

开花坐果期田间小气候调节对枣树光合特性、 产量及果实品质的影响

马军勇^{1,2}, 周建伟^{1,2}, 郑国玉^{1,2}, 何 帅^{1,2}, 忠智博^{1,2}, 张万恒^{1,2}, 柳智鹏^{3,4*}

(1.新疆农垦科学院 农田水利与土壤肥料研究所, 新疆 石河子 832000;

2.农业农村部西北绿洲节水农业重点实验室, 新疆 石河子 832000;

3.河海大学 农业科学与工程学院, 南京 210098; 4.四川省水利厅, 成都 610017)

摘 要:【目的】探究气候干旱和极端高温不利条件下田间小气候调节的作用。【方法】以新疆大田成龄灰枣树为试验试材, 在开花坐果期进行微喷灌处理 T1 (2 mm/d)、T2 (4 mm/d)、T3 (6 mm/d) 和对照 CK (0 mm/d), 研究枣树开花坐果期田间小气候调节对其光合特性、产量和品质的影响。【结果】枣树开花坐果期开展田间小气候调节, 不仅对枣树的光合特性有显著影响, 提高了枣树叶片叶绿素量、净光合速率 P_n 和气孔导度 G_s , 降低了胞间 CO_2 摩尔分数 C_i 和蒸腾速率 T_r 。而且有利于提高红枣产量和品质。【结论】因此, 微喷灌是应对气候干旱和极端高温的有效举措, 可有效改善田间作物生长环境。

关 键 词: 微喷灌; 叶绿素; 净光合速率; 气孔导度; 蒸腾速率

中图分类号: S274.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022185

马军勇, 周建伟, 郑国玉, 等. 开花坐果期田间小气候调节对枣树光合特性、产量及果实品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 27-31.

MA Junyong, ZHOU Jianwei, ZHENG Guoyu, et al. Effects of Field Microclimate Regulation on Photosynthesis, Yield and Quality of Jujube at Flowering to Fruit-setting Stage[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 27-31.

0 引 言

自 20 世纪中叶以来, 受全球气候变暖的影响, 严重干旱和高温等极端气候的发生频率在不断增加, 其严重程度也在逐年提高, 且未来会进一步加重^[1-2]。而这一些变化将对作物的生长、发育和带来严重不利影响, 所以如何应对极端气候变化成了亟待解决的现实问题, 特别是在新疆这样的内陆干旱区, 其降雨稀少 (年降水量约 150 mm), 蒸发强烈 (年蒸发 1 500~3 000 mm), 气候干旱、生态脆弱, 但土地和光热资源丰富。

微喷灌通过水分蒸发降温的方式, 降低空气温度、提高相对湿度, 可有效改善田间小气候, 减轻气候干旱和极端高温对于作物的影响, 近年来国内外学者对

此开展了大量研究^[3-8]。Cavero 等^[4]研究表明, 喷灌对短时间内作物生长的小气候有明显的影响, 空气温度降低了 3.3~4.4 °C, 饱和水汽压差降低了 1.0~1.2 kPa, 且随着冠层高度的增加, 下降幅度减小, 其导致玉米叶片水势的升高。刘洪波等^[5]和王冬至^[6]在新疆吐鲁番等地开展的微喷灌对葡萄的影响研究表明, 微喷灌能有效改善田间小气候 (平均温度下降 2.01 °C 和平均相对湿度增加 9.62%), 改善葡萄生长环境, 促进葡萄果实生长 (增大葡萄果实体积, 提高果粒增长速率), 提高葡萄产量和果实中 VC 量、多酚量和单宁量等多项品质指标。该结果与 Caravia 等^[7]于 2012—2014 年在澳大利亚阿德莱德大学葡萄园中赤霞珠葡萄树上冠层的微喷灌试验结果基本一致, 微喷灌系统的应用可以显著降低冠层温度 2~5 °C, 且果实中的含糖量、花青素、酚类物质以及产量均有所提高。洪明等^[8]研究表明, 微喷灌可改善冠层微环境, 且具有增产的作用, 冠层中部温度较 CK 降低了 0.4%~3.8%, 相对湿度提高了 0.1%~5.3%, 产量较 CK 分别高 6.7%~10.2%。

现有的微喷灌研究主要集中于田间空气温度、相

收稿日期: 2022-04-07

基金项目: 兵团重大科技项目 (2021AA005); 兵团现代农业科技攻关项目 (2019AB028); “十三五”国家重点研发计划 (2016YFC0400208); 院级科研项目 (2020YJ007)

作者简介: 马军勇 (1979-), 男, 甘肃临夏人。副研究员, 硕士, 主要从事节水灌溉方面研究。E-mail: maymajy@163.com

通信作者: 柳智鹏 (1992-), 男, 四川成都人。博士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 170402060005@hhu.edu.cn

对湿度以及作物产量和品质方面,而微喷灌对于作物光合特性等影响规律研究较少。红枣原产于中国、蒙古及中亚等国家,富含糖类、蛋白质、脂肪、多种维生素及矿物质^[9],2017年底,全疆红枣种植面积已达 $4.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占全国红枣总种植面积的1/4,是新疆目前发展最快的特色林果。因此,通过研究枣树开花坐果期微喷灌对其光合特性、产量及品质的影响,进一步探讨微喷灌的田间小气候作用对枣树的影响,为干旱区枣树灌溉制度优化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2019年3月—10月在新疆生产建设兵团农二师38团开展($83^\circ 25' - 87^\circ 30' \text{E}$, $35^\circ 40' - 40^\circ 10' \text{N}$),试验点位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州西南部,昆仑山、阿尔金山北麓,塔里木盆地东南缘,属典型的大陆性干旱气候,多年平均降水量18.1 mm,平均气温11.0℃,且昼夜温差大,光热资源丰富,平均年日照时间2876 h,全年无霜期长达214 d,有效积温为2350℃左右。枣树生育期内灌溉方式为滴灌,滴灌带布设方式为1行2管,滴灌带间距为60 cm,滴灌带为贴式片滴灌带,滴头间距30 cm,滴头流量3.2 L/h(变异系数 $\leq 5\%$)。枣园土壤为壤质砂土,0~80 cm土壤体积质量为1.53 g/cm³,田间持水率为0.17 g/g,地下水埋深2.2 m左右。

1.2 试验设计

微喷试验于枣树开花坐果期进行,试验材料为成龄灰枣树(株距1 m,行距3 m),本试验共设置4个处理,分别为0 mm/d(CK)、2 mm/d(T1)、4 mm/d(T2)、6 mm/d(T3),每个处理设3次重复。微喷架设在2株枣树之间,架设高度为50 cm,微喷头流量和湿润直径分别为18 L/h和1.4 m(0.3 MPa压力下),微喷系统每日运行2次,分别为12:00和18:00(喷水量相同)^[3]。试验采用单因素随机完全区组设计,试验小区根据田块随机排列,每个小区长50 m×宽15 m(共50×5=250棵枣树)。为防止各小区间互相干扰,各小区间隔6 m,各小区的灌溉及其他农艺措施均相同。

1.3 试验参数的测定与分析

1.3.1 枣树叶片叶绿素及光合特性测定

在晴朗观测日的11:00—12:30,每个小区选取3棵枣树,在其东西南北4个方向的枣吊上选择的4片同一高度、无病虫害、无遮挡的第5~第8片叶片,使用Li-6400XT光合仪在6400-02b LED光源的1500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ 光强度下测定各处理枣树开花坐果期的光合作用参数:净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、

胞间 CO_2 摩尔分数(C_i)和气孔导度(G_s),同时使用SPAD502-PLUS型叶绿素仪测定叶片叶绿素量,叶片叶绿素量和光合作用参数均由每片叶重复测量3次计算平均值得到。

1.3.2 果实产量及品质的测定

于11月上旬果实成熟后,在试验区各小区枣园中分别选取10棵枣树作为测产对象,对所选定枣树的全部果实进行手工采收,在每个处理的枣树果实中随机选取150颗健康无病虫害的红枣果实,使用电子秤称质量并计算果实单果质量。

果实品质测定:总糖采用蒽酮法测定^[10];有机酸量采用氢氧化钠滴定法测定^[11];维生素C(VC)量采用2,6-二氯酚酚滴定法测定^[12];可溶性固形物量采用折光仪测定^[13]。

1.4 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2016和IBM SPSS Statistics 20分析数据(其中,选择Duncan法进行差异显著性检验且 $P=0.05$),图表分别采用Origin 2018和Microsoft Excel 2016完成。

2 结果与分析

2.1 开花坐果期田间小气候调节对枣树叶片叶绿素的影响

叶绿素是植物进行光合作用的重要色素,在植物的光合作用中具有不可或缺的作用,是反映光合能力的重要标志^[14]。如图1所示,在枣树开花坐果期利用微喷灌进行田间小气候调节,有利于提高枣树叶片SPAD值,T1、T2、T3处理SPAD值分别较CK提高了1.69、2.89、3.75,其中T3处理SPAD值最高为36.91,且T3处理与CK差异显著。因此,在枣树开花坐果期开展田间小气候调节,提高了枣树叶片叶绿素量,这将有利于促进枣树的光合作用。

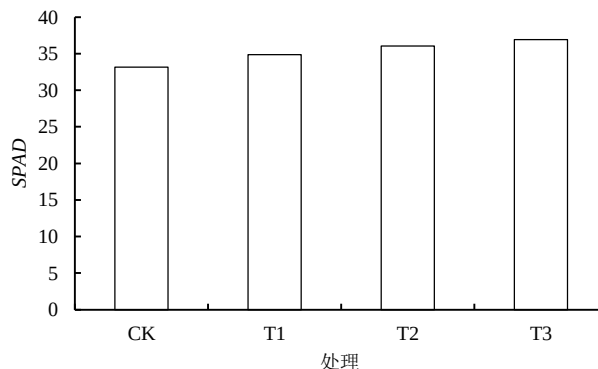


图1 枣树开花坐果期叶片SPAD值

Fig.1 SPAD of jujube leaves at flowering and fruit-setting stage

由表1可知,田间小气候调节对枣树光合特性有显著影响。微喷灌的应用不仅提高了叶片的净光合速

率 P_n 和气孔导度 G_s ，还降低了胞间 CO_2 摩尔分数 C_i 和蒸腾速率 T_r 。其中，T1、T2、T3 处理的净光合速率 P_n 分别较 CK 提高了 1.65、3.74、4.22 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ，且 T2、T3 处理均与 CK 处理差异显著；而这主要是由于 T2、T3 处理的气孔导度 G_s 分别较 CK 显著提高了 64.71%和 70.59%；与此同时，T1、T2、T3 处理的胞间 CO_2 摩尔分数 C_i 分别较 CK 减少了 20.55、

23.03、28.04 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ，且 T2、T3 处理均与 CK 差异显著；T2、T3 处理的蒸腾速率 T_r 分别较 CK 显著降低了 1.10、1.39 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ，而 T1 处理较 CK 降低了 0.21 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \text{ s})$ 。因此，枣树开花坐果期调节田间小气候，促进了枣树光合作用，有利于其产生有机物，进而提高作物产量和品质。

表 1 枣树开花坐果期叶片光合特性

Table 1 Photosynthetic characteristics of jujube leaves at flowering and fruit-setting stage

处理	净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$	胞间 CO_2 摩尔分数 $C_i/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1})$
CK	9.74b	0.17b	282.47a	6.03a
T1	11.39ab	0.22ab	261.92ab	5.82ab
T2	13.48a	0.28a	259.44ab	4.93b
T3	13.96a	0.29a	254.43b	4.64b

注 同一列数据后不同小写字母表明不同处理间差异显著($P<0.05$)，下同。

2.2 开花坐果期田间小气候调节对产量及果实品质的影响

如表 2 所示，田间小气候调节对枣树的单株果实数、单果质量和产量有显著影响。其中，虽然 T2、T3 处理的单果质量分别较 CK 降低了 0.1、0.27 g，且仅 T3 处理和 CK 有显著性差异；但是 T1、T2、T3

处理的枣树产量分别较 CK 增加了 476、718、806 kg/hm^2 ，且 T2、T3 处理均与 CK 有显著性差异；而这主要是由于 T2、T3 处理的单株果实数分别较 CK 处理显著提高了 17.62%和 21.14%。这说明在枣树开花坐果期开展田间小气候调节，可提高枣树坐果率，其能较明显的达到增产的效果。

表 2 枣树产量和果实品质

Table 2 Yield and fruit quality of jujube

处理	果实数/(个 $\cdot$ 株 $^{-1}$)	单果质量/g	产量/(kg $\cdot$ hm $^{-2}$)	总糖/%	总酸/%	VC/(mg (100g) $^{-1}$)	可溶性固形物/%	糖酸比
CK	401.94b	4.08a	5 466c	57.1b	5.78a	24.4a	32.8c	98.79c
T1	433.74ab	4.11a	5 942bc	58.2ab	4.83b	25.3a	34.6bc	120.50b
T2	472.78a	3.98ab	6 184ab	59.4ab	4.22bc	26.6a	36.4ab	140.76ab
T3	486.92a	3.81b	6 272a	60.7a	4.08c	26.9a	37.1a	151.23a

微喷灌的应用对果实中总糖、总酸、可溶性固形物和糖酸比有显著影响，但其对果实 VC 量的影响不显著。其中，T1、T2、T3 处理的总糖分别较 CK 提高了 1.1%、2.3%、3.6%，但仅 T3 处理和 CK 差异显著；而 T1、T2、T3 处理的总酸分别较 CK 显著降低了 0.95%、1.56%、1.7%；因此 T1、T2、T3 处理的糖酸比与 CK 差异显著，分别为 120.50、140.76、151.23；另外，T1、T2、T3 处理的可溶性固形物分别为 34.6%、36.4%、37.1%，且 T2、T3 处理和 CK 均有显著差异。这可能是由于在枣树开花坐果期进行田间小气候调节处理，提高了枣树开花坐果前期的坐果率，延长了果实的生长时间（即果实糖分积累的时间），从而有利于提高红枣品质。

3 讨论

微喷灌的应用会直接导致作物冠层内的气温 T_a 降低和相对湿度 RH 提高，可以在一定程度上缓解气

候干旱和极端温度造成的不利影响，可有效改善田间小气候^[8]。由饱和水气压差 VPD 的定义和 Clausius-Clapeyron 方程及其近似版本可知^[15-16]，

$$VPD=0.611 \exp\left(\frac{17.502T_a}{T_a+240.97}\right)(1-RH)。所以气温 T_a 降低和$$

相对湿度 RH 提高，将导致饱和水汽压差 VPD 的降低，Liu 等^[3]研究表明，微喷灌对小气候的影响中，最重要的就是饱和水汽压差 VPD 。这是由于 VPD 通过影响植物气孔导度 G_s ，进而控制植物蒸腾、光合等生理过程，对作物蒸散过程和水分利用效率有着重要影响。这应该主要是由于 $G_s=g_{sref}[1-k\ln(VPD)]$ ，其中 g_{sref} 为光合有效辐射 PAR 下的 CO_2 导度，即水分充足的土壤水分条件下（且 $VPD=1 \text{ kPa}$ ； $k=0.5\sim0.6$ ）的气孔导度参数^[17]。所以， VPD 的降低将直接导致气孔导度 G_s 增大，这将促进大气中 CO_2 进入到叶片中，有利于提高作物的光合速率 P_n 。而当我们边界层电导很小并且叶片合理地耦合到大气，那么叶片蒸腾速率

$T_r \approx 1.6 G_s \sqrt{VPD}^{[15]}$,但是由于 VPD 的下降速率大于 G_s 的增大速率,故将带来蒸腾速率 T_r 的下降。而净光合速率 P_n 的提高会导致韧皮部运载量的增加,进而产生更多有机物,有利于提高产量和可溶性糖量。

开花坐果期几乎是所有物种对极端温度最敏感的物候阶段之一,这是由于极端温度会对花粉生产产生不利影响^[18],会干扰花粉脱落并降低花粉活力,导致柱头上发芽的花粉粒数量减少^[19],进而降低作物的产量^[20]。灰枣属于早晨盛开的异花授粉类型,且单朵花的平均寿命只有 33 h 左右^[21]。因此,微喷灌的应用有利于提高枣树坐果率,延长养分积累时间,有利于提高果实产量和品质。另外,枣树果实的发育也会受到天气和授粉条件的影响,空气湿度过低会导致灰枣果实成熟前自行脱落。

4 结 论

1) 枣树开花坐果期开展田间小气候调节,促进了枣树的光合作用。微喷灌的应用,提高了枣树叶片 SPAD 值、净光合速率 P_n 和气孔导度 G_s ,降低了胞间 CO_2 摩尔分数 C_i 和蒸腾速率 T_r 。其变化幅度随微喷灌水量的增加而增大,但 T3、T2 处理差异不显著。

2) 枣树开花坐果期开展田间小气候调节,可提高枣树坐果率,有利于提高红枣产量和品质。微喷灌的应用显著提高了果实数和产量,以及果实中总糖、可溶性固形物和糖酸比,且对 VC 量的影响不显著,但对单果质量和总酸有不利影响。

参考文献:

- [1] LESK C, ROWHANI P, RAMANKUTTY N. Influence of extreme weather disasters on global crop production[J]. *Nature*, 2016, 529(7 584): 84-87.
- [2] DIFFENBAUGH N S, SINGH D, MANKIN J S, et al. Quantifying the influence of global warming on unprecedented extreme climate events[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(19): 4 881-4 886.
- [3] LIU Z, JIAO X, ZHU C, et al. Micro-climatic and crop responses to micro-sprinkler irrigation[J]. *Agricultural Water Management*, 2021, 243: 106 498.
- [4] CAVERO J, MEDINA E T, PUIG M, et al. Sprinkler irrigation changes maize canopy microclimate and crop water status, transpiration, and temperature[J]. *Agronomy Journal*, 2009, 101(4): 854-864.
- [5] 刘洪波, 白云岗, 张江辉, 等. 微喷周期对葡萄叶片 SPAD 值和叶绿素含量与产量的影响分析[J]. *节水灌溉*, 2019(5): 31-34, 40.
- [6] 王冬至. 微喷对葡萄园温、湿度及产量的影响研究[J]. *节水灌溉*, 2018(11): 33-38.
- [7] CARAVIA L, PAGAY V, COLLINS C, et al. Application of sprinkler cooling within the bunch zone during ripening of Cabernet Sauvignon berries to reduce the impact of high temperature[J]. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 2017, 23(1): 48-57.
- [8] 洪明, 赵经华, 马英杰, 等. 干旱绿洲区枣园冠层微环境调控效应[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(1): 16-22.
- [9] LI J, FAN L, DING S, et al. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(2): 454-460.
- [10] 易剑平, 毕雅静, 宋秀荣, 等. 蒽酮-硫酸法测定枸杞多糖质量分数的研究[J]. *北京工业大学学报*, 2005, 31(6): 641-646.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定: GB/T 12456—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定: GB 5009.86—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [13] 中华人民共和国农业部. 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法: NY/T 2637—2014[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [14] 李振海, 王纪华, 贺鹏, 等. 基于 Dualex 氮平衡指数测量仪的作物叶绿素含量估算模型[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(21): 191-197.
- [15] CAMPBELL G S, NORMAN J M. An Introduction to Environmental Biophysics[M]. 2 nd edition. New York: Springer Science & Business Media, 1998.
- [16] LAWRENCE M G. The relationship between relative humidity and the dewpoint temperature in moist air: A simple conversion and applications[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2005, 86(2): 225-234.
- [17] OREN R, SPERRY J S, KATUL G G, et al. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit[J]. *Plant, Cell & Environment*, 1999, 22(12): 1 515-1 526.
- [18] HATFIELD J L, PRUEGER J H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development[J]. *Weather and Climate Extremes*, 2015, 10: 4-10.
- [19] SATAKE T, YOSHIDA S. High temperature-induced sterility in indica rice at flowering[J]. *Japanese Journal of Crop Science*, 1978, 47(1): 6-17.
- [20] FAHAD S, BAJWA A A, NAZIR U, et al. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1 147.
- [21] 陆婷, 罗淑萍, 李疆, 等. ‘灰枣’传粉综合征及其繁育系统[J]. *西北农业学报*, 2016, 25(2): 264-268.

Effects of Field Microclimate Regulation on Photosynthesis, Yield and Quality of Jujube at Flowering to Fruit-setting Stage

MA Junyong^{1,2}, ZHOU Jianwei^{1,2}, ZHENG Guoyu^{1,2}, HE Shuai^{1,2},
ZHONG Zhibo^{1,2}, ZHANG Wanheng^{1,2}, LIU Zhipeng^{3,4*}

(1. Xinjiang academy of agricultural and reclamation science, Shihezi 832000, China;

2. Key Laboratory of Northwest Oasis Water-Saving Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,
Shihezi 832000, China; 3. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

4. Sichuan Provincial Water Resources Department, Chengdu 610017, China)

Abstract: 【Objective】 In order to explore the effect of microclimate regulation in the field under the climate drought and extreme high temperature. 【Method】 In this study, three micro-sprinkler irrigation treatments T1 (2 mm/d), T2 (4 mm/d), T3 (6 mm/d) and CK (0 mm/d) were carried out on mature grey jujube at flowering to fruit-setting stage. To study the effects of field microclimate regulation on photosynthesis, yield and quality of Jujube. 【Result】 The results indicated that field microclimate regulation had significant effect on the photosynthesis of Jujube at flowering to fruit-setting stage, increasing the chlorophyll content, net photosynthetic rate P_n and stomatal conductance G_s , and decreased the intercellular CO_2 concentration C_i and transpiration rate T_r . Moreover, it is beneficial to improve the yield and quality of jujube. 【Conclusion】 Therefore, micro-sprinkler irrigation is an effective measure to cope with climate drought and extreme high temperature, and can effectively improve the crop growth environment in the field.

Key words: micro-sprinkler irrigation; chlorophyll; net photosynthetic rate; transpiration rate; stomatal conductance

责任编辑：白芳芳