

温室痕量灌溉条件下施肥量与追肥模式对 黄瓜产量和品质的影响

王 泉, 杨培岭*, 黄令淼

(中国农业大学, 北京 100083)

摘 要:【目的】探究痕量灌溉条件下适合温室黄瓜的施肥规律。【方法】采用对照试验方法,设3种总施肥量(高肥、中肥、低肥)和3种底肥与追肥比($K=0$ 、 $1/3$ 、 1),共9个处理,分析了温室黄瓜产量和品质的变化。【结果】①在总肥量一定时, $K=1/3$ 有利于黄瓜增产;而 K 值一定时,高肥处理产量最高,中肥处理产量较低于高肥处理,但差距不大。② K 值一定时,随着总肥量的增加,果实内可溶性糖和Vc量呈现先增后减的趋势,硝酸盐量一直增加,而可溶性固形物量在施中肥后增加趋势减缓;果实内可溶性糖、可溶性固形物和还原型Vc量在施中肥(T5)时基本达到峰值,且显著高于高肥(T8)处理;果实内硝酸盐量在施高肥(T8)时达到峰值; $K=1/3$ 时果实内可溶性糖、可溶性固形物和还原型Vc、硝酸盐积累量均高于 $K=1$ 的。【结论】综合产量与品质各指标,施中肥且 $K=1/3$ 为更适合痕量灌溉条件下温室黄瓜的施肥模式。

关 键 词:日光温室;黄瓜;痕量灌溉;施肥制度

中图分类号:S216.2; S51

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0394

王泉,杨培岭,黄令淼.温室痕量灌溉条件下施肥量与追肥模式对黄瓜产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(1):36-41.

0 引 言

地下滴灌作为一种局部灌溉,仅湿润局部土壤。湿润体的大小和含水率影响作物的生长,土壤含水率较高且通气性良好被认为是最适宜作物生长的土壤水分状况。因此,如何保证良好的土壤三相性对地下滴灌灌水器流量设计具有重要意义。当灌水器流量大于土壤的扩散能力时灌水器出口处将出现正压,这样的土壤水分可能带动土壤小颗粒流动,土壤结构也会因此受到影响,正压的产生也会影响灌水器的水力性能,而当灌水器流量为 1 L/h 时仍远大于土壤的扩散能力。目前地下滴灌灌水器流量大多为 $1\sim 2\text{ L/h}$,取值由产品生产厂家确定,灌水器流量设计很少有考虑作物的需水规律和土壤质地。为了更好地适应植物吸水规律且达到高效节水的目的,早在20世纪40年代就有科学家提出一种具有流量自动调节功能的滴灌灌水器^[1],但滴头的结构比较复杂、造价昂贵、灵敏度不高,适用性不强;之后有学者发明了一种类似于灌水器的Irristat阀门^[2],通过阀门内部吸水性胶体膨胀或收缩来控制水量大小,但当土壤含水率较低时阀门灵敏度不高;此外,也有学者提出了一种通过配套装置中的盘式供水器将灌溉水输送到作物根层,但其结构也相对复杂^[3]。而随后提出的痕量灌溉技术^[4]对毛细管束自适应性技术有了一个全新的认识和发展,具有毛细管束的控水头在毛细管束两侧分别有层滤膜,上层膜起过滤作用,下层膜起控制水流流速作用,该技术的灌水流量为 $100\sim 900\text{ mL/h}$ 。痕量灌溉作为一种新型的灌溉方式在出水量和出水方式上有了全新的发展,但与痕量灌溉技术相匹配的施肥制度仍缺少试验研究,目前已有的研究主要针对黄瓜^[5]、番茄^[6]、大桃^[7]、甜椒^[8]等进行试验。研究表明, 3.6 L/h 流量下适合温室黄瓜生长的氮素水平为 $360\text{ kg/hm}^{2[9]}$,在氮肥水平为 360 kg/hm^2 情况下全部追施适合温室黄瓜的生长^[10]。这均是基于普通滴灌方式大流量灌水器条件得出的作物的施肥规律,

收稿日期:2017-06-30

基金项目:东北四省区节水增粮高效灌溉技术与规模化示范项目(2014BAD12B00)

作者简介:王泉(1991-),男。硕士研究生。主要从事节水灌溉研究。E-mail: wangxiao0324@163

通信作者:杨培岭(1958-),男。教授。主要从事灌溉理论与技术等方面研究。E-mail: yang-pl@163.com

而当灌水器流量较小时,施肥对产量、品质的影响仍有待研究。为此,基于痕量灌溉技术,探讨温室黄瓜施肥制度,以期低流量灌溉情况下适合温室黄瓜的施肥量、追肥比例提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在北京市通州区中国农业大学试验站日光温室中进行,温室规格为68 m×8 m。供试品种为“绿玲珑”黄瓜,于2016年8月10日定植,当年11月6日拉秧,生育期内分发芽期、幼苗期、初花期和结果期4个阶段,共120 d。温室沿长度方向布置9个垄,沿宽度方向布置4个垄作为每处理的4个重复。每垄2排种植,垄长7.2 m、垄宽90 cm,垄高15 cm,每垄为1个小区,每个小区面积6.48 m²,植株行间距40 cm,株间距33 cm,痕量带埋深20 cm。每垄铺设2条痕量带,1管1行。采用北京普泉有限公司的痕量带进行灌溉,痕量带直径16 mm,每33 cm布设1个灌水器,灌水器流量为0.1 L/h。试验区土壤理化性质如表1所示。

表1 试验区土壤理化性质

土层深度/cm	全氮量/(g·kg ⁻¹)	全磷量/(g·kg ⁻¹)	全钾量/(g·kg ⁻¹)	有效铵态氮量/(mg·kg ⁻¹)	有效硝态氮量/(mg·kg ⁻¹)
0~10	1.525 0	1.390 0	22.200 0	50.950 0	32.400 0
10~20	1.310 0	1.172 0	21.700 0	38.950 0	233.000 0
20~40	1.014 5	0.837 5	22.000 0	16.100 0	175.000 0
40~60	0.815 0	0.706 5	21.600 0	12.700 0	77.950 0
60~80	0.652 5	0.671 5	22.200 0	9.965 0	82.650 0

1.2 试验设计

试验设置3种总肥量和3种追肥比例(追肥比例用K表示,即基肥量与追肥量的比例),共9个处理,详见表2。总肥量参照当地推荐肥量计算,应施肥412.81 kg/hm²(中肥),再根据推荐肥量各设2个肥量梯度,即516.98 kg/hm²(高肥)和308.64 kg/hm²(低肥)。每种总肥量下设置3种不同的底肥与追肥比(即将总肥分为二部分,一部分在种植前随水施入作物根系土壤,另一部分在作物生育期分次施入),K=0、1/3、1。施肥采用水肥一体化技术,利用比例施肥泵施入各小区^[1],盛果期追肥3次,开花坐果期和末果期追肥1次,每次追肥量均等,苗期、初花期不追肥。灌水上限为田间持水率,灌水下限为田间持水率的70%。

温室内20 cm土层田间持水率为27.6%,40 cm土层田间持水率为30.5%。根据公式 $M=100(\theta_r-\theta_i)\cdot\gamma\cdot H\cdot p$ 计算次灌水量,式中:M为每次灌水量(m³/hm²); θ_r 为灌水上限,即田间持水率; θ_i 为灌水下限(质量含水率); γ 为土壤体积质量(g/cm³);H为计划湿润层深度(m);p为土壤计划湿润比。土壤计划湿润层深度在苗期、开花结果期、结果期分别取20、40和40 cm,灌溉水压控制在0.06~0.08 kPa之间。

表2 试验处理

处理	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
总肥量/(kg·hm ⁻²)	308.64	308.64	308.64	412.81	412.81	412.81	516.98	516.98	516.98
追肥比例	0	1/3	1	0	1/3	1	0	1/3	1

1.3 测定项目与方法

试验小区布设后,每处理选取靠近痕量带滴头位置安插Trime管,监测0~10、10~20、20~40、40~60、60~80 cm土层土壤含水率,根据含水率变化情况制定检测频率,苗期每3 d测量1次,花期以后每2 d测量1次。

从植株的地上部分至株冠的最高点,用卷尺测量株高;用游标卡尺选植株地上部分约2 cm处测量株径;每个处理选取3株测量,取其平均值。

每生育期各处理均选取3株长势一致的植株,每处理的植株样本分别在3个不同小区选取,采用烘干法测量干物质量,即将植株样本装入纸袋后放入烘箱105℃杀青0.5 h,再80℃烘至恒质量(一般2 d),用电子秤称量。

每处理任意3个小区测产,每2 d观察果实的成熟度,果实达到采摘标准后对9个处理统一采摘。采摘结束后用电子秤称量。盛果期每处理任选10个果形大小一致的果实测量品质,包括Vc、可溶性蛋白、可溶性固体物、可溶性总糖,样品指标由北京市农林科学院植物营养与资源研究所测定。

采用Excel 2010进行数据统计及绘图,SPSS17.0进行方差分析(Tukey s-b(k)检验)。

2 结果与分析

2.1 试验处理对黄瓜干物质积累的影响

如表3所示,总肥量与追肥比例对黄瓜植株干物质积累量均呈现极显著影响($P<0.01$),追肥比例与总肥量的交互作用对黄瓜干物质积累量亦呈现极显著影响($P<0.01$)。T5处理的干物质积累量最高,T6、T7处理干物质积累量显著低于T5处理($P<0.05$),T4处理与T8处理干物质积累量最低,且二者间差异不显著。总体上干物质积累量为T5处理>T6、T7处理>T3处理>T1处理>T2处理>T9处理>T4、T8处理,且各差异均达到显著水平($P<0.05$)。

表3 各处理下温室黄瓜产量及其品质

处理	产量/ (kg·hm ⁻²)	干物质质量/ (kg·hm ⁻²)	可溶性总 糖量/%	还原型Vc量/ (mg·kg ⁻¹)	可溶性 固形物量/%	硝酸盐量/ (mg·kg ⁻¹)
T1	6.53×10 ⁴ e	311.38d	1.71d	48.53e	2.50a	63.19d
T2	10.20×10 ⁴ c	248.99e	1.74d	69.60c	2.46 a	78.20c
T3	8.37×10 ⁴ d	350.98c	1.73d	56.18d	2.55a	79.87c
T4	7.73×10 ⁴ d	219.58g	1.95cd	73.67b	2.69 a	83.51b
T5	11.95×10 ⁴ b	438.98a	2.57a	88.17a	2.67 a	85.49bc
T6	10.31×10 ⁴ c	382.15b	2.22b	86.19a	2.78 a	82.40bc
T7	9.90×10 ⁴ c	376.71b	1.73d	57.49d	2.65 a	90.29b
T8	13.94×10 ⁴ a	220.18g	2.09bc	68.16c	2.68 a	97.43a
T9	12.18×10 ⁴ b	239.05f	1.98c	64.43c	2.80 a	96.87a
显著性 P值	追肥比例	0.000**	0.000**	0.000**	0.310	0.000**
	总肥量	0.000**	0.000**	0.000**	0.017	0.000**
	追肥比例×总肥量	0.272	0.000**	0.001**	0.073	0.000**

注 不同字母表处理间差异达到 $P<0.05$ 水平;*,**分别表示差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$),追肥比例的自由度是2,总肥量的自由度是2,追肥比例×总肥量的自由度是4。干物质积累量为任选各处理黄瓜植株计算所得,每个处理取3株作为重复,品质各项指标均为采收果期各处理成熟果实测量,每个处理任意选取10个果实。

2.2 试验处理对黄瓜产量的影响

如表3所示,T8处理产量最高,显著高于其他处理($P<0.05$),T5处理与T9处理产量低于T8处理,但T5处理与T9处理之间产量差异不显著,T6处理与T7处理产量略低于T5处理与T9处理,T6处理与T7处理之间产量差异不显著,但显著低于T5处理与T9处理($P<0.05$)。T3处理与T4处理产量显著低于T6处理与T7处理($P<0.05$),T3处理与T4处理之间产量差异不显著,T1处理产量最低,显著低于其他处理($P<0.05$)。追肥比例与总肥量极显著提高黄瓜总产量($P<0.01$),但追肥比例与总肥量对产量的交互作用不显著。

随着施肥量或追肥比例的增加,黄瓜的产量呈现明显的增加趋势。总肥量为516.98 kg/hm²的处理产量显著高于总肥量为412.81 kg/hm²和308.64 kg/hm²的。T7处理较T4处理增产28.02%,T8处理较T5处理增产16.64%,T9处理较T6处理增产18.16%;T4处理较T1处理增产18.42%,T5处理较T2处理增产17.17%,T6处理较T3处理增产23.24%。这说明增加总肥量对不同追肥处理产生积极影响,能够放大不同追肥比间的差距。

追施比例为0的T1、T4、T7处理产量显著低于追肥量相同但追肥比例为1/3、1的处理($P<0.05$)。T8处理较T9处理增产14.16%,增幅显著($P<0.05$),T5处理较T6处理增产15.96%,达到显著水平($P<0.05$),T2处理较T3处理增产21.96%,增幅显著($P<0.05$),说明不施底肥明显减产,施底肥时追肥越多产量越高,同种追施比例的情况下总肥量越大,产量越高。黄瓜在不同生育期对于养分的需求量是不同的,相比于苗期和花期,处于生殖生长旺盛的果期对养分需求量更大,一次性底肥过多很可能导致养分淋洗,而底肥过少或不施底肥则可能导致植株在生长关键期因缺乏养分而影响生长。因此 $K=1/3$ 相对于其他2组比例更为适合,这与已有相关研究^[10-12]结果一致。T4、T5、T6处理为推荐肥量,其产量分别低于T7、T8、T9处理。说明120%推荐肥量使作物达到最高产量,植株在产量方面仍有比较大提升空间,这与张学军等^[14]研究结果一致。

2.3 试验处理对黄瓜品质的影响

2.3.1 可溶性总糖

如表3所示,随着总肥量的增加,果实内可溶性总糖量积累呈先增后减趋势,即T4处理>T7处理>T1处理、T5处理>T8处理>T2处理、T6处理>T9处理>T3处理。中肥处理较低肥处理增幅明显,分别增加了

1.75%、31.80%和20.81%；高肥处理低于中肥处理，这说明高肥不利于可溶性糖的积累，中肥更适合可溶性总糖的积累。

总肥量确定时，不施底肥($K=0$)各处理果实内可溶性总糖积累量均低于施底肥($K=1/3, K=1$)各处理，且在中肥与高肥时上述规律达到显著性差异($P<0.05$)，即T4处理显著低于T5、T6处理，T7处理显著低于T8、T9处理，这说明施底肥有利于可溶性糖的积累。施中肥与高肥时， $K=1$ 各处理的果实可溶性糖积累量显著($P<0.05$)低于 $K=1/3$ 各处理，这可能是因为 $K=1/3$ 已经达到该条件下积累可溶性糖的上限，增加底肥量对植株吸收养分作用不明显^[13]。底肥过多或过少不利于黄瓜可溶性总糖的积累，这可能是因为不施底肥导致植株在苗期养分供应不足；或者底肥过多导致土壤溶液质量浓度过高，植株难以吸收从而影响了可溶性糖的积累。总体上 $K=1/3$ 优于其他追肥比例。可见，施中肥且 $K=1/3$ 有利于黄瓜可溶性总糖的积累，这与已有研究^[14-15]结果一致。

2.3.2 可溶性固形物

如表3所示，总肥量对可溶性固形物积累量有显著影响($P<0.05$)，追肥比例对可溶性固形物积累量影响不显著，追肥比例与总肥量的交互作用对可溶性固形物积累量影响不显著。在追肥比例一定时，随着总肥量的增加果实可溶性固形物呈增加的趋势，中肥各处理果实可溶性固形物积累量较低肥增幅明显，分别为7.6%、8.54%和9.02%。而高肥各处理可溶性固形物积累量较中肥增幅不明显，说明本试验水平下，中肥已达到可溶性固形物积累量上限，继续增加肥量不能明显增加可溶性固形物的积累，不施底肥时高肥甚至抑制可溶性固形物的积累。因此施底肥且适当的增加施肥总量是必要的，施中肥更有利于果实可溶性固形物的积累。

$K=0$ 各处理果实可溶性固形物积累量与 $K=1/3$ 各处理差异不显著，但整体水平低于 $K=1$ 各处理，这说明增施底肥对果实可溶性固形物积累影响很大，这与相关研究^[14,16]结果较为一致。

2.3.3 还原型 Vc

如表3所示，追肥比例与总肥量均极显著影响果实还原型Vc积累量($P<0.01$)，但追肥比例与总肥量的交互作用对果实还原型Vc积累量影响不显著。T5、T6处理的果实还原型Vc积累量最大，显著高于其他处理($P<0.05$)。T4处理显著低于T5、T6处理($P<0.05$)，T2、T8、T9处理显著($P<0.05$)低于T4处理，T2、T8、T9处理之间差异不显著，T3、T7处理还原型Vc积累量最少。

追肥比例与总肥量对果实还原型Vc积累量的影响规律与对果实可溶性总糖的影响类似。总肥量确定时， $K=1/3$ 各处理果实还原型Vc积累量较 $K=1$ 均有增加，分别为23.89%、2.3%和5.79%；同时， $K=1/3$ 各处理果实还原型Vc积累量较 $K=0$ 也增加明显，分别增加43.42%、19.68%和18.56%，因此 $K=1/3$ 更适合果实还原型Vc的积累。总肥量的增加亦使果实还原型Vc积累量呈现先增后减的趋势，施中肥时各处理果实还原型Vc积累量均达到最大，即T4处理比T1处理高51.80%，较T7处理低28.14%，T5处理比T2处理高26.68%，较T8处理高29.36%，T6处理比T3处理高53.42%，较T9处理高33.77%。而高肥较低肥增幅不明显，这说明过度的施肥可能不利于甚至抑制果实中还原型Vc的积累。因此，中肥更适合果实还原型Vc的积累，这与已有研究^[15,18]结果一致。

2.3.4 硝酸盐

硝酸盐属于有毒物质，硝酸盐的积累不利于提高果实品质。如表3所示，各处理的硝酸盐积累量均保持在较高水平，总体上低肥与中肥的硝酸盐积累量差异不大，高肥的硝酸盐积累量高于中肥和低肥。在施中肥或高肥时，追肥比例对硝酸盐的积累影响不显著，因此追肥比例不会成为硝酸盐积累的主要因素。在施肥比例确定时，硝酸盐积累随着总肥量的增加有明显的增加趋势，在 $K=0$ 或 $K=1/3$ 条件下，增加总肥量果实中硝酸盐呈现明显的梯度增加，而在 $K=1$ 时，低肥与中肥的硝酸盐积累量较为接近，均保持在80 mg/kg左右，而高肥较中肥硝酸盐量增幅明显，即T9、T8处理果实硝酸盐量分别较T6、T5处理高17.56%和13.97%。

可见，在同样的追肥比例情况下，施中肥时果实品质的其他3个指标，即可溶性总糖、可溶性固形物和Vc均达到了各自施肥标准的最高水平。在施中肥时，植物已经能够在不增加硝酸盐的同时更充分的利用土壤中的养分。亚硝酸盐属于致癌物质，应在增加肥量的同时尽量降低硝酸盐的量。高肥产生的硝酸盐远低于国家对无公害蔬菜安全要求的瓜果类蔬菜的标准(≤ 438 mg/kg, GB18406.1—2001)，因此本试验各处理的硝酸盐量均到达合格水平，故推荐采用施中肥，且 $K=1/3$ 的施肥方式。

3 讨论

在黄瓜植株全生育期内,若将总肥量全部用于基肥,则会由于一次性施肥量较大,造成黄瓜植株根系土壤肥溶液质量浓度过高,产生“烧苗”现象。此外黄瓜对水分需求量大,尤其是在膨果期需要昼夜不停供水,而膨果期内大量供水可能使肥料随水向更深层运移,造成养分流失,最终导致后期黄瓜养分供应不足。若将总肥量全部用于追肥,而很可能导致黄瓜植株苗期养分供应不足,直接影响植株生长。因此,将总肥量按一定比例分为底肥与追肥2部分,兼顾植株苗期与果期生长,且分次施肥将更有利于作物对养分的吸收,提高肥料利用率。在追肥比例为 $K=1/3$ 时,高肥处理(T8)产量最高,但果实干物质积累量、可溶性总糖和还原型Vc共3项指标均显著低于中肥处理(T5),高肥处理(T8)与中肥处理(T5)的果实可溶性固形物积累量无显著差异。果实硝酸盐积累量上,中肥处理(T5)也显著低于高肥处理(T8)。根据无公害蔬菜安全要求瓜果蔬菜的标准,果实内硝酸盐量越低越好。因此,综合比较产量与品质各项指标,认为在追肥比例为 $K=1/3$ 时,中肥更有利于痕量灌溉条件下温室黄瓜产量与品质的提高。

果实的营养物质影响果实的口感与品质,可溶性糖、Vc属于黄瓜的营养品质指标,其值的高低直接决定黄瓜的营养价值,同时也影响黄瓜的商品价值。可溶性固形物是指黄瓜中溶质的量,主要由可溶性糖和有机酸等营养成分组成,是衡量黄瓜品质和果实加工特性的重要指标。改善黄瓜植株的水肥管理有利于提高果实内可溶性糖、Vc的积累。在同种追肥比例情况下,随着施肥量的增加,可溶性糖和还原型Vc呈现先增后减的趋势,可溶性固形物量在呈现增加趋势后逐渐减缓,硝酸盐量一直在增加,这与已有研究结果“中肥与高肥对可溶性固形物积累量的影响不显著,Vc和可溶性糖均在中肥时达到最大值,而硝酸盐量一直呈增长趋势”^[9]一致。

在施肥总量确定时,随着追肥比例的增加,果实内可溶性总糖、可溶性固形物、还原型Vc和硝酸盐均呈先上升后下降趋势,表现为T2处理>T3处理>T1处理、T5处理>T6处理>T4处理、T8处理>T9处理>T7处理。这与已有研究结果“不施底肥全部追肥更有利于可溶性总糖、可溶性固形物、还原型Vc、硝酸盐的积累”^[15]有出入,但总体上都是认为少施底肥、增加追肥量有利于果实品质的提高。考虑到2种灌溉方式的不一致,痕量灌溉是一种新型的灌溉方式,还需进一步试验研究确定。已有研究^[18]表明,氨基酸、可溶性糖和有机酸量的提高能使黄瓜风味浓郁、口感更佳。增加果实内可溶性糖、可溶性固形物和还原型Vc量并且减少硝酸盐含量将更有利于果实品质的提升^[19-21]。因此本研究结果表明,施中肥且 $K=1/3$ 的施肥模式更有利于黄瓜产量和品质的提高。

4 结论

在同种追肥比例情况下,中肥条件下黄瓜果实内可溶性糖和还原型Vc积累量最高,高肥与中肥处理黄瓜果实内可溶性固形物积累量均较高且二者之间差异不大,高肥条件下果实内硝酸盐积累量最高。因此,中肥最有利于果实品质的提高。

将总肥量分为底肥与追肥最有利于黄瓜果实内可溶性总糖、可溶性固形物和还原型Vc量的积累,因此推荐 $K=1/3$ 的追肥模式。 $K=1/3$ 时,高肥处理虽然产量较高,但品质各指标较低;而中肥处理虽产量略低于高肥处理,但品质各指标显著高于高肥处理。因此,综合产量、品质指标,推荐施中肥且追肥比例 $K=1/3$ 为本试验条件最适宜温室黄瓜施肥模式。

致谢:特别感谢王振明技术员和崔皓博师兄对本试验的长期关注和细心指导。

参考文献:

- [1] RICHARDS La, LOOMI We. Limitations of auto-irrigations for controlling soil moisture under growing plant[J]. Plant Physiology, 1942, 17(2): 223-235.
- [2] MITSUBISHI Chem Crop(MITU). Negative pressure difference irrigation system has pair of pipes which connect ends of porous pipe, embedded in soil layer, to separate reservoirs, arranged at lower, to perform forced water flow: JP10323133-A[P]. 1998-09-15.
- [3] 邹朝望,薛绪掌,张仁铎,等. 负水头灌溉原理与装置[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11):17-22.
- [4] 张锐,刘洁,诸钧,等. 实现作物需水触动式自适应灌溉的痕量灌溉技术分析[J]. 节水灌溉, 2013(1):48-51.
- [5] 沈富. 痕量灌溉管理对沙培黄瓜、基质培西葫芦、土培辣椒生长发育的影响研究[D]. 银川:宁夏大学, 2015.
- [6] 丛丽君. 自压和加压条件下痕量灌溉管道不同埋深对日光温室番茄产量和品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2016.
- [7] 王志平,周继华,诸钧,等. 痕量灌溉在温室大桃上的应用[J]. 中国园艺文摘, 2011, 27(4):10-11.
- [8] 安顺伟,周继华,刘宝文,等. 痕量灌溉条件下不同施肥量对甜椒产量和品质的影响[J]. 中国园艺文摘, 2013(4):17-18.

- [9] 李志军, 李静, 张富仓, 等. 水氮供应对温室滴灌施肥黄瓜产量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(12):143-150.
- [10] 方栋平, 吴立峰, 张富仓, 等. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和养分吸收的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(11): 34-41.
- [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] 陈静, 王迎春, 李虎, 等. 滴灌施肥对冬小麦农田土壤 NO_3^- -N分布、累积及氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4):927-935.
- [13] 方栋平, 张富仓, 李静, 等. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6):1 735-1 742.
- [14] 张学军, 赵营, 任福聪, 等. 滴灌条件下施氮量对黄瓜-番茄种植体系中土体 NO_3^- -N淋洗的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4):157-162.
- [15] 张亚南. 滴灌表施肥料对土壤水氮运移规律的影响[D]. 邯郸:河北工程大学, 2015
- [16] 杨志远, 宋健, 黄重文, 等. 痕量灌溉下不同水肥处理对温室黄瓜生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(1):74-78.
- [17] 方荣杰, 江斌伟, 房军, 等. 日光温室地下滴灌条件下黄瓜水氮耦合效应研究[J]. 节水灌溉, 2015(12):21-24.
- [18] 王柳, 张福堤, 魏秀菊, 等. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12):225-229.
- [19] 王丽英, 武雪萍, 张彦才, 等. 适宜施氮量保证滴灌日光温室黄瓜番茄产量降低土壤盐分及氮残留[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17):91-98.
- [20] 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.
- [21] 张西平, 蔡焕杰, 王健, 等. 日光温室膜下滴灌黄瓜需水量与灌溉制度的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1):41-44.

Impact of Fertilization and Top-addressing on Yield and Quality of Solar Greenhouse Cucumber under Trae Irrigation

WANG Xiao, YANG Peiling*, HUANG Lingmiao

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】The objective of this paper is to explore the most suitable fertilization and top-addressing schedule for solar greenhouse cucumbers under trace irrigation. 【Method】We investigated three total fertilizer applications: high, moderate and low fertilization; and three base fertilization to top dressing ratios: $K=0, 1/3$ and 1 respectively; overall, there were nine treatments. In each treatment, we measured the yield and quality of the cucumber using the controlled test method. 【Result】① $K=1/3$ was beneficial to the yield when the amount of applied fertilizer was the same; when K was the same, the yield increased with fertilization and topdressing. ② When K was the same, the soluble total sugar and Vc content in the fruits increased first and then decreased while the nitrate content increased monotonically, as nitrogen fertilization increased. The content of soluble sugar, soluble solids and Vc in the fruits peaked in treatment T5 and was significantly higher than that under high fertilization treatment (T8). The amount of nitrate in the fruits peaked in the high-fertilizer application (T8). When $K=1/3$, the contents of soluble sugar, soluble solids reduced, and Vc and nitrate accumulation in the fruit were higher than that when $K=1$. 【Conclusion】Moderate fertilization with the base fertilizer to top dressing ratio kept at $1/3$ is most suitable for trace-irrigate solar greenhouse cucumber.

Key words: solar greenhouse; cucumber; trace irrigation; fertilization system

责任编辑:刘春成