

网络出版时间:2022-03-05 08:55 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.09.013
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20220302.1430.013.html

氮磷钾配比对西红花光合作用及叶绿素荧光的影响

朱 娇,杨柳燕,周 琳,张永春

(上海市农业科学院 林木果树研究所,上海 201403)

【摘 要】 【目的】研究西红花光系统 PSⅡ 对不同氮磷钾配比的响应和适应机制。【方法】以 20~25 g/球的西红花为试验材料,施用氮(N)磷(P)钾(K)配比分别为 30-10-10(T1)、20-20-15(T2)和 10-30-20(T3)3 种水溶肥,分别测定不同处理西红花叶片长度、叶绿素含量、净光合速率(P_n)、胞间二氧化碳浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(Tr)和叶绿素荧光诱导动力学参数,分析不同氮磷钾配比对西红花光合作用及叶绿素荧光的影响。【结果】T1 和 T2 处理可以促进西红花叶片生长和叶绿素积累,缓解叶片衰老变黄,整体效果显著优于 T3 处理。与 T1、T2 处理相比,T3 处理西红花叶片光合结构受损,导致 P_n 、 G_s 、 Tr 降低, C_i 增加,显著抑制了 PSⅡ 性能指数(PI_{abs}),降低了叶片 PSⅡ 活性反应中心单位面积吸收的光能(ABS/CS_m)、单位面积电子传递的能量通量(ET_o/CS_m)和单位面积捕获的用于还原 Q_A 的能量(TR_o/CS_m),增加了单位面积耗散能量(DI_o/CS_m),引起原初光化学反应最大量子产率(φ_{p_o})、电子传递的量子效率(φ_{E_o})、PSⅠ 受体侧末端电子受体还原的量子效率(φ_{R_o})降低,导致 PSⅡ 反应中心实际光能捕获效率降低,叶片生长势减弱且提前衰老变黄。【结论】高氮型水溶肥(N-P-K 为 30-10-10)有利于促进西红花高效生长,提高西红花光合作用和光能捕获效率。

【关键词】 西红花;水溶肥;光合特性;叶绿素荧光诱导动力学参数

【中图分类号】 S567.23;Q949.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2022)09-0111-08

Effects of different N,P and K ratios on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Crocus sativus*

ZHU Jiao,YANG Liuyan,ZHOU Lin,ZHANG Yongchun

(Forestry and Pomology Research Institute,Shanghai Academy of Agricultural Sciences,Shanghai 201403,China)

Abstract: 【Objective】 The experiment was conducted to examine the response and adaptation mechanisms of photosynthesis (PSⅡ) of saffron (*Crocus sativus*) to different N,P and K ratios. 【Method】 Saffron corm with fresh weight of 20—25 g/corm was treated with different N-P-K ratios of 30-10-10 (T1), 20-20-15 (T2) and 10-30-20 (T3), respectively. Leaf length, chlorophyll content, net photosynthetic rate (P_n), intercellular carbon dioxide concentration (C_i), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (Tr) and chlorophyll fluorescence induction kinetic parameters were determined and analyzed. 【Result】 T1 and T2 treatments promoted growth and chlorophyll accumulation with better effects than T3. T3 treatment damaged photosynthetic structure, significantly reduced P_n , G_s and Tr , while increased C_i . T3 treatment significantly decreased PSⅡ performance index (PI_{abs}), capture of energy flux (ABS/CS_m), electron transfer of energy flux (ET_o/CS_m) and energy in reduced Q_A captured by per PSⅡ reaction center (TR_o/CS_m). The energy heat dissipation per unit blade section (DI_o/CS_m) was increased conversely. The maximum quantum yield (φ_{p_o}), quantum efficiency of electron transfer (φ_{E_o}) and quantum efficiency of electron accep-

【收稿日期】 2021-10-19

【基金项目】 沪农科推字(2019)第 1-8 号

【作者简介】 朱 娇(1993—),女,江西萍乡人,研究实习员,硕士,主要从事花卉生理研究。E-mail:zhujiao@saas.sh.cn

【通信作者】 张永春(1972—),男,江西吉安人,研究员,博士,主要从事花卉育种与资源评价研究。E-mail:saasflower@163.com

tor reduction (φ_{R_0}) at the PS I receptor side were decreased. T3 treatment with low nitrogen fertilizer treatment also reduced actual light energy capture efficiency of PS II reaction center, inhibited saffron leaves growth and advanced yellow in normal leaves. 【Conclusion】 High nitrogen soluble fertilizer (N-P-K ratio of 30-10-10) was beneficial to promote leaves growth and improve photosynthesis and light capture efficiency of *Crocus sativus* L.

Key words: *Crocus sativus*; water-soluble fertilizer; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence induction kinetics parameters

肥料是农业生产中不可或缺的元素,是植物生长发育、代谢、遗传的物质基础,同时也决定着花卉、蔬菜、果木、粮油等作物的产量和品质^[1]。合理的氮磷钾配比可有效促进植物组织分生、叶片生长,提高植物光合效率以及碳水化合物运输^[2]。有研究表明,氮肥占比大可促进龙葵光系统 II 最大光化学量子产量和电子传递速率,提高处于最低激发态的捕光色素分子数和光化学反应耗散比例,减少天线热耗散比例^[3]。此外,氮磷钾施用总量相同的情况下,在花期和果实膨大期追施磷钾肥能够改善骏枣的光合功能,提高 PS II 最大光能转化效率(F_v/F_m)和 PS II 最大光能转化潜力^[4]。有研究表明,钾肥是加速光合机构运转的重要驱动力,细胞液中的钾离子与蛋白质结合导致蛋白质构象变化以活化多种酶系统。然而过多供钾将导致植株的电子传递活性、PS II 原初光能转化效率和 PS II 潜在活性严重下降^[5]。因此,合理的施肥比例可显著促进蔬菜、花卉、果木光系统吸收光能的效率,提高对光能的捕获和转化。

西红花(*Crocus sativus*)又名番红花、藏红花,是鸢尾科(Iridaceae)番红花属(*Crocus* L.)多年生草本植物^[6]。西红花中有 3 根暗红色的花柱,具有活血化瘀、凉血解毒、解郁安神等功效,因此被广泛用于保健饮品;同时因其诱人的颜色和细腻的香气被广泛用作染料和食品添加剂^[7]。西红花属于秋冬开花、冬春生长的植物,2 月下旬至 3 月上旬是西红花的增高高峰期,3 月下旬西红花叶片不再伸长、叶尖开始枯黄^[8]。生长期间,氮磷钾肥料会显著影响西红花的种球产量。低用量氮肥会使西红花球茎减小,适量追施氮肥有利于提高西红花球茎产量^[9-10],且植物叶片光合效率与作物产量具有极强的相关性^[11-12],然而不同比例氮磷钾肥对西红花叶片光合效率及响应机制的影响目前尚未见研究。借助叶绿素荧光动力学(OJIP)详细分析 PS II 的光能吸收利用、传递及耗散过程,判定 PS II 的受损程度、受损部位及光合电子传递情况^[13],从而解释西红花光系统

内部的变化和响应机制。因此,本研究分析 3 个不同氮磷钾配比处理对西红花叶片生长、叶绿素含量、光合特性和叶绿素荧光特性等的影响,以期了解西红花光系统对氮磷钾的响应和适应机制,为西红花的高效栽培提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

从上海市农业科学院白鹤基地选择 20~25 g/球的西红花种球为试验材料。

1.2 试验设计

试验于 2020 年 11 月底在上海市农业科学院华漕院区进行。将西红花种球种植在草炭(20~40 mm 粗纤维)和珍珠岩配成的基质(二者质量比 3:2)中,每行种 5 个,间隔 5 cm,种植 6 行;每筐 30 个西红花种球,同一配方处理种植 6 筐,共 18 筐。其中每两行西红花种球之间插 4 个滴灌箭头,每筐 12 个,具体分布如图 1 所示。滴灌箭头的水流速度为 12.5 mL/min,2021 年 2—4 月施肥机器每天滴 1 次,每次 1 min。水肥 EC 值为 1.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。采用 Anorel 品牌 N-P-K 比例分别为 30-10-10(T1)、20-20-15(T2)、10-30-20(T3)的 3 种水溶性肥料,其中 30-10-10 为高氮型水溶肥,20-20-15 为平衡型水溶肥,10-30-20 为高磷钾型水溶肥。室内环境温度为 5~15 $^{\circ}\text{C}$,光照强度(550 ± 50) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光照周期 8 h/16 h。

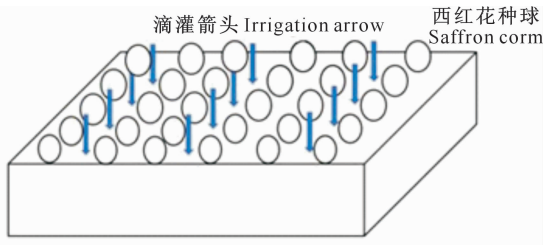


图 1 西红花栽培方式及滴灌箭头分布示意图
Fig. 1 Sketch map of saffron cultivation method and distribution of drip irrigation arrows

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长指标 2021 年 3 月底,使用直尺(0.1 cm)测定叶片尖端至叶基部的长度,记为叶片长度,每筐重复 3 次。用 SPAD-502 PLUS 便携式叶绿素仪测定每筐中 3 株西红花的功能叶片,记录其 SPAD 值,取平均值。

1.3.2 光合作用参数 2021 年 3 月底,选择上午 09:00—11:00,利用 CIRAS-3 便携式光合仪(美国 PP SYSTEMS 公司中国总部汉莎科学仪器有限公司)测定西红花叶片光合作用参数,包括净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s)。当叶片数值稳定 1 min 后,测定 2 min 内各项指标变化,每 10 s 测定 1 次,取平均值,每筐重复 3 次。光照强度设定 $580\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, CO_2 含量为 3.90×10^{-4} 。

1.3.3 叶绿素荧光动力学参数 2021 年 3 月底,用植物效率分析仪 PEA Plus(汉莎科技集团, V1.10),夹取西红花功能叶片中间位置,暗处理 20 min 后,测定该叶片的 PS II 性能指数(PI_{abs})、最大光化学量子产量(F_v/F_m)、单位反应中心吸收的光能 ABS/RC 、单位反应中心捕获的用于还原 Q_A 的能量(TR_o/RC)、单位反应中心捕获的用于电子传递的能量(ET_o/RC)、单位反应中心耗散总能量($DI_o/$

RC)、单位面积吸收的光能(ABS/CS_m)、单位面积捕获的用于还原 Q_A 的能量(TR_o/CS_m)、单位面积电子传递的能量通量(ET_o/CS_m)、单位面积耗散的能量(DI_o/CS_m)、单位面积反应中心的数量(RC/CS_m)、原初光化学反应最大量子产率(φ_{P_o})、电子传递的量子效率(φ_{E_o})、PS I 受体侧末端电子受体还原的量子效率(φ_{R_o})、活性反应中心捕获的单个激子驱动除 Q_A 外的电子传递效率(φ_{E_o})、驱动单个电子由 Q_A^- 经由电子传递链至 PS I 受体侧末端电子受体的效率(φ_{R_o})、单个电子从光系统间电子传递链至 PS I 受体侧末端电子受体的效率(δ_{R_o})和关闭 PS II 反应中心的速率(M_o)^[14-15]。

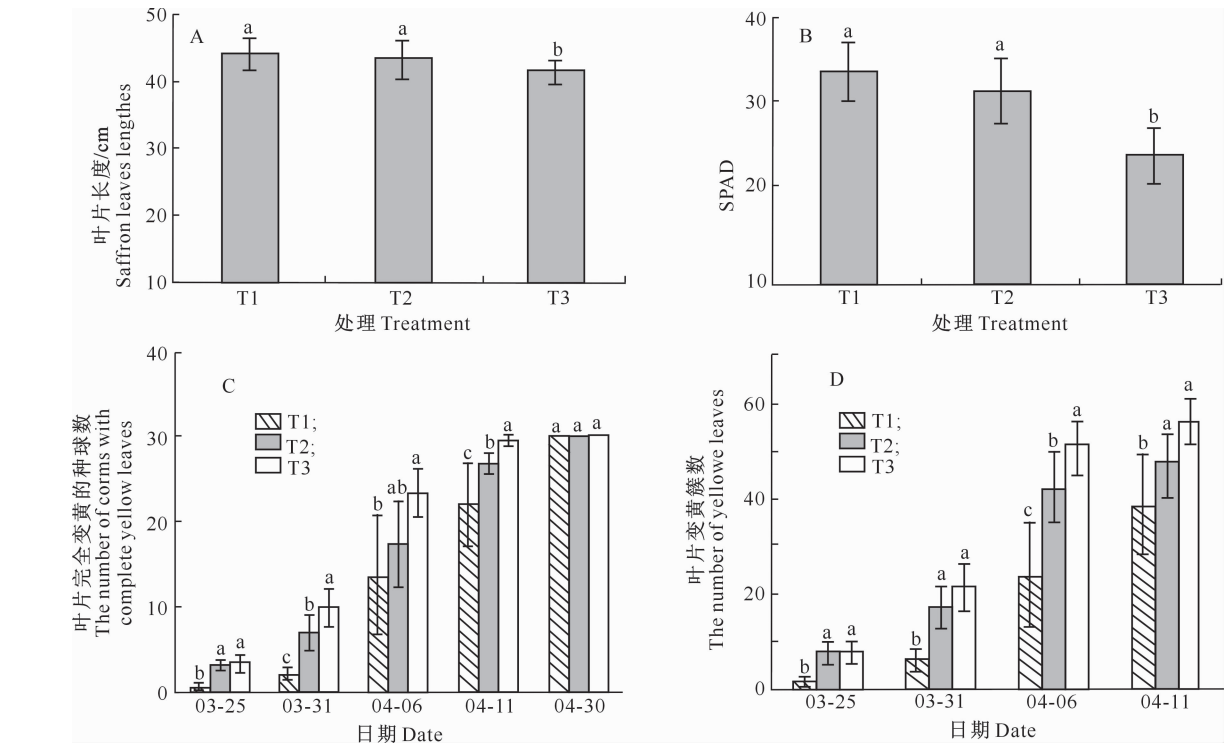
1.3.4 叶片观察 2021 年 3 月底西红花种球叶片开始变黄,分别于 03-25,03-31,04-06,04-11,04-30 统计叶片变黄簇数和叶片完全变黄的种球数。

1.4 数据处理

使用 Excel 2010 软件统计数据,采用 SPSS 17.0 软件进行 ANOVA 方差分析和差异显著性分析(Duncan 新复极差法),使用 Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同氮磷钾比对西红花生长的影响
不同氮磷钾比对西红花生长的影响见图 2。



图柱上标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同
Different lowercase letters indicate significant difference between treatments ($P<0.05$). The same below

图 2 不同氮磷钾比对西红花生长的影响

Fig. 2 Effect of different N,P and K ratios on saffron growth

由图 2 可见,T1 和 T2 处理西红花叶片长度均显著大于 T3 处理,其中 T1 处理叶片最长达 44.5 cm,T3 处理叶片最短为 41.3 cm;T1 和 T2 处理叶片叶绿素含量均显著高于 T3 处理,T3 处理叶绿素含量较 T1 处理降低了 30.3%。观察期间,叶片完全变黄的西红花种球数和叶片变黄簇数逐渐增加,各处理抑制叶片完全变黄作用由大到小依次是 T1>T2>T3;03-25,T1 处理才开始出现叶片完全变黄的种球,而 T2 和 T3 处理已有 3 个叶片完全变黄的种球;04-11,T3 处理西红花叶片全部变黄,T1

和 T2 处理叶片至 4 月底才基本全部变黄。

2.2 不同氮磷钾配比对西红花光合特性的影响

由图 3 可见,T1 和 T2 处理 P_n 、 G_s 和 T_r 均明显高于 T3 处理。T1 和 T2 处理 P_n 在 20~21 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,分别比 T3 处理提高了 83.5%和 81.3%;T1、T2 处理 G_s 和 T_r 分别为 663.01~747.55,2.04~2.47 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,两者之间无显著差异;T3 处理 G_s 和 T_r 分别为 215.96 和 1.52 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。T3 处理 C_i 为 387.43 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,分别比 T1 和 T2 处理显著提高了14.1%,23.2%。

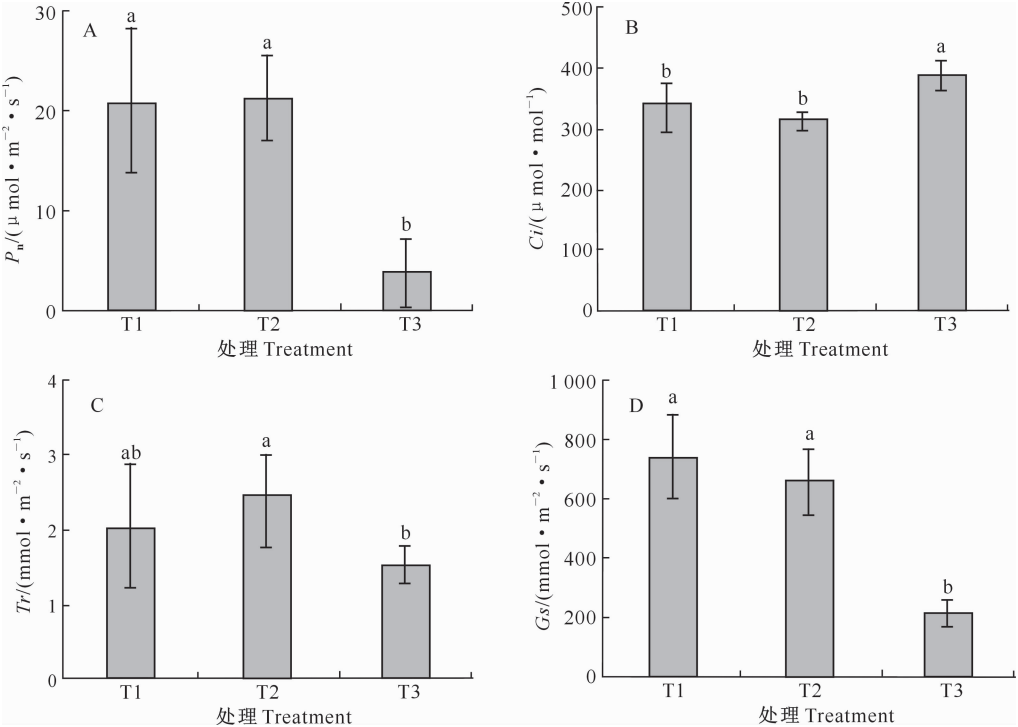


图 3 不同氮磷钾配比对西红花光合特性的影响

Fig. 3 Effect of different N,P and K ratios on saffron photosynthetic characteristics

2.3 不同氮磷钾配比对西红花光系统 PS II 的影响

2.3.1 F_v/F_m 和 PI_{abs} 不同氮磷钾配比对 PI_{abs} 和

F_v/F_m 的影响见图 4。

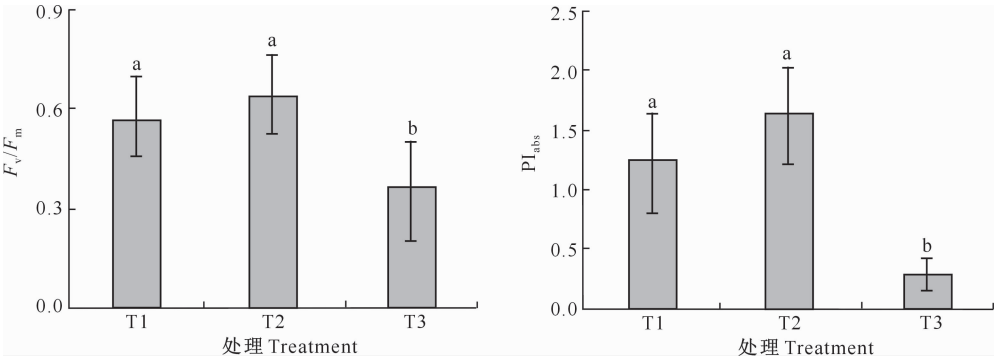


图 4 不同氮磷钾配比对西红花光系统 PS II F_v/F_m 和 PI_{abs} 的影响

Fig. 4 Effect of different N,P and K ratios on F_v/F_m and PI_{abs} in saffron PS II

由图4可见,T1与T2处理西红花 F_v/F_m 和 PI_{abs} 无显著差异,主要集中在0.5~0.6和1.2~1.6.T3处理 F_v/F_m 和 PI_{abs} 分别为0.36和0.3,均显著低于T1和T2处理。

2.3.2 PSⅡ单位反应中心和单位横截面积反应中心能力 由图5可见,T3处理西红花 ABS/RC 、 TR_o/RC 、 ET_o/RC 、 DI_o/RC 和 DI_o/CS_m 分别为4.89,1.55,0.9,3.33和390.66,均显著高于T1和T2处理。T3处理 ET_o/CS_m 、 TR_o/CS_m 、 RC/CS_m 分别为142.77,252.11,171,均显著低于T1和T2处

理。T3处理 ABS/CS_m 为642.77,与T1处理差异不显著,但显著低于T2处理。

2.3.3 PSⅡ供体侧和电子传递性能 如表1所示,T3处理西红花 M_o 显著高于T1和T2处理,比T1处理提高35.41%。T3处理 φ_{Po} 、 φ_{Eo} 和 φ_{Ro} 分别为0.36,0.2和0.11,均显著低于T1和T2处理。3个处理 ψ_{Eo} 和 ψ_{Ro} 分别为0.58~0.6和0.26~0.32,且均无显著差异。T3处理 δ_{Ro} 分别比T1和T2处理明显提高了14.8%和25.5%。

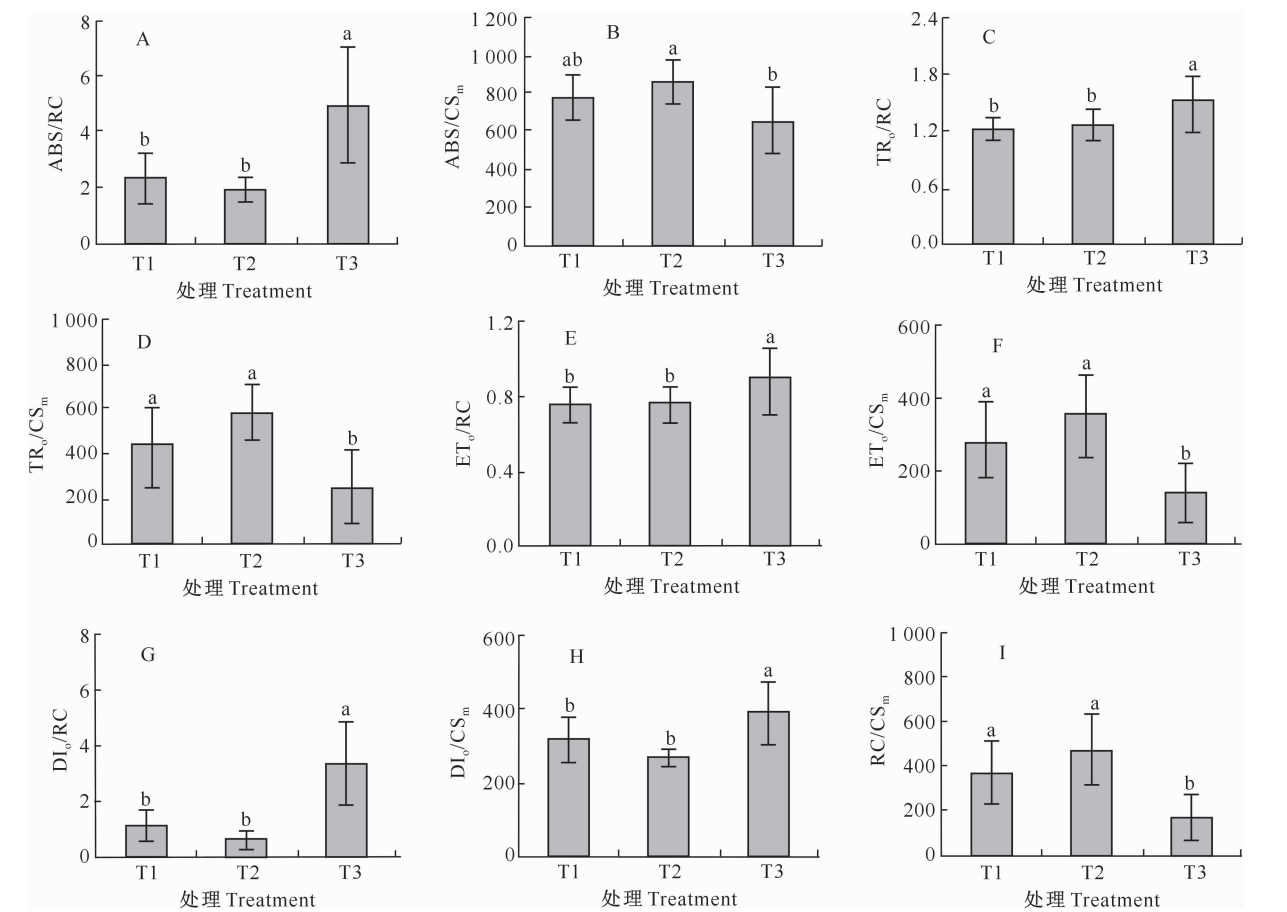


图5 不同氮磷钾配比对西红花光系统PSⅡ反应中心比活性参数的影响
Fig.5 Effect of different N,P and K ratios on saffron PSⅡ reaction center activity

表1 不同氮磷钾配比对西红花光系统PSⅡ供体侧和电子传递性能的影响
Table 1 Effects of different water-soluble N,P and K ratios on quantum yields and flux ratios in saffron PSⅡ

处理 Treatments	M_o	φ_{Po}	φ_{Eo}	φ_{Ro}	ψ_{Eo}	ψ_{Ro}	δ_{Ro}
T1	0.48±0.09 b	0.56±0.13 a	0.34±0.10 a	0.16±0.06 a	0.61±0.06 a	0.29±0.08 a	0.47±0.10 ab
T2	0.50±0.14 b	0.67±0.06 a	0.41±0.07 a	0.17±0.03 a	0.60±0.06 a	0.26±0.04 a	0.43±0.04 b
T3	0.65±0.15 a	0.36±0.13 b	0.20±0.07 b	0.11±0.04 b	0.58±0.07 a	0.32±0.08 a	0.54±0.10 a

注:同列数据后标不同小写字母代表各处理间差异显著($P<0.05$)。
Note:Different lowercase letters represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

3 讨 论

氮肥是植物生长发育和结实的矿物营养基础;磷肥对植物组织分生、叶片生长以及碳水化合物运输等具有重要作用;钾肥能够促进植物营养吸收和光合作用,对特定蛋白质形成有不可或缺的作用^[2]。比例合适的氮磷钾肥料会显著提高植物的产量,促进其营养生长和生殖生长^[16]。叶德练等^[17]研究发现,随着施氮量的增大,夏玉米穗位叶的叶绿素含量明显增高,籽粒产量和氮素吸收量随之增大。本研究中,高氮型水溶肥(氮磷钾配比 30-10-10, T1)处理明显促进了叶片生长和叶绿素积累,减缓了植株叶片的衰老变黄。这是因为适宜氮素营养能促进叶绿素的形成,提升光合效率,在表型方面起到延缓叶片衰老变黄的作用;但氮肥过量会导致植物营养失衡,叶绿素形成受阻,降低光合速率^[18-20]。

光合作用是在光照射下植物利用叶绿素将 H_2O 和 CO_2 转化为碳水化合物,并释放 O_2 的生化过程。该过程不仅受内部因素影响,还受外界环境条件的制约^[21]。本研究中,高氮型水溶肥(T1)和平衡型水溶肥(T2)均提高了西红花 P_n 、 Tr 和 G_s ,而 T3 处理以上 3 个指标均下降,说明其处理植株光合作用受到抑制。这是因为 T1 和 T2 处理通过促进叶绿素合成及其含量增加,增强植株光能的吸收和传递,进而促进光合速率的提高^[22-23],而 T3 处理破坏了植物的光合结构,导致 P_n 、 G_s 、 Tr 下降,进而叶片利用 CO_2 的能力下降, C_i 升高;且其影响光合作用的因素属于非气孔限制,这种因光结构遭到破坏而导致的光合速率下降通常是不可逆的^[24-25]。

叶绿素荧光与植物光合作用有密切关系,叶绿素荧光变化可客观地反映环境对光合作用的破坏程度^[26]。本研究中,高磷钾型水溶肥(T3)处理光系统 PSⅡ 最大光化学量子产量 F_v/F_m 和 PSⅡ 性能指数 PI_{abs} 均显著低于 T1 和 T2 处理。这是因为高磷钾型水溶肥(T3)抑制了西红花光系统,导致 PSⅡ 反应中心的实际光能捕获效率降低,PSⅡ 反应中心量子产量和 PSⅡ 性能亦降低。

PSⅡ 单位反应中心活性和单位截面积反应中心的比活性参数,可以表征非生物胁迫下天线色素尺寸与电子传递能力的变化特征^[13]。本试验中,高磷钾型水溶肥(T3)促进了单位反应中心 ABS/RC 、 TR_o/RC 和 ET_o/RC 能力,但明显降低了单位叶横截面积 ABS/CS_m 、 TR_o/CS_m 和 ET_o/CS_m 的能力,同时也明显减少了 RC/CS_m ;此外, T3 处理叶片中

单位面积耗散的能量 DI_o/CS_m 和单位反应中心耗散总能量 DI_o/RC 均增加。这在一定程度上说明高磷钾型水溶肥处理可导致 PSⅡ 反应中心的数量降低。与其他 2 个处理相比,高磷钾型水溶肥(T3)处理相对促进了 PSⅡ 单位反应中心的部分活性(包括捕获、传递),由于激活反应中心活性的程度有限,导致吸收的能量过剩,单位面积反应中心耗散的能量增加,进而单位面积上反应中心的活性(捕获、传递)下降。

本研究表明,高磷钾型水溶肥(T3)处理促进了关闭 PSⅡ 反应中心的速率 M_o ,提高了 Q_A 的还原速度,同时降低了 PSⅡ 反应中心吸收光子后捕获能量的能力、电子传递的量子效率 ϕ_{Eo} ,以及 PSⅠ 受体侧末端电子受体还原的量子效率 ϕ_{Ro} ,但不影响活性反应中心捕获的单个激子驱动除 Q_A 外的电子传递效率 ϕ_{Eo} ,以及驱动单个电子虫 Q_A^- 经由电子传递链至 PSⅠ 受体侧末端电子受体的效率 ϕ_{Ro} 。

4 结 论

综上所述,长期施用高磷钾型水溶肥(T3)会导致叶片光合结构受损,PSⅡ 反应中心数量降低,PSⅡ 反应中心的实际光能捕获效率下降,叶片光合速率和叶绿素含量下降,最终导致叶片生长势减弱且提前衰老变黄。而施用高氮型水溶肥(T1)和平衡型水溶肥(T2)提高了 PSⅡ 反应中心光能捕获效率、光合作用和叶绿素含量,进而促进叶片生长,其中高氮型水溶肥(T1)效果最好。因此,西红花栽培中建议施用高氮型肥料,以保证其高效生长。

[参考文献]

- [1] 李 宁. 氮磷肥对不同品种紫花苜蓿产量和品质的影响 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
Li N. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on nutritional yield and quality of different alfalfa varieties [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2021.
- [2] 唐海龙. 配方施肥对竹叶花椒生长和产量品质及土壤肥力的影响 [D]. 四川雅安:四川农业大学,2019.
Tang H L. Effects of formula fertilization on growth, yield, quality and soil fertility of *Zanthoxylum armatum* [D]. Ya'an, Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2019.
- [3] 唐星林, 刘 斌, 刘光正, 等. 氮肥对镉胁迫下龙葵叶绿素含量和叶绿素荧光特性的影响 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2021, 41(6): 39-46.
Tang X L, Liu B, Liu G Z, et al. Effects of nitrogen fertilizer on chlorophyll content and chlorophyll fluorescence characteristics of *Solanum nigrum* under cadmium stress [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2021, 41

- (6):39-46.
- [4] 王 刚,侍 瑞,努尔尼萨,等. 氮磷钾施肥配比对骏枣叶绿素荧光参数的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012,40(9):187-194.
- Wang G, Shi R, Nu E, et al. Effect of different ratios of N, P and K fertilizer on the fluorescence parameters of jun-jujube [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2012,40(9):187-194.
- [5] 孙 骞,杨 军,张绍阳,等. 钾营养对中华猕猴桃叶片光合作用及叶绿素荧光的影响 [J]. 安徽农业大学学报, 2007,34(2): 256-261.
- Sun Q, Yang J, Zhang S Y, et al. Potassium nutrition on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Actinidia chinensis* planch leaves [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2007,34(2):256-261.
- [6] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第十六卷 [M]. 北京:科学出版社,1985:122.
- Editorial Committee of Chinese Botany of the Chinese academy of Sciences. Flora of China: vol. 16 [M]. Beijing, Science Press, 1985:122.
- [7] 朱 娇,张永春,周 琳,等. 不同光周期对西红花开花和花丝品质的效应比较 [J]. 西北植物学报, 2021,41(3):431-438.
- Zhu J, Zhang Y C, Zhou L, et al. Comparison on the effect of different photoperiods on flowering and stigma quality of saffron [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2021, 41 (3):431-438.
- [8] 王 桢,周 琳,杨 贞,等. 番红花子球茎膨大过程中主要营养物质和植物激素的动态变化 [J]. 植物生理学报, 2019,55 (9):1306-1314.
- Wang Z, Zhou L, Yang Z, et al. Study on replacement corm enlargement of *Crocus sativus* and the dynamic changes in major nutriment and phytohormones during the vegetative development [J]. Plant Physiology Journal, 2019,55(9):1306-1314.
- [9] 王加真,徐学文,宋义富,等. 氮肥施用量对西红花产量的影响 [J]. 中国园艺文摘, 2010,26(1):11-12.
- Wang J Z, Xu X W, Song Y F, et al. Effects of nitrogen application on yield of *Crocus sativus* L. [J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2010,26(1):11-12.
- [10] 沈晓霞,姚金富,王志安,等. 施肥和覆草方式对西红花生长及其产量的影响 [J]. 时珍国医国药, 2005,16(12):1329-1330.
- Shen X X, Yao J F, Wang Z A, et al. Influences of variety fertilizer and mulching form on growth and yield of saffron [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2005, 16 (12):1329-1330.
- [11] 崔庆梅. 陕北三种枣树光合生理特性与果实产量及品质关系的研究 [D]. 陕西延安:延安大学, 2021.
- Cui Q M. Studies on photosynthetic physiological characteristics and fruit yield and quality of three types of jujube trees in northern Shaanxi [D]. Yan'an, Shaanxi: Yan'an University, 2021.
- [12] 王春丽,王周礼,陈 婷,等. 甘蓝型油菜生殖生长期叶片和角果光合与产量关系的研究 [J]. 西北植物学报, 2016,36 (7): 1417-1426.
- Wang C L, Wang Z L, Chen T, et al. Relationship between yield and photosynthesis of leaf and silique of different *Brassica napus* L. varieties during reproduction period [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2016,36(7):1417-1426.
- [13] 常翠翠,张东升,郝兴宇,等. CO₂ 浓度与温度升高对冬小麦叶片光合与快速叶绿素荧光特征的影响 [J]. 植物生理学报, 2021,57(4):919-928.
- Chang C C, Zhang D S, Hao X Y, et al. Effects of elevated CO₂ concentration and increased temperature on the photosynthesis and fast chlorophyll fluorescence of winter wheat leaves [J]. J Plant Physiol, 2021,57(4):919-928.
- [14] Strasser B J, Strasser R J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test [M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995:977-980.
- [15] 李鹏民,高辉远, Reto J S. 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005,31(6):559-566.
- Li P M, Gao H Y, Strasser R J. Application of the fast chlorophyll fluorescence induction dynamics analysis in photosynthesis study [J]. J Plant Physiol Mol Biol, 2005,31(6):559-566.
- [16] 刘 璇. 氮磷钾对黄土丘陵区红枣生长、产量和品质的影响 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2012.
- Liu X. Effect of N, P, K on growth, yield and quality of Chinese jujube trees in loess hilly region [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2012.
- [17] 叶德练,王玉斌,周 琳,等. 乙烯利和氮肥对夏玉米氮素吸收与利用及产量的调控效应 [J]. 作物学报, 2015,41(11):1701-1710.
- Ye D L, Wang Y B, Zhou L, et al. Effect of ethephon and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, nitrogen use efficiency and yield of summer maize [J]. Acta Agronomica Sinica, 2015,41(11):1701-1710.
- [18] 曾维军. 氮、磷、钾肥对紫色小麦光合生理特性、产量及主要品质的影响 [D]. 贵阳:贵州大学, 2019.
- Zeng W J. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on photosynthetic physiological characteristics, yield and main quality of purple wheat [D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.
- [19] 何明慧. 氮磷钾配施对粉葛产量与品质的影响 [D]. 南宁:广西大学, 2020.
- He M H. Effect of fertilization combination of nitrogen, phosphorus, and potassium on yield and quality of *Pueraria thomsonii* [D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
- [20] Zhao B P, Ma B L, Hu Y G, et al. Source-sink adjustment: a mechanistic understanding of the timing and severity of drought stress on photosynthesis and grain yields of two contrasting oat (*Avena sativa* L.) genotypes [J]. J Plant Growth Regul, 2021,40(1):263-276.
- [21] 王景燕,龚 伟,包秀兰,等. 水肥耦合对汉源花椒幼苗叶片光合作用的影响 [J]. 生态学报, 2016,36(5):1321-1330.

Wang J Y,Gong W,Bao X L,et al. Coupling effects of water and fertilizer on diurnal variation of photosynthesis of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim ‘hanyuan’ seedling leaf [J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(5):1321-1330.

[22] Naidu C V,Swamy P M. Seasonal pattern of photosynthetic rate and its relationship with chlorophyll content,ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity and biomass production [J]. Biol Plant,1995,37(3):349-354.

[23] 李学孚,倪智敏,吴月燕,等. 盐胁迫对‘鄞红’葡萄光合特性及叶片细胞结构的影响 [J]. 生态学报,2015,35(13):4436-4444.

Li X F,Ni Z M,Wu Y Y,et al. Effects of salt stress on photosynthetic characteristics and leaf cell structure of ‘Yinhong’ grape seedlings [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35 (13): 4436-4444.

[24] 周贝宁,毛 恋,花壮壮,等. 碱性盐胁迫对夏蜡梅光合荧光特性影响 [J]. 浙江农业学报,2021,33(8):1416-1425.

Zhou B N,Mao L,Hua Z Z,et al. Effects on photochemical fluorescence properties under salt-alkaline stresses about *Sinocalycanthus chinensis* [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2021,33(8):1416-1425.

[25] Jin L Q,Che X K,Zhang Z S,et al. The mechanisms by which phenanthrene affects the photosynthetic apparatus of cucumber leaves [J]. Chemosphere,2017,168(2):1498-1505.

[26] 陈 娟,曾 青,朱建国,等. 施氮肥缓解臭氧对小麦光合作用和产量的影响 [J]. 植物生态学报,2011,35(5):523-530.

Chen J,Zeng Q,Zhu J G,et al. Nitrogen supply mitigates the effects of elevated O₃ on photosynthesis and yield in wheat [J]. Chinese Journal of Plant Ecology,2011,35(5):523-530.

.....

(上接第 110 页)

[40] 周雅心,林少颖,郑 毅,等. 围垦养殖对中国典型滨海湿地土壤真菌多样性及群落结构影响 [J]. 环境科学学报,2021,41(7):2826-2837.

Zhou Y X,Lin S Y,Zheng Y,et al. Effects of reclamation aquaculture on soil fungal diversity and community structure of typical coastal wetlands in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2021,41(7):2826-2837.

[41] 程晓亮. 耕作方式对小麦病害发生及根际真菌群落结构的影响 [D]. 河北保定:河北农业大学,2010.

Cheng X L. Influence of Tillage system on wheat disease and rhizosphere fungal diversity [D]. Baoding,Hebei:Hebei Agricultural University,2010.

[42] 叶清桐,李亚萌,周悦妍,等. 国内外葡萄枝干病害的发生危害与病原菌种类 [J]. 果树学报,2021,38(2):278-292.

Ye Q T,Li Y M,Zhou Y Y,et al. Occurrence of grapevine trunk diseases caused by fungal pathogens in the domestic and overseas [J]. Journal of Fruit Science,2021,38(2):278-292.

[43] 申红妙,李正楠,杨佳瑶,等. 葡萄生单轴霉重寄生菌 F3 的鉴定及防治效果测定 [J]. 植物保护学报,2017,44(4):643-649.

Shen H M,Li Z N,Yang J Y,et al. Identification of the mycoparasitic strain F3 on *Plasmopara viticola* and its control effect on grape downy mildew [J]. Journal of Plant Protection,2017,44(4):643-649.

[44] Weber R W S, Entrop A P. *Dactylonectria torresensis* as the main component of the black root rot complex of strawberries and raspberries in northern Germany [J]. Erwerbs-Obstbau, 2017,59(3):157-169.

[45] Li X,Yan J,Kong F,et al. *Botryosphaeria dothidea* causing canker of grapevine newly reported in China [J]. Plant Pathology,2010,59(6):1170.