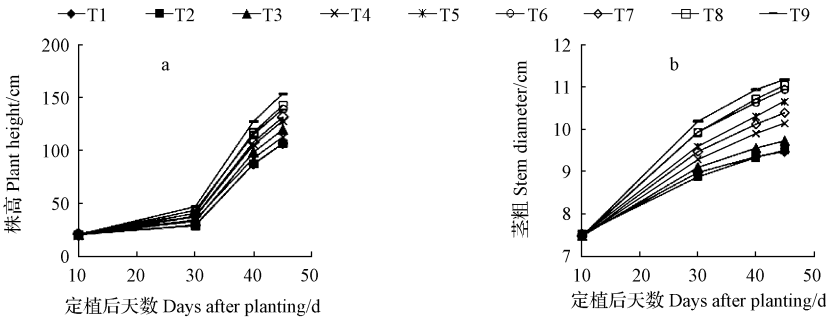


图 1 不同处理对甜瓜植株株高和和茎粗的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on plant height and stem thick of cantaloup

2.2.2 不同处理对叶面积及根系活力的影响 叶面积的大小直接影响群体叶面积指数,当种植密度一定时,单株叶面积过大、过小都会降低光合效率,从而导致水

肥浪费和减产。由图 2a 可知,打顶前,不同水肥耦合方式平均单株叶面积大小顺序如下:T6>T9>T8>T7>T5>T4>T3>T2>T1,其中,T1 与 T2、T6 与 T9、T8 与

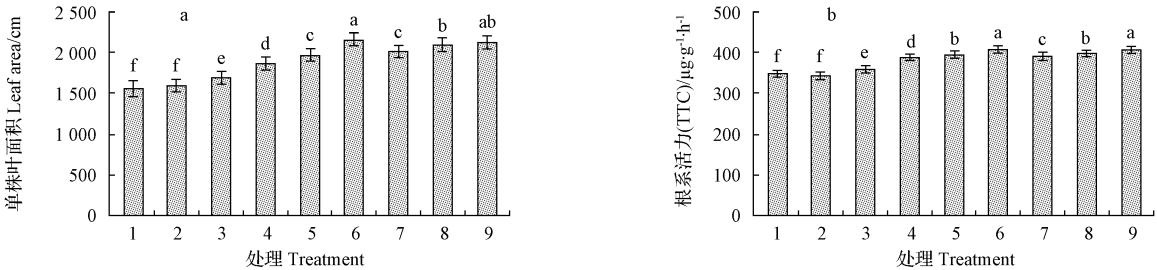


图 2 不同处理对甜瓜植株叶面积及根系活力的影响

注:不同小写字母表示不同处理间差异达到显著水平( $P<0.05$ )。下同。

Fig. 2 Effects of different treatments on plant leaf area and root activity of cantaloup of cantaloupes

Note: The different lowercases stood for differences significant level of different treatments ( $P<0.05$ ). The same as below.



T9 差异性不显著。该试验结果表明,相同的肥料条件下,灌水上限的增大可以显著促进叶面积增大。但是 T6 与 T9 不符合上述规律,说明肥料充足时,并非水分越多越利于植株叶面积的增大,其应该有一个最佳水分上限。同一灌水上限,双侧施肥(均匀施肥)或增施肥显著促进甜瓜叶面积的增大。但是 T1 与 T2、T8 与 T9 不符合上述规律,前者表明水分亏缺且低肥情况下,始终单侧水肥耦合与交替水肥耦合对叶面积的影响差异性不显著;后者表明水分充足时,可以减小低肥与高肥对叶面积影响的差异性。根系两侧交替水肥耦合比始终单侧水肥耦合更有利于叶面积的增大。根系活力直接影响植物地上部分的生长和营养状况以及产量。由图 2b 可知,打顶前,不同水肥耦合方式平均根系活力大小顺序如下: T6>T9>T8>T5>T7>T4>T3>T2>T1, 其中, T1 与 T2、T5 与 T8、T6 与 T9 差异性不显著。该试验结果表明,相同的肥料条件下,灌水上限的增大可以显著促进根系活力增大。但是 T5 与 T8、T6 与 T9 不符合上述规律,说明并非水分越多越利于根系活力的增大,其应该有一个最佳水分上限。同一灌水上限,双侧施肥(均匀施肥)或增施肥显著促进根系活力的增大。但是 T1 与 T2 不符合上述规律,表明水分亏缺且低肥情况下,始终单侧水肥耦合与交替水肥耦合对根系活力的影响不显著。根系两侧交替水肥耦合比始终单侧水肥耦合更有利于根系活力的提高。另外,相同肥料条件下,灌水上限由 70% 增加到 85% 对单株叶面积和根系活力的影响均大于灌水上限由 85% 增加到 100% 而产生的影响,说明在甜瓜营养生长期,在灌水上限 85%~100% 之间有一定的节水空间。适宜的灌水上限与合理的施肥量是获得高产、高效所需根系活力与最佳叶面积指数的保障。

### 2.3 不同水肥耦合处理对甜瓜品质的影响

果实中含有较多的可溶性糖、维生素 C 和可溶性蛋白质等营养物质,正是这些营养物质的含量决定了甜瓜的果实品质。由表 3 可知,不同水肥耦合方式果肉厚度的大小顺序如下: T6>T9>T5>T8>T7=T4>T3>T2>T1, 其中, T4 与 T7、T5 与 T8、T6 与 T9 差异性不显著。该试验结果表明,在一定范围内果肉厚度随着灌水上限的增大而显著增大,当灌水上限达到某一值时再增大灌水上限将不会显著增加果肉厚度,还有可能会使果肉厚度减小。不同水肥耦合方式下的可溶性固形物、可溶性总糖、维生素 C 和可溶性蛋白质含量的差异性基本一致,它们均随着灌水上限的增大先增大后减小,说明在设定的灌水上限范围内有一个最佳灌水上限。

另外,同一灌水上限,双侧施肥(均匀施肥)或增施肥显著促进果肉厚度的增大和果实营养物质含量的提高。根系两侧交替水肥耦合比始终单侧水肥耦合更有

利于果肉厚度的增大和果实营养物质的积累。相同肥料条件下,灌水上限由 70% 增加到 85% 对果实品质的影响均小于灌水上限由 85% 增加到 100% 而产生的影响。说明在甜瓜果实成熟期,过多的水分会导致甜瓜品质的显著降低,在灌水上限 85%~100% 之间有较大的节水空间。

表 3 不同处理对甜瓜品质的影响

Table 3 Effect of different treatments on the quality of cantaloupes

品质 Quality	处理 Treatment								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
果肉厚度 Thickness of pulp/mm	28.7f	29.3e	29.9d	31.8c	32.7b	34.3a	31.8c	32.6b	34.1a
可溶性固形物 Soluble solid content/%	13.7f	14.6e	15.1d	15.3cd	15.7b	16.2a	13.7f	13.8f	14.2e
可溶性总糖 Soluble sugar content/%	5.3g	6.2e	6.6d	6.9c	7.3b	7.8a	5.3g	5.9f	6.1ef
维生素 C Vitamin C /mg·g <sup>-1</sup>	13.1g	15.1e	15.3d	15.7c	16.5b	17.1a	13.1g	13.2g	13.8f
可溶性蛋白质 Soluble protein content/mg·g <sup>-1</sup>	3.6g	3.9e	4.1de	4.2d	4.7b	5.1a	3.6g	3.6g	3.8f

### 2.4 不同水肥耦合处理对产量的影响和最佳方案的确定

2.4.1 不同处理对甜瓜产量的影响 产量是经济种植活动中最直接的追求。由图 3 可知,打顶前,不同水肥耦合方式甜瓜产量大小顺序如下: T6>T9>T8>T7>T5>T4>T3>T2>T1, 其中, T1 与 T2 差异性不显著。该试验结果表明,相同的肥料条件下,灌水上限的增大先提高产量,当增大到一定值后又引起产量下降,说明并非水分越多越利于甜瓜产量的增大,其应该有一个最佳水分上限,这也是甜瓜耐旱不耐涝的特性体现。同一灌水上限,双侧施肥(均匀施肥)或增施肥均显著提高产量。但是 T1 与 T2 不符合上述规律,表明水分亏缺且低肥情况下,始终单侧水肥耦合与交替水肥耦合对产量的影响不显著。根系两侧交替水肥耦合比始终单侧水肥耦合更有利于产量的增大。另外,相同肥料条件下,灌水上限由 70% 增加到 85% 对甜瓜产量的影响均大于灌水上限由 85% 增加到 100% 而产生的影响,说明在果实

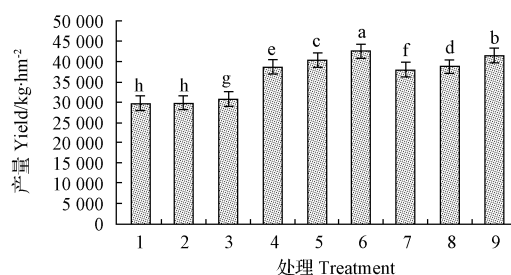


图 3 不同处理对甜瓜产量的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on the yield of cantaloupes

膨大期,在灌水上限 85%~100%之间有一定的节水空间。适宜的灌水上限与合理的施肥量是甜瓜获得高产、高效的保障。

2.4.2 最佳方案的确定 经济学中,评价某一种方法的优劣,不能单纯从量的大小来衡量,而要从投入、产出和

效率等方面做出综合评价。该研究中取甜瓜的经济产量、灌溉水利用效率、灌水量、肥料使用量及劳动力投入作为评判因素,建立评判矩阵,并取各行最大值为 1,分别求出该行其它元素与它的比值。对甜瓜产量建立评判矩阵如下。

处理 Treatment	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>
处理 Treatment	29 726	29 789	30 875	38 676	40 433	42 549	37 968	38 795	41 466
产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	22.1	18.7	18.1	19.5	17.0	15.6	16.1	13.8	14.7
WUE kg/m <sup>3</sup>	1 343	1 594	1 708	1 986	2 383	2 723	2 360	2 814	2 814
灌水量 Amount m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	259	259	517	259	259	517	259	259	517
氮肥 N kg/hm <sup>2</sup>	938	938	1875	938	938	1 875	938	938	1 875
磷肥 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>2</sup>	353	353	706	353	353	706	353	353	706
钾肥 K <sub>2</sub> O kg/hm <sup>2</sup>	31	36	38	18	22	25	14	16	16
灌水次数 Times									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0.699	0.700	0.726	0.909	0.950	1.000	0.892	0.912	0.975
	1.000	0.844	0.817	0.880	0.767	0.706	0.727	0.623	0.666
	0.477	0.566	0.607	0.706	0.847	0.968	0.839	1.000	1.000
	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000
	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000
	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000	0.500	0.500	1.000
	0.816	0.947	1.000	0.474	0.579	0.658	0.368	0.421	0.421

在上述评判矩阵中各因素的权重值按各因素所有处理平均经济价值计算。甜瓜单价按 7.5 元/kg,水费按 0.3 元/m<sup>3</sup>,氮肥 2.5 元/kg,磷肥 1.0 元/kg,钾肥 5.4 元/kg,WUE 按净产值计算,灌溉劳动力投入 850 元/次/hm<sup>2</sup>,则权重矩阵为:

$$L_{1 \times 7} = (36\ 697 \times 7.5 \quad 36\ 697 \times 7.5 - 2\ 192 \times 0.3 \quad 2\ 192 \times 0.3 \quad 345 \times 2.5 \quad 1\ 250 \times 1.0 \quad 471 \times 5.4 \quad 24 \times 850)$$

$\Rightarrow (1.0000 \quad 0.9976 \quad 0.0024 \quad 0.0031 \quad 0.0045 \quad 0.0092 \quad 0.0741)$ ,由于灌水量、肥料及灌水劳务费的费用为支出项,应取负值,则有: $L_{1 \times 7} = (1.0000 \quad 0.9976 \quad -0.0024 \quad -0.0031 \quad -0.0045 \quad -0.0092 \quad -0.0741)$ ,由此可得评判结果:

$$B_{1 \times 9} = L_{1 \times 7} \times P_{7 \times 9} = (1.606 \quad 1.462 \quad 1.448 \quad 1.642 \quad 1.692 \quad 1.636 \quad 1.580 \quad 1.491 \quad 1.588)$$

$\Rightarrow (0.949 \quad 0.864 \quad 0.856 \quad 0.970 \quad 1.000 \quad 0.967 \quad 0.934 \quad 0.881 \quad 0.939)$ ,由各处理的经济效益权值可知,T4、T5、T6 的经济效益较好,权值均大于 0.95。但是,T6 的灌水量和施肥量过大,降低了水肥利用效率,并且易发生由湿度过大而引起病虫害和加速土壤盐渍化。同时,T4 与 T6 的甜瓜果实品质较差。所以 T5 是最佳的水肥耦合方案。

### 3 讨论与结论

根系分区交替滴灌下,甜瓜的水肥耦合旨在提高水肥利用效率,减少设施病虫害,同时延缓土壤盐渍化进

程,以实现甜瓜“两高一优”的水肥管理。

留瓜前,甜瓜吸收的水分和养分通过叶片光合作用而积累干物质,其多少直接反映在株高、茎粗和叶面积等形态指标上;留瓜后,干物质积累主要反映在果实产量和品质上<sup>[12-13]</sup>。干旱胁迫下和肥料亏缺都会导致植物根系活力的降低<sup>[14-15]</sup>。接近成熟期时,土壤含水量过高过低或肥料亏缺都会导致果实品质的降低<sup>[16-18]</sup>。该试验结果表明,相同的肥料条件下,提高灌水上限可以显著促进甜瓜植株生长及根系活力、果肉厚度的增大,而对营养物质的含量及产量先提高后降低;同一灌水上限的各处理,双侧施肥或多施肥更有利于甜瓜植株生长及根系活力、果肉厚度、果实营养物质含量及产量的增大;根系两侧交替水肥耦合比始终单侧耦合更有利于植株生长及根系活力、果肉厚度、果实营养物质含量及产量的增大。但是,肥料充足时,并非水分越多越利于植株叶面积、根系活力及产量的增大,其应该有一个最佳水分上限,这也是甜瓜耐旱不耐涝的特性体现;水分亏缺且低肥情况下,始终单侧水肥耦合与交替水肥耦合对叶面积、根系活力及产量的影响差异性不显著;充足的水分可以减小低肥与高肥对叶面积影响的差异性。

相同肥料条件下,灌水上限由 70%增加到 85%对甜瓜株高、茎粗、叶面积、根系活力、产量及果肉厚度的影响均小于灌水上限由 85%增加到 100%而产生的影响,然而对果实品质影响的大小相反。说明在营养生长

期和果实膨大期,甜瓜对水分亏缺表现更为敏感,此过程需要较多水分;在果实成熟期,甜瓜对多水分表现更为敏感,此时期土壤水分不宜过高<sup>[12,18]</sup>。在灌水上限85%~100%之间有较大的节水空间。

该试验表明,根系分区交替滴灌下甜瓜最佳水肥耦合方案是 T5,即在原土壤肥力下,施肥量为 N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 180 kg/hm<sup>2</sup>,双侧施肥,灌水上限为 85%,甜瓜产量为 40 433 kg/hm<sup>2</sup>,此时最为高效、优质。此方案下,累计灌溉量为 2 383 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,比常规沟灌(约 4 000 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)<sup>[6]</sup>节水 40%。

### 参考文献

- [1] 李长勋,王宝河,王大伟,等.甜瓜栽培技术[J].吉林蔬菜,2005(3):9-10.
- [2] 吴明珠,伊鸿平,冯炯鑫,等.哈密瓜南移东进生态育种与有机生态型无土栽培技术研究[J].中国工程科学,2000,2(8):83-88.
- [3] 李式军.设施园艺学[M].北京:中国农业出版社,2002:110-121.
- [4] 刘巧真,郭芳阳,吴照辉,等.烤烟连作土壤障碍因子及防治措施[J].中国农学通报,2012,28(10):87-90.
- [5] 顾玉成,吴金平.设施栽培连作障碍克服技术的研究与应用[J].湖北农业科学,2011,50(1):1-3.
- [6] 姚静,邹志荣,杨猛,等.日光温室水肥耦合对甜瓜产量影响研究初探[J].西北植物学报,2004,24(5):890-894.
- [7] Hu X T, Chen H, Wang J, et al. Effects of soil water content on cotton root growth and distribution under mulched drip irrigation[J]. Agricultural

Sciences in China, 2009, 8(6): 709-716.

- [8] Olson D M, Cortesero A M, Rains G C, et al. Nitrogen and water affect direct and indirect plant systemic induced defense in cotton[J]. Biological Control, 2009, 49(3): 239-244.
- [9] 李培岭, 张富仓. 根系分区交替滴灌下水氮耦合对棉花氮素利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 112-116.
- [10] 达会广. 温室甜瓜耗水模型研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [11] 李合生, 陈翠莲, 洪玉枝, 等. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [12] 李毅杰, 李保忠, 别之龙, 等. 不同土壤水分下限对大棚滴灌甜瓜产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 132-138.
- [13] 邹志荣, 李清明, 贺群忠. 不同灌溉上限对温室黄瓜结瓜期生长动态、产量及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 77-81.
- [14] 王德权, 周宇飞, 陆璋镛, 等. 水分胁迫下持绿型高粱根系形态及活力研究[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(2): 73-76.
- [15] 左文博, 吴静利, 杨奇, 等. 干旱胁迫对小麦根系活力和可溶性糖含量的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(6): 191-193.
- [16] 齐红岩, 李天来, 张洁, 等. 亏缺灌溉对番茄蔗糖代谢和干物质分配及果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1045-1049.
- [17] 刘明池, 张慎好, 刘向莉. 亏缺灌溉时期对番茄果实品质和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S): 92-95.
- [18] 王静静, 李建明, 张艳丽, 等. 温室温湿度及灌溉量对甜瓜生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2011(6): 50-55.

(该文作者还有宋晓晓, 单位同第一作者。)

## Effects of Water and Fertilizer Coupling on Growth and Yield of Greenhouse Cantaloup Under Alternate Root Partition Drip

ZHAO Zhi-hua<sup>1</sup>, LI Jian-ming<sup>1</sup>, ZHANG Da-long<sup>1</sup>, LI Jun<sup>1</sup>, JIA Xiao-ru<sup>2</sup>, XU Fei<sup>1</sup>, SONG Xiao-xiao<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Computer Science, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710000)

**Abstract:** Taking 'Yipintianxia 208' cantaloup variety as materials, the effects of water-fertilizer coupling on growth, yield and quality of cantaloup under the conditions of alternate root partition and drip irrigation were investigated, irrigation maximum and fertilizer amount as the two factors were studied. The results showed that plant growth, root activity and pulp thickness increased with irrigation maximum increased, but the content of nutrition and yield first increased and then decreased. At the same irrigation maximum, double side fertilizing or more fertilizer did good to plant growth, root activity, pulp thickness, content of nutrition and yield. Alternate water and fertilizer coupling was better than always unilateral coupling to increase plant growth, root activity, pulp thickness, content of nutrition and yield. But there should be the best irrigation maximum for leaf area, root activity and yield. On the occasion of water deficit and low fertility, alternate water-fertilizer coupling and always unilateral coupling had inapparent effect on leaf area, root activity and yield. Enough water could diminish the difference of effect on leaf area between high fertility and low fertility. The T5 (irrigation maximums 85%, alternate drip irrigation, nitrogen application 120 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 180 kg/hm<sup>2</sup>, double side fertilizing) of water-fertilizer coupling was the best plan for high quality and high efficiency.

**Key words:** alternate root partition drip; alternate drip irrigation; coupling of water and fertilizer; greenhouse cantaloup; yield; quality