

不同光强和 CO₂ 浓度对温室嫁接黄瓜 光合作用及叶绿素荧光参数的影响

董 乔¹, 宋 阳¹, 孙 潜¹, 孙世君¹, 李海涛², 崔世茂¹

(1. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 鄂尔多斯市伊金霍洛旗农牧局, 内蒙古 鄂尔多斯 017200)

摘 要:以温室嫁接黄瓜为试材,研究不同光照强度和 CO₂ 浓度互作条件下叶片净光合速率和叶绿素荧光参数日变化规律及其相互关系,旨在为温室嫁接黄瓜高产优质栽培提供参考依据。结果表明:相对 100%光照下叶片净光合速率(Pn)、光化学猝灭(qP)的日变化均呈双峰曲线,相对 15%光照和 32%光照处理的日变化均为单峰曲线,说明适当遮阴可以有效缓解温室黄瓜光合“午休”现象;相对 100%光照+高浓度 CO₂ 处理组合的净光合速率(Pn)值最大,可以有效提高黄瓜叶片的光合效率,为光强和 CO₂ 浓度的较优组合;相对 32%光照下施加中浓度 CO₂ 的处理组合叶绿素荧光参数 F_v/F_m、qP、NPQ 日变化值均最大,净光合速率(Pn)值也较大,为光强和 CO₂ 浓度的较优组合,说明冬季弱光条件下,适当增施 CO₂ 可以提高黄瓜叶片的光合效率,减少光照不足的影响。

关键词:黄瓜;光照;CO₂;光合作用;叶绿素荧光参数

中图分类号:S 642.216 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)22-0001-06

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是我国北方日光温室栽培的主要蔬菜作物,由于日光温室生产是在半密闭状态下进行,温度、光照强度和 CO₂ 浓度等环境因素都与自然环境下的有所差异,其中较突出的是 CO₂ 匮乏和冬季弱光并存的现象^[1]。

光照和 CO₂ 是影响植物光合作用的重要外界环境因素,CO₂ 匮乏和弱光的环境会引起作物光合效率降低,产量、品质难以提高、病虫害易发生等一系列问题^[2]。由此探讨 2 种因子互作条件下温室黄瓜光合作用的特点与规律,有助于探明温室黄瓜光合作用对光照强度和 CO₂ 浓度的光合生理响应机制,对于提高日光温室黄瓜产量和品质具有重要的理论和实践意义。

前人有关光照和 CO₂ 互作条件下对植物影响的研究大都是在人工气候室内进行,研究各因子对植物叶片

光合速率等方面的综合影响,从而筛选出促进日光温室光合作用的最佳组合^[3-5]。于显枫等^[6]通过不同光照强度、CO₂ 浓度处理组合,研究了高大气 CO₂ 浓度和遮阴对小麦叶片光合特性及产量构成因子的影响。崔世茂团队^[7-12]研究了高温和 CO₂ 加富互作条件下对温室黄瓜光合及生理等方面的影响,但目前有关不同光照强度、CO₂ 浓度互作处理对温室黄瓜光合作用等方面影响的研究鲜有报道。

叶绿素荧光动力学技术是以光合作用理论为基础,以植物体内叶绿素为探针的一种快速、灵敏、无损伤的探测逆境对光合作用影响的理想方法。叶绿素荧光参数在测定叶片光合作用及光系统对光能的吸收、传递、耗散、分配等方面具有独特作用,能够反映植物的光合能力^[13-14]。

该试验研究了不同光照强度和 CO₂ 浓度对黄瓜叶片净光合速率和叶绿素荧光参数的影响,探讨相应光合响应机制,筛选出光照强度和 CO₂ 浓度环境因子的较优组合,从而提高温室黄瓜的光合能力进而找到更为合理的栽培措施,最终为温室黄瓜高产优质栽培提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为温室嫁接黄瓜,接穗为‘津优 35 号’黄

第一作者简介:董乔(1991-),女,蒙古族,硕士研究生,研究方向为设施园艺及抗逆生理。E-mail:dongqiao111@126.com

责任作者:崔世茂(1961-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事园艺作物抗逆生理和园艺设施及环境调控等研究工作。E-mail:cuishimao@sina.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31060269);内蒙古自治区科技计划资助项目(20110710);教育部博士点基金资助项目(20101515110005)。

收稿日期:2015-08-19

瓜,砧木选用‘白籽南瓜’。

1.2 试验方法

试验于2014年3—8月在内蒙古农业大学教学试验基地的日光温室中进行。3月28日将黄瓜种子浸种4~6 h后置于28℃的培养箱中催芽(砧木提前4 d)。3月30日播种育苗,砧木和接穗均采用穴盘育苗的方法。4月17日嫁接,5月12日定植。

试验通过在温室内用竹竿和塑料薄膜搭设小棚,使各处理完全隔开,相互独立。每个小棚的规格为长4 m、宽2.5 m、高2.5 m。每个处理设3次重复,采用双行垄作栽培,行距50 cm,株距30 cm。5月26日开始增施CO₂并进行遮阴处理。设置3种光照处理和3种CO₂处理,具体编号见表1。

光照处理:用黑色遮阳网围住小棚进行遮阴处理,

表1 不同光强和CO₂浓度处理组合

Table 1 The treatment combinations of different light intensity and CO₂ concentration

处理编号 Treatment number	处理名称 Treatment name	处理组合设置 Combination of treatment
①	高浓度CO ₂ +相对15%光照 High CO ₂ +15% light	增施CO ₂ 浓度为1 800~2 000 μmol/L,加盖2层遮阳网 CO ₂ concentration is 1 800—2 000 μmol/L and two layers shading network
②	高浓度CO ₂ +相对32%光照 High CO ₂ +32% light	增施CO ₂ 浓度为1 800~2 000 μmol/L,加盖1层遮阳网 CO ₂ concentration is 1 800—2 000 μmol/L and one layer shading network
③	高浓度CO ₂ +相对100%光照 High CO ₂ +100% light	增施CO ₂ 浓度为1 800~2 000 μmol/L,不加盖遮阳网 CO ₂ concentration is 1 800—2 000 μmol/L and no shading network
④	中浓度CO ₂ +相对15%光照 Middle CO ₂ +15% light	增施CO ₂ 浓度为1 200~1 400 μmol/L,加盖2层遮阳网 CO ₂ concentration is 1 200—1 400 μmol/L and two layers shading network
⑤	中浓度CO ₂ +相对32%光照 Middle CO ₂ +32% light	增施CO ₂ 浓度为1 200~1 400 μmol/L,加盖1层遮阳网 CO ₂ concentration is 1 200—1 400 μmol/L and one layer shading network
⑥	中浓度CO ₂ +相对100%光照 Middle CO ₂ +100% light	增施CO ₂ 浓度为1 200~1 400 μmol/L,不加盖遮阳网 CO ₂ concentration is 1 200—1 400 μmol/L and no shading network
⑦	低浓度CO ₂ +相对15%光照 Low CO ₂ +15% light	增施CO ₂ 浓度为500~700 μmol/L,加盖2层遮阳网 CO ₂ concentration is 500—700 μmol/L and two layers shading network
⑧	低浓度CO ₂ +相对32%光照 Low CO ₂ +32% light	增施CO ₂ 浓度为500~700 μmol/L,加盖1层遮阳网 CO ₂ concentration is 500—700 μmol/L and one layer shading network
⑨	低浓度CO ₂ +相对100%光照 Low CO ₂ +100% light	增施CO ₂ 浓度为500~700 μmol/L,不加盖遮阳网 CO ₂ concentration is 500—700 μmol/L and no shading network

1.3 项目测定

试验于处理1个月选择天气晴朗的3 d进行测量(分别是6月25、26、29日),于8:00—18:00间进行指标测定。

1.3.1 温度、CO₂浓度、光强日变化 温度、CO₂浓度采用北京旗硕基业科技有限责任公司生产的旗硕“农用通”测量,光强采用美国LI-cor公司生产的LI-6400型便携式光合作用测定仪测量。

1.3.2 净光合速率(Pn) 采用美国LI-cor公司生产的LI-6400型便携式光合作用测定仪,使用开放气路,选取由顶部向下第4片完全展开的功能叶,每隔2 h测定1次。每次测量重复3次,计算平均值。

1.3.3 叶绿素荧光参数 采用德国WALZ公司生产的MINI-PAM型超便携式调制叶绿素荧光仪,将所测材料充分暗适应30 min(用暗适应夹完全遮光),测定叶片叶

通过增加遮阳网的层数进行光照强度的梯度设置,长期全天遮阴。共设3个光照梯度,分别为全光照(相对100%光照)、1层网遮阴(相对32%光照)、2层网遮阴(相对15%光照)。并采用LI-6400型便携式光合作用测定仪测定光照强度,对各处理光照强度进行适当调整,使遮光效果一致。

CO₂增施处理:采用乌兰察布市慧明科技有限公司生产的AI型二氧化碳发生器增施CO₂。通过小棚容积计算用量,并采用便携式GXH-3051型红外线CO₂分析仪测定CO₂浓度(μmol/L),适当调整用量,达到各处理所需浓度。每天施用4次CO₂用来维持试验所需浓度,时间分别为8:00、10:00、14:00、16:00。共设3个CO₂浓度梯度,分别为1 800~2 000、1 200~1 400、500~700 μmol/L。

绿素荧光参数PSII最大光化学效率(F_v/F_m)、光化学猝灭系数(qP)、非光化学猝灭系数(NPQ)。每次测量重复3次,计算平均值。

1.4 数据分析

用Microsoft Excel 2003软件对数据进行处理和作图,SPSS 17.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理的温度、光照强度和CO₂浓度日变化

不同处理的光照强度日变化(图1)表明,在不同光照处理下,其光强随遮阴度的增加而下降,均在12:00左右达到最高值。其中处理③、⑥、⑨最高值在700 μmol·m⁻²·s⁻¹左右,处理②、⑤、⑧最高值在230 μmol·m⁻²·s⁻¹左右,处理①、④、⑦最高值在100 μmol·m⁻²·s⁻¹左右。均达到试验要求。

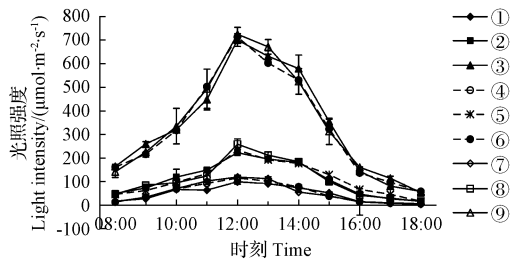
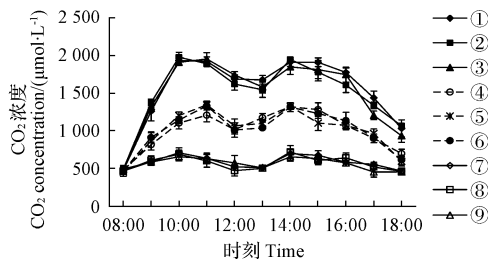


图1 不同处理的光照强度日变化

Fig. 1 Diurnal changes of light intensity under different treatments

不同处理的 CO_2 浓度日变化(图 2)表明,在早晨未施用 CO_2 之前,各处理的 CO_2 浓度基本相同,可以达到 $450\sim 500\ \mu\text{mol/L}$ 。8:00 开始施加 CO_2 ,处理①、②、③最高值均达到 $1\ 900\ \mu\text{mol/L}$,10:00—16:00 平均浓度达到 $1\ 796\ \mu\text{mol/L}$,处理④、⑤、⑥最高值均达到 $1\ 300\ \mu\text{mol/L}$,10:00—16:00 平均浓度达到 $1\ 171\ \mu\text{mol/L}$;处理⑦、⑧、⑨最高值均达到 $650\ \mu\text{mol/L}$,10:00—16:00 平均浓度达到 $611\ \mu\text{mol/L}$ 。均达到试验要求浓度。

图2 不同处理的 CO_2 浓度日变化Fig. 2 Diurnal changes of CO_2 concentration under different treatments

不同处理的温度日变化(图 3)表明,各处理的气温日变化均表现为先上升后下降的趋势,所有处理均在 13:00—14:00 达到最高值,早晚温度相对较低。不同遮阴处理的温度有较大差异,其中处理③、⑥、⑨全天平均温度为 37.5°C ,处理②、⑤、⑧全天平均温度为 34.4°C ,处理①、④、⑦全天平均温度为 31.3°C 。不同 CO_2 浓度处理间的温度没有明显差异。

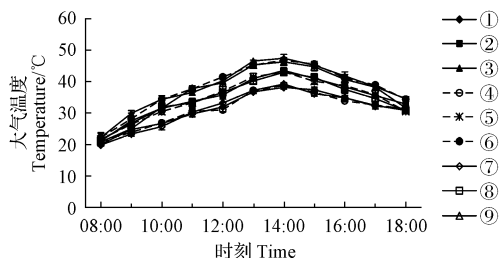


图3 不同处理的温度日变化

Fig. 3 Diurnal changes of temperature under different treatments

2.2 不同处理的净光合速率日变化及 10:00—16:00 均值

不同处理下黄瓜叶片净光合速率(Pn)日变化(图 4)表明,处理③、⑥、⑨的净光合速率(Pn)日变化趋势基本一致,均呈双峰曲线,处理①、④、⑦和②、⑤、⑧的净光合速率(Pn)日变化均呈单峰曲线。其中处理③、⑥、⑨的净光合速率(Pn)在 10:00 出现第 1 个峰值,分别为 $32.0, 26.6, 20.3\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,在 14:00 出现第 2 个峰值,但各值均低于第 1 个峰值,并且随 CO_2 浓度的变化,3 个处理的黄瓜叶片净光合速率(Pn)日变化总体表现为:③>⑥>⑨。处理①、④、⑦和②、⑤、⑧的净光合速率(Pn)则表现为早上较低,在 12:00 左右达到峰值,随后逐渐下降,在 18:00 到达最低,净光合速率(Pn)日变化幅度和数值均表现为②、⑤、⑧>①、④、⑦。此外,处理⑤和处理②在 12:00 的峰值($22.4, 21.4\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)均超出处理③的峰值($20.1\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。并且由图 5 可以看出,不同处理的黄瓜叶片净光合速率(Pn)10:00—16:00 均值有较大差异,除处理①、④和处理②、⑨这 2 组差异不显著之外,其它各处理均差异显著。均值排序为③>⑥>⑤>②>⑨>⑧>①>④>⑦。说明强光下净光合速率随 CO_2 浓度升高而增大,中光下净光合速率在施加中浓度 CO_2 时最高,弱光

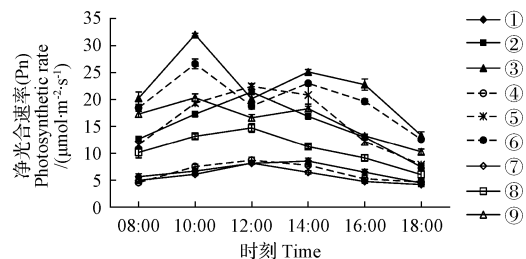
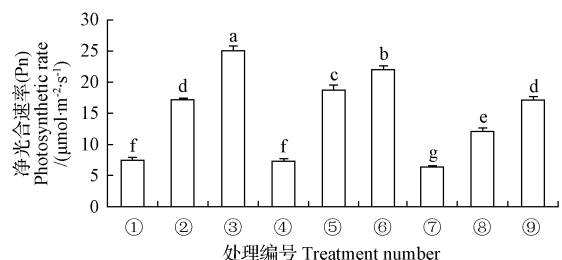
图4 不同处理的净光合速率(Pn)日变化

Fig. 4 Diurnal changes of photosynthetic rate under different treatments



注:同列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level.

图5 不同处理的净光合速率(Pn)10:00—16:00 均值比较

Fig. 5 Daily average of photosynthetic rate under different treatment at 10:00—16:00

下无论 CO₂ 浓度多高,其净光合速率也不会提高。且相对 100%光照+高浓度 CO₂ 处理组合的净光合速率(Pn)值最大。

2.3 不同处理的叶绿素荧光参数日变化

2.3.1 不同处理的 F_v/F_m(PSII最大光化学效率)日变化

不同处理下黄瓜叶片的 F_v/F_m 日变化(图 6)表明,各处理日变化均呈“V”型曲线,均在 12:00 达到最低值,处理①~⑨的最低值分别为 0.706、0.636、0.539、0.691、0.685、0.5、0.619、0.529、0.444。其中处理①、④、⑤的 F_v/F_m 日变化比较平稳,基本维持在 0.7 左右。处理③、⑥、⑧、⑨的 F_v/F_m 从 10:00 开始明显下降,到 12:00 下降至最低,之后开始恢复。4 个处理总体表现为⑧>③>⑥>⑨。处理②、⑦的 F_v/F_m 日变化趋势介于其之间。说明在弱光下 F_v/F_m 值较高且在中午时未明显下降,并随 CO₂ 浓度升高而增大;中光下 F_v/F_m 值在施加中浓度 CO₂ 时最高;强光下 F_v/F_m 值较低且在中午时明显下降,并随 CO₂ 浓度升高而增大。

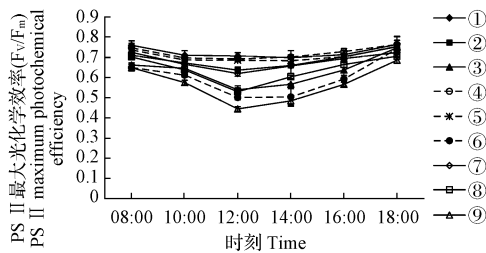


图 6 不同处理的 F_v/F_m 日变化

Fig. 6 Diurnal changes of F_v/F_m under different treatments

2.3.2 不同处理的 qP(光化学猝灭)日变化

不同处理下黄瓜叶片的 qP 日变化(图 7)表明,处理③、⑥、⑨的 qP 日变化均呈双峰曲线,与净光合速率趋势一致,均在 10:00 出现第 1 个峰值,分别为 1.199、1.089、0.875。在 14:00 出现第 2 个峰值,但各值均低于第 1 个峰值,并且随 CO₂ 浓度不同 qP 日变化总体表现为:③>⑥>⑨。遮光的各处理均大体为单峰曲线,其中处理②、①、⑦、⑧在 12:00 达到最高值,分别为 1.308、1.096、0.998、0.916。处理⑤、④在 10:00 达到最高值,分别为 1.391、0.965。说明强光和弱光下黄瓜叶片的 qP 随 CO₂ 浓度升高而增大,

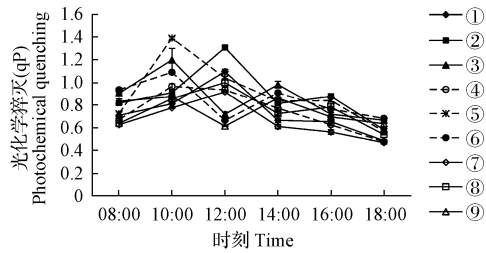


图 7 不同处理的 qP 日变化

Fig. 7 Diurnal changes of qP under different treatments

中光下 qP 在施加中浓度 CO₂ 时最大。

2.3.3 不同处理的 NPQ(非光化学猝灭)日变化

不同处理下黄瓜叶片的 NPQ 日变化(图 8)表明,处理③、⑥、⑨的 NPQ 日变化趋势基本一致,表现为下降-上升-下降,并且随 CO₂ 浓度的变化,NPQ 日变化总体表现为:⑨>③>⑥。遮光的各处理中①、②、⑦、⑧的变化趋势基本一致,均呈“M”型曲线,均在 10:00 时达到峰值,其值依次分别为 1.189、1.084、1.072、1.015。处理④的 NPQ 日变化表现为下降-上升-下降,在 12:00 达到谷值(0.737),在 14:00 达到一个较高水平(0.935)。处理⑤的 NPQ 日变化呈缓慢下降趋势。说明强光下 NPQ 在中午时明显升高,中光和弱光下 NPQ 在中午时明显下降,且不同光照处理施加中浓度 CO₂ 时 NPQ 均最小。

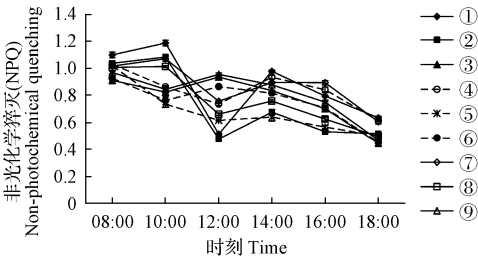


图 8 不同处理的 NPQ 日变化

Fig. 8 Diurnal changes of NPQ under different treatments

2.4 各净光合速率(Pn)和叶绿素荧光参数相关性分析

由表 2 可以看出,Pn 与 F_v/F_m、NPQ 呈极显著负相关,与 qP 呈极显著正相关。表明净光合速率和叶绿素荧光参数之间存在一定的相关关系,互相影响。

表 2 各净光合速率(Pn)和叶绿素荧光参数相关性

Table 2 Correlative of photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters

项目 Item	Pn	F _v /F _m	qP	NPQ
Pn	1			
F _v /F _m	-0.62 **	1		
qP	0.77 **	-0.06	1	
NPQ	-0.64 **	0.12	-0.88 **	1

3 讨论

光合作用是一个极其复杂的生理过程,叶片光合效率与自身因素密切相关,又受外界因子影响^[15],其中光和 CO₂ 是影响植物生长的重要环境因子。植物光合作用日变化是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本单元,也是分析环境因子影响植物生长和代谢的重要手段^[16]。环境因子对光合作用的影响不是孤立的,而是相互联系、相互制约综合作用的结果。前人研究了不同光强对植物光合作用日变化的影响^[17-19],但在黄瓜上有关不同光强和 CO₂ 浓度的互作的研究鲜见报道。该试

验通过不同光强和 CO_2 浓度的交互,研究不同处理组合对黄瓜叶片净光合速率日变化的影响,结果表明施加相同浓度 CO_2 下,不遮阴的各处理黄瓜叶片净光合速率(P_n)日变化曲线呈“双峰型”,中午出现光合“午休”现象,遮阴的各处理净光合速率(P_n)日变化曲线均呈“单峰型”,打破了光合“午休”。表明高光强与光合“午休”现象有很大关系,适当遮阴可以缓解黄瓜叶片的“午休”现象,提高净光合速率,但严重弱光会导致净光合速率下降。而在光照相同下施加不同浓度的 CO_2 并没有改变峰型,相对 100%光照下净光合速率随 CO_2 浓度增加而增大,表明其受 CO_2 浓度影响较大,相对 32%光照下施加中浓度的 CO_2 净光合速率最大,可能是由于高浓度 CO_2 抑制了光合作用,说明黄瓜叶片在不同光照下所需 CO_2 浓度不同,在弱光条件下施加中浓度的 CO_2 效果最佳。崔世茂等^[20]研究也表明,在高 CO_2 浓度条件时,要有长、强光照配合,光合效率才能充分提高。而相对 15%光照下施加不同浓度的 CO_2 对净光合速率(P_n)影响不大。因此在冬季弱光季节的黄瓜生产中增施 CO_2 有利于黄瓜叶片的光合作用,可以提高黄瓜叶片的光合效率,弥补光照不足的影响,从而提高黄瓜的产量和品质。

叶绿素荧光是光合作用的探针,通过对荧光参数的分析可以了解光合机构内部一系列重要的调节过程,得到有关光能利用途径的信息^[21],进而真实准确地揭示遮阴和增施 CO_2 处理对植物净光合速率的影响机制。叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 qP 、 NPQ 是研究植物光合生理状态的重要参数。但前人对于光照和 CO_2 对叶绿素荧光参数的影响的研究并不是很多^[22-25]。

3.1 F_v/F_m (PSII最大光化学效率)与光合作用

F_v/F_m 的变化代表 PSII 光化学效率的变化,被认为是反映光抑制程度的可靠指标,其值越低证明其发生光抑制的程度越高^[14]。该试验中黄瓜叶片的 F_v/F_m 日变化均呈“V”型曲线,与光强的日变化有对应关系。在中午光强最高时 F_v/F_m 值下降最多,说明此时黄瓜叶片的光抑制程度最大,这也是造成“午休”现象的原因之一。不同遮阴程度对 F_v/F_m 日变化的影响不同,表现为随着遮阴程度的增加, F_v/F_m 值均依次上升,说明弱光可以缓解黄瓜叶片光抑制。而光照相同下随施加 CO_2 浓度增大, F_v/F_m 值有不同程度的升高,说明施加 CO_2 可以缓解光抑制。其中,相对 32%光照下施加中浓度 CO_2 光抑制程度相对较小,说明适当遮阴和施加 CO_2 可以减轻黄瓜叶片光抑制程度,提高 PSII 原初光能转化效率,提高的电子传递能力,进而提高光合效率。

3.2 qP (光化学猝灭)与光合作用

qP 反映的是 PSII 天然色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,要保持较高的光化学猝灭就要使 PSII 反应中心处于“开放”状态,所以光化学猝灭又在一定程

度上反映了 PSII 反应中心开放程度, qP 越大,PSII 的电子传递活性越大^[14]。该试验中黄瓜叶片的 qP 日变化在不遮阴下呈“双峰”型,在遮阴下均呈“单峰”型,这与净光合速率(P_n)有类似趋势。在不遮阴下,中午 qP 值明显下降,表明由于光照过强而使 PSII 反应中心处于“开放”比例降低,电子传递活性减小,这也是引起“午休”现象的原因之一。在遮阴下 qP 值到中午未明显下降,表现为较强的电子传递活性,说明弱光打破了“午休”现象。在相对 15%光照下 qP 日变化幅度不大,说明遮光过度,光能过低也不利于电子传递。其中,相对 32%光照下施加中浓度的 CO_2 效果最好,有利于提高 PSII 反应中心的开放比例,将更多的光能用于推动光合电子传递,提高了光合电子传递能力,进而提高光合效率。

3.3 NPQ (非光化学猝灭)与光合作用

NPQ 反映的是 PSII 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。当 PSII 反应中心天线色素吸收了过量的光能时,如不能及时地耗散将对光合机构造成失活或破坏,所以非光化学猝灭是一种自我保护机制,对光合机构起一定的保护作用^[26]。该试验中黄瓜叶片的 NPQ 日变化在不同光照下有所不同,不遮阴的各处理在 10:00 降到一个低谷,说明黄瓜叶片在 10:00 时热耗散降低,应该是由于叶片 PSII 天线色素吸收的光能大部分用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的较少,从而使净光合速率上升。而在 12:00 NPQ 上升,说明由于光能增加,越来越多的吸收光能通过非光化学的途径被耗散,也正说明了此时出现了光合“午休”。遮阴下 NPQ 日变化大体呈“双峰”型,在中午时有所下降,其余时间比较高。说明遮阴可以增加黄瓜叶片的热耗散,减轻强光照对黄瓜叶片光合系统结构和功能的破坏程度,进而提高实际光能利用效率。其中,相对 32%光照下施加中浓度的 CO_2 效果最好,说明适当遮阴和施加 CO_2 使黄瓜叶片通过热能耗散掉的光能减少,而更多的用于光化学途径,可以使植物把所获得的光能更有效地用于光合作用,从而提高实际光能利用效率。

4 结论

相对 100%光照+高浓度 CO_2 处理组合的净光合速率(P_n)值最大,可以有效提高黄瓜叶片的光合效率,为光强和 CO_2 浓度的较优组合。相对 32%光照处理可以有效缓解温室黄瓜光合“午休”现象,说明“午休”现象与高光强有很大关系。相对 32%光照下施加中浓度 CO_2 的处理组合叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 qP 、 NPQ 日变化值均最大,净光合速率(P_n)值也较大,为光强和 CO_2 浓度的较优组合。说明在冬季弱光季节的黄瓜生产中,适当增施 CO_2 可以提高黄瓜叶片的光合效率,弥补光照不足的影响。

(该文作者还有伍虹宇,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 朱维琴,章永松,林咸永,等.蔬菜 CO₂ 施肥技术现状及展望[J].农业与技术,2000,20(6):1-5.
- [2] 刘玉梅,王云诚,于贤昌,等.黄瓜单叶净光合速率对二氧化碳浓度、温度和光照强度响应模型[J].应用生态学报,2007,18(4):883-887.
- [3] 李萍萍,胡永光,赵玉国,等.增施 CO₂ 气肥对温室结球莴苣光合作用影响的综合模型研究[J].农业工程学报,2001,17(3):75-79.
- [4] 须晖,张瑶,王蕊,等.白天短期不同温、光、CO₂ 对甜瓜幼苗叶片光合作用的影响[J].中国蔬菜,2010(14):26-30.
- [5] 艾民,刘振奎,杨延杰,等.温度、光照强度和 CO₂ 浓度对黄瓜叶片净光合速率的影响[J].沈阳农业大学学报,2005,36(4):414-418.
- [6] 于显枫,张绪成.高 CO₂ 浓度和遮荫对小麦叶片光能利用特性及产量构成因子的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(7):895-900.
- [7] 王玉静,崔世茂,方浩,等.CO₂ 加富、高温处理对温室嫁接黄瓜幼苗质膜透性和保护酶活性的影响[J].华北农学报,2012,27(1):159-163.
- [8] 王红彬,崔世茂,王明喜,等.CO₂ 施肥条件下高温对温室黄瓜光合性能的影响[J].内蒙古农业大学学报,2007,28(2):114-118.
- [9] 刘金泉,崔世茂,尹春,等.CO₂ 施肥条件下高温对黄瓜生长及理化特性的影响[J].北方园艺,2009(1):6-9.
- [10] 马博,崔世茂,张之为,等.高温、CO₂ 加富对温室嫁接黄瓜形态特征、净光合速率和 Rubisco 羧化酶活性的影响[J].内蒙古农业大学学报,2013,34(3):32-39.
- [11] 潘璐,刘杰才,李晓静,等.高温和加富 CO₂ 温室中黄瓜 Rubisco 活化酶与光合作用的关系[J].园艺学报,2014,41(8):1591-1600.
- [12] 夏永恒,崔世茂,刘杰才,等.CO₂ 加富条件下高温对温室黄瓜可溶性糖和淀粉含量的影响[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2013(4):16-20.
- [13] 林世青,许春辉,张其德,等.叶绿素荧光动力学在植物抗性生理学、生态学和农业现代化中应用[J].植物学通报,1992,9(1):1-16.
- [14] 张守仁.叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J].植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [15] 常宗强,冯起,苏永红,等.额济纳绿洲胡杨的光合特征及其对光强和 CO₂ 浓度的响应[J].干旱区地理,2006,29(4):496-502.
- [16] 冯建灿,张玉洁.喜树光合速率日变化及其影响因子的研究[J].林业科学,2002,38(4):34-39.
- [17] 张超.不同光强对美国红栎光合特性的影响[J].山西农业科学,2013,41(4):333-335,341.
- [18] 李天福,王彪.不同光照处理对烤烟光合作用日变化影响[J].云南农业大学学报,2006,21(1):69-72.
- [19] 孙治强,白玉玲,张惠梅,等.CO₂ 施肥对日光温室西葫芦光合特性的影响[J].河南农业大学学报,1997,31(4):376-378.
- [20] 崔世茂,陈源闽,霍秀文,等.大棚型日光温室设计及光效应初探[J].农业工程学报,2005(21):214-217.
- [21] 孙红英,曹光球,辛全伟,等.香樟 8 个无性系叶绿素荧光特征比较[J].福建林学院学报,2010,30(4):309-313.
- [22] 刘悦秋,孙向阳,王勇,等.遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J].生态学报,2007,27(8):3457-3464.
- [23] 刘彤,崔海娇,吴淑杰,等.东北红豆杉幼苗光合和荧光特性对不同光照条件的响应[J].北京林业大学学报,2013,35(3):65-70.
- [24] 张其德,卢从明,刘丽娜,等.CO₂ 倍增对不同基因型大豆光合色素含量和荧光诱导动力学参数的影响[J].植物学报,1997,39(10):946-950.
- [25] 王佩玲,许育彬,宋淑英,等.大气 CO₂ 浓度倍增和施氮对冬小麦光合及叶绿素荧光特性的影响[J].西北植物学报,2011,31(1):144-151.
- [26] 张红梅,金海军,丁小涛,等.高温胁迫对不同类型黄瓜幼苗叶绿素荧光特性的影响[J].上海农业学报,2012,28(1):11-16.

Effect of Different Light Intensity and CO₂ Concentration on Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence Parameters of Grafting Cucumber Leaves in Greenhouse

DONG Qiao¹, SONG Yang¹, SUN Qian¹, SUN Shijun¹, LI Haitao², CUI Shimao¹, WU Hongyu¹

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019; 2. Agriculture and Animal Husbandry Bureau of Yijinhuoluo, Erdos, Inner Mongolia 017200)

Abstract: With grafted cucumber in greenhouse as test material, the diurnal changes photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of grafting cucumber leaves in greenhouse were studied under different light intensity and CO₂ concentration, and the relationship between photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters was also analyzed to provide theoretical basis and practical support for high yield and good quality cultivation of grafting cucumber in greenhouse. The results showed that the diurnal changes of Pn, qP under 100% light intensity were double-peak curve, and a phenomenon of midday depression appeared. It under 15% and 32% light intensity were unimodal curve, showed that proper shade could effectively relieve the midday depression phenomenon. The Pn values of treatment combination of 100% light intensity + high concentration of CO₂ was the biggest, it could effectively improve photosynthetic efficiency, so it was the better combination. The F_v/F_m, qP, NPQ values under 32% light intensity were the biggest increasing middle concentration of CO₂ and photosynthetic rate (Pn) value was bigger also, so it was a better combination, showed that under the condition of weak light in winter, increasing CO₂ concentration appropriately could improve photosynthetic efficiency, then reduced the influence of light intensity inadequate.

Keywords: cucumber; light intensity; CO₂ concentration; photosynthesis; chlorophyll fluorescence parameters