

外置式秸秆反应堆对日光温室番茄生长发育的影响

张 静, 卞 中华, 王 玉, 邹 志 荣

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以番茄“魁冠 108”为试材,研究了外置式秸秆反应堆在越冬茬栽培过程中对晴天温室内 CO₂ 含量和番茄植株营养生长及叶片叶绿素含量以及番茄坐果数、果实产量和品质的影响。结果表明:外置式秸秆反应堆能有效缓解日光温室内 CO₂ 亏缺现象;使营养生长期和结果期番茄植株净光合速率分别提高了 19.5% 和 27.8%;显著提高番茄植株在营养生长期和结果期叶片叶绿素含量,促进番茄植株的生长;单果重增加 32.59 g,产量增加 1 303.8 kg/hm²。

关键词:日光温室;番茄;外置式秸秆反应堆;CO₂ 含量;品质

中图分类号:S 641.226.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)18-0066-04

日光温室是我国特有的一种农业设施类型。目前,由于我国日光温室普遍无辅助环境调节设备,导致日光温室内的作物长期处于各种非生物胁迫逆境环境中,其中 CO₂ 亏缺导致作物光合速率下降是引起日光温室栽培作物产量和品质下降的最主要限制因素^[1]。已有研究发现,在一定范围内提高环境中 CO₂ 浓度,能有效提高几乎所有的 C₃ 植物的光合速率^[2]。在日光温室栽培过程中,通过外源补充 CO₂ 能有效解决晴天温室内 CO₂ 的亏缺问题,提高温室内栽培作物的净光合速率(Pn)^[3-4],促进栽培作物的生长并提高其产量和品质^[5-8],从而达到提高日光温室栽培效益的目的^[9]。研究证实,利用有机物料发酵增加栽培设施内 CO₂ 浓度可有效解决日光温室栽培中 CO₂ 亏缺现象^[10],是实现温室栽培节本增效的有效途径。我国农业生产过程中每年产生的各类农作物秸秆超过 7 亿 t,其中除 50% 农作物秸秆用作牲畜饲料外^[11],绝大部分秸秆未得到有效利用^[12]。利用秸秆反应堆为日光温室冬春茬栽培过程补充 CO₂ 在显著提高日光温室栽培效益的同时能够实现农作物秸秆再利用。目前国内对于秸秆反应堆的研究主要集中在日光温室栽培过程中的应用方式和方法等方面,关于秸秆反应堆对温室作物生理生态的影响尚缺乏深入研究。因此,该试验在日光温室越冬茬番茄生产过程中,研究外置式秸秆反应堆对日光室内 CO₂ 和番茄形态指标以及果实品质的影响,以期研究外置式秸秆反应

堆在日光温室应用效果,为秸秆反应堆在日光温室中的推广应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2010 年 10 月至 2011 年 3 月在陕西省咸阳市杨陵区大寨乡(E34°17', N108°02')设施农业合作社 2 栋土质墙体日光温室(净跨度 7.0 m,长度 100 m,脊高 3.0 m)中进行。在番茄幼苗定植前在其中 1 栋日光温室处建造外置式秸秆反应堆(CO₂ 发生装置:秸秆用量为 3 000 kg,储气池规格为南北长 6.0 m、宽 1.5 m、深 1.0 m)作为处理温室,采用 220 V、150 W 的风机(型号 GC-O)和带有出气孔的 1 条输气管道(Φ40 cm、长度 95 m)将秸秆发酵产生的 CO₂ 输送到日光温室不同部位;另 1 座日光温室不做任何改造仅作为对照温室。

1.2 试验材料

试验选取番茄(*Solanum lycopersicum*)“魁冠 108”品种为材料,2010 年 10 月 20 日将 5 叶 1 心的番茄幼苗定植入日光温室。定植前在 2 栋温室内施入等量的有机肥(8 m² 鸡粪和 2 m² 牛粪)和无机化肥(K₂SO₄ 100 kg 和 (NH₄)₂HPO₃ 160 kg)。试验期间以对照温室为标准,对 2 栋日光温室采取相同的水肥和通风管理措施,番茄植株预留 4 序果后进行打顶处理。

1.3 试验方法

1.3.1 CO₂ 测定 在对照温室中部安放 1 台 NHY-6 农业环境检测仪(中国杭州托普有限公司生产),CO₂ 传感器距东西山墙 50 m,距离后墙 3.5 m,垂直高度为 1.0 m;经预试验发现,在不补充 CO₂ 的正常管理条件下,日光温室内东西部 CO₂ 浓度无显著差异,所以为探究秸秆反应堆补气对日光温室东西部环境的影响,试验中将处理温室由中间划分为东西 2 部分(简称处理东和处理西),

第一作者简介:张静(1979-),女,山西阳泉人,博士,现主要从事园艺设施植物生理生态等研究工作。E-mail:yyzhj@nwsuaf.edu.cn.

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD12B03);陕西省科技攻关资助项目(2011K01-19)。

收稿日期:2012-05-24

在处理温室内东部和西部各安放 1 台 NHY-6 农业环境检测仪,CO₂ 传感器距离两侧山墙为 30 m,距离后墙 3.5 m,垂直高度为 1.0 m。在每个晴日 10:30~11:30 和 13:30~16:00,利用秸秆反应堆为处理日光温室补充 CO₂。

1.3.2 生理指标的测定 测定番茄打顶前株高、茎粗(第 4 茎节中部)、叶片(下数第 6 片)、叶宽(下数第 6 片)。测定番茄营养生长期(定植缓苗后至第 1 花序现蕾)、结果期(第 1 花序坐果至第 1 花序果实停止膨大)、转色期(第 1 花序果实停止膨大至采收)3 个生育期内典型晴天日光温室内 CO₂ 含量平均值;利用 80% 丙酮浸取-比色法分别测定 3 个生育期番茄叶片叶绿素含量;利用钼蓝比色法测定番茄果实维生素 C 含量;酸碱滴定法测定番茄果实有机酸含量^[13];利用糖度计测定分别测定番茄果实中还原性糖含量;测定单果质量及前 4 穗果实产量。

1.4 数据分析

利用 SPSS 17.0 数据分析软件进行数据分析,并采用 Microsoft Excel 2003 对测定数据进行绘图与制表。

2 结果与分析

2.1 外置式秸秆反应堆对日光温室 CO₂ 浓度的影响

秸秆反应堆为处理日光温室补充 CO₂,能有效提高冬春茬栽培过程中番茄不同生育期典型晴日上午 10:30~11:30 和下午 13:30~16:00 日光温室内 CO₂ 浓度,降低 CO₂ 亏缺对番茄植株及果实发育产生的不良影响(图 1)。

由表 1 可知,利用秸秆反应堆为处理日光温室补充 CO₂,能有效解决冬春茬番茄栽培的整个生育期内典型晴日上午 10:30~11:30 日光温室内 CO₂ 亏缺现象;有效缓解下午 13:30~16:00 日光温室内 CO₂ 亏缺现象。典型晴日上午 10:30~11:30,处理日光温室 CO₂ 含量的平

表 1 外置式秸秆反应堆对日光温室内的 CO₂ 含量的影响

Table 1 Effects of the outer type straw on CO₂ content in solar greenhouse

温室 Greenhouse	CO ₂ 浓度 CO ₂ concentration/ $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$	
	10:30~11:30	13:30~16:00
对照温室 Control greenhouse	327.56±56.24 Aa	123.22±9.31 Aa
处理温室-西部 Treatment greenhouse-western	556.44±53.96 Bb	273.78±19.06 Bb
处理温室-东部 Treatment greenhouse-eastern	492.22±50.22 ABb	207.56±29.98 Bb

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母表示处理间差异极显著($P<0.01$)。下同。

Note: Data with different small letters means significant differences between treatments at $P<0.05$, different capital letters means significant difference at $P<0.01$. The same below.

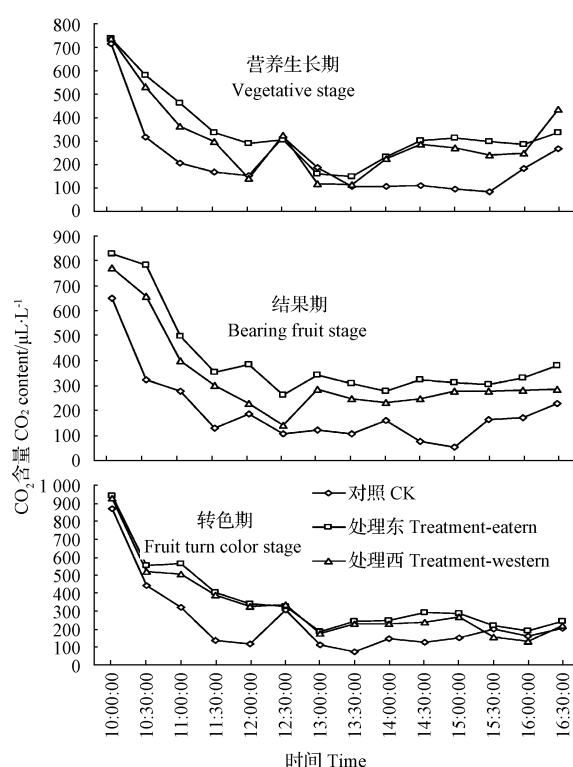


图 1 外置式秸秆反应堆对日光温室白天 CO₂ 含量日变化的影响

Fig. 1 Effect of outer type straw on the change of day CO₂ content in solar greenhouse

均值显著高于对照温室($P<0.05$),处理温室东部 CO₂ 含量的平均值比西部高 64.22 $\mu\text{L/L}$,但二者无显著性差异;下午 13:30~16:00,处理温室 CO₂ 含量的平均值极显著($P<0.01$)高于对照温室,处理温室东部比西部 CO₂ 含量平均值高 66.22 $\mu\text{L/L}$,但是仍无显著差异($P>0.05$)。

2.2 外置式秸秆反应堆对日光温室番茄植株净光合速率(Pn)的影响

由图 2 可知,与 CK 相比,营养生长期和结果期,处理温室番茄植株净光合速率最高提高了 19.5% 和 27.8%,且与 CK 存在极显著差异($P<0.01$);转色期,处理温室东部和西部番茄 Pn 分别提高了 7.81%、6.27%,

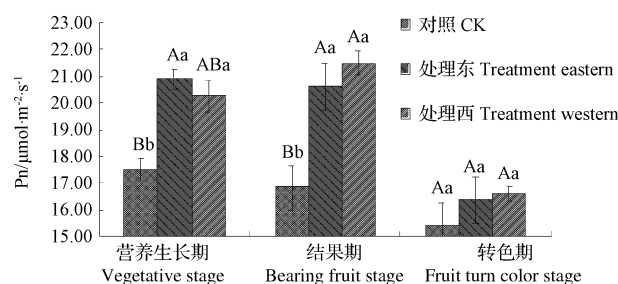


图 2 外置式秸秆反应堆对日光温室番茄 Pn 的影响

Fig. 2 Effect of outer type straw on Pn in solar greenhouse

但是与 CK 差异不显著($P>0.05$)。处理温室东部与西部 Pn 差异因生育期的不同存在明显差异,但是在不同生育期内东部与西部 Pn 均无显著差异($P>0.05$)。

2.3 外置式秸秆反应堆对日光温室番茄长势的影响

由表 2 可知,外置式秸秆反应堆能够显著促进番茄

表 2 外置式秸秆反应堆对番茄植株生长的影响

Table 2 The influence of the outer type straw on tomato growth

温室 Greenhouse	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf widths/cm
对照 Control	97.13±6.4Aa	14.04±1.24Aa	40.78±2.52Aa	49.16±3.91Aa
处理温室-西部 Treatment greenhouse-western	103.06±4.15Ab	16.41±1.65Bb	47.50±3.29Bb	53.00±2.07Ab
处理温室-东部 Treatment greenhouse-eastern	99.50±4.23Aab	16.99±1.65Bb	52.67±1.87Cc	61.56±2.29Bc

2.4 外置式秸秆反应堆对番茄叶绿素含量的影响

由图 3 可知,越冬茬番茄栽培过程中,植株叶片叶绿素含量随栽培时间的延长呈现逐渐降低的趋势;外置式秸秆反应堆能显著提高番茄营养生长期和结果期叶绿素含量。番茄营养生长期和结果期,处理温室东部和西部番茄叶绿素含量较 CK 提高 19.16%、8.22%和 20.51%、12.21%,与对照温室存在极显著差异($P<0.05$);营养生长期处理温室东部比西部番茄植株叶绿素

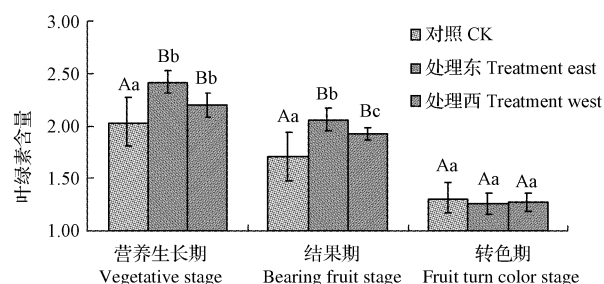


图 3 番茄不同生育期叶片叶绿素含量

Fig. 3 Chlorophyll content during tomato different growth stages

表 3 外置式秸秆反应堆对越冬茬番茄果实品质的影响

Table 3 Influence of the outer type straw on winter cultivation tomato fruits quality

温室 Greenhouse	维生素 C 含量 VC content/(mg · (100g) ⁻¹)	还原糖含量 Reducing sugar content/%	有机酸含量 Organic acid content/%	糖酸比 Sugar-acid ratio
对照 CK	12.43±1.29Aa	4.92±0.08Aa	0.367±0.037Aa	12.83±1.19Aa
处理温室-西部 Treatment greenhouse-western	16.26±0.92Bb	5.23±0.19Bb	0.291±0.017Bb	18.00±1.68Bb
处理温室-东部 Treatment greenhouse-eastern	16.07±0.89Bb	5.123±0.16Bb	0.269±0.023Bb	19.14±1.43Bb

2.6 外置式秸秆反应堆对日光温室番茄产量的影响

由表 4 可知,处理温室番茄单果重及每公顷产量比 CK 提高了 32.59 g 和 1 303.8 kg,与 CK 存在极显著差异,提早 14 d 上市,但是处理日光温室与对照温室番茄植株坐果数差异不显著($P<0.05$),说明外置式秸秆反应堆对处理日光温室番茄产量的促进作用主要是通过促进番茄单果重来实现的。

植株的生长,处理温室茎粗与叶长极显著高于对照温室,株高与 CK 存在显著差异($P<0.05$);在整个生育期内,处理温室东部叶长、叶宽比西部分别提高了 10.8%、16.2%,与西部存在极显著差异($P<0.01$)。

含量高 10.11%,但二者之间无显著差异($P>0.05$);结果期处理温室东部叶绿素含量比西部高 7.40%,与对照温室存在显著差异($P<0.05$)。转色期,处理温室与 CK 以及处理温室东部和西部叶绿素含量均无显著差异($P>0.05$),但处理温室东部与西部叶绿素含量比 CK 低 4.36%和 2.85%。

2.5 外置式秸秆反应堆对日光温室番茄果实品质的影响

由表 3 可知,外置式秸秆反应堆可极显著提高处理温室果实维生素含量、还原糖含量和糖酸比,降低果实中有机酸含量;处理温室东部与西部果实维生素 C、还原糖、有机酸含量及糖酸比均与 CK 存在极显著差异,但是处理温室东部和西部之间维生素 C、还原糖、有机酸含量之间无显著差异($P>0.05$)。

与 CK 相比,处理温室东部和西部番茄果实维生素 C 含量分别提高 29.33%、30.81%;还原糖含量提高 4.21%、6.41%;有机酸含量降低 30.55%、24.77%;糖酸比分别提高 49.25%、40.38%。

表 4 外置式秸秆反应堆对日光温室番茄上市时间和产量的影响

Table 4 Influence of the outer type straw on tomatoes' market time and tomato fruit yield in solar greenhouse

温室 Greenhouse	上市时间 Time to market /年-月-日	坐果数 Fruit number /个	单果重量 Weight of single fruit/g	公顷产量 Yield/kg
对照 CK	2010-02-18	3.97Aa	210.84 Aa	8 433.4Aa
处理温室 Treatment greenhouse	2010-03-04	3.86Aa	243.43 Bb	9 737.2Bb

3 结论与讨论

该试验结果表明,越冬茬番茄栽培过程中,外置式秸秆反应堆可有效解决晴天上午和下午日光温室内 CO₂ 亏缺现象,显著提高不同生育阶段 Pn,促进番茄植株生长,提高果实维生素 C 含量、还原糖含量、糖酸比、营养生长期与结果期叶片叶绿素含量,可降低有机酸含量;单果重增加 32.59 g,每公顷产量提高 1 303.8 kg。

许多研究者通过在不同植物上外源增加 CO₂ 浓度的研究发现,提高环境中 CO₂ 浓度,可使增加植物叶片数、大小、厚度、比叶重^[14-15],与该试验通过外置式秸秆反应堆为日光温室补充 CO₂ 显著提高番茄不同生育阶段的 Pn,促进植株生长的研究结果相似。外置式秸秆反应堆有效提高番茄果实中还原糖和维生素 C 含量,降低可滴定酸含量,提高番茄果实品质,这与 Madsen 等^[16]利用 CO₂ 施肥提高作物果实品质的研究结果相同。

由于日光温室长度较大,导致送气管道内部气压分布不均,最终引起处理日光温室东部与西部 CO₂ 浓度差异,这有可能是引起番茄不同生育阶段处理温室东部与西部 Pn 之间差异的主要原因。转色期,处理温室番茄叶片叶绿素含量较对照存在一定程度的下降,这可能使由于处理日光温室内东部 CO₂ 浓度高于西部,导致处理温室东部番茄植株长期处于较高的 CO₂ 浓度,引起番茄植株提前衰老,叶片叶绿素分解,导致处理日光温室番茄结果期和转色期净光合速率西部高于东部,或长期较高的 CO₂ 浓度导致叶片气孔调节紊乱,引起番茄对一些矿质元素吸收减少而导致叶片叶绿素含量下降^[17-18],最终引起处理温室东西部之间净光合速率的变化,具体的原因有待进一步研究。

参考文献

- [1] Slack G, Hand D W. The effect of winter and summer CO₂ enrichment on the growth and fruit yield of glasshouse cucumber[J]. Hortic Sci, 1985, 60:507-516.
- [2] Ziska L H, Hogan K P, Smith A P, et al. Growth and photosynthetic

response of nine tropical species with long-term exposure to elevated carbon dioxide [J]. Oecologia, 1991, 86:383-389.

[3] Nederhoff E M. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops [D]. Wageningen: The Netherlands, 1994.

[4] Zabari A W, Burrage S W. The effects of vapour pressure deficit (VPD) and enrichment with CO₂ on photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency (WUE) of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grown by NFT [J]. Acta Hort, 1996, 458:351-356.

[5] Wittwer S H, Robb W M. Carbon dioxide enrichment of greenhouse atmospheres for food crop production [J]. Econom Bot, 1964, 18:34-55.

[6] Porter M A, Grodzinski B. CO₂ enrichment of protected crops [J]. Hort Rev, 1985(7):345-398.

[7] Mortensen L M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses crop responses [J]. Scientia Hort, 1987, 33:1-25.

[8] Enoch H Z. Crop responses to aerial carbon dioxide [J]. Acta Horticulturae, 1990, 268:17-32.

[9] 张亚红. 秸秆还田与二氧化碳浓度提高在生产上的应用[J]. 宁夏农学院学报, 1999, 20(3):79-82.

[10] 郭卫华, 李天来. 有机质配施对日光温室 CO₂ 浓度及番茄生理的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(5):592-594.

[11] 韩鲁佳, 刘向阳, 李道娥, 等. 我国秸秆饲料资源开发利用的研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(3):120-124.

[12] 李佩胜, 王宏志. 关于科学发展秸秆沼气项目的探讨[J]. 节能, 2008(7):9-10.

[13] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安:世界图书出版社, 2000:161-165.

[14] Rogers H H, Thomas J F, Bingham G E. Response of agronomic and forest species to elevated atmospheric Carbon dioxide [J]. Science, 1983, 220:428.

[15] Spencer W, Bower G. Photosynthesis and growth of water hyacinth under CO₂ enrichment [J]. Plant Physiol, 1992, 30:541.

[16] Madsen E. Effect of CO₂ concentration on growth and fruit production of tomato plants [J]. Acta Agric Scand, 1974, 12:142-146.

[17] Tripp K E. CO₂ enriched yield and foliar deformation among tomato genotypes in elevated CO₂ environments [J]. Plant Physiol, 1991, 96(3):713-719.

[18] Nederhoff E M. Leaf deformation and fruit production of glasshouse grown tomato as affected by CO₂, plant density and pruning [J]. Hort Sci, 1992, 67(3):411-420.

The Influence of Outer Type Straw Reactor on Tomato Growth and Development

ZHANG Jing, BIAN Zhong-hua, WANG Yu, ZOU Zhi-rong

(College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Taking "Kuiguan108" as experimental material, the effects of the outer type straw reactor on CO₂ content and tomato plant nutrition growth and the chlorophyll content and tomato fruit number, fruit yield and quality were studied. The results indicated that the outer type straw reactors could effectively resolve or alleviate CO₂ deficit in solar greenhouse; the net photosynthetic rate of vegetative stage and bearing fruit stage improved by 19.5% and 27.8%; significantly improved tomato vegetative stage's and bearing fruit stage's Chlorophyll content and tomato plant growth; tomato fruit weight increased by 15.5%, the yield increased 1 303.8 kg/hm².

Key words: solar greenhouse; tomato; outer type straw reactor; CO₂ content; quality