

诸海焘,蔡树美,李建勇,等.不同施肥方式对设施黄瓜产量及水肥利用效率的影响[J].上海农业学报,2021,37(1):93-97.

## 不同施肥方式对设施黄瓜产量及水肥利用效率的影响

诸海焘<sup>1</sup>,蔡树美<sup>1\*</sup>,李建勇<sup>2</sup>,张德闪<sup>1</sup>,付子轶<sup>1</sup>,徐四新<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>上海市农业科学院生态环境保护研究所,上海市设施园艺技术重点实验室,农业部上海农业环境与耕地保育科学观测实验站,上海 201403;<sup>2</sup>上海市农业技术推广服务中心,上海 201103)

**摘要:**为提高设施黄瓜产量和水肥利用效率,以黄瓜‘碧玉’为试材,通过设置全营养滴灌施肥区( $T_F$ NPK)、滴灌施肥无氮区( $T_F$ PK)、滴灌施肥无磷区( $T_F$ NK)、滴灌施肥无钾区( $T_F$ NP)、全营养沟灌冲施对照区( $T_C$ NPK)等不同施肥方式,调查各处理地上部茎、叶、果实的累积生物量及氮、磷、钾养分含量,明确滴灌施肥技术对提高肥料氮、磷、钾养分利用率的效果。结果表明:滴灌施肥技术有利于黄瓜植株地上部各器官的均衡生长,显著提高黄瓜产量,全营养滴灌施肥处理下每 667 m<sup>2</sup> 黄瓜产量为 4 921.8 kg,比常规冲施对照提高 6.90%;缺少氮、磷、钾任一元素均会降低黄瓜产量,其中缺氮对黄瓜产量影响最大,缺磷其次,缺钾影响最小,全营养滴灌施肥处理氮、磷、钾吸收量分别比常规冲施(对照)提高 10.44%、14.45% 和 14.54%。滴灌施肥可显著提高黄瓜产量和水肥利用效率,滴灌施肥的氮、磷、钾利用率较常规冲施(对照)分别提高了 7.51%、10.66% 和 15.40%。

**关键词:**滴灌施肥;氮磷钾利用率;黄瓜;产量;吸收量

**中图分类号:**S642.2;S158 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3924(2021)01-093-05

## Effects of technology of integrated management of water and fertilizer on yield and fertilizer utilization in cucumber

ZHU Haitao<sup>1</sup>,CAI Shumei<sup>1\*</sup>,LI Jianyong<sup>2</sup>,ZHANG Deshan<sup>1</sup>,FU Zishi<sup>1</sup>,XU Sixin<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup>Eco-environment Protection Research Institute,Shanghai Academy of Agricultural Sciences;Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology;Shanghai Scientific Observation and Experimental Station for Agricultural Environment and Land Conservation,Shanghai 201403,China;<sup>2</sup>Shanghai Agro-Technology Extension and Service Center,Shanghai 201103,China)

**Abstract:** In order to increase yield and the utilization for water and fertilizer, the effects of different irrigation styles such as drip fertigation of total nutrient ( $T_F$ NPK), drip fertigation under N-deficiency ( $T_F$ PK), drip fertigation under P-deficiency ( $T_F$ NK), drip fertigation under K-deficiency ( $T_F$ NP), conventional irrigation and fertilization ( $T_C$ NPK) on the growth as well as NPK utilization were analyzed in the cultivar ‘Biyu cucumber’. The results showed that drip fertilization favored the balanced growth of various organs of cucumber. The yield of cucumber every 667 m<sup>2</sup> was 4 921.8 kg in  $T_F$ NPK treatment. Compared with conventional treatment ( $T_C$ NPK), the yield of cucumber in  $T_F$ NPK increased by 6.90% significantly. The yield decreased high level without application of nitrogen, phosphorus or potassium. The effects on cucumber yield were in order: nitrogen > phosphorus > potassium. The absorption of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O in  $T_F$ NPK increased by 10.44%, 14.45% and 14.54% over  $T_C$ NPK. Therefore, the drip fertigation can noticeably improve the yield, the utilization rates of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O in  $T_F$ NPK increased by 7.51%, 10.66% and 15.40% over  $T_C$ NPK.

**Key words:** Drip fertigation; Utilization rate of NPK; Cucumber; Yield; Absorption quantity

收稿日期:2019-10-30

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0201008);上海市科技兴农推广项目[沪农科推字(2017)第1-3号、沪农科推字(2018)第4-14号]

作者简介:诸海焘(1980—),男,本科,副研究员,主要从事新型肥料与施肥、作物养分高效利用等研究

\* 共同第一作者

\*\* 通信作者, E-mail: xsxofsaas@163.com

滴灌施肥技术在中国又称为微灌施肥技术<sup>[1]</sup>,是借助压力系统将可溶性固体或液体肥料,按土壤养分含量和蔬菜作物需肥规律的特点,配兑成肥液与灌溉水一起相融后,利用可控管道系统供水、供肥,将水分、养分均匀、定时、定量按比例直接提供给作物<sup>[2]</sup>,该技术在节水、提高肥料利用率、增加作物产量和品质、节省劳动力、改善土壤环境等方面具有显著优势<sup>[3-4]</sup>。

原农业部2015年提出,力争到2020年主要农作物化肥用量实现零增长,肥料利用率达到40%以上,灌溉施肥技术作为既能提高肥料利用率、又可节水省工的技术受到学者的广泛关注。由于我国是一个缺水农业大国,很多学者对通过灌溉施肥技术提高灌溉水利用效率做了大量研究,邹晓霞<sup>[5]</sup>总结了14篇与微灌有关的文献,结果显示微灌的节水幅度为35%—70%,平均节水率为52.7%,节水效果显著。刘兰育等<sup>[6]</sup>在新疆棉花上的研究表明,膜下滴灌可提高灌溉水的利用效率,与沟灌相比可节水53.96%。而在灌溉施肥技术对提高肥料利用率方面,文献报道多集中在粮食、棉花、果树等作物上,张国桥等<sup>[7]</sup>研究了水肥一体化对玉米磷利用效率的影响,张大鹏等<sup>[8]</sup>研究了滴灌施肥对苹果氮素吸收与利用的影响,但在设施蔬菜方面的研究不多。本研究通过设置全营养滴灌施肥、滴灌施肥无氮区、滴灌施肥无磷区、滴灌施肥无钾区、常规沟灌冲施区(对照)等不同施肥方式,调查各处理地上部茎、叶、瓜累积生物量及氮磷钾养分含量,明确灌溉施肥技术对提高设施黄瓜肥料氮、磷、钾养分利用率的效果,为化肥的合理减施提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验地点位于上海市农业科学院庄行试验站新建大棚(8m×40m),土壤基础肥力为:有机质15.67g/kg,全氮1.23g/kg,碱解氮105.3mg/kg,有效磷28.39mg/kg,速效钾160mg/kg;设置5个处理,3次重复,随机区组排列。试验小区长13m,宽1.6m,面积21m<sup>2</sup>。黄瓜幼苗长到3—4片真叶时定植。2016年8月21日起垄做畦,8月22日施基肥、覆膜。黄瓜品种为‘碧玉’,播种日期8月25日,9月9日移栽,垄宽1.1—1.2m,每棚5垄,一垄双行定植。每垄铺滴灌带2条,每条滴灌带进水口上装独立闭合开关,方便不同处理间单独灌溉施肥。

### 1.2 试验设计

试验设5个处理,分别为:等氮磷钾常规冲施对照(T<sub>c</sub>NPK),无氮等磷钾滴灌施肥处理(T<sub>r</sub>PK),无磷等氮钾滴灌施肥处理(T<sub>r</sub>NK),无钾等氮磷滴灌施肥处理(T<sub>r</sub>NP)和氮磷钾滴灌施肥处理(T<sub>r</sub>NPK)。试验棚的东端放4个滴灌施肥处理,最西端放常规冲施处理,滴灌区与冲施区用土工膜隔离,土工膜入土深度30cm,肥料用量和运筹见表1,全生育期施基肥1次,追肥6次。滴灌施肥区采用膜下滴灌,施肥用TF2502比例式注肥泵按小区滴灌施肥,常规施肥开沟撒施后浇水冲施,每次灌水量0.3m<sup>3</sup>/垄,各处理其他病虫害防治和农艺措施等保持一致。

表1 黄瓜试验方案  
Table 1 Experimental design of cucumber fertilization

序号	处理编号	施肥时期	肥料种类	667 m <sup>2</sup> 每次肥料用量/ kg	施肥次数	667 m <sup>2</sup> 总施肥量(N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)/kg
1	T <sub>c</sub> NPK	基肥	三元复合肥、磷酸二氢铵	20, 2.1	1	12-6-10
		追肥	三元复合肥、尿素、硫酸钾	2, 2.5, 1.64	6	
2	T <sub>r</sub> PK	基肥	磷酸二氢钾	8.2	1	0-6-10
		追肥	磷酸二氢钾、硫酸钾	0.58, 1.89	6	
3	T <sub>r</sub> NK	基肥	尿素、硫酸钾	7.4, 3.8	1	12-0-10
		追肥	尿素、硫酸钾	3.1, 2.5	6	
4	T <sub>r</sub> NP	基肥	尿素、磷酸二氢铵	5.6, 6.9	1	12-6-0
		追肥	尿素、磷酸二氢铵	3, 0.49	6	
5	T <sub>r</sub> NPK	基肥	尿素、磷酸二氢钾	7.3, 8.2	1	12-6-10
		追肥	喜冲冲28-8-15、尿素、硫酸钾	3.75, 0.85, 1.20	6	

注:各肥料养分含量为磷酸二氢钾含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 51.6%、K<sub>2</sub>O 34.2%;硫酸钾含K 52.9%;磷酸二氢铵含N 12%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 61%;复合肥含N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O为15%-15%-15%;尿素含N 46%。

### 1.3 记录项目

每小区定点选取20株,编号并挂吊牌,收集被挂牌植株整个生育期的整枝及落叶,记录其质量。自黄瓜开始采收起,每次采摘时记录黄瓜果实质量并留取样品供检测。结束期测单株总生物量并留茎叶样

品。将每次采集的地上部样品称鲜重后,于 105 °C 干燥箱杀青 30 min,然后在 65 °C 干燥箱烘干至恒重,称干重。

#### 1.4 检测指标

将黄瓜地上部分茎、叶烘干后粉碎待测,黄瓜样品直接鲜样测定。样品通过  $H_2SO_4-H_2O_2$  消化后,用半微量凯氏定氮法、钒钼黄比色法和火焰光度法测定植株全 N、P、K 含量,并按公式计算肥料氮磷钾当季利用效率。

氮肥利用率 = (施氮区蔬菜地上部分吸氮量 - 等磷钾的无氮区蔬菜地上部分吸氮量) / 施氮量 × 100% ;

磷肥利用率 = (施磷区蔬菜地上部分吸磷量 - 等氮钾的无磷区蔬菜地上部分吸磷量) / 施磷量 × 100% ;

钾肥利用率 = (施钾区蔬菜地上部分吸钾量 - 等氮磷的无钾区蔬菜地上部分吸钾量) / 施钾量 × 100% 。

维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法测定,可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[9]</sup>。

#### 1.5 数据计算

采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行统计分析,采用 LSD 法进行差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对黄瓜产量和品质的影响

从表 2 可知,等氮磷钾滴灌施肥区黄瓜产量最高,每 667 m<sup>2</sup> 的产量为 4 921.8 kg,比等氮磷钾冲施对照提高 6.90%,差异达显著水平。3 个缺素处理均表现减产,其中无氮处理减产幅度最大,比等氮磷钾冲施对照(CK)减产 20.38%,无磷施肥区减产幅度其次,比 CK 减产 14.96%,差异均达显著水平。无钾施肥区黄瓜减产幅度最小,仅比等氮磷钾冲施对照减产 0.96%,无显著差异。黄瓜单果质量与产量趋势表现一致,无氮施肥区单果质量最低,等氮磷钾滴灌区最高,平均单果质量为 89.3 g。

表 2 不同施肥处理对黄瓜产量和品质的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on yield and quality of cucumber

处理	可溶性糖含量/%	维生素 C 含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )	单果质量/g	每 667m <sup>2</sup> 产量/kg	增产比例/%
等氮磷钾冲施对照	4.21 ± 0.11 a	108.40 ± 3.10 ab	86.40 ± 7.24 ab	4 604.0 ± 105.3 b	-
无氮等磷钾施肥区	4.03 ± 0.15 a	103.10 ± 1.34 bc	75.70 ± 3.12 c	3 665.6 ± 54.7 d	-20.38
无磷等氮钾施肥区	4.20 ± 0.18 a	112.70 ± 2.46 a	78.60 ± 4.84 bc	3 915.0 ± 75.6 c	-14.96
无钾等氮磷施肥区	4.15 ± 0.09 a	98.30 ± 1.45 c	83.40 ± 6.14 abc	4 560.0 ± 118.4 b	-0.96
等氮磷钾滴灌施肥区	4.32 ± 0.10 a	111.50 ± 2.61 ab	89.30 ± 5.70 a	4 921.8 ± 60.1 a	6.90

注:数据后不同小写字母表示 0.05 水平差异显著,下同。

不同处理间黄瓜维生素 C 含量结果表明,与等氮磷钾冲施对照比较,无氮区和无钾区维生素 C 含量分别降低了 4.89% 和 9.32%,其中无钾区差异达显著水平,无磷区和等氮磷钾滴灌施肥区黄瓜维生素 C 比常规对照增加了 3.97% 和 2.86%,但差异均未达显著水平。可溶性糖指标 3 个缺素区处理均低于等氮磷钾冲施对照,而等氮磷钾滴灌施肥区比对照增加了 0.11 个百分点,但差异未达显著水平,说明科学合理氮磷钾配比和灌溉施肥方式,可以提高黄瓜果实的维生素 C 和可溶性糖含量,从而提升黄瓜的口感和食用品质。

### 2.2 不同施肥处理对黄瓜地上部各器官氮磷钾吸收量影响

通过对全生育期地上部各器官样品的生物量进行统计,分别测定各器官样品的氮、磷、钾含量,可以计算出黄瓜不同部位氮(表 3)、磷(表 4)、钾(表 5)的累积吸收量和不同部位吸收比例。结果表明:不同

表 3 不同施肥处理黄瓜地上部器官吸氮量及吸收比例

Table 3 Nitrogen absorption and absorption ratio of cucumber organs of different fertilization treatments

处理	果实		茎		叶片		打杈落叶		整株
	每 667 m <sup>2</sup> 吸氮量/kg	占整株吸收比例/%	每 667 m <sup>2</sup> 吸氮量/kg	占整株吸收比例/%	每 667 m <sup>2</sup> 吸氮量/kg	占整株吸收比例/%	每 667 m <sup>2</sup> 吸氮量/kg	占整株吸收比例/%	每 667 m <sup>2</sup> 吸氮量/kg
等氮磷钾冲施对照	6.35 a	73.66	0.65 ab	7.55	1.05 b	12.18	0.57 a	6.61	8.62 a
无氮等磷钾施肥区	4.14 c	70.89	0.54 b	9.25	0.91 c	15.58	0.25 b	4.28	5.84 c
无磷等氮钾施肥区	5.17 b	72.10	0.57 b	7.95	1.02 b	14.22	0.41 ab	5.73	7.17 b
无钾等氮磷施肥区	5.65 b	70.71	0.72 a	9.01	1.13 ab	14.14	0.49 ab	6.14	7.99 b
等氮磷钾滴灌施肥区	6.89 a	72.37	0.73 a	7.64	1.32 a	13.90	0.58 a	6.09	9.52 a

注:器官吸氮(或磷、钾)量 = 器官(茎、叶、瓜)干物质量 × 器官的含氮(或磷、钾)量,下同。

器官间比较,黄瓜果实中的氮、磷、钾吸收量占比最高,果实中氮、磷、钾吸收量分别占到整株吸收量的70.71%—73.66%、76.28%—78.82%和66.96%—69.43%。各处理黄瓜茎中氮、磷、钾吸收量分别占到整株吸收量的7.55%—9.25%、5.63%—6.71%、14.70%—16.67%,各处理黄瓜叶片中氮、磷、钾吸收量分别占到整株吸收量的12.18%—15.58%、7.36%—10.65%、8.21%—9.15%,打杈落叶中氮、磷、钾吸收量分别占到整株吸收量的4.28%—6.61%、5.90%—7.09%、5.94%—7.87%。

表4 不同施肥处理黄瓜地上部器官吸磷量及吸收比例

Table 4 Phosphorus absorption and absorption ratio of cucumber organs of different fertilization treatments

处理	果实		茎		叶片		打杈落叶		整株
	每667 m <sup>2</sup> 吸磷量/kg	占整株吸收比例/%	每667 m <sup>2</sup> 吸磷量/kg	占整株吸收比例/%	每667 m <sup>2</sup> 吸磷量/kg	占整株吸收比例/%	每667 m <sup>2</sup> 吸磷量/kg	占整株吸收比例/%	
等氮磷钾冲施对照	3.45 a	77.88	0.26 b	5.87	0.43 ab	9.71	0.29 a	6.54	4.43 b
无氮等磷钾施肥区	3.12 ab	76.28	0.26 b	6.36	0.42 ab	10.27	0.29 a	7.09	4.09 bc
无磷等氮钾施肥区	2.94 b	78.82	0.21 c	5.63	0.36 b	9.65	0.22 b	5.90	3.73 c
无钾等氮磷施肥区	3.34 ab	79.33	0.29 b	6.89	0.31 c	7.36	0.27 ab	6.42	4.21 b
等氮磷钾滴灌施肥区	3.89 a	76.72	0.34 a	6.71	0.54 a	10.65	0.30 a	5.92	5.07 a

表5 不同施肥处理黄瓜地上部器官吸钾量及吸收比例

Table 5 Potassium absorption and absorption ratio of cucumber organs of different fertilization treatments

处理	果实		茎		叶片		打杈落叶		整株
	每667 m <sup>2</sup> 吸钾量/kg	占整株吸收比例/%	每667 m <sup>2</sup> 吸钾量/kg	占整株吸收比例/%	每667 m <sup>2</sup> 吸钾量/kg	占整株吸收比例/%	每667 m <sup>2</sup> 吸钾量/kg	占整株吸收比例/%	
等氮磷钾冲施对照	7.18 b	67.80	1.73 a	16.34	0.87 b	8.21	0.81 a	7.65	10.59 b
无氮等磷钾施肥区	7.02 b	68.22	1.61 a	15.65	0.85 b	8.26	0.81 a	7.87	10.29 b
无磷等氮钾施肥区	6.83 bc	66.96	1.70 a	16.67	0.89 b	8.72	0.78 a	7.65	10.20 b
无钾等氮磷施肥区	6.61 c	69.43	1.40 b	14.70	0.87 b	9.15	0.64 a	6.72	9.52 c
等氮磷钾滴灌施肥区	8.37 a	69.00	1.95 a	16.08	1.09 a	8.98	0.72 a	5.94	12.13 a

不同器官间氮、磷、钾三要素吸收量比较,各器官吸氮量占整株吸收比例从高到低顺序为:果实>叶片>茎>打杈落叶(表3),各器官吸磷量占整株吸收比例从高到低顺序为:果实>叶片>打杈落叶>茎(表4),各器官吸钾量占整株吸收比例从高到低顺序为:果实>茎>叶片>打杈落叶(表5)。

不同施肥处理间比较,各器官中氮、磷、钾整株累积吸收量表现基本一致,等氮磷钾滴灌施肥区养分吸收量最高,其次为等氮磷钾冲施对照区,缺素区最低。其中,整株吸氮量等氮磷钾滴灌施肥区和等氮磷钾冲施对照区显著高于其他3个缺素区,滴灌施肥和常规冲施间无显著差异;整株吸磷量和吸钾量等氮磷钾滴灌施肥区显著高于等氮磷钾冲施区和其他3个缺素区。

### 2.3 不同施肥处理对黄瓜养分吸收量和肥料利用率的影响

从表6数据可知,等氮磷钾冲施对照区每667 m<sup>2</sup>氮、磷、钾的吸收量分别为8.62 kg、4.43 kg、10.59 kg,三要素累积吸收量为23.64 kg,等氮磷钾滴灌施肥区氮磷钾三要素累积吸收量为26.72 kg,比对照区提高了13.03%,氮、磷、钾单元素吸收量分别比常规冲施对照提高了10.44%、14.45%和14.54%。经差减法计算,冲施对照区氮、磷、钾当季利用率分别为23.16%、11.67%和10.7%,而滴灌施肥区氮磷钾利用率分别达到了30.67%、22.33%和26.1%,较冲施对照区分别提高了7.51%、10.66%和15.40个百分点,表明采用滴灌施肥技术可有效提高肥料利用率,减少肥料的流失浪费。

表6 不同施肥处理的化肥氮磷钾利用率

Table 6 Nitrogen, phosphorus and potassium use percent of different fertilization treatments

处理	每667 m <sup>2</sup> 养分吸收量/kg			每667 m <sup>2</sup> 施入养分量/kg			肥料利用率/%		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
等氮磷钾冲施对照	8.62 a	4.43 b	10.59 b	12	6	10	23.16	11.67	10.7
无氮等磷钾施肥区	5.84 c	4.09 bc	10.29 b	0	6	10	-	-	-
无磷等氮钾施肥区	7.17 b	3.73 c	10.20 b	12	0	10	-	-	-
无钾等氮磷施肥区	7.99 b	4.21 b	9.52 c	12	6	0	-	-	-
等氮磷钾滴灌施肥区	9.52 a	5.07 a	12.13 a	12	6	10	30.67	22.33	26.1

注:滴灌施肥区氮区肥料利用率=(滴灌施肥区蔬菜地上部分吸氮量-等磷钾的无氮区蔬菜地上部分吸氮量)/施氮量×100%;常规冲施区氮肥利用率=(常规冲施区蔬菜地上部分吸氮量-等磷钾的无氮区蔬菜地上部分吸氮量)/施氮量×100%;磷钾利用率同样计算。

## 2.4 不同施肥处理对黄瓜生产效益分析

由表7可见,黄瓜滴灌施肥技术平均每667 m<sup>2</sup>可节水95 t,节约51.4%;水溶肥肥料成本每667 m<sup>2</sup>增加112元(人民币,下同);灌溉施肥省工55.6%,全生产过程省工5工,综合效益较常规冲施每667 m<sup>2</sup>增加1 283.9元,其中节约成本330.5元。

表7 黄瓜滴灌施肥技术应用效益分析  
Table 7 Analysis of Economic benefit of Drip fertilization in cucumber

处理	节水		节肥		省工		增产增收	
	每667 m <sup>2</sup> 用水量/t	金额/元	每667 m <sup>2</sup> 化肥纯量/kg	金额/元	每667 m <sup>2</sup> 灌溉施肥/工	金额/元	每667 m <sup>2</sup> 产量/kg	金额/元
等氮磷钾滴灌施肥	90	135.0	28	280	4	240.0	4 921.8	14 765.4
等氮磷钾冲施对照	185	277.5	28	168	9	540.0	4 604.0	13 812.0
两者差值	-95	-142.5	0	112	-5	-300.0	317.8	953.4

注:黄瓜用水量根据灌溉时间和流量测算,水价1.5元/t,黄瓜3元/kg。

## 3 讨论与结论

3.1 滴灌施肥可提高黄瓜产量,等氮磷钾滴灌施肥区每667 m<sup>2</sup>黄瓜产量为4 921.8 kg,比等氮磷钾冲施对照提高6.90%,差异达显著水平。3个缺素处理均表现减产,其中缺氮对黄瓜产量影响最大,缺磷其次,缺钾影响最小,说明缺少氮磷钾任一元素均会降低黄瓜产量。等氮磷钾滴灌施肥区黄瓜维生素C和可溶性糖含量均高于等氮磷钾冲施对照,其中维生素C含量提高了2.86%,可溶性糖含量提高了0.11个百分点,有效提升了黄瓜口感和食用品质。缺少任一元素均会降低黄瓜维生素C和可溶性糖的含量,其中缺钾区维生素C含量最低,且差异达显著水平,这与张恩平等<sup>[10]</sup>钾肥处理对维生素C含量影响显著的研究结果一致,表明钾元素对改善黄瓜品质有重要影响。

3.2 不同器官间氮、磷、钾三要素吸收量比较,各器官吸氮量占整株吸收比例为:果实>叶片>茎>打杈落叶,各器官吸磷量占整株吸收比例为:果实>叶片>打杈落叶>茎,各器官吸钾量占整枝吸收比例为:果实>茎>叶片>打杈落叶。三要素中氮和钾的吸收比例顺序较为相似,都是果实中养分吸收量最高,整枝落叶中吸收量最低,区别在于吸氮量叶片>茎,而吸钾量茎>叶片,这应该是与器官中氮、钾含量有关。

3.3 滴灌施肥可显著提高肥料利用率,氮、磷、钾利用率分别为30.67%、22.33%、26.1%,滴灌施肥的氮、磷、钾利用率较常规冲施对照分别提高了7.51、10.66和15.4个百分点,其中钾素的利用率偏低,可能是因为试验土壤供钾相对较充足,不施钾肥对黄瓜产量影响较小。

3.4 从经济效益分析,虽然水溶肥价格比普通肥料每667 m<sup>2</sup>增加了112元,但滴灌施肥可减少施肥用工和用水成本,而且还可提高黄瓜产值,综合效益较常规冲施每667 m<sup>2</sup>增加1 283.9元,经济效益显著。

## 参 考 文 献

- [1] 李传哲,许仙菊,马洪波,等.水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展[J].江苏农业学报,2017,33(2):469-475.
- [2] 诸海焘,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.
- [3] 高祥照,杜森,钟永红,等.水肥一体化发展现状与展望[J].中国农业信息,2015(4):14-19,63.
- [4] 杨军,廉晓娟,王艳,等.滴灌条件下不同灌溉量对芹菜耗水量和水分利用效率的影响[J].江苏农业学报,2016,32(3):656-661.
- [5] 邹晓霞.节水灌溉与保护性耕作应对气候变化效果分析[D].北京:中国农业科学院,2013.
- [6] 刘兰育,柴付军,李明思.棉花膜下滴灌技术研究与应用[J].新疆农垦科技,2002(2):26-28.
- [7] 张国桥,王静,刘涛,等.水肥一体化施肥对滴灌玉米产量、磷素营养及磷肥利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(5):1103-1109.
- [8] 张大鹏,姜远茂,彭福田,等.滴灌施肥对苹果氮素吸收和利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):1010-1018.
- [9] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [10] 张恩平,谭福雷,王月,等.氮磷钾与有机肥配施对番茄产量品质及土壤酶活性的影响[J].园艺学报,2015,42(10):2059-2067.

(责任编辑:张睿)