

滴灌灌水均匀系数对温室番茄生长的影响

梁博惠^{1,2} 牛文全^{2,3,4} 郭丽丽² 杨小坤² 李学凯²

(1. 宁夏水利科学研究所, 宁夏 银川 750021; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为探究适宜温室番茄生长的滴灌灌水均匀系数, 试验设置了 65% (C1)、75% (C2)、85% (C3) 不同滴灌灌水均匀系数及 190 mm (I1)、220 mm (I2)、250 mm (I3) 不同的灌水量处理, 以裂区试验法研究各处理对番茄生长、光合色素及品质的影响。结果表明, 滴灌灌水均匀系数对番茄株高增长无显著影响 ($P>0.05$), 对茎粗增长有显著影响 ($P<0.01$), 灌水量、灌水量与灌水均匀系数二者的交互作用对株高、茎粗增长无显著影响 ($P>0.05$); 灌水量对番茄可溶性糖、番茄红素、维生素 C、可溶性固形物 (除有机酸) 均有极显著影响 ($P<0.01$), 灌水均匀系数及二者的交互作用对以上番茄品质指标无显著影响 ($P>0.05$); 在灌水量、灌水均匀系数及二者的交互作用对果实形态指数均无显著性影响 ($P>0.05$)。灌水均匀系数为 75%、灌水量为 190 mm 条件下番茄综合品质最佳。整个生育期内滴灌灌水均匀系数 65%~85% 处理下, 土壤含水率均匀系数为 85%~95% 能满足番茄生长需要, 因此针对西北地区温室作物建议下调现行滴灌灌水均匀系数标准。

关键词: 滴灌; 灌水均匀系数; 灌水量; 温室番茄; 生长; 品质

中图分类号: S641.2; S275.6 **文献标志码:** A

Effects of drip irrigation uniformity coefficient on tomato growth in solar greenhouse

LIANG Bohui^{1,2}, NIU Wenquan^{2,3,4}, GUO Lili², YANG Xiaokun², LI Xuekai²

(1. Ningxia Institute of Water Resources Research, Yinchuan, Ningxia 750021, China;
2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
4. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to explore the reasonable uniformity coefficient of drip irrigation on tomato growth in solar greenhouse, the experiment set three different drip irrigation uniformity levels, 65% (C1), 75% (C2), and 85% (C3), and three different irrigation levels, 190 mm (I1), 220 mm (I2), and 250 mm (I3). The results showed that the uniformity coefficient of drip irrigation had no significant effects on plant stem height and plant height growth ($P>0.05$), and had significant effects on stem growth ($P<0.01$) while the irrigation amount and the interaction between the irrigation uniformity coefficient and the irrigation amount had no significant effects on the growth of stem height ($P>0.05$). The irrigation amount had significant effects ($P<0.01$) on tomato quality indexes such as soluble sugar, lycopene, vitamin C, and soluble solids (except organic acid), but, the irrigation uniformity coefficient and the interaction between two factors had no significant effects ($P>0.05$) on tomato quality index. Irrigation amount, uniformity coefficient of irrigation, and the interaction between the two factors had no significant effects on fruit shape index ($P>0.05$). Therefore, when the uniformity coefficient of irrigation was 75% and the irrigation amount was 190 mm, the quality of tomato was the best. Under the whole growth period, the uniformity coefficient of

收稿日期: 2019-05-09

修回日期: 2020-01-09

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2016YFC0400202); 国家自然科学基金 (51679205); 宁夏重点研发计划 (重点) 项目 (2018BBF02015)

作者简介: 梁博惠 (1993-), 女, 宁夏固原人, 硕士研究生, 研究方向为灌溉理论与节水新技术。E-mail: liangbh229@163.com

通信作者: 牛文全 (1971-), 男, 甘肃甘谷人, 研究员, 主要从事灌溉节水理论与节水技术研究。E-mail: nwq@nwsuaf.edu.cn

drip irrigation was 65%~85% , and the uniformity coefficient of soil moisture content was 85%~95% , which met the needs of tomato growth. Therefore , it is possible to consider reducing the current standard of drip irrigation uniformity coefficient of greenhouse crops in the northwest region.

Keywords: drip irrigation; irrigation uniformity coefficient; irrigation amount; greenhouse tomato; growth; quality

滴灌技术已成为解决目前农业生产中水肥利用效率低和降低面源污染风险的一种重要措施^[1] , 其中滴灌灌水均匀度是灌水器流量分布的量化衡量指标^[2] ,是衡量土壤水分在田间分布均匀程度的重要指标^[3] ,它通过影响水分在土壤中的分布均匀程度对作物生长情况产生影响。现行《微灌工程技术规范》中规定微灌系统灌水均匀系数(C_u) 不宜小于 0.8^[4] 朱德兰等^[5] 陈渠昌等^[6] 指出滴灌均匀系数的增加会导致工程造价的增加 ,因此寻找既满足实际应用又满足经济性要求的灌水均匀系数非常重要。

番茄是一种喜温性蔬菜 ,温室番茄在我国北方地区的栽培缓解了北方地区冬季蔬菜的淡季供应^[7] ,其种植比例在西北地区逐年上升 ,所以研究温室番茄的灌溉方式对于促进温室番茄的种植有重要意义。对日光温室番茄的滴灌技术应用研究也在逐渐深入 ,提出了许多切实有效的技术应用方式^[8-10] 。

本试验将灌水量与滴灌均匀系数结合起来考虑 ,设定 3 种不同的灌水量与灌水均匀系数 ,对温室番茄的生长、品质等进行研究 ,以期得到满足不同要求的灌水量与灌水均匀系数组合 ,筛选最适宜的灌水均匀系数 ,达到实用性与经济性双赢的目的。

1 材料与方 法

1.1 试验区基本情况及试验设计

滴灌试验于 2016 年 10 月 5 日在陕西杨凌大寨乡生产用日光温室内进行 ,试验地位于 108°02'E , 34°02'N ,属于暖温带半湿润气候带 ,年降雨量 650

mm 左右 ,年蒸发量为 1 400 mm。试验日光温室全长 190 m ,宽 5.5 m ,为南北走向 ,棚内无取暖设施 ,越冬时期夜间加盖棉被以达到保温效果。试验温室前茬作物为番茄 ,温室内土壤为壤土 ,其中砂砾占 25% 粉粒占 44% 黏粒占 31% ,田间体积持水量为 32.96%。供试番茄品种为“美卡利亚” ,日光温室内穴盘育苗 2016 年 10 月 1 日定植 ,在定植与缓苗期间采用沟灌的方式 ,灌水量不计入生育期总灌水量。采用一管一行种植模式 ,每个小区之间用埋深 1 m 的建筑防水膜隔开 ,防止每个小区之间水分运移而产生干扰。滴灌系统由干管、分干管、滴灌带、水表、压力表、阀门组成(见图 1)。供水压力水头通过压力表控制为 10 m。

试验采用裂区试验法 ,主处理(A 区) 为灌水量设置 ,A 区总灌水量为 190 mm(I1)、220 mm(I2) 和 250 mm(I3) 3 个水平 ,副处理(B 区) 为滴灌灌水 ,均匀系数设 65%(C1)、75%(C2)、85%(C3) 3 个水平 ,其中滴灌灌水均匀系数用克里斯琴森均匀系数(C_u)^[11] 计算 ,见公式(1)。每 3 条滴灌带 ,即 3 行番茄为一个处理小区 ,试验共 9 个处理 ,每个处理设置 3 个重复 ,共 27 个小区。每个小区长 5.5 m ,宽 2.4 m ,各种植 39 株番茄。所有小区的农艺管理措施统一进行 ,试验小区分布图见图 1。

每个试验小区安装从南至北 3 根深度为 100 cm 的 Trime 管 ,距离分干管依次为 100、260、420 cm ,采用 Field TDR200 对土壤各个深度的水分进行测定 ,并且每个处理增加 1 处取样点 ,以打土钻法取样 ,以增加土壤含水率样本数量。

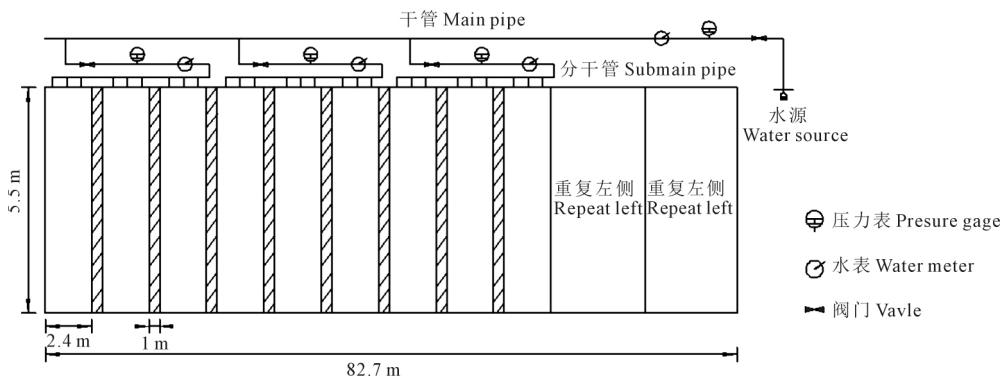


图 1 试验小区平面示意图

Fig.1 Plane of experimental plot

$$C_u = 100 \times \left[1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{\bar{q}} \right] \quad (1)$$

式中 q_i 为第 i 个灌水器的流量 ($L \cdot h^{-1}$); \bar{q} 为灌水器的平均流量 ($L \cdot h^{-1}$); n 为所测灌水器的个数。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 株高与茎粗 定植 20 d 后进行测定,直至 4 层果打顶时结束。每个小区每个重复选择 5 株长势相近的植株进行测定,每个处理 3 个重复,共取 135 株植株。株高采用卷尺进行测量,茎粗采用电子游标卡尺进行测量,最后将 5 株植株的数据取均值。

1.2.2 品质 在果实成熟期,每个小区均匀选择 5 个生长情况差异较小的果实,进行品质测定,设置 3 个重复,共 15 个果实。果实可溶性固形物用 RHBO-90 型手持折射仪测定;有机酸用 $0.1 \text{ mol} \cdot L^{-1}$ NaOH 滴定法;可溶性糖用蒽酮比色法测定,并计算糖酸比=可溶性糖/有机酸;维生素 C 用钼蓝比色法测定。

1.2.3 光合色素 在番茄结果后期对植株的叶绿素进行测定,每个处理选择 3 株植株,重复 3 次,共 9 株植株。带回实验室采用丙酮法提取色素,用分光光度计比色法测定 665、649 nm 和 447 nm 处的叶绿素 a、叶绿素 b 及类胡萝卜素的吸光值,其中叶绿素 a/b=叶绿素 a/叶绿素 b。

1.2.4 植株根系分析 在番茄果实成熟后,27 个处理小区中每个小区随机选择 1 株番茄植株,将选择的番茄植株的地下根系部分,以 $40 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ 的立方体区域对根系整体进行挖掘取样。将根系带回实验室整体进行清洗,用 Epson Expression 1600 pro 双面扫描仪对根系进行扫描,用 WinRHIZO Pro2004b 对根系进行分析,分析结束后将根系烘干称量干重。

1.3 数据处理

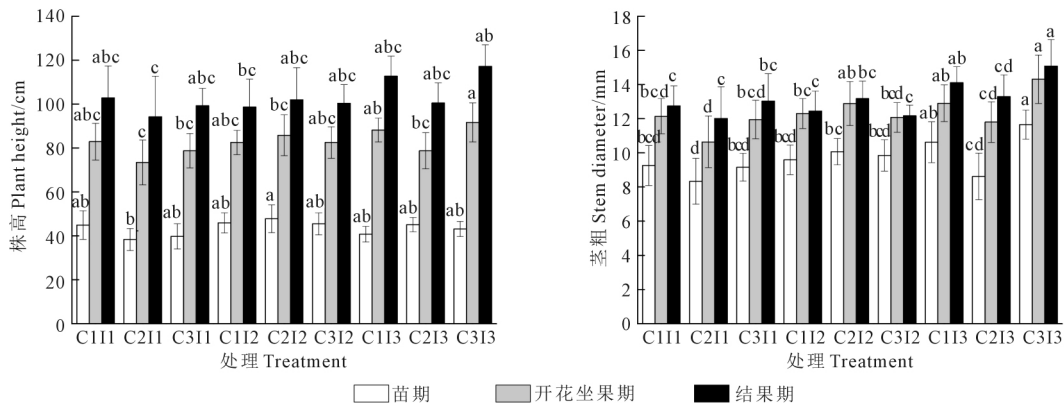
本试验原始数据用 Microsoft Excel 2010 软件进行整理,用 SPSS 22.0 Duncan 新复极差法对试验数据进行交互作用方差和显著性检验分析,用 Origin 9.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 番茄生长要素

2.1.1 番茄株高和茎粗 在番茄的苗期、开花坐果期和结果期对番茄的株高、茎粗进行测量,各个生育阶段的株高、茎粗变化如图 2 所示,各个处理株高的生长速率(相邻两次生育期的株高生长量与前一生育期株高的比值)在开花坐果期 I3 处理增长速率最高,各个处理生长速率范围为 $81.44\% \sim 112.58\%$,其中 C3I3 处理株高生长速率最高,随着番茄生长,番茄株高生长速率降低,各个处理生长速率下降至 $19.54\% \sim 28.36\%$,各个处理茎粗的两次生长速率范围由 $21.53\% \sim 31.11\%$ 降至 $0.81\% \sim 20.03\%$ 。当灌水量相同,不同灌水均匀系数处理的株高、茎粗无显著性差异 ($P > 0.05$),且随着灌水进行,在番茄结果期 C3I3 处理的株高、茎粗值最大。将番茄整个生育期内的株高、茎粗增长量进行方差分析比较,见表 1。从结果中看出,仅灌水量对茎粗的增长量有显著影响 ($P < 0.05$),而灌水均匀系数及二者的交互作用对植株的株高、茎粗增长量无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.1.2 番茄的根系生长 番茄根系生长情况表明(表 2),C1I1 处理的各个根系生长值为最小值,其中 C3I3 处理的根长与根系分叉数为最大值,与 C1I1 处理相比根长与根系分叉数分别提高了 42.72% 和 71.41% ,C1I2 处理的根面积和根体积值最大,与 C1I1 处理相比分别提高了 47.73% 和 45.65% 。



注: 不同小写字母表示不同生育阶段各个处理之间的差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters mean significant difference between treatments in different stages ($P < 0.05$). The same below.

图 2 灌水量和滴灌灌水均匀系数对番茄株高、茎粗的影响

Fig.2 Effects of irrigation amount and drip fertigation uniformity coefficient on plant height and stem of tomato

2.1.3 结果期番茄叶片光合色素含量 在番茄的结果期对各个处理番茄叶片的光合色素叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素进行测定,结果见图 3。C3I3 处理的叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素最高,比最低值分别高 51.41%、64.27%、42.09% ($P>0.05$),但是叶绿素 a/b 值却较低,比最高值低 12.36% ($P>0.05$)。整体来看,当灌水均匀系数一致时,光合色素值随灌水量的增加而增加($P>0.05$),当灌水量一致时,光合色素值随灌水均匀系数的增加变化不明显($P>0.05$)。

表 1 番茄株高、径粗生育期增长量方差分析
Table 1 Analysis of variance on plant height and stem of tomato growth period

| 变差来源 Resources of variance | 株高 Height | 茎粗 Stem diameter |
|-------------------------------|--------------|---------------------|
| I | 0.059NS | 0.000** |
| Cu | 0.096NS | 0.325NS |
| I×Cu | 0.151NS | 0.401NS |

注: I: 灌水量; Cu: 灌水均匀系数。NS 表示在 $P>0.05$ 水平上差异不显著, * 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上差异显著与极显著,下同。

Note: I: Irrigation amount; Cu: Irrigation uniformity coefficient. NS means no significant difference at $P>0.05$ level, * and ** means significant differences at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively. The same below.

2.2 番茄品质及果实形态

2.2.1 单项品质指标 表 3 是不同处理对番茄品质的影响,可溶性糖属于番茄的营养品质,番茄红素和维生素 C 属于番茄的保健品质,这几个指标含量的高低对蔬菜营养价值和口味有重要影响,进而关系到蔬菜的商品价值^[12-13]。本研究表明灌水量为 190 mm 时可溶性固形物、维生素 C、番茄红素含量最大,灌水量为 250 mm 时有机酸和可溶性糖最大,维生素 C 和番茄红素含量最小,这是因为灌溉水量较少,会使可溶性固形物、维生素 C、番茄红素相对累积而增加,而灌溉水量的增加对维生素 C 和番茄红素产生了稀释作用,使其含量较低^[14]。

表 2 番茄根系生长情况

| 处理 Treatment | 根长/cm Root length | 根面积/cm ² Root area | 根系分叉数 Root forks | 根体积/cm ³ Root volume |
|-----------------|----------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| C1I1 | 1636.35 | 485.47 | 2744 | 13.76 |
| C2I1 | 2302.58 | 753.02 | 3822 | 20.69 |
| C3I1 | 1780.73 | 589.43 | 3363 | 16.00 |
| C1I2 | 2858.17 | 980.23 | 6957 | 27.86 |
| C2I2 | 2554.47 | 841.95 | 7053 | 23.03 |
| C3I2 | 2806.10 | 923.46 | 6164 | 25.31 |
| C1I3 | 2221.10 | 765.26 | 5433 | 21.22 |
| C2I3 | 2249.66 | 732.19 | 5156 | 19.12 |
| C3I3 | 2856.92 | 875.79 | 9598 | 22.32 |

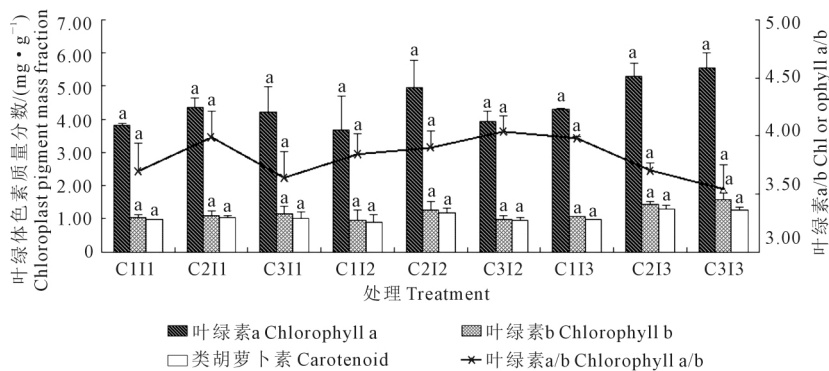


图 3 番茄结果期不同处理的光合色素含量

Fig.3 Photosynthetic pigment content of tomato at fruiting stage in different treatments

表 3 灌水量和滴灌灌水均匀系数对番茄品质的影响

Table 3 Effects of irrigation uniformity coefficient and irrigation amount on fruit quality of tomato

| 处理 Treatment | 可溶性固形物 Soluble solid/% | 维生素 C Vitamin C/(mg·100g ⁻¹) | 有机酸 Organic acid/% | 可溶性糖 Soluble sugar/% | 番茄红素 Soluble sugar/% |
|-----------------|---------------------------|---|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| C1I1 | 5.13±0.06ab | 11.59±1.46a | 0.28±0.04ab | 0.29±0.03e | 10.97±2.11bc |
| C2I1 | 5.33±0.58a | 12.69±0.86a | 0.21±0.09b | 0.19±0.08f | 15.70±2.26a |
| C3I1 | 5.57±0.21a | 8.56±0.61bc | 0.25±0.07ab | 1.35±0.08a | 13.67±3.09ab |
| C1I2 | 5.17±0.21ab | 8.88±0.95b | 0.28±0.03ab | 1.26±0.05b | 8.93±1.34cd |
| C2I2 | 5.23±0.40ab | 7.95±1.42bc | 0.27±0.03ab | 0.60±0.05d | 5.20±0.26e |
| C3I2 | 5.47±0.38a | 8.44±0.79bc | 0.32±0.04a | 1.20±0.03b | 7.07±1.59de |
| C1I3 | 4.70±0.44bc | 6.84±0.80c | 0.31±0.00a | 0.79±0.02c | 5.00±0.40e |
| C2I3 | 5.00±0.00ab | 7.26±0.45bc | 0.29±0.06ab | 1.36±0.02a | 7.63±0.51de |
| C3I3 | 4.27±0.21c | 3.96±0.60d | 0.28±0.02ab | 1.39±0.01a | 4.57±1.04e |
| 方差分析 ANOVA | | | | | |
| I | 12.315** | 61.732** | 2.550NS | 346.219** | 54.990** |
| Cu | 0.751NS | 16.763** | 1.149NS | 424.021** | 1.428NS |
| I×Cu | 2.536NS | 5.205** | 0.815NS | 226.581** | 5.695** |

从显著性分析中可以看出,不同的灌水量对有机酸无显著影响,对其他指标均有极显著影响,灌水均匀系数仅对可溶性糖和维生素 C 有极显著影响,对其他指标无显著影响,二者交互作用下对可溶性固形物和有机酸影响不显著,对其他 3 项指标影响极其显著,这可能是由于灌水均匀系数通过影响土壤水分分布从而间接影响了番茄的品质,或者为受番茄坐果期光照、温度等其他因素影响而造成的结果。其中灌溉量相同条件下 C2 处理中可溶性糖和维生素 C 含量最高。

2.2.2 综合品质指标 由于单项指标具有局限性,无法综合反映番茄品质的整体情况,因此进一步采用主成分分析法对番茄的可溶性糖(X_1)、有机酸(X_2)、维生素 C(X_3)、番茄红素(X_4)和可溶性固形物(X_5) 5 项指标进行综合评价分析,见表 4。由表 4 可知可溶性糖、有机酸和维生素 C 可作为评价的综合指标,累积贡献率为 90.249%,以这 3 项指标的贡献率作为权重系数,可得综合值 Z 值,表达式如下:

$$Z = 0.5381Z_1 + 0.204Z_2 + 0.160Z_3 \quad (2)$$

综合评价指标 Z 值(见表 5)的大小,该指标反映了番茄综合品质的大小。可以看出 C2I1 处理番茄的综合品质最好,同一灌水量处理下 C2 处理的番茄综合品质最高,同一灌水均匀系数下 I1 处理的综合品质最好。所以综合考虑,选择最优处理灌水均匀系数 75% 总灌水量为 190 mm。

对番茄的第四层果的果实形态进行分析,从表 6 中可以看出,当总灌水量相同时,C2(灌水量为 I1、I2)和 C1(灌水量为 I3)处理的果实形态各个指标相对最优,但是 C2 与 C1 处理结果相差不大。当灌水

均匀系数相同时,总灌水量最大 I3 处理的果实形态各指标相对最优,其中 C1I3 处理的果实横径、纵径、果形指数、平均单果质量和平均单果体积最大。

总体来说,番茄果实形态指数随灌水量的增加而增加,但增长幅度不大,随着灌水均匀系数变化,果实形态影响无明显变化趋势。灌水量、灌水均匀系数及二者的交互作用对果实形态指数均无显著影响($P > 0.05$)。

表 4 主成分分析中番茄各品质的贡献率及累积贡献率

Table 4 Contribution amount and cumulative contribution amounts of tomato quality under principle component

| 主成分 Principle component | 贡献率 Contribution amount / % | 累积贡献率 Cumulative contribution amount / % |
|----------------------------|--------------------------------|---|
| X_1 | 53.783 | 53.783 |
| X_2 | 20.426 | 74.209 |
| X_3 | 16.040 | 90.249 |
| X_4 | 7.484 | 97.733 |
| X_5 | 2.267 | 100.000 |

表 5 番茄品质综合评价指标

Table 5 Comprehensive evaluation results of tomato quality

| 处理 Treatment | Z_1 | Z_2 | Z_3 | Z | 排序 Sort |
|-----------------|--------|--------|---------|--------|------------|
| C1I1 | 0.2944 | 0.2792 | 11.5883 | 2.0695 | 4 |
| C2I1 | 0.1892 | 0.2066 | 12.6933 | 2.1748 | 1 |
| C3I1 | 1.3524 | 0.2524 | 8.5617 | 2.1489 | 3 |
| C1I2 | 1.2605 | 0.2769 | 8.8767 | 2.1549 | 2 |
| C2I2 | 0.6022 | 0.2747 | 7.9533 | 1.6526 | 7 |
| C3I2 | 1.1963 | 0.3160 | 8.4350 | 2.0577 | 5 |
| C1I3 | 0.7931 | 0.3127 | 6.8367 | 1.5843 | 8 |
| C2I3 | 1.3599 | 0.2870 | 7.2633 | 1.9523 | 6 |
| C3I3 | 1.3855 | 0.2792 | 3.9583 | 1.4357 | 9 |

表 6 灌水量和滴灌灌水均匀系数对番茄果实形态的影响

Table 6 Effects of irrigation uniformity coefficient and irrigation amount on fruit shape of tomato

| 处理 Treatment | 果实横径/mm Fruit diameter | 果实纵径/mm Fruit length | 果形指数 Fruit shape index | 平均单果质量/g Average fruit weight | 平均单果体积/cm ³ Average fruit volume |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| C1I1 | 66.06±2.32a | 55.71±1.93a | 0.84±0.01a | 158.412±5.89a | 157.561±7.79a |
| C2I1 | 68.84±1.84a | 57.30±1.71a | 0.83±0.01a | 172.931±8.16a | 172.252±0.32a |
| C3I1 | 66.42±0.89a | 56.07±0.2a | 0.84±0.01a | 161.663±1.2a | 158.620±3.25a |
| C1I2 | 65.32±2.21a | 54.97±2.58a | 0.84±0.01a | 152.933±4.92a | 150.371±2.83a |
| C2I2 | 68.06±1.31a | 58.13±1.75a | 0.85±0.02a | 179.974±5.12a | 176.131±6.45a |
| C3I2 | 66.86±1.65a | 56.33±1.65a | 0.84±0.01a | 164.503±4.78a | 160.811±3.64a |
| C1I3 | 70.99±1.99a | 60.23±3.84a | 0.85±0.03a | 181.631±8.98a | 182.491±9.85a |
| C2I3 | 66.94±2.54a | 56.30±0.99a | 0.84±0.02a | 168.413±7.03a | 165.020±8.21a |
| C3I3 | 65.74±5.02a | 55.26±3.87a | 0.84±0.02a | 151.371±1.62a | 157.803±1.09a |
| 方差分析 ANOVA | | | | | |
| I | 0.505NS | 0.393NS | 0.310NS | 0.019NS | 0.328NS |
| Cu | 1.009NS | 0.839NS | 0.033NS | 0.534NS | 1.081NS |
| I×Cu | 2.403NS | 2.308NS | 0.606NS | 0.500NS | 1.3377NS |

2.3 番茄生育期内土壤含水率均匀系数变化

将番茄整个生育期内不同灌水均匀系数及灌水量对土壤含水率均匀系数的影响变化进行分析,见图 4,结果表明土层深度 0~20 cm 的土壤含水率均匀系数最低,50~60 cm 土层的最高,其他土层均匀系数均值差异较小。土壤含水率均匀系数随着灌水量的增加有所增加,但无显著性影响 ($P > 0.05$),随灌水均匀系数增加无显著性变化 ($P > 0.05$)。这与关红杰等^[15]研究结果一致,灌水量与灌水均匀系数对土壤含水率均匀系数的影响不显

著 ($P > 0.05$)。

农业部发布《水肥一体化技术指导意见》^[16]中指出,蔬菜类适宜湿润深度为 20~30 cm,且番茄的根系主要分布在 20~30 cm 深度。从图 4 中看出土层深度在 20~30 cm 时,番茄整个生育期内各个处理土壤含水率均匀系数介于 85%~95%之间,均高于现行《微灌工程技术规范》中建议的均匀系数 85%^[4],说明当灌水均匀系数为 65%~85%、灌水量 190~250 mm 时能满足番茄正常生长所需要的土壤环境。

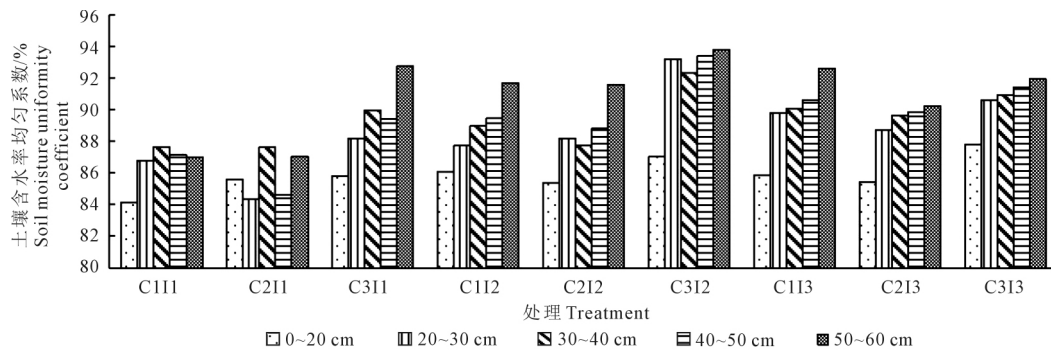


图 4 不同土层深度下各处理土壤含水率均匀系数的全生育期均值

Fig.4 Mean value of soil moisture uniformity coefficient in the whole growth period under different soil layers

3 讨论

试验结果表明,不同的灌水量与灌水均匀系数对于番茄生长与品质有不同的影响。

株高、茎粗反映了番茄的长势,是番茄生长的重要衡量指标,番茄的株高、茎粗不仅受到其品种的影响,还会受到生长环境的影响。张航等^[17]认为滴灌均匀系数与灌水量对春玉米株高均值无显著影响,本试验表明,随着灌水量的增加,番茄的株高、茎粗也随之增加,但是变化并不明显。在番茄整个生育期内,灌水均匀系数对株高增长量无显著影响 ($P > 0.05$),而与茎粗极显著相关 ($P < 0.01$),这可能与番茄对水分的吸收利用影响营养物质的沉积有关。结果表明,高水高均匀系数(C313)番茄长势最好,但是 65%低均匀系数(C113)的番茄生长情况与之差异极小,结合番茄生长情况及滴灌系统的造价经济性,可以考虑将现行灌水均匀系数标准降低。

果实形态指数是评价番茄外在品质的重要指标,也是决定番茄市场价值的重要指标之一,同时,果实形态指数与番茄产量之间也密不可分。本次试验结果表明,随着灌水量的增加,番茄果实形态指数如单果体积、单果重量等有所增加,但是各个不同处理之间的差异极小,而滴灌均匀系数对于番

茄果实指数无显著影响,品质是除产量外决定果蔬经济效益的又一重要因素,随着人们日常生活水平的提高,在追求果形、质量等外在品质指标的同时,营养品质等指标也受到越来越多的关注^[18]。本试验结果发现,随着灌水量的减少,番茄的可溶性固形物、维生素 C、番茄红素含量增加,产生这一结果的原因是番茄果实中干物质质量积累相对增加的缘故^[19]。而在同一灌水量下不同灌水均匀系数对于番茄的品质并无显著影响。结合番茄品质综合分析的结果,因此优先选择 C211 处理组合。

综合考虑番茄株高、茎粗、果实形态与品质,C313 处理株高、茎粗最高,但是果实形态指数较低,平均单果质量(151.37 g)为最低,综合品质(排序第 9)也为最低。C113 处理株高、茎粗虽低于 C313,但是并未达到显著水平,平均单果质量(181.63 g)为最高,但是综合品质较低(排序第 8),这个可能是由于灌水量过高造成。C211 处理综合品质最高(排序第 1),平均单果质量(172.93 g)中等偏上,株高、茎粗与其他处理并无显著差异。

由于土壤中水分运移等变化,滴灌带灌水均匀系数与土壤含水率均匀系数有较大差异,由于过高的滴灌灌水均匀系数会造成工程造价过高,不利于

滴灌系统的普及应用,因此将滴灌系统的灌水均匀系数进行下调具有很高的实际应用价值。本研究对番茄整个生育期的土壤含水率均匀系数进行监测,结果表明低(65%)、中(75%)、高(85%)灌水均匀系数处理下番茄整个生育期土层深度 0~60 cm 的土壤含水率均匀系数均高于 85%,满足番茄生长所需的土壤含水率均匀系数标准,这一结果也表明目前的滴灌灌水均匀系数可以下调,与张航^[17]等、关红杰^[20]等结论一致。

本研究通过温室滴灌灌水试验研究了灌水量、灌水均匀系数对番茄生长情况及土壤含水率均匀系数的影响,对于降低西北地区温室番茄工程造价、推广滴灌系统的应用具有重要的指导意义。由于本试验基于西北地区设施作物,对于西北地区大田作物条件下是否适用仍需进一步探究。

4 结 论

1) 滴灌灌水均匀度对番茄株高增长量无显著性影响($P>0.05$),对茎粗增长量有显著性影响($P<0.01$)。灌水量及灌水量与灌水均匀系数的交互作用对株高、茎粗增长量无显著性影响($P>0.05$)。

2) 灌水量对番茄品质指标可溶性糖、番茄红素、维生素 C、可溶性固形物(除有机酸)均有极显著影响($P<0.01$),灌水均匀系数及其与灌水量的交互作用对番茄品质指标无显著性影响($P>0.05$),灌水量、灌水均匀系数及二者的交互作用对果实形态指数均无显著影响($P>0.05$)。在灌水均匀系数为 75%、灌水量为 190 mm 条件下番茄品质最佳。

3) 整个生育期内滴灌灌水均匀系数 65%~85% 处理下,土壤含水率均匀系数为 85%~95%,满足番茄生长需要,因此可以考虑下调西北地区温室作物现行滴灌灌水均匀系数标准。

参 考 文 献:

[1] 李久生 张建君 薛克宗.滴灌施肥灌溉原理与应用[M].北京:中国农业出版社,2003:2-11.

- [2] 韩方军.微灌灌水均匀度计算方法的比较与评价[J].新疆水利,2015(3):1-8.
- [3] 李久生.灌水均匀度与深层渗漏量关系的研究[J].农田水利与小水电,1993(1):1-4.
- [4] 中华人民共和国水利部.GB/T 50485—2009 微灌工程技术规范[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [5] 朱德兰 吴普特 张青峰 等.微地形影响下滴灌均匀度设计指标研究[J].排灌机械,2006(1):22-26.
- [6] 陈渠昌.滴灌灌水均匀系数的模拟研究[D].北京:北京农业大学,1995.
- [7] 李天来.我国日光温室产业发展现状与前景[J].沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
- [8] Abdalhi M A M 程吉林 冯绍元 等.滴灌条件下不同供水水平对温室番茄生长、产量及其品质的影响[J].灌溉排水学报,2016(1):36-41.
- [9] Patel N, Rajput T B S. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato [J]. Agricultural Water Management, 2007, 88(1-3):209-223.
- [10] 张辉 张玉龙 虞娜 等.温室膜下滴灌灌水控制下限与番茄产量、水分利用效率的关系[J].中国农业科学,2006,39(2):425-432.
- [11] Christian J E. Hydraulics of sprinkling systems of irrigation [J]. Transaction of the ASCE, 1942, 107: 221-239.
- [12] 吴雪,王坤元,牛晓丽,等.番茄综合营养品质指标构建及其对水肥供应的响应[J].农业工程学报,2014,30(7):119-127.
- [13] 邢英英.温室番茄滴灌施肥水肥耦合效应研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2015.
- [14] 邢英英 张富仓,张燕,等.滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响.中国农业科学,2015,48(4):713-726.
- [15] 关红杰 李久生,栗岩峰.干旱区滴灌均匀系数和灌水量对土壤水氮分布的影响[J].农业工程学报,2012,28(24):121-128.
- [16] 农业部发布《水肥一体化技术指导意见》[J].中国农技推广,2013,29(3):20-22.
- [17] 张航 李久生.华北平原春玉米滴灌均匀系数对土壤水氮时空分布的影响[J].中国农业科学,2012,45(19):4004-4013.
- [18] 吕望 牛文全 古君 等.微润管埋深与密度对日光温室番茄产量及品质的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(12):1663-1673.
- [19] 田义 张玉龙 虞娜 等.温室地下滴灌灌水控制下限对番茄生长发育、果实品质和产量的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):88-92.
- [20] 关红杰.干旱区滴灌均匀系数对土壤水氮及盐分分布和棉花生长的影响[D].北京:中国水利水电科学研究院,2013.