

# 水分胁迫对线辣椒光合特性的影响

王 沛, 郑 群, 李 格, 庞永慧

(石河子大学 农学院, 新疆绿洲生态省部共建重点实验室, 新疆 石河子 832003)

**摘 要:**以线辣椒“红安 8 号”为试验材料, 设置 3 个水分梯度, 分别为当地浇水量的 100% (W1)、当地浇水量的 80% (W2)、当地浇水量的 60% (W3), 采用膜下滴灌种植技术, 随机区组设计, 重复 2 年进行, 研究了水分胁迫对线辣椒光合特性的影响, 以揭示耐旱性与光合特性之间的关系, 为新疆当地线辣椒滴灌栽培技术提供参考依据。结果表明: 在 W2 处理下, 净光合积累量、光饱和点、羧化效率(CE)、表观光合量子效率( $\Phi$ )、 $\text{CO}_2$  饱和点、PSII 光化学量子效率( $\Phi\text{PSII}$ )以及光化学猝灭系数(qP)都高于其它处理, 并且光补偿点、 $\text{CO}_2$  补偿点以及非光化学猝灭系数(NPQ)显著低于其它 2 个处理。此外, 线辣椒的细胞间  $\text{CO}_2$  浓度(Ci)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(E)和净光合速率(Pn)随着生育期和浇水量的不同也不断发生变化。试验表明, 浇水量过多过少都会对线辣椒的光合过程造成不利影响, 在线辣椒栽培过程中应该对浇水量进行适度控制。

**关键词:**线辣椒; 水分; 光合; 叶绿素荧光

**中图分类号:**S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0004-06

线辣椒(*Capsicum annuum* L.)属于浅根性植物, 根系比较细弱, 木栓化程度高, 严重的水分胁迫会对线辣椒的生理过程造成重大损害。新疆地处亚欧大陆腹地, 属典型大陆性干旱气候, 年降雨量少, 日照充足, 热量丰富, 具有鲜明的地区特色<sup>[1]</sup>。新疆红辣椒在国内外有较强的知名度, 因此以红辣椒为龙头, 发展特色农业, 进行农业产业化开发, 对促进新疆经济发展有非常重要的意义<sup>[2]</sup>。在新疆, 水资源紧缺已经成为限制植物生长发育的重要因素, 对农作物造成的损失在所有的非生物胁迫中占首位。水分胁迫可破坏植物体内的水分代谢, 引起细胞失水, 导致植物体形态及生理生化过程发生变化, 抗旱反应是植物对抗新疆干旱环境的重要适应性反应。因此研究不同灌溉条件下线辣椒的生理变化, 是新疆线辣椒生产过程中实现节水灌溉的前提。

光合作用是植物生理的决定性因素, 而叶绿素是光合作用的基础, 是反映光合能力的重要标志, 在一定程度上可以反映植物的生产性能和抵抗逆境胁迫的能力<sup>[3]</sup>。作为影响线辣椒产量和品质形成的最直接因素, 光合作用也是对水分最敏感的生理过程之一。随着土壤水分胁迫的加重, 叶绿素含量和光合速率都会发生变

化, 叶绿素合成受到抑制, 随土壤水分的减少呈降低趋势<sup>[4-5]</sup>。在水分胁迫条件下, 植物体内的水分代谢和生理代谢失调, 自由基产生与清除的平衡被破坏, 自由基的产生占据主导地位, 容易诱发生物膜内的不饱和脂肪酸发生脂质过氧化作用, 生成终产物 MDA 等小分子物质, 引起生物膜差别透性的丧失<sup>[6]</sup>。叶绿体内含有丰富、精细的膜结构, 易诱发脂质过氧化作用<sup>[7]</sup>。干旱胁迫下, 脂质过氧化作用引起叶绿素含量下降<sup>[8]</sup>。因此, 该试验以新疆石河子当地较为普遍的线辣椒品种“红安 8 号”为试材, 采用膜下滴灌种植技术, 设置不同水分梯度, 研究了水分与线辣椒光合特性之间的关系, 以期新疆线辣椒的栽培管理和抗性筛选提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为新疆石河子线辣椒品种“红安 8 号”。

### 1.2 试验方法

试验于 2011、2012 年的 4—10 月在石河子大学试验基地进行田间试验, 土壤含有机质 13.5 g/kg、碱解氮 52.0 mg/kg、速效磷 16.0 mg/kg、速效钾 185.4 mg/kg。试验采用膜下滴灌的栽培方式。畦宽 1 m, 地膜幅宽 0.9 m, 每幅地膜下铺 1 条滴灌带。在滴灌带两侧对辣椒种子进行穴播, 与滴灌带间距为 0.15 m, 穴距 0.15 m, 间苗后每穴 2 株。试验设 3 个水分梯度, 采用随机区组排列, 每处理 3 次重复, 由高到低分别用 W1、W2、W3 表示, 处理 W1 为石河子地区线辣椒年平均用水量。根据

**第一作者简介:**王沛(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜生理。E-mail: yuanwuwangpei@163.com.

**责任作者:**郑群(1968-), 男, 博士, 副教授, 现主要从事蔬菜生理生态等研究工作。E-mail: zq1508@sina.com.

**收稿日期:**2014-11-10

石河子地区当年雨水情况掌握浇水时间,通过 W1 处理小区线辣椒植株的缺水状态确定灌溉量,用水表控制每次浇水量。2011 年 3 个处理的实际用水量分别为:4 140、3 600、3 060  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;为使试验结果更显著,在 2012 年加大了各处理间灌溉量的差距,3 个处理的实际用水量分别为:4 500、3 600、2 700  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。其它管理同一般大田,在每次浇水前 1 d 测定观察各指标的变化。

### 1.3 项目测定

1.3.1 光合参数的测定 采用 CIRAS-2 PP-SYSTEMS 型便携式光合仪,除光合- $\text{CO}_2$  响应曲线的测定外,都采用大气  $\text{CO}_2$  气源(英国汉莎)。测定时选取倒三叶,在 11:00—13:00 测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(E)、细胞间  $\text{CO}_2$  浓度(Ci)等参数;在辣椒第 4 层果实的盛果期测定光合-光响应曲线、光合- $\text{CO}_2$  响应曲线。

1.3.2 荧光参数的测定 所用仪器为 FMS-2 荧光仪,在晴朗无风上午选取倒三或倒四位置的功能叶片进行测定。主要测定指标有叶片的 PSII 最大光化学效率( $F_v/F_m$ ),开放的 PSII 反应中心的激发能捕获效率( $F_v'/F_m'$ ),PSII 的光化学量子效率( $\Phi\text{PSII}$ )以及光化学猝灭系数(qP),非光化学猝灭系数(NPQ)等叶绿素荧光参数,重复 3 次。其中,光化学猝灭系数的计算公式为: $qP = (F_m - F_s)/(F_m' - F_o')$ ,非光化学猝灭系数的计算公式为: $NPQ = F_m/F_m' - 1$ 。

1.3.3 测定时间 在线辣椒苗期(6 月 20 日左右),花

期(7 月 4 日左右),结果期(7 月 18 日左右),果实膨大期(8 月 2 日左右)4 个时期测定除光合-光响应曲线和光合- $\text{CO}_2$  响应曲线外的其它光合和荧光参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分对线辣椒各时期光合参数的影响

图 1 为 2011 年线辣椒各生育期的光合参数,整个生育期内处理 W2 的细胞间  $\text{CO}_2$  浓度都处于中间水平,而处理 W1 和处理 W3 一直在不断波动(图 1a)。各处理的蒸腾速率,在苗期  $W1 > W2 > W3$ ,随着处理的延续,花期以后各处理的蒸腾速率都有所提高,处理 W2 的蒸腾速率显著高于其它 2 个处理(图 1b)。线辣椒植株各处理的气孔导度呈上升趋势,并且在整个生育期内处理 W3 的气孔导度都显著低于其它 2 个处理;除结果期外,处理 W1 与 W2 的气孔导度没有显著差异性差异(图 1c)。由图 1d 可知,在整个生育期内,各处理的净光合速率  $W2 > W3 > W1$ ,并且处理 W2 的净光合速率显著高于其它 2 个处理。由此可以看出,在 W2 处理下辣椒植株的光合特性是所有处理中最优的,辣椒植株的光合积累量显著高于其它 2 个处理,这说明水分对产量能产生显著影响,W2 水分处理条件下对光合产物的积累及产量的增加最为有利,说明水分胁迫对线辣椒的产量能产生显著影响。

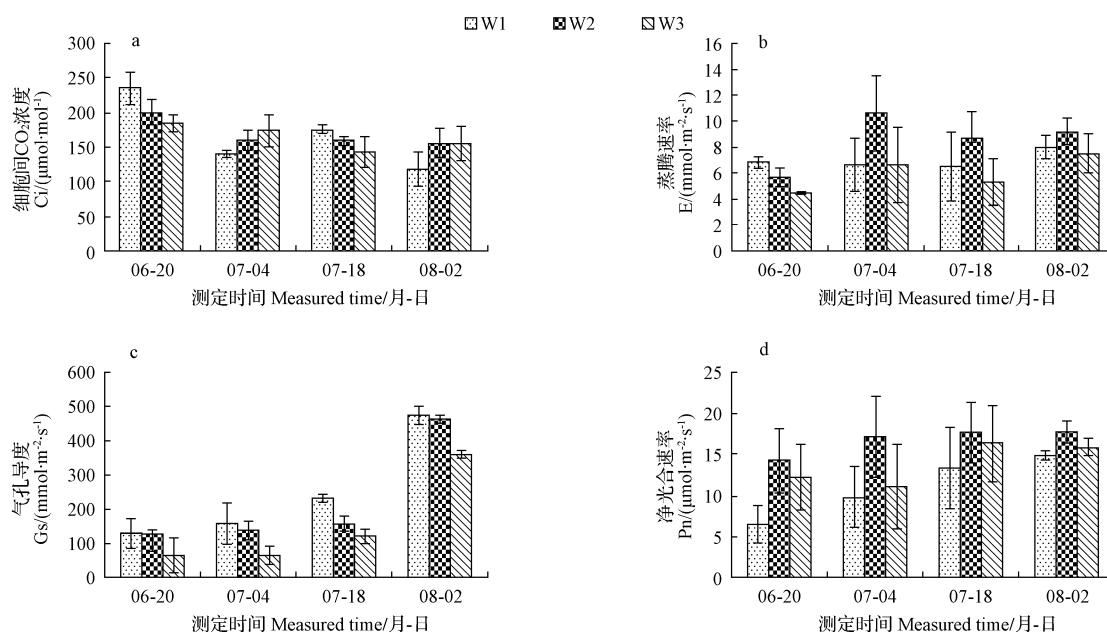


图 1 2011 年不同水分对线辣椒不同时期各光合参数的影响

Fig. 1 Effect of different water treatments on photosynthetic parameters of capsicum in different periods

图 2 是 2012 年线辣椒各生育期的光合参数。在 2012 年的试验中,各生育期处理 W3 的细胞间  $\text{CO}_2$  浓度一直处于比较低的水平,处理 W1 和 W2 的细胞间  $\text{CO}_2$

浓度变化幅度较大(图 2-a)。处理 W1 水分较高,在苗期蒸腾速率显著高于其它 2 个处理,在花期和结果期下降,显著低于处理 W2 和 W3;除花期外,处理 W3 的蒸腾

速率一直处于较低水平(图 2-b)。线辣椒整个生育期内的气孔导度苗期最高,果实膨大期降到最低。处理 W1 的气孔导度在苗期最高,在花期和结果期降低并且显著低于其它 2 个处理。处理 W3 的气孔导度一直处于较低水平(图 2-c)。线辣椒在苗期和花期处理 W1 和 W2 的净光合速率显著高于处理 W3;除果实膨大期外,处理 W2 的净光合速率始终高于其它 2 个处理(图 2-d)。由

以上各处理的光合参数比较可以看出,在 2012 年的水分设置梯度下,随着与其它处理间灌溉量差异的拉大,处理 W3 的线辣椒植株各光合指标均明显降低,显著低于其它 2 个处理,说明水分胁迫对线辣椒植株的光合能力有明显损伤。此外,处理 W2 的净光合速率一直处于较高水平,说明处理 W2 的水分梯度设计最有利于线辣椒植株的光合积累过程。

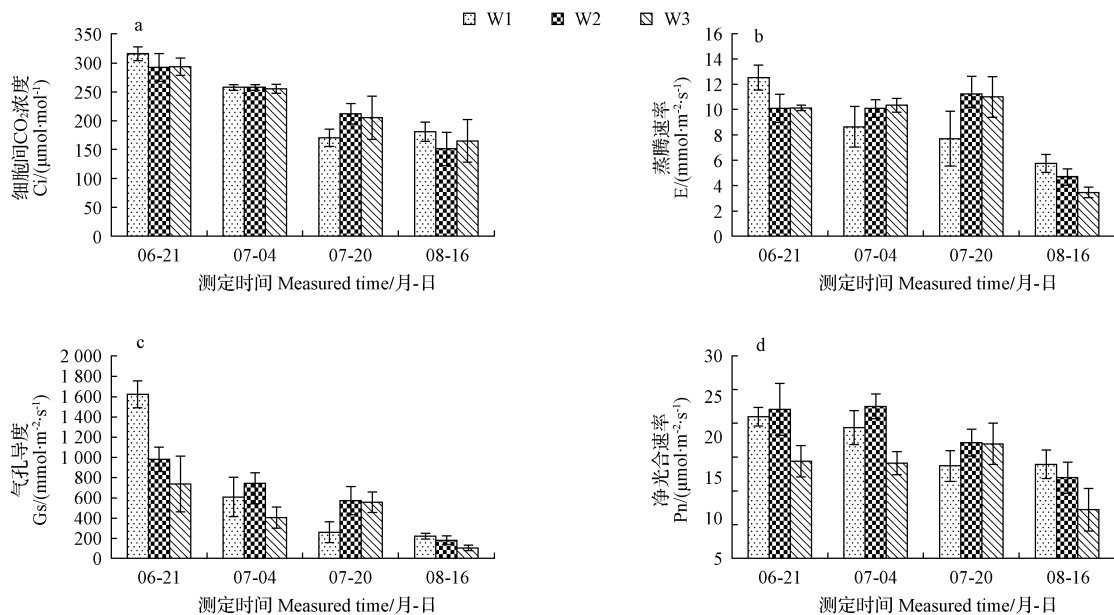


图 2 2012 年不同水分对线辣椒不同时期各光合参数的影响

Fig. 2 Effect of different water treatments on photosynthetic parameters of capsicum in different periods

## 2.2 水分对线辣椒光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线的影响

图 3 为线辣椒植株的光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线,2011 年的数据显示,处理 W1 和处理 W3 植株的 CO<sub>2</sub> 浓度饱和点、CO<sub>2</sub> 饱和条件下的 Pn 值、光呼吸速率 R 和羧化效率 CE 显著高于处理 W2,CO<sub>2</sub> 补偿点(r)显著升高。处理

W1 与 W2,处理 W2 与处理 W3 之间差异性不明显(图 3-a)。2012 年数据处理 W2 线辣椒的 CO<sub>2</sub> 浓度饱和点、CO<sub>2</sub> 饱和条件下的 Pn 值、光呼吸速率 R 和羧化效率 CE 显著高于其它 2 个处理。CO<sub>2</sub> 补偿点(r)之间的差异性不显著(图 3-b)。

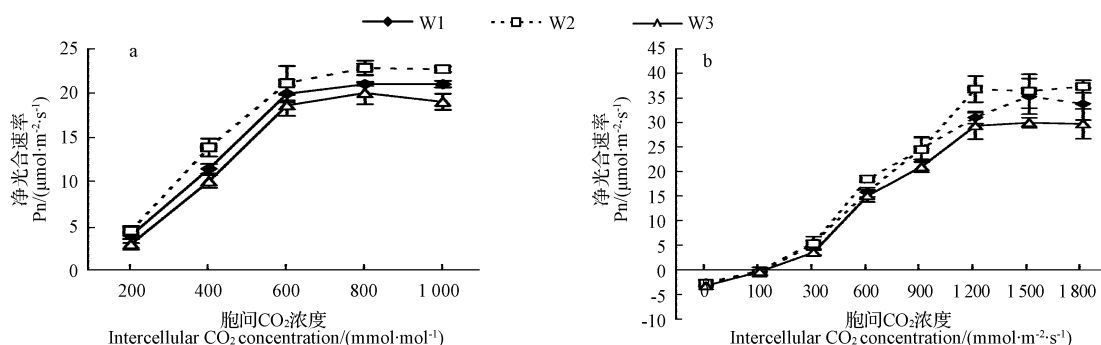


图 3 不同水分的线辣椒的光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线(a:2011;b:2012)

Fig. 3 The CO<sub>2</sub>-photosynthesis response curve of capsicum under different water treatments

通过计算得出数据 V<sub>c,max</sub> 即 rubisco 羧化酶的最大羧化效率,J<sub>max</sub> 即再生速率,R<sub>d</sub> 即线辣椒的 CO<sub>2</sub> 的补偿点见表 1。处理 W2 的 V<sub>c,max</sub> 和 J<sub>max</sub> 最高。处理 W3 的 R<sub>d</sub> 值最低。说明处理 W2 在 2 年的

水分处理中,线辣椒羧化酶的羧化效率最高,间接说明对 CO<sub>2</sub> 的亲合力最高,对线辣椒的光合能力起到促进作用。处理 W3 随着水分的减少,羧化效率降低显著,说明水分减少抑制了线辣椒的 CO<sub>2</sub> 亲和能力,

降低了羧化酶活性,抑制了线辣椒叶片的部分光合作用的能力。

表 1 光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线对应值

Table 1 The data of photosynthesis-CO<sub>2</sub> response curve

	W1	W2	W3
V <sub>c,max</sub>	45.420±8.910	54.700±7.800	54.830±3.070
2011 J <sub>max</sub>	102.800±11.100	119.810±10.600	123.470±10.600
R <sub>d</sub>	3.310±2.700	3.030±2.220	1.680±0.890
V <sub>c,max</sub>	60.010±4.180	74.410±5.840	60.830±4.810
2012 J <sub>max</sub>	167.420±19.700	197.260±22.400	165.190±15.100
R <sub>d</sub>	0.720±1.560	(-0.240)±1.970	(-1.060)±1.670

2.3 水分对线辣椒光合-光响应曲线的影响

图 4a 说明,线辣椒在处理 W2 的表观光合量子效率(Φ)最高,表观量子效率的高低说明其光能利用效率的高低。图 4b 说明,线辣椒的表观光合量子效率(Φ)、

饱和光合速率 P<sub>s</sub>、暗呼吸速率 r 处理 W2>W1>W3,随着光强的升高,各处理之间的差距显著。线辣椒叶片各处理之间的饱和光强差异性不显著,光补偿点处理 W3 最高,处理 W2 最低。说明水分减少抑制了线辣椒光合系统吸收高光强的能力。

2.4 水分对线辣椒各时期荧光参数的影响

由表 2 可以看出,在 2011 年设置的水分梯度下,对 PSII 光化学量子效率(ΦPSII)产生的影响不显著。最大光化学效率(F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>)随着水分减少而显著降低光化学猝灭系数(qP)下降。处理 W1 和 W3 的非光化学猝灭系数(NPQ)和开放的反应中心的激发能捕获效率(F<sub>v</sub>'/F<sub>m</sub>')显著高于其它 2 个处理,水分减少抑制了 PSII 的光化学活性,使用于光化学反应的部分光能及实际光化学效率降低,最终表现为净光合速率(P<sub>n</sub>)的降低。

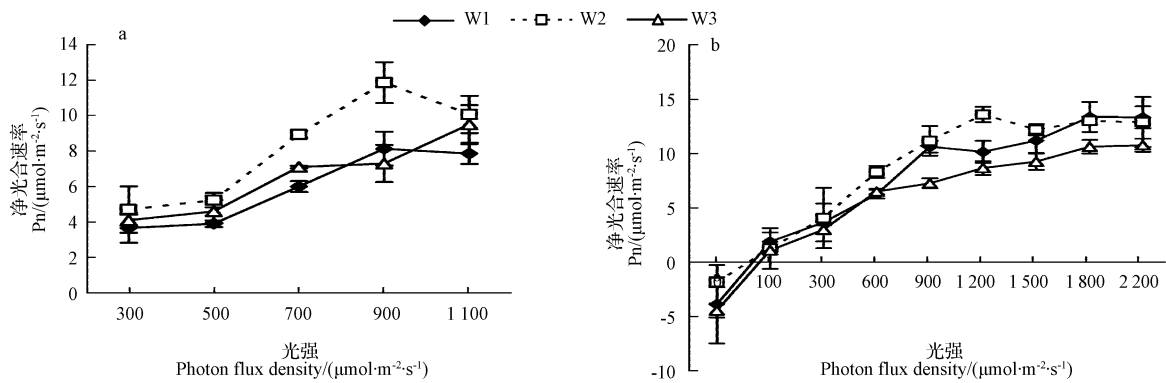


图 4 不同水分的线辣椒的光合—光响应曲线

Fig. 4 The photon flux density—photosynthesis response curve of capsicum under different water treatments

表 2 2011 年不同水分对线辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effect of different water treatments on leaf chlorophyll fluorescence in 2011

处理	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub> '/F <sub>m</sub> '	ΦPSII	qP	NPQ
W1	0.832±0.039a	0.271±0.137b	0.664±0.171a	1.242±0.208a	0.775±0.072a
W2	0.819±0.035b	0.417±0.354a	0.643±0.275a	0.952±0.112ab	0.558±0.145c
W3	0.806±0.030c	0.342±0.230b	0.650±0.226a	0.847±0.044b	0.668±0.118b

注:同行中不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。  
Note: Different lowercase letters on the same row show significant differences at 0.05 level. The same as below.

由表 3 可以看出,2012 年拉大各处理之间的水分梯度,处理 W1 和处理 W3 的 PSII 光化学量子效率(ΦPSII)低于处理 W2,这是在 2011 年设置的水分梯度下未出现的结果。与处理 W2 相比,处理 W3 线辣椒叶片的开放

的反应中心的激发能捕获效率(F<sub>v</sub>'/F<sub>m</sub>')、光化学猝灭系数(qP)下降,非光化学猝灭系数(NPQ)上升。说明在水分胁迫下光系统II吸收的不能用于光化学反应的过剩光能,则是通过非辐射热耗的形式加以消耗。

表 3 2012 年不同水分对线辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 3 Effect of different water treatments on leaf chlorophyll fluorescence in 2012

处理	F <sub>v</sub> /F <sub>m</sub>	F <sub>v</sub> '/F <sub>m</sub> '	ΦPSII	qP	NPQ
W1	0.801±0.033ab	0.454±0.023 b	0.546±0.023b	0.332±0.102b	1.625±0.413a
W2	0.839±0.007a	0.484±0.035 a	0.649±0.042a	0.811±0.139a	1.029±0.130b
W3	0.723±0.028b	0.410±0.015ab	0.589±0.016ab	0.471±0.060b	1.405±0.149a

3 讨论

土壤水分对植物生长代谢的影响是多方面的,其中对光合作用的影响尤为突出。光合速率的降低也并不

是直接由于水源供应不足而引起的。通常将影响植物光合作用的 2 个方面分为气孔因子和非气孔因子<sup>[9]</sup>。水分常常引起植物光合速率降低而气孔阻力上升,因此



认为在水分胁迫下,气孔限制是植物光合速率下降的主要原因之一<sup>[10]</sup>,而有些研究表明,水分不足时光合速率下降也可能是由于其它非气孔因素的限制,例如 RuBP 羧化酶效率降低和表观量子效率下降等也是光合速率下降的主要原因<sup>[11]</sup>。在水分胁迫下,光合作用的改变一方面可能是受气孔导度的限制,气孔导度的大小与植物的光合速率密切相关。在大多数情况下,气孔导度的下降会造成 CO<sub>2</sub> 供应受阻进而造成光合速率的下降<sup>[12]</sup>;另一方面可能受叶绿素含量的影响,其更主要原因可能与叶绿体的活性下降有关。因此,叶绿素含量的高低也是反映光合强度的重要指标<sup>[13]</sup>。该研究发现,在 2011 年试验中,水分梯度设置间距较小,气孔导度和细胞间 CO<sub>2</sub> 浓度之间的差异性表现不明显,处理 W2 的蒸腾速率和净光合速率显著高于其它 2 个处理,处理 W2 的光合日积累量显著高于处理 W1 和处理 W3。

在 2012 年水分设置拉大水分梯度后,处理 W1 和 W3 光合各指标之间的差异性显著加大。2 年的试验数据说明在处理 W2 水分条件下,线辣椒净光合速率、RuBP 羧化酶效率降低和表观量子效率显著高于其它 2 个处理,也说明在新疆独特的气候条件下,线辣椒的浇水量并不是越多越好。处理 W2 的各光合指标在整个生育期并不是最高的,处理 W1 和 W3 在整个生育期不同时期内各光合指标也有较高时期,在总浇水量不变的前提下,可以更改不同生育期的浇水量,是否会对线辣椒产量产生更大的影响,有待于进一步的研究。

叶绿体是光合作用的主要场所之一,是对水分较为敏感的细胞器。叶绿体在正常情况下吸收的光能主要是通过光合电子传递、叶绿素荧光和热耗消散 3 种途径来消耗,这 3 种途径间存在着此消彼长的关系,因此荧光变化可以在一定程度上反应光合作用的情况<sup>[14]</sup>。许多研究表明,光合作用受到伤害的最原初部位是与 PSII 紧密联系的,干旱胁迫和盐碱胁迫时导致叶绿体光合机构的破坏,PSII 放氧复合物的损伤,PSII 捕光色素蛋白复合物各组成成分的变化<sup>[15]</sup>。该试验中,随着水分梯度的加大,处理 W1 和 W3 的 PSII 中的  $\Phi$ PSII、qP 均有下降,说明 PSII 原初光能转换效率和 PSII 潜在活性受到抑制,直接影响了光合的电子传递和 CO<sub>2</sub> 同化过程。这与王

可盼等<sup>[16]</sup>在小麦叶片上的研究结果一致。同时,处理 W1 和 W3 的 NPQ 升高,表明线辣椒通过热消耗耗散过剩光能,避免对光合机构的破坏,是植物自身的一种反应机制,这与付秋实等<sup>[15]</sup>的研究结果一致。

### 参考文献

- [1] 宋志荣. 干旱胁迫对辣椒生理机制的影响[J]. 西南农业学报, 2003, 16(2): 53-55.
- [2] 李辉, 张立杰, 李民生. 新疆红辣椒产业发展探讨[J]. 农业科技通讯, 2002(12): 14.
- [3] Ristic Z, David D C. Chloroplast structure after water and high-temperature stress in two lines of maize that differ in endogenous levels of abscisic acid[J]. J Plant Sci, 1992, 153: 186-196.
- [4] 王怡丹, 全炳武, 朴京珠, 等. 水分胁迫对 4 种牧草苗期的抗旱性比较[J]. 延边大学农学报, 2007, 29(2): 29-31.
- [5] 蒋明义, 杨文英, 徐江, 等. 渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用[J]. 植物学报, 1994, 36(4): 289-295.
- [6] 蒋明义, 荆家海, 王韶唐. 水分胁迫与植物膜脂过氧化[J]. 西北农业大学学报, 1991, 19(2): 88-93.
- [7] 蒋明义, 荆家海, 王韶唐. 渗透胁迫对水稻光合色素和膜脂过氧化的影响[J]. 西北农业大学学报, 1991, 19(1): 79-83.
- [8] Winter K, Schramm M J. Analysis of stomatal and nonstomatal components in the environmental control of CO<sub>2</sub> exchanges in leaves of *Welwitschia mirabilis*[J]. Plant Physiology, 1986, 82: 173-178.
- [9] 柯世省. 水分胁迫对夏蜡梅气孔行为的影响[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2007, 3(16): 797-801.
- [10] Yang X H, Chen X Y, Ge Q Y, et al. Tolerance of photosynthesis to photoinhibition, high temperature and drought stress in flag leaves of wheat: A comparison between a hybridization line and its parents grown under field conditions[J]. Plant Science, 2006, 171: 389-397.
- [11] 张乃华, 高辉远, 邹琦. Ca<sup>2+</sup> 缓解 NaCl 胁迫引起的玉米光合能力下降的作用[J]. 植物生态学报, 2005(29): 324-330.
- [12] 钱琼秋, 朱祝军, 何勇. 硅对盐胁迫下黄瓜根系线粒体呼吸作用及脂质过氧化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004(10): 188-191.
- [13] Hendrickson L, Furbank R T, Chow W S. A simple alternative approach to accessing the fate of absorbed light energy using chlorophyll fluorescence[J]. Photosynthesis Research, 2004, 82: 73-81.
- [14] Lu C M, Zhang J H. Effects of water stress on photosystem II photochemistry and its thermostability in wheat plants[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(336): 1199-1206.
- [15] 付秋实, 李红岭, 崔健, 等. 水分胁迫对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1859-1866.
- [16] 王可盼, 许春辉, 赵福洪, 等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. 生物物理学报, 1997, 13(2): 273-278.

## Effect of Water Stress on Photosynthetic Characters of Chili Pepper

WANG Pei, ZHENG Qun, LI Ge, PANG Yong-hui

(College of Agronomy, Shihezi University, Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry, Shihezi, Xinjiang 832003)

**Abstract:** Taking chili pepper 'Hong'an 8' as material, the plants grew under plastic mulch and were irrigated by drip irrigation under three levels water gradient (local average irrigation-W1, 80% of local average irrigation-W2, 60% of local average irrigation-W3). The experiment was designed in a single factor random block and repeated for two years. The

# 宁夏主要果树花器官及幼果霜冻临界温度比较研究

王 静<sup>1,2</sup>, 张晓煜<sup>1,2</sup>, 杨 洋<sup>3</sup>, 李红英<sup>1,2</sup>, 卫建国<sup>1,2</sup>, 朱永宁<sup>1,2</sup>

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏气象科学研究所, 宁夏 银川 750002;

3. 惠农区气象局, 宁夏 石嘴山 753600)

**摘 要:**以宁夏主要果树苹果、梨、杏、李子不同花器官及幼果为试材, 利用能够准确模拟霜冻降温过程的模拟霜箱, 研究其花期及幼果期过冷却点和结冰点, 比较不同果树及同一果树不同器官抗寒性及受霜冻的临界温度, 为果园霜冻监测、预报预警及霜冻防御提供参考。结果表明: 苹果、李子幼果的抗寒性明显差于花器官。苹果开花期各器官的抗寒性从强到弱为子房>花蕾; 李子花器官(花蕾、子房)之间抗寒性差异不大, 明显强于叶片和幼果; 梨和杏各主要器官抗寒性从强到弱为花蕾>幼果>子房。宁夏苹果、梨、杏和李子蕾期和花期若遇低于-5.2℃的低温将可能全部受冻, 幼果遇低于-4.4℃的低温, 则幼果将全部受冻。3个品种的李子花器官抗寒性从强到弱为‘红美丽’>‘尤萨’>‘龙园秋李’; 幼果抗寒性从强到弱为‘龙园秋李’>‘红美丽’>‘尤萨’。2个杏品种在花期‘金太阳’比‘李梅杏’的耐冻性强, 幼果期‘金太阳’的耐冻性弱于‘李梅杏’。

**关键词:**果树; 花器官; 幼果; 过冷却点; 结冰点; 抗寒性

**中图分类号:**S 944.59 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)07-0009-05

霜冻是宁夏仅次于干旱的主要的农业气象灾害之一, 尤其是发生于经济林果开花期的晚霜冻害往往给经济林果造成的损失巨大。2010年底, 宁夏经济林总面积已逾 27 万 hm<sup>2</sup>, 是农民增收的新的增长点。一次霜冻对

**第一作者简介:**王静(1987-), 女, 宁夏平罗人, 硕士, 助理工程师, 研究方向为农业气象灾害及气候变化对作物的影响。E-mail: wj1987.011@163.com.

**责任作者:**张晓煜(1968-), 男, 博士, 研究员, 现主要从事农业气候资源利用及农业气象灾害等研究工作。E-mail: zhang\_xyne@163.com.

**基金项目:**公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201206023)。

**收稿日期:**2014-11-10

不同果树造成的损失不同, 同种果树不同发育器官的抗寒能力也有差异, 因此研究宁夏不同果树及同一果树不同器官的抗低温能力, 为进一步研究果树霜冻指标、霜冻预报预警及果园霜冻防御提供参考依据。Proebsting等<sup>[1]</sup>利用低温冰箱设置不同的低温研究苹果、梨、桃等果树开花期不同发育阶段其 10% 和 90% 受冻的临界温度。通过低温冰箱设置一定的低温处理后分析果树器官褐变率, 电导率、丙二醛等生理指标的变化, 比较不同果树的抗寒性方面研究较多<sup>[2]</sup>, 且主要集中于杏的研究<sup>[3-6]</sup>, 关于苹果、梨等尚鲜见报道, 且同一果树在不同地区的抗寒性也有差异。通过植物生理指标的变化来间接确定植物抗寒性的强弱, 由于受试验条件控制等差

effect of water stress on photosynthetic characters of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) were studied. The research's aims were to reveal the relationship between drought tolerance and photosynthetic traits, in order to provide the advantage of drip irrigation technology in local pepper cultivation in Xinjiang province. The results showed that when the plants under condition W2, net photosynthetic accumulation, light saturation point, carboxylation efficiency (CE), apparent photosynthetic quantum efficiency( $\Phi$ ), CO<sub>2</sub> saturation point, photochemical quantum efficiency( $\Phi$ PSII) and photochemical quenching coefficient(qP) were higher; but light compensation point, CO<sub>2</sub> compensation point and non-photochemical quenching coefficient(NPQ) were lower than two other conditions. In addition, as the continuance of the growth period and with different amount of watering, intercellular CO<sub>2</sub> concentration(Ci), stomata conductance(Gs), transpiration rate (E) and Pn changed. In conclusion, more or less irrigation was bad for photosynthesis and chlorophyll fluorescence, therefore, the irrigation throughout the whole growing period of chili pepper should be regulated.

**Keywords:** chili pepper; water; photosynthesis; chlorophyll fluorescence