

韩佳芮,吴文婧,陈 翀,等. 灌水量和施氮量对番茄产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(19):145-151.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.19.032

# 灌水量和施氮量对番茄产量、品质和氮肥利用率的影响

韩佳芮<sup>1</sup>, 吴文婧<sup>2</sup>, 陈 翀<sup>1</sup>, 刘晓伟<sup>3</sup>

(1. 海南大学林学院, 海南海口 570228; 2. 海南大学生命科学与药学院, 海南海口 570228; 3. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210000)

**摘要:**研究了大棚滴灌系统灌水量和施氮量对番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)产量和品质等参数的影响。结果表明,在160~320 mm灌水量内,灌水量越大番茄产量越高,相同灌水量下番茄产量随着施氮量的增加而增加,施肥水平为N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=220-140-160 kg/hm<sup>2</sup>产量最高,果实鲜质量达到89.4 t/hm<sup>2</sup>。番茄各器官的氮含量受施氮量的影响大于灌水量。总氮素积累量则仍然随灌水量和施肥量的增加而增加。最高氮素吸收量达148.8 kg/hm<sup>2</sup>(W1F1处理)。番茄红素、维生素C以及可溶性糖含量随着灌水量的增加而下降,并且相同灌水量下中等施肥处理品质指标的含量最高。番茄氮肥吸收效率与灌水量呈正相关关系,与施肥量呈负相关关系,而氮肥利用效率只与施肥量呈负相关关系。灌水量越低则水分利用效率越高。

**关键词:**番茄;滴灌;施肥;产量;利用率

**中图分类号:** S143.1;S641.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)19-0145-06

我国淡水资源有限,尤其是甘肃河西走廊一带,农业用水和生活用水都比较紧缺,如何提高水分利用效率是该地区农业发展中亟待解决的问题。科学合理施用化学肥料是作物稳产高效的前提,针对番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)这类对灌水量敏感,并且多茬收获的作物而言,肥料施用水平以及灌水量的大小直接影响着其产量和品质<sup>[1]</sup>。滴灌施肥是依靠一定的施肥设备,将肥料养分和水分精量地投入到作物根区的一种操作模式。该技术使得水肥同步供应,可显著减少肥料的损失、降低施肥的人工投入,同时提高作物对水肥和养分的吸收利用效率<sup>[2]</sup>。

国内外对滴灌施肥与作物生长之间相互影响的研究较多,但是研究结果却各有不同。虽然滴灌施肥相对传统的沟灌施肥可不同幅度地提高番茄产量(11%~80%),但是产量的增加主要归因于灌水量的调节,与氮肥用量的关系并不显著<sup>[3]</sup>。而

Singandhupe等研究发现,番茄产量的变化主要受施肥量的影响,氮肥水平在120 kg/hm<sup>2</sup>时番茄产量达到最高值,氮过量施用(超过220 kg/hm<sup>2</sup>)则显著抑制了番茄产量<sup>[4]</sup>。也有学者的研究证明,滴灌措施下增加施肥量可以显著提高番茄的产量<sup>[2]</sup>。河西走廊因地理位置的优势,光照充足、昼夜温差大,该区域的番茄品质较好。为有效解决淡水资源有限的问题,近年该区的番茄种植滴灌系统引入的面积在逐渐增大。但是国内对番茄滴灌施肥的研究相对较少,由于担心番茄产量下降,大部分农户在滴灌系统下的灌水量和施肥量仍然延续传统沟灌下的施用量,并无科学的指导用量。据此,本研究基于现有研究基础,结合当地实际土壤状况,开展温室种植下灌水量和施肥量对番茄产量、品质以及水肥利用效率等的影响研究,为提高当地番茄养分和水分利用效率、确定科学的水肥用量提供理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2015年4—9月在永昌县农牧局的温室内进行。试验地点海拔1742 m,属温带大陆性气候,年平均气温4.8℃,年平均降水量185 mm,主要集中在7—9月,年蒸发量2000.6 mm,无霜期

收稿日期:2019-12-23

基金项目:农业部植物营养与肥料学科开放基金(编号:APF2016035)。

作者简介:韩佳芮(1999—),女,海南海口人,主要从事作物养分高效管理方面的研究。E-mail:hanjiarui@qq.com。

通信作者:陈 翀,讲师,主要从事园林景观设计与作物养分管理方面的研究。E-mail:51799704@qq.com。

134 d。年平均日照 2 884.2 h,日照率 65%。试验温室长 96 m、跨度 9 m、高度 2.5 m,土壤为灰钙土,土壤基本理化性质为 pH 值 7.14,有机质含量 10.1 g/kg,全氮含量 1.87 g/kg,全磷含量 0.78 g/kg,全钾含量( $K_2O$ ) 13.1 g/kg,碱解氮含量 48.32 mg/kg,有效磷含量 12.16 mg/kg,速效钾含量 132.51 mg/kg。0~100 cm 土层的田间持水量为 28%,凋萎含水量为 8.5%。

供试番茄品种为 M727 号。肥源分别为尿素(46% N)、磷酸二铵(16% N、44%  $P_2O_5$ )和氯化钾(60%  $K_2O$ )。地膜是农用聚乙烯料薄膜。滴灌施肥设备采用液压比例施肥泵装置控制,滴灌带为压力补偿式滴灌管,滴头间距 30 cm,流量 2 L/h,工作压力 0.3 MPa。

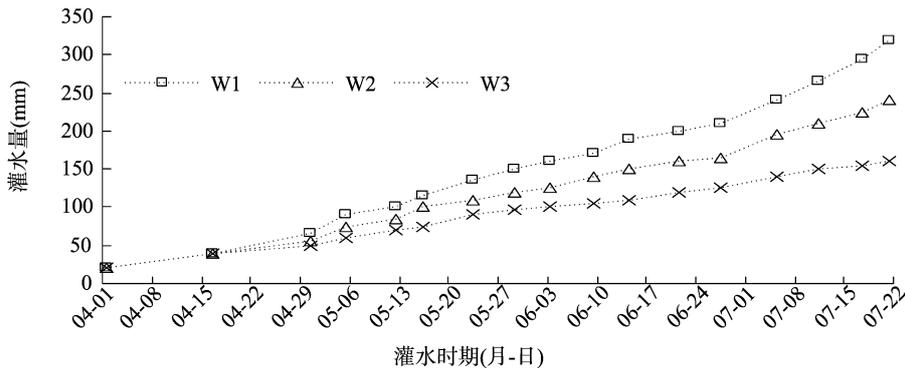


图1 灌水时期及灌水量

表1 施肥时期及施肥量

| 施肥时间<br>(月-日) | N - $P_2O_5$ - $K_2O$ (kg/hm <sup>2</sup> ) |          |          |
|---------------|---|----------|----------|
|               | F1  | F2       | F3       |
| 04-01         | —   | —        | —        |
| 04-16         | 30-20-20                                    | 25-20-20 | 15-20-20 |
| 04-26         | 30-30-35                                    | 25-30-35 | 15-30-35 |
| 05-16         | 50-30-35                                    | 35-30-35 | 25-30-35 |
| 06-06         | 50-30-35                                    | 40-30-35 | 25-30-35 |
| 06-16         | 60-30-35                                    | 40-30-35 | 30-30-35 |

### 1.3 测定内容及方法

番茄产量:每个小区标记 20 株,连续测定番茄产量。土壤含水量测定:用 TDR 水分测定仪在番茄种植前和收获后,测定 10~90 cm 的土壤含水量,间隔 10 cm。氮素吸收含量测定:各处理随机选取 6 株收获期番茄地上部,首先在干燥箱中用 105 °C 杀青 30 min,然后于 75 °C 烘至恒质量。干样称质量后粉碎过 100 目筛,用  $H_2SO_4$  -  $H_2O_2$  消煮,凯氏定氮仪测定。品质测定:在果实成熟期,选取各处理中层生长均匀的果实,测定番茄品质。番茄红素含量

### 1.2 试验设计

试验采用双因素设计,灌水量为主因素。共设 3 个水平(W1:320 mm、W2:240 mm、W3:160 mm)。施氮量为第 2 因素,设 3 个水平(F1:220 kg/hm<sup>2</sup>、F2:165 kg/hm<sup>2</sup>、F3:110 kg/hm<sup>2</sup>)。磷钾肥的用量统一为 140 ( $P_2O_5$ )、160 ( $K_2O$ ) kg/hm<sup>2</sup>。小区采用沟垄覆膜种植模式,番茄行距 50 cm,株距 45 cm,滴灌带 1 管 2 行。小区面积 45 m<sup>2</sup>(长 12 m,宽 3.75 m),每个小区定植 156 株,每个处理重复 4 次,随机区组排列。番茄秧苗在 4 月 1 日定植,滴灌处理的施肥时间分别在定植后的 15 d(缓苗期)、25 d(苗期)、46 d(第 1 穗果膨大期)、66 d(第 2 穗果膨大期)和 76 d(第 3 穗果膨大期)。不同处理间的灌水施肥数量以及操作时间如图 1 和表 1 所示。

用紫外-可见分光光度计法、维生素 C 含量用钼蓝比色法、可溶性糖含量用硫酸-蒽酮比色法测定<sup>[5]</sup>。

水分利用效率(kg/m<sup>3</sup>) = 番茄产量 / (灌水量 - 试验初期和末期土壤水分变化量);

氮肥吸收效率 = 植株氮吸收量 / 施氮量 × 100%;

氮肥利用效率 = 果实吸氮量 / 总吸氮量 × 100%。

### 1.4 数据分析

原始数据用 SPSS 16.0 统计软件进行方差分析;用 Microsoft Excel 2016 进行计算和作图。

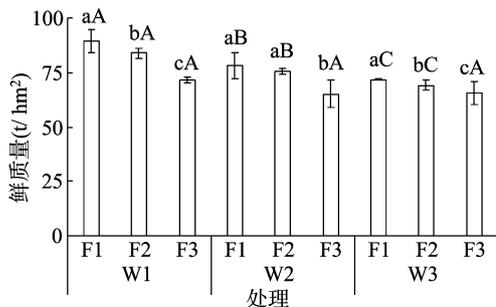
## 2 结果与分析

### 2.1 滴灌量和施肥量对番茄鲜质量和干物质积累的影响

灌水量和施肥量对番茄鲜质量产生显著的影响(图 2)。从总体变化趋势看,相同灌水量下,番茄鲜质量总体随着施肥量的降低而下降。W1 水平灌

水量下 F1 的番茄鲜质量最高,高达 89.4 t/hm<sup>2</sup>, W1F3 处理仅为 71.7 t/hm<sup>2</sup>。W1F1 相对 W1F2 和 W1F3 分别提高了 6.7% 和 24.7%, 差异显著。灌水量为 W2 水平时,产量最高的 W2F1 为 78.2 t/hm<sup>2</sup>,与 W2F2 处理并无显著差异,但是显著高于 W2F3 处理(65.0 t/hm<sup>2</sup>)。灌水量为 W3 处理下,仍然为 W3F1 处理的番茄鲜质量最高,为 71.6 t/hm<sup>2</sup>,相对 W3F2 和 W3F3 分别增加了 3.6% 和 9.3%, 差异达到显著水平。

从相同施肥量不同灌水量的处理来看,番茄鲜质量随着灌水量增加而增加,但是这种趋势仅在高肥料用量下差异明显,W1F1 相对 W2F1 和 W3F1 产量分别增加了 14.3% 和 24.8%。然而,低肥料用



不同小写字母表示相同灌水量不同施肥水平间的差异显著( $P < 0.05$ ), 不同字母表示相同施肥量不同灌水量之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同

图2 灌水量及施肥量对番茄鲜产的影响

量下番茄产量虽然随着灌水量的增加而增加,但是处理之间并无显著差异。

从不同灌水量和施肥量对番茄干物质积累的影响(表2)看,同一灌水量下,果实干物质积累总体表现为随施肥量增加而增加,3个灌水量处理中均以 F1 肥料水平下果实干物质质量最大。而对于茎的干物质积累而言,W1 灌水量下以 F2 施肥处理的最高,达到 1 937.5 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他 2 个施肥量;而在 W3 灌水量下则以 F1 处理干物质最高,显著高于其他处理。总体而言,同样灌水量下除了施肥量最低的 F3 处理叶片干物质最小外,其他处理之间并没有显著差异。根系干物质在不同灌水水平以及不同施肥水平间的变化则没有特定规律。而从相同施肥量不同灌水量之间的差异看,果实、叶片和根系的干物质积累总体呈现灌水量越大干物质越高的趋势。干物质分配比例的结果显示,番茄一半以上的干物质分配在果实器官中,并且在相同灌水量处理下,总体表现为施肥水平越高果实干物质分配比例越大。W1F1 的干物质分配比例相对 W1F2 和 W1F3 分别增加了 4.1、4.2 个百分点。W2F1 相对 W2F2 和 W2F3 分别增加 5.0、3.9 百分点。茎、叶、根的干物质分配比例不同处理之间的差异则略有不同,变化幅度没有干物质质量那么明显。

表2 不同灌水量和施肥量对番茄干物质积累的影响

| 灌水量 | 施肥量 | 干物质积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) |           |           |         | 比例 (%) |        |        |       |
|-----|-----|------------------------------|-----------|-----------|---------|--------|--------|--------|-------|
|     |     | 果实                           | 茎         | 叶         | 根       | 果实     | 茎      | 叶      | 根     |
| W1  | F1  | 4 692.0aA                    | 1 672.5bA | 1 815.1aA | 233.6bA | 55.7aA | 19.8aB | 21.5bA | 2.7bA |
|     | F2  | 4 398.5bA                    | 1 937.5aA | 1 868.5aA | 303.6aA | 51.6bB | 22.7aA | 21.9bA | 3.5aA |
|     | F3  | 3 762.8cA                    | 1 529.9bB | 1 807.8aA | 192.2bA | 51.5bB | 20.9aB | 24.7aA | 2.6bA |
| W2  | F1  | 4 104.1aB                    | 1 358.8cC | 1 616.4aB | 199.6bB | 56.3aA | 18.6cB | 22.2aA | 2.7bA |
|     | F2  | 3 956.0aB                    | 1 803.2aB | 1 664.2aB | 281.5aB | 51.3bB | 23.4bA | 21.6aA | 3.6aA |
|     | F3  | 3 410.4bA                    | 1 630.2bA | 1 282.4bB | 177.5bB | 52.4bB | 25.0aA | 19.7bB | 2.7bA |
| W3  | F1  | 3 760.0aC                    | 1 556.6aB | 1 378.1aC | 181.2aB | 54.6bA | 22.6aA | 20.0bA | 2.6aA |
|     | F2  | 3 629.4bC                    | 1 381.8bC | 1 478.4aC | 138.9bC | 54.7bA | 20.8bB | 22.3aA | 2.0bB |
|     | F3  | 3 440.8cA                    | 1 074.5cC | 1 143.5bC | 127.8bC | 59.4aA | 18.5cC | 19.7bB | 2.2bB |

## 2.2 滴灌量和施肥量对番茄氮含量和氮积累量的影响

从番茄不同器官氮含量数据(表3)看,总体为叶片中的氮含量最高,其次是根系,果实氮含量居中,茎秆的氮含量处于最低水平。相同灌水量下,施肥水平越高,番茄体内氮含量越高。W1F1 果实氮含量相对 W1F2 和 W1F3 分别增加了 16.6% 和

19.0%。W2F1 果实氮含量相对 W2F2 和 W2F3 分别增加了 12.6% 和 21.1%, W3F1 果实氮含量相对 W3F2 和 W3F3 分别增加了 14.3% 和 27.0%, 差异均达到显著水平。茎、叶、根器官的氮含量表现同样的变化趋势。从相同施肥量不同灌水量之间的结果看,也同样表现出灌水量越高,氮含量越高的趋势。

氮积累量同样受到灌水量和肥料施用水平的影响。同一灌水量下果实的氮积累随着施肥量的增加而增加, W1F1 果实氮积累高达 79.3 kg/hm<sup>2</sup>, 相对 W1F2 和 W1F3 分别增加了 24.3% 和 47.9%。W2F1 果实氮积累为 66.1 kg/hm<sup>2</sup>, 相对 W2F2 和 W2F3 分别增加了 16.4% 和 45.0%。W2F1 果实氮积累为 60.5 kg/hm<sup>2</sup>, 相对 W2F2 和 W2F3 分别增加了 18.4% 和 39.1%, 差异均达到显著水平。从相同施肥量不同灌水量之间的差异看, 均表现为灌水量

越大, 氮积累越高。W1F1 果实氮积累相对 W2F1 和 W3F1 分别增加了 20.0% 和 31.1%。W1F2 果实氮积累相对 W2F2 和 W3F2 分别增加了 12.3% 和 24.9%。W1F3 果实氮积累相对 W2F3 和 W3F3 分别增加了 17.5% 和 23.2%, 差异均达到显著水平。茎、叶和根系的处理间氮积累量的差异不如果实明显。不同处理间番茄氮素总积累量的变化规律与果实一致, W1F1 最高, 为 148.8 kg/hm<sup>2</sup>, W3F3 最低, 仅为 78.7 kg/hm<sup>2</sup>。

表3 不同灌水量和施肥量对番茄氮含量和氮积累量的影响

| 灌水量 | 施肥量 | 氮含量(%) |        |        |        | 氮积累量(kg/hm <sup>2</sup> ) |        |        |       |         |
|-----|-----|--------|--------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|-------|---------|
|     |     | 果实     | 茎      | 叶      | 根      | 果实                        | 茎      | 叶      | 根     | 总量      |
| W1  | F1  | 1.69aA | 0.98aA | 2.62aA | 2.28aA | 79.3aA                    | 16.4bA | 47.6aA | 5.3bA | 148.8aA |
|     | F2  | 1.45bA | 0.88bA | 2.53bA | 2.27aA | 63.8bA                    | 17.2aA | 47.2aA | 6.9aA | 135.2bA |
|     | F3  | 1.42bA | 0.81bA | 2.45cA | 2.05bA | 53.6cA                    | 12.4cA | 44.4bA | 3.9cA | 114.4cA |
| W2  | F1  | 1.61aA | 0.96aA | 2.57aA | 2.16aB | 66.1aB                    | 13.0bB | 41.5aB | 4.3bB | 125.1aB |
|     | F2  | 1.43bA | 0.87bA | 2.47bA | 2.15aB | 56.8bB                    | 15.8aB | 41.1aB | 6.0aB | 119.8bB |
|     | F3  | 1.33bB | 0.76cB | 2.21cB | 2.12bA | 45.6cB                    | 12.4bA | 28.4bB | 3.7cA | 90.2cB  |
| W3  | F1  | 1.60aA | 0.88aB | 2.40aB | 2.18aB | 60.5aC                    | 13.7aB | 33.1aC | 3.9aC | 111.3aC |
|     | F2  | 1.40bA | 0.74bB | 2.35bB | 2.11aB | 51.1bC                    | 10.3bC | 34.7aC | 2.9bC | 99.1bC  |
|     | F3  | 1.26bC | 0.69cC | 2.20cB | 2.01aA | 43.5cC                    | 7.4cB  | 25.2bB | 2.5bB | 78.7cC  |

### 2.3 滴灌量和施肥量对番茄品质的影响

灌水量和肥料施用量对番茄品质有显著的影响(表4)。同一个灌水量下, 番茄红素的含量均表现为 F2 > F1 > F3, W1F2 相对 W1F1 和 W1F3 分别增加 22.0% 和 33.5%。W2F2 相对 W2F1 和 W2F3 分别增加 34.8% 和 53.2%。W3F2 相对 W3F1 和 W3F3 分别增加了 13.2% 和 43.2%, 差异均达显著水平。同一施肥量下, 灌水量越高, 则番茄红素含量越低。W3F1 番茄红素含量相对 W2F1 和 W1F1 分别增加 28.7% 和 42.4%。W3F2 番茄红素含量相对 W2F2 和 W1F2 分别增加 8.2% 和 32.2%。W3F3 番茄红素含量相对 W2F3 和 W1F3 分别增加 15.7% 和 23.2%, 差异显著。番茄红素的积累量由于受到干物质的影响, 不同处理之间的差异并无明显规律。维生素 C 含量和可溶性糖含量与番茄红素含量变化规律基本相同, 相同灌水量下, 以 F2 施肥处理的含量最高。而相同施肥量下, 则以 W3 灌水处理的含量最高, 并且灌水量的影响要大于施肥量的影响。维生素 C 含量最高的为 W3F2, 为 55.0 mg/100 g, 最低的 W1F3 仅为 25.4 mg/100 g。可溶性糖含量最高的处理为 W3F1 和 W3F2, 为 1.8%, 最低的 W1F3 仅为 0.9%。

表4 不同灌水量和施肥量对番茄品质的影响

| 灌水量 | 施肥量 | 番茄红素含量(mg/kg) | 维生素 C 含量(mg/100 g) | 可溶性糖含量(%) |
|-----|-----|---------------|--------------------|-----------|
| W1  | F1  | 25.5bC        | 26.4bC             | 1.1aC     |
|     | F2  | 31.1aC        | 30.4aC             | 1.2aB     |
|     | F3  | 23.3bB        | 25.4cC             | 0.9bC     |
| W2  | F1  | 28.2bB        | 40.1aB             | 1.4bB     |
|     | F2  | 38.0aB        | 42.4aB             | 1.7aA     |
|     | F3  | 24.8cB        | 38.1bB             | 1.1cB     |
| W3  | F1  | 36.3bA        | 48.0bA             | 1.8aA     |
|     | F2  | 41.1aA        | 55.0aA             | 1.8aA     |
|     | F3  | 28.7cA        | 44.0cA             | 1.3bA     |

### 2.4 滴灌量和施肥量对番茄氮肥利用率和水分利用率的影响

相同灌水量下, 番茄氮肥吸收效率随着施肥量的增加而降低。W1 灌水量下, W1F1 氮肥吸收效率为 67.7%, W1F3 处理则高达 104.0%, 其相对 W1F1 提高了 36.3 个百分点。W2 灌水量下, W2F1 氮肥吸收效率为 56.9%, W2F3 则高达 82.0%。同样的情况, W3F3 处理的氮肥吸收效率为 71.6%, 相对 W3F1 的 50.6% 提高了 21 个百分点。从相同施肥量不同灌水量之间的差异看, 氮肥利用率随着用水量

的增加而增加。所有处理中 W1F3 的氮肥吸收效率最高, W3F1 处理的值最低(图 3)。

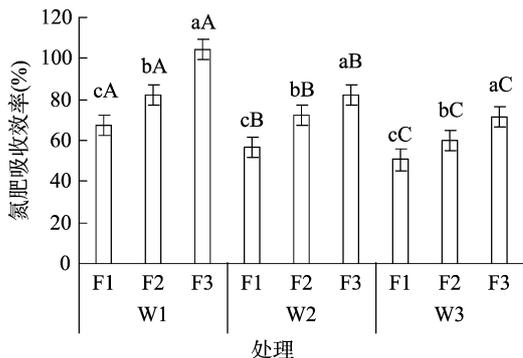


图3 不同灌水量和施肥量对番茄氮肥吸收效率的影响

氮肥利用效率的变化趋势则与吸收效率的变化规律相反。相同灌水量下,肥料用量越高则氮肥利用效率越高。W1F1、W2F1 和 W3F1 的氮肥利用效率分别为 53.3%、52.9% 和 54.4%, 而 W1F3、W2F3 和 W3F3 的氮肥利用效率仅为 27.7%、28.5% 和 30.8%。除 F3 施肥水平外,同一施肥量不同灌水量之间的氮肥利用效率则没有显著差异(图 4)。

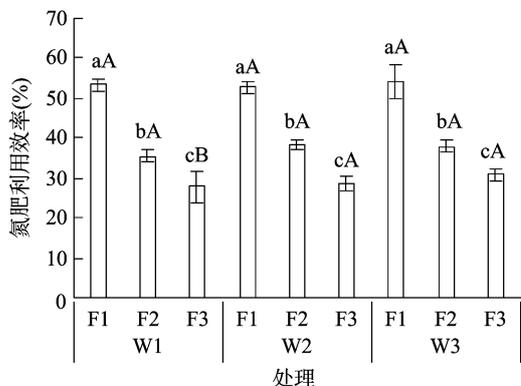


图4 不同灌水量和施肥量对番茄氮肥利用效率的影响

同一灌水量下,番茄水分利用率随着施肥量的增加而增加,总体为番茄水分利用效率与施肥量呈正相关关系。W1 灌水量下, F1 处理的水肥利用率为 31.3 kg/m<sup>3</sup>, 其与 F2 水平间并无显著差异,但是两者的水分利用效率显著高于 F3 处理。W2 灌水量下的结果与 W1 处理相同, F1 和 F2 两处理的水分利用效率基本相似,平均达到 37.6 kg/m<sup>3</sup>,显著高于 W2F3 处理。W3 灌水量下的水分利用效率变化规律与其他 2 个灌水量处理一致,均表现为 F1 > F2 > F3。从相同施肥量不同灌水量之间的关系看,灌水量越小,水分利用效率越高, W3F1 处理的水分

利用效率高达 43.5 kg/m<sup>3</sup>, 其相对 W2F1 和 W1F1 处理分别增加了 13.7% 和 38.9%, 差异达到显著水平(图 5)。

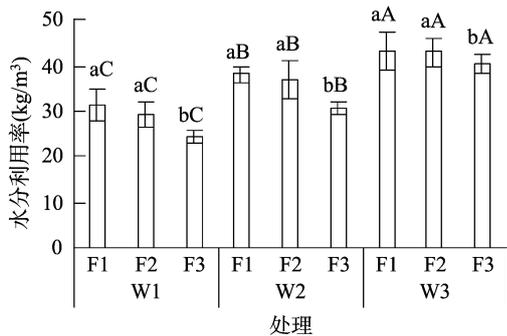


图5 不同灌水量和施肥量对番茄水分利用率的影响

### 3 讨论与结论

#### 3.1 灌水、施肥与番茄产量和品质的关系

滴灌能否改善番茄的产量和品质,这在当前的研究结果中已有一些报道。Badr 等对滴管条件下番茄的产量和养分吸收的研究结果显示,滴管条件下的番茄产量提高了 20% 以上<sup>[6]</sup>。Zotarelli 等研究结果也同样表明,滴管条件下番茄的产量和养分吸收量更多,相对传统的沟灌措施,滴管下的番茄产量增加了 23.7%,同时滴管下的氮素吸收量提高了 11.4%<sup>[3]</sup>。以上研究结果与本试验情况基本一致,本试验虽然未设置传统对照处理,但是与周围未使用滴管条件的温室结果看,滴管处理番茄的产量和品质要好于传统沟灌施肥。由于番茄对于水分的吸收利用强度大,所以水分用量对于番茄产量等也有较显著的影响,当前对于不同水分用量的研究还较少。本试验结果显示,在 160 ~ 320 mm 灌水量范围内,无论是番茄果实产量,还是根、茎、叶等营养器官的生物量,均随着灌水量的增加而增加。这与 Zotarelli 等研究结果基本一致,推测主要原因是充足的水分供应促进了作物根系发育,保证了地上部蒸腾作用的需要,同时促进了土壤中的养分向地上部运输<sup>[3]</sup>。此外,充足的水分供应有利于叶片中叶绿素的合成,提高了作物的光合速率,进而提高了番茄果实产量。

番茄果实养分成分决定了其品质和口感。研究表明,在番茄生长期,水分胁迫或水分缺乏能够增加维生素 C 以及可溶性固形物的含量,进而达到增加番茄品质的目的<sup>[7-8]</sup>。本研究结果显示,相同施肥水平下,番茄红素、维生素 C 含量以及可溶

性糖含量等品质指标均随着灌水量的增加而降低。这与当前的大部分研究相符。Liu 等研究结果中高灌水量处理的番茄红素和可溶性固形物含量相对低灌水量处理分别降低 8% 和 19%, 差异达到显著水平<sup>[9]</sup>。这可能是由于灌水量降低使得番茄的干物质质量下降, 进一步导致体内养分含量有浓缩效应, 所以体内的品质元素的含量会升高。虽然作物品质与灌水量之间的关系仍然有争议, 如 Sharma 等研究显示灌水量与果实品质间并没有显著关系<sup>[10]</sup>, 这可能与不同试验条件下灌水量的梯度有关系。调整番茄水溶肥的比例可以提高番茄的维生素 C 和有机酸的含量, 提高磷、钾肥的用量也会适当地改善番茄体内的番茄红素和维生素 C 含量<sup>[11-12]</sup>。本研究同一灌水量下品质指标的含量和积累量最高均为 F2 水平, 可见当追求番茄品质时, 并非施肥越多越好。

### 3.2 灌水、施肥与番茄养分利用的关系

干物质与作物的养分吸收密切相关, 并且 2 个指标均受到灌水量和施肥量的显著影响。本研究结果显示, 相同灌水量下, 番茄各个器官中的氮含量随着施肥量的增加而增加, 这与当前的研究结果一致, 肥料养分对于作物生长的贡献至关重要, 即作物养分的吸收首要依靠肥料的养分投入<sup>[3]</sup>。而从相同施肥量不同灌水量的结果看, 各器官的氮含量与灌水量之间呈现一定的正相关关系。高静等在玉米滴灌上的研究也证明了同样的结论<sup>[13]</sup>。番茄氮素积累量因为同时受到番茄干物质质量和氮含量的影响, 其变化趋势更加明显, 在本试验条件下, 灌水量和施肥量越大, 则地上部尤其是番茄果实中的氮素积累越大。可见同时协调灌水量和施肥量对于番茄养分吸收的重要意义。

从灌水和施肥处理对番茄养分和水分的利用效率看, 首先, 灌水量越大, 水分利用效率越低。这与当前膜下滴灌在棉花等作物上的研究结果<sup>[14-15]</sup>一致。相同灌水量下, 肥料用量越大则水分利用效率越高。这主要是因为同样灌水量下, 肥料用量越充足, 则番茄产量越高, 最终水分利用效率越高。因此, 对于北方干旱缺水的地区, 除了通过改变浇水习惯外, 还可以通过合理的施肥来达到提高水分利用效率的目的。

氮肥利用效率低是我国农作物生产面临的一个亟待解决的关键问题。粮食作物的氮肥利用效率通常不超过 40%。而对于经济作物而言, 由于其

收获指数大, 所以氮肥利用效率往往明显高于粮食作物。本试验条件下番茄氮肥吸收效率超过 50%, 且灌水量越大氮素吸收效率越高。而在相同灌水量下氮素吸收效率则随施肥量增加而下降(图 3), 可知该试验条件下, 高施肥处理地上氮素吸收的增加速度不及肥料养分的增加量。而氮素利用效率不受灌水量影响, 相同施肥水平下不同灌水量处理之间的氮肥利用效率并无显著差异。氮肥利用效率只随施肥量的增加而增加, 由此可知, 要想提高番茄的氮肥利用效率, 还是要从肥料种类以及施肥方式等方面入手。

### 参考文献:

- [1] 张燕, 张富仓, 袁宇霞, 等. 灌水和施肥对温室滴灌施肥番茄生长和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(2): 206-212.
- [2] 袁宇霞, 张富仓, 张燕, 等. 滴灌施肥灌水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 76-83.
- [3] Zotarelli L, Dukes M D, Scholberg J, et al. Tomato nitrogen accumulation and fertilizer use efficiency on a sandy soil, as affected by Nitrogen rate and irrigation scheduling[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(8): 1247-1258.
- [4] Singandhupe R B, Rao G N, Patil N G, et al. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.) [J]. European Journal of Agronomy, 2003, 19(2): 327-340.
- [5] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000: 302-316.
- [6] Badr M A, Hussein S A, El-Tohamy W A, et al. Nutrient uptake and yield of tomato under various methods of fertilizer application and levels of fertigation in arid lands [J]. Gesunde Pflanzen, 2010, 62(1): 11-19.
- [7] Chen J L, Kang S Z, Du T S, et al. Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages [J]. Agricultural Water Management, 2013, 129: 152-162.
- [8] Cristina P, Tringali S, Sortino O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(4): 590-596.
- [9] Liu K, Zhang T Q, Tan C S, et al. Responses of fruit yield and quality of processing tomato to drip-irrigation and fertilizers phosphorus and potassium [J]. Agronomy Journal, 2011, 103(5): 1339-1345.
- [10] Sharma S P, Leskovar D I, Crosby K M, et al. Root growth, yield, and fruit quality responses of *reticulatus* and *inodorus* melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation [J]. Agricultural Water Management, 2014, 136: 75-85.
- [11] 马跃, 田建全, 尹晓丽, 等. 氮磷钾配比对温室番茄品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(18): 57-60.

李丽红,华树妹,陈芝华,等. 清流雪薯组培复壮技术[J]. 江苏农业科学,2020,48(19):151-155.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.19.033

# 清流雪薯组培复壮技术

李丽红,华树妹,陈芝华,李 清,张杨文,邓才生

(三明市农业科学研究院,福建三明 365051)

**摘要:**以清流雪薯有节茎段为外植体,通过对诱导、增殖、生根及移栽影响因子的研究,初步建立清流雪薯的组培复壮技术体系。结果表明,初代培养中,上部茎段用70%乙醇15 s+0.1%氯化汞5 min,中下部茎段用70%乙醇30 s+0.1%氯化汞9 min 消毒效果最佳;有节茎段的诱导培养以MS+1.0 mg/L KT+0.1 mg/L NAA+30.0 g/L 蔗糖+4.5 g/L琼脂+0.3 g/L活性炭效果最佳,萌芽率达88.0%;增殖最适培养基为MS+0.5 mg/L 6-BA+0.1 mg/L NAA+2.0 mg/L AD+30.0 g/L 蔗糖+4.5 g/L 琼脂,增殖系数为3.03;最适生根培养基为1/2MS+0.3 mg/L NAA+0.2 mg/L IAA+20.0 g/L 蔗糖+4.5 g/L 琼脂+0.5 g/L 活性炭,生根率达97%;炼苗后,移入进口泥炭:珍珠岩=2:1的基质中,成活率达100%。

**关键词:**山药;组培;复壮;清流雪薯

**中图分类号:** S632.104+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)19-0151-05

山药学名薯蕷,为薯蕷科薯蕷属一年生或多年生草质藤本植物,是我国传统的药食同源植物,主要食用部位为地下部肥大的肉质块茎,具有健脾、补肺、固肾、除湿、益精补气的功效<sup>[1]</sup>。山药为无性繁殖植物,长期无性繁殖加上人们对留种种薯选择或贮藏不当等原因,导致山药出现病害加重、产量降低、品质下降、种性退化等现象。李明军等研究认为,病毒病是造成怀山药种性退化、产量降低的重要原因,并围绕怀山药脱毒快繁开展了许多研究工作<sup>[2]</sup>。福建地区山药病毒病较少,品种退化主要表现为产量降低,山药薯皮黑斑逐年增多,尤其在当地山药主产区问题尤为突出,严重的病害黑斑可深入薯肉0.5~1.0 cm,能极大地影响山药的商品性,农民只能将山药削皮出售,这不仅增加了劳动成本,降低了收益,同时也限制了山药的对外销售,对当地山药产业发展造成严重影响。

清流雪薯是福建省清流县首个获农业农村部评审认证的国家级地理标志产品,该山药品种具有个体较粗大、浑圆、均匀,薯体坚实,切口少黏液,不易褐变,耐贮藏等优点,而且薯质粉性足、细腻、雪白、味鲜,深受人们的喜爱,但近年来该品种退化现象严重,亟需解决。目前,山药生产上主要采用零余子繁殖的方式进行品种复壮,清流雪薯为褐苞薯蕷类型,在福建地区并不结实零余子,无法通过零余子进行复壮。

本试验通过组织培养技术复壮该品种,使其优良品种种性得以保存延续。褐苞薯蕷类型山药,组培快繁较其他类型的山药品种更难,笔者所在课题组从2011年开始一直致力于褐苞薯蕷类型山药的组培复壮技术研究,现已在组培、移栽等多方面取得较大进展,并在生产上取得一定的应用成效,现就清流雪薯的组培复壮技术进行报道,为该品种的复壮及组培苗工厂化生产提供理论依据与技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料由福建省三明市农业科学院提供,

收稿日期:2019-12-11

基金项目:福建省引导性项目(编号:2017N0051,2018N02020275)。

作者简介:李丽红(1980—),女,河南焦作人,硕士,助理研究员,主要从事山药种质资源遗传育种研究。E-mail:red7603@163.com。

[12] Barr J, White W S, Chen L, et al. The GHOST terminal oxidase regulates developmental programming in tomato fruit[J]. *Plant Cell and Environment*, 2004, 27(7): 840-852.

[13] 高 静,梁银丽,贺丽娜,等. 水肥交互作用对黄土高原南瓜光合特性及其产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(5):

250-255.

[14] 蔡焕杰,邵光成,张振华. 荒漠气候区膜下滴灌棉花需水量和灌溉制度的试验研究[J]. *水利学报*, 2002, 33(11): 119-123.

[15] 虞 娜,张玉龙,黄 毅,等. 温室滴灌施肥条件下水肥耦合对番茄产量影响的研究[J]. *土壤通报*, 2003, 34(3): 179-183.