

CO₂加富对温室小型黄瓜光合特性和幼苗质量的影响

李彦平¹, 宋红霞^{2*}

(1. 柳林县农机服务中心, 山西 吕梁 033000; 2. 山西农业大学园艺学院, 山西 太谷 030801)

摘要:为探讨小型黄瓜幼苗对CO₂浓度倍增的响应情况,以两个小型黄瓜品种为试材,研究CO₂倍增对温室小型黄瓜幼苗形态指标、壮苗指标和光合参数的影响。结果表明,CO₂加富提高了黄瓜的净光合速率、胞间CO₂浓度和光饱和点,降低了气孔导度、蒸腾速率、光补偿点和CO₂补偿点。CO₂加富使小型黄瓜幼苗的茎粗和株高显著增大,叶片数和叶面积增大,干物质积累量显著增加,净同化率和壮苗指数升高,根冠比增大。CO₂加富提高了小型黄瓜的光合性能和幼苗质量。亘青27号较多福对CO₂加富更为敏感。

关键词:小型黄瓜; CO₂加富; 光合特性; 壮苗指数

中图分类号: S642.2

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)06-0117-04

Effects of CO₂ Enrichment on Photosynthetic Characteristics and Seedling Quality of Mini-Cucumber in Greenhouse

LI Yanping¹, SONG Hongxia^{2*}

(1. Liulin Agricultural Machinery Service Center, Lvliang 033000; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: The purpose of this study is to explore the response of mini-cucumber seedlings to double CO₂ concentration. Two kinds of mini-cucumbers were used as materials to study the effects of CO₂ enrichment on the morphological indexes, seedling indexes and photosynthetic parameters of greenhouse mini-cucumber seedlings. CO₂ enrichment increased the net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration and light saturation point of cucumber, and decreased stomatal conductance, transpiration rate, light compensation point and CO₂ compensation point. CO₂ enrichment significantly increased the stem diameter and plant height of mini-cucumber seedlings, increased leaf number and leaf area, significantly increased dry matter accumulation, increased net assimilation rate and seedling index, and increased root-shoot ratio. The enrichment of CO₂ increased the photosynthetic performance and seedling quality of mini-cucumber. Genqing 27 is more sensitive to CO₂ enrichment than Duofu.

Key words: Mini-cucumber; CO₂ enrichment; Photosynthetic characteristics; Strong seedling index

CO₂是植物光合作用的重要原料,其浓度的升高可以促进光合产物的合成,对植物生长发育、生理生化代谢过程和生态系统都有很大影响^[1]。温室生产中,由于设施的相对密闭性导致CO₂亏缺,尤其是冬季和早春,CO₂得不到及时补充限制了作物的光合作用,所以温室内CO₂加富对于提高作物产量和改善品质非常必要^[2]。不少学者研

究了CO₂加富对设施蔬菜幼苗的影响,如欧阳芳等通过研究不同体积分数的CO₂加富对茄子穴盘幼苗的影响,发现与对照相比,CO₂施肥使茄子幼苗的株高、茎粗和鲜干重等形态指标和叶绿素、可溶性糖等生理指标均显著增长^[3];赵冠艳等以甜瓜幼苗为试材,研究CO₂加富对其光合特性的影响,经CO₂加富的甜瓜幼苗光合速率增大,干物质积累增加,光合能力增强,植株的生长发育速度加快^[4];张瑞朋等^[5]研究表明,在一定CO₂浓度范围内,大豆叶片的净光合速率随着CO₂浓度的升高而增加;魏珉等^[6]对温室黄瓜、番茄进行苗期增施CO₂试验,结果表明CO₂加富促进幼苗生长,提高植株质量,利于培育壮苗。在西瓜^[7]和辣椒^[8]幼苗研究上也得到了相似的结论,但CO₂加富对小

收稿日期: 2022-12-22

基金项目: 山西农业大学横向科技项目(2018HX09); 山西省应用基础研究项目(201801D221295)

作者简介: 李彦平(1969-),男,高级工程师,从事设施设备及设施栽培生理研究。

通讯作者: 宋红霞,女,博士,副教授, E-mail: 13834836584@163.com

型黄瓜幼苗的研究未见报道。小型黄瓜(*Cucumis sativus* L.)也叫水果型黄瓜,经济效益颇高,设施种植面积逐年增加,其光合作用 CO_2 饱和点较高,增施 CO_2 提质增效存在可能。本试验以两种小型黄瓜为试材,研究 CO_2 加富对幼苗壮苗指标和光合参数的影响,以期为温室小型黄瓜工厂化育苗提供理论参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

小型黄瓜品种为亘青27号和多福,亘青27号种子购自北京亘青种子有限公司,多福种子购自北京硕源种子有限公司。

1.2 试验方法

试验于2020年5~6月在柳林县凌志产业园进行,日光温室穴盘育苗。幼苗长至真叶露心时,进行 CO_2 加富处理,5片真叶结束。日光温室设置富碳区(CO_2 浓度为 $800\ \mu\text{mol}/\text{mol}\pm 50\ \mu\text{mol}/\text{mol}$)与对照区(自然环境, CO_2 浓度约 $400\ \mu\text{mol}/\text{mol}$),两区之间以塑料薄膜隔开,富碳区安装 CO_2 自动释放系统,以液态 CO_2 钢瓶为气源, CO_2 释放控制采用GMM220传感器(芬兰VAISALA公司)和邯郸冀南新区盛炎电子科技有限公司的自动控制系统,通过管道和循环风机均匀施入 CO_2 。晴天7:30~9:30施放,雪天和雨天不施放,其余均为常规管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 光合参数的测定

苗期结束时晴天9:00~11:00用LI-6400XT光合仪对黄瓜第4片真叶进行净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)等光合参数进行测定,并计算叶片水分利用率($WUE=P_n/T_r$)。3次重复,每个重复随机选择2株。测定时采用红蓝光LED叶室,叶室温度设定为 $25\ ^\circ\text{C}$,气流速度设为 $500\ \mu\text{mol}/\text{s}$;光合参数测定时光合有效辐射强度(PAR)统一设置为 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光合参数测定期间密闭通风口。

1.3.2 光响应曲线和 CO_2 响应曲线的测定

光响应曲线测定时PAR设为2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、20、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。采用AQ(Light Response) Curve For Photosynthesis进行光响应曲线拟合,得到光饱和点和补偿点; CO_2 响应曲线测定时光强设置为各自饱和光强, CO_2 梯度设定为400、300、200、100、50、100、200、300、400、600、800、1000、1 200、1 400、1 600、1 800、2 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,采用叶子飘光合模型^[9]进行 CO_2 响应曲线拟合,得到 CO_2 补偿点。

1.3.3 植株壮苗指标测定

各指标测定3次重复,每个重复选择长势一致的健壮幼苗3株;干物质积累量=试验结束时干重-试验初始干重;根冠比=地下干重/地上干重;壮苗指数=(茎粗/株高+地下干重/地上干重) \times 全株干重,参照马德华等^[10]的测定方法。

1.3.4 净同化速率的测定

净同化速率NAR(Net Assimilation Rate)=(M_2-M_1)/[(S_1+S_2)/2 $\times t$]^[11],其中 M_1 、 M_2 分别为试验开始和结束时的全株干重, S_1 、 S_2 为试验开始和结束时对应的叶面积,t为前后相间隔天数。

1.4 试验数据处理

采用Microsoft Excel 2010对数据进行处理,SAS 9.2进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 CO_2 加富对小型黄瓜光合特性的影响

从表1可以看出, CO_2 加富后,两品种的净光合速率、胞间 CO_2 浓度和水分利用率均极显著增加。分析品种增长幅度,净光合速率多福增加43.8%,亘青27号增加73.8%。胞间 CO_2 浓度多福增加80.9%,亘青27号增加102%。水分利用率多福增加1.55倍,亘青27号增加2.29倍。气孔导度表示气孔张开的程度,气孔导度的大小与蒸腾速率的高低密切相关^[12],气孔导度和蒸腾速率均是

表1 CO_2 加富对小型黄瓜光合参数的影响

品种	处理	净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	水分利用率 ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
多福	富碳	23.71 \pm 2.33A	0.23 \pm 0.02B	604.35 \pm 8.05A	2.68 \pm 0.01B	8.85 \pm 0.12A
	对照	16.49 \pm 1.48B	0.54 \pm 0.01A	334.10 \pm 6.28B	4.75 \pm 0.02A	3.47 \pm 0.06B
亘青27号	富碳	30.01 \pm 2.24A	0.31 \pm 0.02b	654.01 \pm 9.29A	2.34 \pm 0.05B	12.82 \pm 0.09A
	对照	17.27 \pm 1.13B	0.45 \pm 0.03a	323.04 \pm 5.46B	4.43 \pm 0.03A	3.90 \pm 0.08B

注:大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$),小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

CO₂加富后有不同程度的下降,多福呈极显著差异,亘青27号气孔导度差异达显著水平,蒸腾速率达极显著水平。综合各指标增减幅度,亘青27号对CO₂的响应较多福更为敏感。

对两个小型黄瓜品种进行CO₂加富处理后,其光响应特性与大多数C₃植物所表现出来的饱和点上升,补偿点下降特性相符^[13]。从表2可以看出,CO₂加富后多福和亘青27号的光补偿点极显著下降,光饱和点均上升,但多福的光饱和点差异不显著,亘青27号的差异达极显著水平,光饱和点超过2 000 μmol/(m²·s),使得叶片对光能的利用范围增大,促进了其光合作用。CO₂加富对最大净光合速率都有极显著促进作用,但程度不同,对亘青27号的促进增幅更大,表明亘青27号对CO₂的响应较多福更为敏感。

表2 CO₂加富对光补偿点、光饱和点及最大净光合速率的影响 μmol/(m²·s)

品种	处理	光补偿点	光饱和点	最大净光合速率
多福	富碳	48±5.62B	1 404±74.12a	24.29±3.42A
	对照	64±9.87A	1 268±88.56a	17.89±2.27B
亘青27号	富碳	68±6.32B	2 028±110.81A	35.06±2.46A
	对照	88±7.94A	1 340±61.54B	19.13±2.13B

表3 CO₂加富对小型黄瓜幼苗形态指标的影响

品种	处理	株高(cm)	茎粗(mm)	叶片数(个)	叶面积(cm ²)
多福	富碳	7.8±0.08A	4.85±0.13a	4.1±0.03a	25.47±0.56a
	对照	6.0±0.05B	4.67±0.17a	3.9±0.04a	17.60±0.38b
亘青27号	富碳	8.2±0.08A	4.36±0.15a	4.5±0.02a	31.57±1.21a
	对照	5.9±0.04B	3.87±0.13b	4.0±0.03b	18.80±0.64b

净同化率(NAR)是作物光合能力的重要指标,从图2可以看出,与对照相比,两品种均显著升高,CO₂加富提高了净同化率,从而提高了光合作用,促进生长发育,提高黄瓜幼苗质量,为黄瓜增产奠定基础。

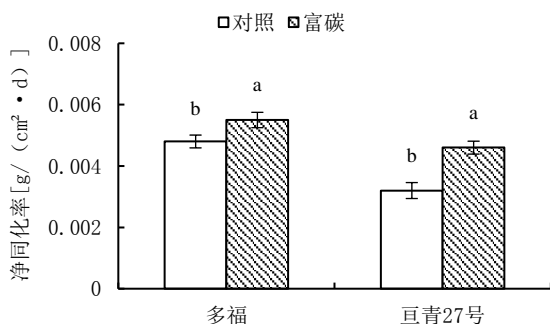


图2 CO₂加富对净同化率的影响

从图1可以看出,CO₂加富可以降低亘青27号和多福的CO₂补偿点,从而扩大了黄瓜的光合范围,增强了光合能力,促进了光合作用,从而为提高幼苗质量获得壮苗提供了基础和保证。

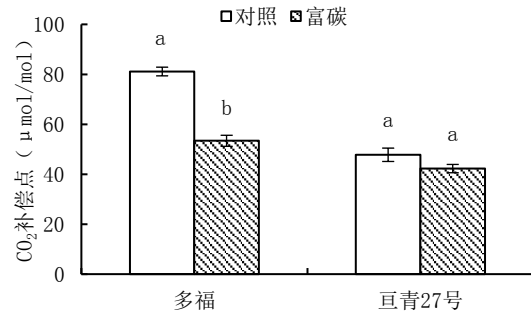


图1 CO₂加富对CO₂补偿点的影响

2.2 CO₂加富对小型黄瓜幼苗质量的影响

由表3可知,CO₂加富增加了黄瓜的株高、茎粗、叶片数和叶面积,促进了幼苗的生长。株高增加差异两品种均达极显著水平。亘青27号茎粗和叶片数达显著差异,多福差异不显著。叶面积增加差异两品种均达显著水平,CO₂加富增加了小型黄瓜幼苗的叶面积,为小型黄瓜生长提供充足的光合作用原料奠定基础。对各指标增幅进行分析,亘青27号较多福增幅更大。

总鲜重、干物质积累量、根冠比和壮苗指数是衡量幼苗素质的数量指标,能全面反映植株的素质,与早熟性密切相关。从表4可以看出,CO₂加富处理的幼苗总鲜重两个品种均达极显著差异水平,根冠比、干物质积累量和壮苗指数两品种均呈增加趋势,亘青27号处理间干物质积累量差异达显著水平,多福差异不显著。综合各指标的增加差异水平,亘青27号对CO₂的响应较多福更为敏感。

3 讨论与结论

3.1 讨论

CO₂作为植物进行光合作用不可或缺的原料,光合速率是植物对CO₂浓度响应直接且最为敏感的指标之一^[14]。通常情况下,在一定范围内,黄瓜

表4 CO₂加富对小型黄瓜幼苗壮苗指标的影响

品种	处理	总鲜重(g)	干物质积累量(g)	根冠比	壮苗指数
多福	富碳	10.08±0.22A	0.93±0.12a	0.21±0.03a	0.23±0.05a
	对照	6.49±0.43B	0.67±0.11a	0.18±0.04a	0.20±0.01a
亘青27号	富碳	9.08±0.65A	0.80±0.09a	0.22±0.01a	0.22±0.04a
	对照	5.14±0.36B	0.47±0.05b	0.19±0.02a	0.16±0.02b

的光合速率会随着CO₂浓度的增加而增加,这是由于高浓度的CO₂提高了CO₂/O₂的比值,从而抑制了光呼吸^[15]。本试验条件下,CO₂加富后黄瓜幼苗的光合速率显著增加。大量的研究表明,CO₂浓度升高后,气孔开度减小,气孔导度降低,并且还会降低蒸腾作用,提高植物的净光合速率,但是胞间CO₂浓度会显著升高^[16-19],本试验研究结果与其基本一致。

光的补偿点能够反映植物在弱光条件下的光合能力,光的饱和点能够反映植物对强光的利用能力^[20]。本试验所研究的亘青27号和多福的光饱和点均表现出富碳>对照,光补偿点表现为对照>富碳,所以降低光的补偿点,提高光的饱和点有助于提高作物产量。并且不同品种的黄瓜对光合的适应能力也有差异,亘青27号较多福对CO₂更为敏感,随着CO₂浓度的升高,亘青27号的净光合速率和光饱和点的上升幅度更大。

CO₂加富促进了小型黄瓜植株的生长,株高、茎粗、叶片数和叶面积增长显著,其中株高增长达极显著水平,说明CO₂加富促进了幼苗的生长发育,缩短了幼苗期。CO₂加富处理的黄瓜植株生长旺盛,幼苗总鲜重极显著高于对照。与王冬良等^[21]CO₂浓度对西葫芦生长及产量影响的研究结果一致。同时,CO₂加富促进了幼苗干物质积累,与对照差异达显著水平,也使黄瓜幼苗根冠比增加,壮苗指数升高。这与王全智等^[22]研究苗期CO₂加富对设施甜瓜生长发育的试验结果一致。

3.2 结论

综上所述,增施CO₂可以提高小型黄瓜亘青27号和多福的净光合速率,并且降低光补偿点和CO₂补偿点,增加光饱和点。CO₂加富处理增加了小型黄瓜的株高、茎粗和叶片数,促进黄瓜幼苗的生长发育,显著增加叶面积,加速幼苗的干物质积累,也使其根冠比和壮苗指数上升,显著改善黄瓜幼苗的质量,有利于培育壮苗。CO₂加富下亘青27号幼苗各指标增长更显著,亘青27号对CO₂加富更敏感。

参考文献:

- [1] 刘中华,刘珂,李招弟.温室CO₂智能释放系统的设计研究[J].东北农业科学,2020,45(4):55-57,112.
- [2] 王蕊,马健,须晖,等.CO₂增施技术在温室增产中的应用[J].农业工程技术,2016,36(4):19-21.
- [3] 欧阳芳,孙治强,齐卫强,等.CO₂加富对茄子穴盘幼苗生长的影响[J].河南农业大学学报,2009,43(1):35-39.
- [4] 赵冠艳,朱世东,李东林,等.CO₂加富处理甜瓜幼苗光合特性的研究[J].农业工程学报,2005,21(S2):103-105.
- [5] 张瑞朋,付连舜,佟斌,等.大豆叶片光合作用与光强及二氧化碳的关系[J].吉林农业科学,2015,40(3):8-13.
- [6] 魏珉,刑禹贤,马红,等.果菜苗期CO₂施肥壮苗效果研究[J].山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(2):196-200.
- [7] 单国雷,赵冠艳,刘娟,等.CO₂加富对西瓜幼苗生理生化特性的影响[J].中国瓜菜,2010,23(2):28-30.
- [8] 高宇,崔世茂,宋阳,等.CO₂加富对温室辣椒幼苗生长及光合特性的影响[J].作物杂志,2017(5):80-84.
- [9] 叶子飘.光合作用对光和CO₂响应模型的研究进展[J].植物生态学报,2010,34(6):727-740.
- [10] 马德华,吕淑珍,沈文云,等.黄瓜若干性状的相关分析及通径分析[J].华北农学报,1995,10(2):34-37.
- [11] 刘克宁,李涛,王然.CO₂加富对植物生长发育、光合作用及果实贮藏的影响[J].当代生态农业,2008(Z1):111-113.
- [12] 张晓磊,史高雷,赵治海,等.干旱胁迫对张杂谷3号及亲本光合特性及物质积累的影响[J].东北农业科学,2020,45(4):16-20.
- [13] 张志明.CO₂施肥对番茄果实品质的影响[D].杭州:浙江大学,2012.
- [14] 谢晓金,李仁英,张耀鸿,等.CO₂浓度升高对水稻和玉米叶片光合生理特性的影响[J].江苏农业科学,2016,44(10):120-123.
- [15] 张晓梅.高温增施CO₂对温室黄瓜显微结构及生理基础的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [16] 李清明,刘彬彬,邹志荣.CO₂浓度倍增对于干旱胁迫下黄瓜幼苗光合特性的影响[J].中国农业科学,2011,44(5):963-971.
- [17] 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.
- [18] 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.

方法的要求,适用于土壤和氯化钙水溶液中的莠去津检测,为土壤中莠去津的检测和吸附提供了理论依据和技术手段。

参考文献:

- [1] Francis A G. The triazine herbicides[J]. Residue Review, 1970, 32: 40-42.
- [2] 张露文,宋述尧,陈姗姗,等.莠去津土壤残留对下茬黄瓜幼苗生长和生理指标的影响[J].东北农业科学,2021,46(6):74-77.
- [3] 司友斌,孟雪梅.除草剂阿特拉津的环境行为及其生态修复研究进展[J].安徽农业大学学报,2007,34(3):451-455.
- [4] 赵 滨,卢宗志.莠去津在吉林省的应用和残留现状调查[J].东北农业科学,2018,43(3):28-31.
- [5] 刘煜财,王 翌,王宏波,等.25%苯唑氟草酮·莠去津可分散油悬浮剂对玉米田恶性杂草防效及安全性研究[J].东北农业科学,2020,45(6):82-85.
- [6] 黄家章.氟虫腈在土壤中的吸附、淋溶以及降解特性研究[D].北京:中国农业科学院,2005.
- [7] Smith J A, Galan A. Sorption of nonionic organic contaminants to single and dual cation bentonites from water[J]. Environmental Science & Technology, 1995, 29(3): 685-692.
- [8] 王米道.外源木炭对异丙隆在土壤中吸附、淋溶及降解的影响[D].合肥:安徽农业大学,2009.
- [9] Leblanc A, Sleno L. Atrazine Metabolite Screening in Human Microsomes: Detection of Novel Reactive Metabolites and Glutathione Adducts by LC-MS[J]. Chemical Research in Toxicology, 2011, 24(3): 329-339.
- [10] Ji F, Zhao L, Yan W, et al. Determination of triazine herbicides in fruits and vegetables using dispersive solid-phase extraction coupled with LC-MS[J]. Journal of Separation Science, 2008, 31(6-7): 961-968.
- [11] Ross M K, Filipov N M. Determination of atrazine and its metabolites in mouse urine and plasma by LC-MS analysis[J]. Analytical Biochemistry, 2006, 351(2): 161-173.
- [12] Koivunen M E, Dettmer K, Vermeulen R, et al. Improved methods for urinary atrazine mercapturate analysis - Assessment of an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) and a novel liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) method utilizing online solid phase extraction (SPE)[J]. Analytica Chimica Acta, 2006, 572(2): 180-189.
- [13] Ferrer C, Gomez M J, Garcia-Reyes J F, et al. Determination of pesticide residues in olives and olive oil by matrix solid-phase dispersion followed by gas chromatography/mass spectrometry and liquid chromatography/tandem mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2005, 1069(2): 183-194.
- [14] Azevedo D D A, Lacorte S, Vinhas T, et al. Monitoring of priority pesticides and other organic pollutants in river water from Portugal by gas chromatography-mass spectrometry and liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 879(1): 13-26.
- [15] Jang H W, Lee J, Choi H, et al. Analytical method validation for terbutryn using gas chromatography/ion trap, gas chromatography/mass selective detector, and liquid chromatography/triple quadrupole mass spectrometers[J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(5): 1525-1530.
- [16] 陈珏敏,李玲慧,范新峰.液液萃取-高效液相色谱法测定地表水中阿特拉津[J].环境与发展,2018,30(4):140-141.
- [17] 刘 畅.液液萃取-高效液相色谱法测定地表水中阿特拉津和甲萘威[J].资源节约与环保,2015(3):79-81.
- [18] 张翠华,张菊花,范小振.超声萃取高效液相色谱法检测土壤中烟嘧磺隆和莠去津的残留量[J].化学研究与应用,2018,30(1):114-118.
- [19] 李 尧.生物炭对土壤中乙草胺环境行为及生物有效性影响规律[D].北京:中国农业科学院,2017.
- [20] 龙家寰,张 盈,高 迪,等.二氯喹啉酸及其代谢物和莠去津在高粱中的残留检测及膳食风险评估[J].农药,2022,61(7):507-512.
- [21] 中华人民共和国农业农村部.(NY/T 788-2018)农作物中农药残留试验准则[S].北京:中国农业出版社,2018.

(责任编辑:王 昱)

(上接第120页)

- [19] 惠俊爱,叶庆生.长期CO₂加富对玉米(粤甜1号)光合生理与生长发育的研究[J].吉林农业科学,2013,38(6):11-13,75.
- [20] 姜凤超,孙浩元,王玉柱,等.四个南疆杏树品种的光合生理特性[J].干旱地区农业研究,2015,33(2):102-105.
- [21] 王冬良,王洪礼,吕国华,等.节能日光温室内CO₂浓度对西葫芦生长及产量的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2000,4(2):122-127.
- [22] 王全智,巫建华,冯英娜,等.苗期CO₂加富对设施甜瓜生长发育特性的影响[J].北方园艺,2015(15):40-42.

(责任编辑:王 昱)