

高文瑞,李德翠,徐 刚,等. CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜生长及光合的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):228-230.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.065

# CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜生长及光合的影响

高文瑞,李德翠,徐 刚,孙艳军,韩 冰,史琬燕

(江苏省农业科学院蔬菜研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏南京 210014)

**摘要:**以大白菜品种新春 1 号为试材,采用新型 CO<sub>2</sub> 发生器,研究增施 800、1 000、1 200 μL/L CO<sub>2</sub> 气肥对大白菜生长及光合作用的影响。结果表明,增施 CO<sub>2</sub> 能显著促进大白菜的生长发育,表现为植株的株幅、周长、叶数、单株净菜质量等生长指标显著增加,且大白菜的结球率也显著提高。增施 CO<sub>2</sub> 能使大白菜的光合作用、产量和品质显著提高。增施 1 000 μL/L CO<sub>2</sub> 的效果优于 800 μL/L CO<sub>2</sub> 及 1 200 μL/L CO<sub>2</sub> 的效果。使用该新型 CO<sub>2</sub> 发生器能显著起到促进大白菜光合作用、提高产量的效果。

**关键词:**CO<sub>2</sub> 施肥;大白菜;生长;光合作用;产量;品质

**中图分类号:**S634.101;S634.106<sup>+</sup>.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)09-0228-03

大白菜(*Brassica pekinensis*)属十字花科芸薹属作物,原产中国,栽培历史悠久,是广大消费者和生产者欢迎的蔬菜作物。光合作用是大白菜生产力构成的重要因素,而 CO<sub>2</sub> 是光合作用的主要原料,在影响温室蔬菜产量的三大要素中,以 CO<sub>2</sub> 浓度对产量的贡献最大。一般来说,植物进行光合作用的 CO<sub>2</sub> 最适浓度为 1 000 μL/L 左右,不仅大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度没有达到这个指标,冬春寒冷季节,温室、大棚等设施因密闭保温,CO<sub>2</sub> 浓度更低,造成设施内生长的作物常处于 CO<sub>2</sub> 饥饿状态,抑制了作物正常的光合作用,影响了作物的产量和品质<sup>[1]</sup>。增施 CO<sub>2</sub> 气肥,适当提高大棚内 CO<sub>2</sub> 浓度是提高作物产量和品质的有效措施<sup>[2]</sup>。

室内常用的 CO<sub>2</sub> 来源有:碳水化合物燃料、高压瓶装 CO<sub>2</sub>、干冰、发酵、有机物质的降解、化学反应生成。国外很多专业种植者都采用燃烧法,通过 CO<sub>2</sub> 发生器来产生 CO<sub>2</sub>。常用的燃料为丙烷、丁烷、乙醇和天然气。燃料在充分燃烧的情况下产生 CO<sub>2</sub>;当燃烧产生蓝色、白色或无色火焰时,生成有用的 CO<sub>2</sub>;如果是红色、橙色或黄色火焰则燃烧不完全,将产生对植物和人体致命的 CO。含硫或硫化物的燃料燃烧时会产生有毒的副产物 SO<sub>2</sub>,不能使用。燃烧式 CO<sub>2</sub> 发生器在产生 CO<sub>2</sub> 的同时,会产生热量,这些热量会使不加温的大棚内温度有所上升,在秋冬栽培及早春栽培的大棚内具有很大的优势。本研究中采用的 CO<sub>2</sub> 发生器采用的是天然气燃烧法生成 CO<sub>2</sub>,通过特殊的火焰燃烧头实现了天然气完全燃烧,同时该仪器有红外气体分析技术及智能控制技术,准确度高。

并配有电子点火模块,均由自动控制系统完成,无需人工手动控制。该仪器有专利抗水汽技术,能适应高湿度的温室环境。配套的“防倾倒”开关可以即刻关闭主燃料室的燃料,制止泄露和火灾的发生。因此该仪器在同类的 CO<sub>2</sub> 发生器中有很大的优势。

因此,本试验以塑料大棚内的大白菜为研究对象,研究 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜生长、光合作用及产量的影响,旨在为优质、高效、高产的大白菜保护地栽培模式提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试大白菜品种为新春 1 号。采用江苏省如东威力特环保科技有限公司生产的温室栽培智能气肥增效器(型号:WLT-A-8)增施 CO<sub>2</sub>,该仪器能智能调控 CO<sub>2</sub> 浓度至设定浓度。

### 1.2 方法

试验于 2014 年 9—12 月在江苏省农业科学院六合试验基地大棚内进行。塑料大棚长 58.0 m、宽 8.0 m,棚内分为 4 畦,每畦宽度为 1.5 m。有机肥在整地同时撒施,每 667 m<sup>2</sup> 施入有机肥约 800 kg、复合肥 50 kg(氮、磷、钾含量均为 15%)。大白菜于 2014 年 10 月 4 日定植,株行距均为 25 cm,定植缓苗后开始增施 CO<sub>2</sub>,到收获前晴天每日 07:30—11:30 和 14:30—16:30 进行 CO<sub>2</sub> 施肥(阴天不进行 CO<sub>2</sub> 施肥),大棚每天 11:30—14:30 通风。试验以不施 CO<sub>2</sub> 为对照(CK),CO<sub>2</sub> 施肥浓度设 800 μL/L(T1)、1 000 μL/L(T2)和 1 200 μL/L(T3)3 个水平。

于大白菜包球初期采用便携式光合测定系统(Li-6400,美国)在晴天 09:00—11:00 测定光合参数。在收获期,用直尺从地面至植株最高生长点量取株高,并采用皮尺测量植株的周长。收获后,用游标卡尺测量净菜最外叶的叶柄厚,用直尺测量植株的净菜高和净菜最外叶叶长及叶宽,并采用叶面积=272.76+9.45X+16.29Y(X 为最大叶长,Y 为最大叶宽,单位均为 cm)计算叶面积<sup>[3]</sup>。统计净菜叶数及包球率,并从

收稿日期:2016-07-18

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(14)2061]。

作者简介:高文瑞(1980—),女,山西太谷人,博士,副研究员,主要从事设施蔬菜栽培技术研究。Tel:(025)84398820;E-mail:gaowr1225@126.com。

通信作者:徐 刚,博士,研究员,主要从事蔬菜设施栽培技术及相关栽培生理等研究。Tel:(025)84390143;E-mail:xugang90@163.com。

净菜最外叶叶柄处取汁液,使用日本京都电子 KEM 数显手持便携式糖度计(RA-250HE)测定可溶性固形物含量。每个处理测定 10 株,取平均值。最后测定不同处理产量。

1.3 数据分析

利用 Excel 及 DPS 7.05 软件对数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜生长的影响

由表 1 可以看出,增施 CO<sub>2</sub> 可以促进大白菜的生长,且随着 CO<sub>2</sub> 浓度的升高增加幅度有所加大。增施 CO<sub>2</sub> 虽然使大白菜的株幅、周长、叶数、叶面积、最外叶叶柄厚及可溶性固

形物含量有所增加,但增施 CO<sub>2</sub> 的 3 个处理间及增施 CO<sub>2</sub> 的处理与对照之间的差异均不显著。当 CO<sub>2</sub> 浓度在一定范围内时,净菜高随着 CO<sub>2</sub> 浓度的不断增大而增加,当增施 CO<sub>2</sub> 浓度达到 1 000 μL/L 时,净菜高度最高,显著高于对照 10.74%。净菜周长随着 CO<sub>2</sub> 浓度的不断增大而增加,增施 CO<sub>2</sub> 的处理间差异不显著,但是增施 CO<sub>2</sub> 的处理除 T1 外均显著高于 CK,T3 净菜周长显著高于对照 11.42%。当 CO<sub>2</sub> 浓度在一定范围内时,单株净菜质量随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增加不断增加,增施 CO<sub>2</sub> 的处理均显著高于 CK,T2 与 T3 之间差异不显著,同时显著高于 T1,T2 的单株净菜质量最高,显著高于对照 38.95%。

表 1 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜生长的影响

处理	株幅 (cm)	周长 (cm)	叶数 (张)	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	最外叶叶柄厚 (mm)	净菜高 (cm)	净菜周长 (cm)	单株净菜质量 (kg)	可溶性形物含量 (%)
CK	83.75±4.47a	79.70±6.06ab	69.60±3.44a	603.527±4.89a	8.20±1.10a	31.00±1.22b	62.00±2.57b	2.67±0.20c	2.87±0.61a
T1	84.62±1.58a	81.74±2.33ab	72.83±5.46a	622.803±7.18a	8.36±0.75a	32.20±1.64ab	65.46±2.82ab	3.14±0.30b	2.93±0.12a
T2	87.20±4.38a	87.02±9.89a	76.17±5.71a	642.259±1.05a	8.51±0.64a	34.33±1.75a	68.25±3.75a	3.71±0.29a	3.05±0.50a
T3	86.49±0.97a	87.20±5.35a	75.67±4.41a	666.875±8.58a	8.42±0.46a	33.92±1.02a	69.08±1.97a	3.69±0.11a	2.90±0.50a

2.2 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜光合作用的影响

由表 2 可以看出,当 CO<sub>2</sub> 浓度在一定范围内时,随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增大,大白菜的光合速率及胞间 CO<sub>2</sub> 不断增加,当 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 000 μL/L 时,大白菜的光合速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度达到最高,分别较对照增加 18.16% 和 21.18%。除 T1 外,增施 CO<sub>2</sub> 处理的光合速率均显著高于 CK,但 T2 与 T3 间的光合速率差异不显著。处理 T2 和 T3 的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度显著高于

CK,但 CK 与 T1 的差异不显著。与不增施 CO<sub>2</sub> 的对照相比,CO<sub>2</sub> 施肥能显著降低气孔导度和蒸腾速率,当 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 000 μL/L 时降至最低,气孔导度和蒸腾速率分别比对照降低 22.41% 和 23.48%。各处理间的气孔导度差异显著,T1 处理与 CK 的蒸腾速率差异不显著,T2 处理显著低于 CK 及 T1 处理的蒸腾速率。

表 2 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜光合作用的影响

处理	光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	气孔导度 [mol/(m <sup>2</sup> ·s)]	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 (μmol/mol)	蒸腾速率 [mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]
CK	13.60±0.76b	0.58±0.06a	226.67±13.43c	3.62±0.21a
T1	14.03±0.47b	0.56±0.06a	243.67±7.51bc	3.32±0.19ab
T2	16.07±0.85a	0.45±0.05a	274.67±13.50a	2.77±0.11c
T3	15.97±0.42a	0.47±0.03a	268.00±9.54ab	2.90±0.11bc

2.3 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜产量和结球率的影响

由图 1 可以看出,CO<sub>2</sub> 施肥能显著提高大白菜的产量,且随着 CO<sub>2</sub> 浓度的升高,产量不断增加,T2 与 T3 显著高于 T1,当 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 000 μL/L 时产量最高,比对照增产 20.10%。

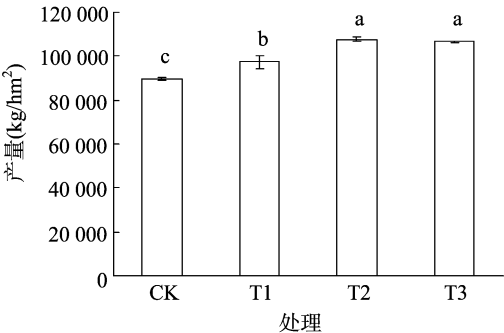


图 1 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜产量的影响

由图 2 可以看出,增施 CO<sub>2</sub> 能显著增加大白菜的结球率,T1、T2 及 T3 均显著高于 CK,但 T3 与 T2 的差异不显著,当 CO<sub>2</sub> 浓度为 1 000 μL/L 时结球率最高,与对照相比结球率增加 5.86%。

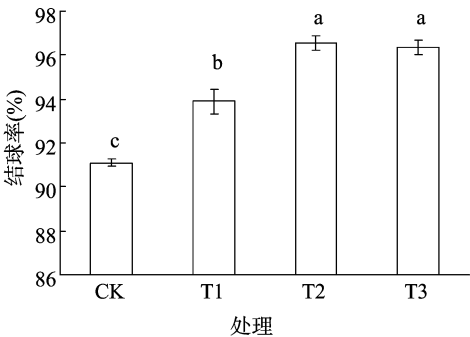


图 2 CO<sub>2</sub> 施肥对大白菜结球率的影响

3 讨论与结论

3.1 CO<sub>2</sub> 施肥对生长发育和产量的促进作用

植物生长发育主要受光照、温度、水分、肥料和 CO<sub>2</sub> 浓度等因子的影响。正常大气中 CO<sub>2</sub> 浓度很低,约为 350 μL/L,但植物光合作用最适的 CO<sub>2</sub> 浓度是大气中的 3~4 倍。CO<sub>2</sub> 是植物光合作用的主要底物,CO<sub>2</sub> 是决定大白菜生长发育的关键因素之一。CO<sub>2</sub> 施肥能使黄瓜、番茄、西葫芦等蔬菜作物

植株的株高、茎粗、节数、植株干质量、鲜质量、叶面积及厚度、单果质量、比叶质量、叶片叶绿素含量、气孔密度、根系活性、壮苗指数等生长指标显著增加<sup>[4-10]</sup>。与这些研究结果类似,本研究结果表明,增施 CO<sub>2</sub> 能提高大白菜的株幅、周长、叶数、单株净菜质量、叶面积、最外叶叶柄厚、净菜高、净菜周长、可溶性固形物含量、产量。这可能与增施 CO<sub>2</sub> 能促进光合作用,促进植株对矿质营养的吸收,从而促进营养生长有关。对大白菜而言,收获的商品就是植株营养生长的叶片,因此 CO<sub>2</sub> 施肥促进营养生长的同时增加了产量<sup>[11]</sup>。

### 3.2 CO<sub>2</sub> 施肥对光合作用的促进作用

CO<sub>2</sub> 浓度直接影响着光合产物的生成。在一定范围内提高环境中 CO<sub>2</sub> 浓度,增大 CO<sub>2</sub> 与 O<sub>2</sub> 的比值,可以增加 RuBpCase 羧化活性,降低 RuBpCase 加氧活性,从而提高羧化酶与加氧酶活性之比,抑制了光呼吸,最终提高了净光合速率<sup>[12]</sup>。本研究表明,在一定范围内,随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增大,光合速率也不断提高,当浓度达到 1 000 μL/L 时,净光合速率与对照相比能增加 18.16%,这与前人的研究结果<sup>[13-14]</sup> 类似。蒸腾速率反映了作物水分蒸发的快慢,CO<sub>2</sub> 加富能显著影响大白菜的蒸腾作用。随着 CO<sub>2</sub> 浓度的上升,气孔阻力不断增大,蒸腾相应减弱,叶温随之上升。CO<sub>2</sub> 浓度的升高有利于光合作用,使得干物质积累更多,蒸腾速率减小<sup>[15]</sup>。本研究结果也表明,增施 CO<sub>2</sub> 能使蒸腾速率有所降低,且在一定范围内,随着 CO<sub>2</sub> 浓度的增大而不断降低,这与前人的研究结果<sup>[16]</sup> 相似。

气孔导度的下降是植物对高 CO<sub>2</sub> 浓度的一种适应,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度可以反映叶肉细胞光合作用能力的大小,受光合作用和呼吸作用共同影响<sup>[17-19]</sup>。由于 CO<sub>2</sub> 浓度的升高,导致胞间 CO<sub>2</sub> 浓度增大,为保持细胞间 CO<sub>2</sub> 分压始终低于大气 CO<sub>2</sub> 分压 20%~30%,植物通过调节气孔开闭程度来降低胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,气孔对胞间 CO<sub>2</sub> 浓度很敏感,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的增大常伴随着气孔的关闭和气孔导度的降低<sup>[13]</sup>。本研究也表明,经 CO<sub>2</sub> 加富后的大白菜,其胞间 CO<sub>2</sub> 浓度有所提高,而气孔导度则有所下降,这与前人的研究结果<sup>[20]</sup> 一致。

本研究表明,增施 CO<sub>2</sub> 能显著促进大白菜的生长发育,表现为植株的株幅、周长、叶数、单株净菜质量等生长指标显著增加,且大白菜的包球率也显著提高。同时增施 CO<sub>2</sub> 能使大白菜的光合作用、产量和品质显著提高。增施 1 000 μL/L CO<sub>2</sub> 的效果优于 800 μL/L CO<sub>2</sub> 及 1 200 μL/L CO<sub>2</sub> 的效果。使用该新型 CO<sub>2</sub> 发生器能显著起到促进大白菜光合作用、提高产量的效果。

### 参考文献:

[1] 蒋宝南,单建明,曹启峰. 堆肥发酵 CO<sub>2</sub> 施肥对大棚草莓生长、产

量、品质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):183-184.

- [2] 高文瑞,徐刚,王虹,等. CO<sub>2</sub> 施肥对设施蔬菜影响的研究进展[J]. 江苏农业科学,2009(6):213-216.
- [3] 刘明池. 大白菜功能叶片叶面积测量方法[J]. 北京农业科学,1995,13(6):43.
- [4] 崔庆法,王静. 补施 CO<sub>2</sub> 对日光温室黄瓜生长的影响[J]. 西北植物学报,2003,23(1):39-43.
- [5] 王冬良,王洪礼,吕国华. 节能日光温室内 CO<sub>2</sub> 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.
- [6] 朱世东,徐文娟. 大棚樱桃番茄 CO<sub>2</sub> 加富的生理效应[J]. 安徽农业大学学报,2002,29(2):127-131.
- [7] 魏珉,邢禹贤,马红,等. 果菜苗期 CO<sub>2</sub> 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.
- [8] 杨文斌,贾阿璞,李萍,等. 日光温室增施 CO<sub>2</sub> 对黄瓜生长发育的影响[J]. 山西农业科学,1998,26(2):51-53.
- [9] 陈双臣,邹志荣,贺超兴,等. 温室有机土栽培 CO<sub>2</sub> 浓度变化规律及增施 CO<sub>2</sub> 对番茄生长发育的影响[J]. 西北植物学报,2004,24(9):1624-1629.
- [10] Li L, Zhou J M, Duan Z Q, et al. Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on the growth and nutrient uptake of tomato seedlings[J]. Pedosphere, 2007,17(3):343-351.
- [11] 魏珉,尹燕东,王秀峰,等. CO<sub>2</sub> 施肥对黄瓜幼苗矿质营养吸收与分配的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(2):99-102.
- [12] 刘金泉,崔世茂. CO<sub>2</sub> 施肥对黄瓜光合作用及相关生理过程的影响研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版,2007,28(3):322-326.
- [13] 郝兴宇,韩雪,李萍,等. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对绿豆叶片光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2776-2780.
- [14] Horie T, Baker J T, Nakagawa H, et al. Crop ecosystem responses to climatic change: rice [M]. United Kingdom: Cab International Press, 2000:81-106.
- [15] 张颖,王金春,薛庆林,等. CO<sub>2</sub> 施肥对光合作用及相关生理过程的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(2):212-215.
- [16] 郭卫华,李天来. 不同有机物料配施对日光温室内 CO<sub>2</sub> 浓度及黄瓜生理效应的影响[J]. 吉林农业大学学报,2004,26(3):293-297.
- [17] 朱美瑛,王康才,李雨晴. 金线莲叶片气孔与光合特性研究[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):210-212.
- [18] 钱宝云,刘小龙,李霞. 钙肥对不同源钙含量水稻品种光合作用的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(3):467-473.
- [19] 樊明,杨滨齐,李红霞,等. 不同生态类型春小麦的光合生理特性差异[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):87-89.
- [20] Kimball B A, Kobayashi K, Bindi M. Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment [J]. Advance in Agronomy, 2002,77:293-368.

**更正** 《江苏农业科学》2017年第44卷第7期143-146页所刊论文《油葵嫁接及其在离体培养和转基因中的应用》,基金项目中的“河北省高等学下科学研究重点项目(编号:ZD2014087)”,应该为“河北省高等学校科学研究重点项目(编号:ZD2014087)”,特此更正。

《江苏农业科学》编辑部