



# CO<sub>2</sub>加富对温室芹菜光合参数和产量及品质的影响

宋红霞,郑少文,许小勇,张 静,侯雷平,邢国明,李梅兰

(山西农业大学 园艺学院,山西 太谷 030801)

**摘要:**为提高设施芹菜品质,以芹菜早熟品种-皇后为材料,日光温室冬春茬栽培过程中增施 CO<sub>2</sub>,通过测定其光合特性、形态和品质性状等,研究 CO<sub>2</sub>加富对芹菜生长的影响。结果表明:CO<sub>2</sub>加富显著提高了光合性能,植株变得高大粗壮,单株鲜重和干重增加,产量增幅 25.33%,产品品质有效提升。

**关键词:**芹菜;CO<sub>2</sub>加富;光合;产量;品质

全球大气中 CO<sub>2</sub> 浓度以每年 1.5 μmol·mol<sup>-1</sup> 的速率递增,预计到 21 世纪末将达到 700 μmol·mol<sup>-1</sup> 的水平<sup>[1]</sup>。带来环境问题的同时,CO<sub>2</sub> 又是一种丰富的碳资源,高 CO<sub>2</sub> 浓度下农作物可通过光合作用固定更多的 CO<sub>2</sub> 提高其产量。山西是高碳能源产业结构省份,虽然近年来煤炭消耗比重有所降低,但是碳排放总量却一直

居高不下,合理利用 CO<sub>2</sub> 的研究迫在眉睫<sup>[2]</sup>。

国内外科技工作者利用园艺设施在茄果类和瓜类蔬菜上进行 CO<sub>2</sub> 施肥研究的成功案例和报道较多<sup>[3-6]</sup>,但在叶菜类蔬菜上进行试验报道较少。

芹菜(*Apium graveolens* L.)性喜凉爽气候条件,在北方冬春寒冷季节设施蔬菜生产尤其是叶菜类蔬菜生产中占有举足轻重的地位。温室内空气中 CO<sub>2</sub> 浓度因时段不同差异较大,密闭时日出前最高,日出后因绿色植物进行光合作用 CO<sub>2</sub> 浓度迅速下降。冬春季节温室内气温较低,通风较晚,CO<sub>2</sub> 浓度随时间推移能够达到 200 μmol·mol<sup>-1</sup>,而芹菜 CO<sub>2</sub> 的饱和点为 1 526 μmol·mol<sup>-1</sup>,这就极

收稿日期:2018-01-27

基金项目:山西省煤基重点科技攻关资助项目(FT201402-06)。

第一作者简介:宋红霞(1979-),女,博士,讲师,从事蔬菜育种及生物技术研究。E-mail:13834836584@163.com。

通讯作者:李梅兰(1964-),女,教授,博导,从事蔬菜育种及生物技术研究。E-mail:15935485975@163.com。

- [5] 唐艺玲,杜清,赖建宁,等. 广东省甜玉米-大豆不同比例间作模式的系统产量分析[J]. 广东农业科学,2013,21(33): 19-23.
- [6] 杨燕竹,杜青,陈平,等. 玉米大豆播期衔接对间作大豆干物质积累及产量的影响[J]. 华北农学报,2017,32(3): 96-102.
- [7] 徐婷,雍太文,刘文钰,等. 播期和密度对玉米-大豆套作模式下大豆植株干物质积累及产量的影响[J]. 中国粮油作物学报,2014,36(5):593-601.
- [8] 唐永金,刘俊利,郑占,等. 玉米大豆间混种植对大豆产量和

品质的影响[J]. 大豆科学,2011,30(6):954-958.

- [9] 李志贤,王建武,杨文亭,等. 广东省甜玉米/大豆间作模式的效益分析[J]. 中国生态农业学报,2010,18(3):627-631.
- [10] 朱星陶,陈佳琴,谭春燕,等. 玉米与大豆“1:2”间作种植的株行距优化配置研究[J]. 大豆科学,2014,33(1):39-40.
- [11] 吴海英,张明荣. 四川省间套作大豆生产优势、潜力与发展对策[J]. 杂粮作物,2009,29(5):358-360.
- [12] 韦柳佳,黄莉,张雅琼,等. 玉米/大豆间作模式及效应分析[J]. 西南农业学报,2013,26(1):67-72.

## The Suitable Model and Benefit Analysis of Maize and Soybean Intercropping Pattern in Cangzhou Area

LU Shan, XIAO He-xia, MAO Cai-yun, LU Jian-zhang, YUE Jin-sheng

(Cangzhou Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Cangzhou 061001, China)

**Abstract:** The yield and economic benefits were studied through field comparison experiment of maize and soybean intercropping with 4-4-size row planting mode and conventional maize single cropping in order to explore the maize and soybean intercropping patterns suitable for cangzhou ecological type area. The experimental results showed that the average yield of maize was 7 605 kg·hm<sup>-2</sup>, and the average yield of soybean was 1 530 kg·hm<sup>-2</sup> in intercropping mode, while the average yield maize was 8 280 kg·hm<sup>-2</sup> in maize monoculture mode. The output of intercropping comprehensive yield was 10.32% higher than that of the monoculture, and the average cutbacks was about 8 250 yuan·hm<sup>-2</sup>. The economic benefit of maize and soybean intercropping was significantly higher than that of maize monoculture, which was provided a theoretical basis for the promotion of local maize and soybean intercropping technology.

**Keywords:** maize and soybean intercropping; planting pattern; yield; economic benefit

容易引发芹菜  $\text{CO}_2$  “饥饿症”,  $\text{CO}_2$  亏缺成为限制芹菜光合作用和产量提高的重要限制因素。

本试验以日光温室冬春茬芹菜为研究对象,  $\text{CO}_2$  加富过程中对光合气体交换参数、形态发育、产量和品质性状等进行研究, 旨在为高效固碳蔬菜种类筛选奠定理论基础, 同时为设施芹菜优质高效栽培提供技术参数和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选用早熟芹菜品种——皇后, 来源于法国 tezier 公司。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年 11 月-2017 年 4 月在山西农业大学园艺站日光温室进行。日光温室设置富碳区( $\text{CO}_2$  浓度为  $800 \pm 50 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) 与对照区(自然环境), 两区之间以塑料薄膜隔开, 在富碳区安装  $\text{CO}_2$  自动释放系统, 每个晴天 8:30-10:30 释放, 雪天和雨天不喷施。11 月 17 日定植 4 片真叶幼苗, 行距 30 cm, 株距 20 cm, 缓苗后富碳区增施  $\text{CO}_2$ , 其余均为常规管理。

1.2.2 测定项目及方法 (1) 光合作用测定: 临近采收每区分别选取有代表性的 3 株, 每株选取从心叶数的第 6 片叶, 采用 Li-6400XT 便携式光合气体分析系统(LI-COR Biosciences Inc., USA) 进行净光合速率和光响应曲线测定。测定时间为 9:00-12:00, 被测叶面积  $6 \text{ cm}^2$ , 气体流速  $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$ 。富碳区叶片叶室  $\text{CO}_2$  浓度设定为  $800 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 对照设定为  $400 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。测定时使用内置红蓝光源, 叶室温度设定  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 生长指标和产量测定: 每区随机选取 15 株, 采收时分别测定株高、叶片数、最大叶柄长、叶柄基部宽、单株鲜重、单株干重和小区产量等指标, 并对株高和叶片数等进行跟踪调查记录。

(3) 品质指标测定: 可溶性固形物运用折光仪法; 蛋白质含量运用考马斯亮蓝 G-250 法测定;

叶绿素含量运用丙酮提取法测定; 维生素 C 运用 2,6 二氯碘酚溶液滴定法<sup>[7-8]</sup>。

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2007 和 DPS 软件进行数据的处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 $\text{CO}_2$ 加富对芹菜光合作用的影响

研究表明,  $\text{CO}_2$  通过参与光合作用的碳同化循环, 从而提高光合速率。由表 1 可以看出,  $\text{CO}_2$  加富后芹菜净光合速率极显著增加( $P < 0.01$ ), 增幅为 77.24%, 并且光补偿点降低, 饱和点大大升高, 这增大了叶片对光能的利用范围。结果表明, 增施  $\text{CO}_2$  气肥能极显著地提高芹菜的光合作用, 为植株的生长发育和产量形成提供了物质基础。

### 2.2 $\text{CO}_2$ 加富对芹菜植株形态和产量的影响

2.2.1 植株形态 由表 2 可以看出, 增施  $\text{CO}_2$  后各指标均呈现增加趋势, 株高和最大叶柄长呈极显著差异, 富碳区叶柄基部宽显著高于对照, 但叶片数未达到显著差异, 这说明,  $\text{CO}_2$  加富后植株长势增强, 株体高大粗壮, 从而使植株更好地利用水分和光照等环境因子, 为提高芹菜的品质和产量奠定了基础, 预示着芹菜是通过增大营养体而不是通过增加叶片数来提高单株产量。

表 1  $\text{CO}_2$  加富对芹菜光合参数的影响

Table 1 Effect of  $\text{CO}_2$  enrichment on the photosynthetic parameters of celery

处理 Treatments	净光合速率/ ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) Pn	光补偿 点 LCP	光饱和点/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) LSP
富碳 Elevated $\text{CO}_2$	21.8±0.17 A	25.2	1519.2
对照 Ambient $\text{CO}_2$	12.3±0.32 B	28.8	954.0

不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。

Different capital indicate significant difference at 0.01 probability level.

表 2  $\text{CO}_2$  加富对芹菜植株形态的影响

Table 2 Effect of  $\text{CO}_2$  enrichment on the plant morphology of celery

处理 Treatments	株高/cm Height of plant	叶片数 Number of leaves	最大叶柄长/cm Length of maximum petiole	叶柄基部宽/cm Width of petiole base
富碳 Elevated $\text{CO}_2$	82.0±0.61 A	11.7±0.35 a	37.4±0.46 A	2.8±0.12 a
对照 Ambient $\text{CO}_2$	69.5±0.40 B	11.5±0.20 a	32.2±0.52 B	2.5±0.23 b

不同大小写字母分别表示 0.01 和 0.05 水平差异显著, 下同。

Different capital and lowercase indicate significant difference at 0.01 and 0.05 probability level, the same below.

2.2.2 产量 由表 3 可以看出,  $\text{CO}_2$  加富后单株鲜重、单株干重和小区产量均极显著增加, 小区产量较对照提高 25.33%, 进而可获得良好的经济收益。干重/鲜重增加, 干物质积累加强, 这说明,

$\text{CO}_2$  加富不仅可提高产量, 还预示着品质改善。

### 2.3 $\text{CO}_2$ 加富对芹菜品质的影响

可溶性固形物的含量决定着蔬菜产品的品质。由表 4 可以看出,  $\text{CO}_2$  加富后可溶性固形物、

维生素 C 含量均呈现极显著增加,蛋白质含量显著增加,大大提高了芹菜的品质,使其更符合消费者的需求。叶绿素含量极显著增加,这可以捕获更多的光能,进而提高产量,改善风味品质。

表 3 CO<sub>2</sub>加富对芹菜产量的影响

Table 3 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the yield of celery

处理 Treatments	单株鲜重/g FW per plant	单株干重/g DW per plant	干重/鲜重 DW/FW	产量/(kg·m <sup>-2</sup> ) Yield
富碳 Elevated CO <sub>2</sub>	390±1.65 A	31.30±0.42 A	0.080±0.46a	12.27±0.85 A
对照 AmbientCO <sub>2</sub>	220±1.81 B	15.90±0.33 B	0.073±0.25 a	9.79±0.54 B

表 4 CO<sub>2</sub>加富对芹菜品质的影响

Table 4 Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the quality of celery

处理 Treatments	可溶性固形物/% Soluble solids	VC 含量/(mg·g <sup>-1</sup> ) VC content	蛋白质/(mg·g <sup>-1</sup> ) Protein	叶绿素/(mg·g <sup>-1</sup> ) Chlorophyll
富碳 Elevated CO <sub>2</sub>	8.10±0.15 A	0.55±0.08A	5.11±0.28 a	1.43±0.37 A
对照 Ambient CO <sub>2</sub>	6.53±0.27 B	0.34±0.06 B	4.64±0.34 b	1.35±0.25 B

3 结论与讨论

本试验研究发现,CO<sub>2</sub>浓度增加,净光合速率提高,碳水化合物的积累增加,进而增加了植株单株的生物量,提高了产量;叶绿素含量增加,使植物捕获更多光能为光合作用所利用<sup>[9]</sup>,叶片的可溶性固形物和蛋白质含量随着浓度的增加而增加,从而达到增产提质的效果。

多项研究表明,增施 CO<sub>2</sub>可以提高温室 CO<sub>2</sub>浓度,对芹菜生长和产量有促进作用<sup>[10-11]</sup>,本试验结果也表明:增施 CO<sub>2</sub>具有明显提高芹菜产量、改善营养品质的效果,由于增施 CO<sub>2</sub>后,加速植株生长进程,还可以提早上市约 7~10 d。综合得出,芹菜对 CO<sub>2</sub>较为敏感,可作为富碳农业推广的示范型蔬菜。

如果能将工业生产的、大自然不能自然消纳的大量 CO<sub>2</sub>用于温室蔬菜生产中,不仅能够缓解大气中 CO<sub>2</sub>的过度排放,还可以解决温室 CO<sub>2</sub>匮乏问题,同时还能够提高作物产量及产品品质,这对环境污染、蔬菜生产和经济发展都有重要意义,这项工作本课题组正在积极研究中。

参考文献:

[1] 蒋跃林,张仕定,岳伟,等. 大气 CO<sub>2</sub>浓度增加对大豆籽粒品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(5): 85-88.

[2] 孙敏. 山西转型背景下低碳经济发展路径研究[D]. 太原: 山西财经大学, 2012.

[3] 魏珉. 日光温室蔬菜 CO<sub>2</sub>施肥效应与机理及 CO<sub>2</sub>环境调控技术[D]. 南京: 南京农业大学, 2000.

[4] 张志明. 二氧化碳施肥对番茄果实品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.

[5] 李清明,刘彬彬,邹志荣. CO<sub>2</sub>浓度倍增对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.

[6] 张丽红,宋阳,张之为,等. 长期增施 CO<sub>2</sub>条件下黄瓜叶片淀粉积累对光合作用的影响[J]. 园艺学报, 2015, 42(7): 1321-1328.

[7] 高继国,郭春绒,文汉. 普通生物化学教程实验指导[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 44-46.

[8] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2015: 74-77.

[9] 卢从明,张其德,冯丽洁,等. CO<sub>2</sub>浓度倍增对谷子拔节期和灌浆期光合色素含量和 PSⅡ 功能的影响[J]. 植物学报, 1997(9): 874-878.

[10] 高阳俊,张乃明,张玉娟. 设施栽培增施二氧化碳对西芹影响研究[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(4): 217-320.

[11] 章兴发,蒋海燕,程建峰. CO<sub>2</sub>肥对保护地绿叶类蔬菜光合作和产量形成的效应[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(21): 38-40.

Effect of CO<sub>2</sub> Enrichment on Photosynthetic Parameters, Yield and Quality of Celery in Greenhouse

SONG Hong-xia, ZHENG Shao-wen, XU Xiao-yong, ZHANG Jing, HOU Lei-ping, XING Guo-ming, LI Mei-lan

(College of Horticulture, Shanxi Agriculture University, Taigu 030801, China)

**Abstract:** In order to improve the quality of celery in facilities, the celery variety Queen was used as test material and CO<sub>2</sub> enrichment was applied to greenhouse environment in the winter and spring, to explore effects of CO<sub>2</sub> enrichment on the growth of celery, by measuring the photosynthetic characteristics, morphological indexes and quality indexes. The results showed that CO<sub>2</sub> enrichment increased photosynthetic performance, the plant height and the fresh weight were also increased, the yield increased by 25.33%, and the product quality was improved.

**Keywords:** celery; CO<sub>2</sub> enrichment; photosynthesis; yield; quality