

CO₂ 施肥对设施油桃生物学特性的影响^{*}

段成国¹, 李宪利¹, 刘焕芳¹, 侯新村², 李 萌¹

(1 山东农业大学 园艺学院, 山东 泰安 271018; 2 中国林业科学院, 北京 100091)

[摘 要] 以2年生盆栽“曙光”油桃为试材, 采用人工加富的方法, 研究了CO₂施肥对设施油桃生物学特性的影响。结果表明, 设施内的CO₂浓度远低于露地, CO₂施肥后树体的光合速率日变化曲线由3峰变为2峰, 第1次高峰比对照推迟约2 h, 出现在10:00左右, 第2次高峰出现在约15:00。经CO₂加富处理后, 设施内CO₂浓度显著提高, 新梢速长期处理I, II, III的日平均CO₂浓度分别比对照高出44.37%, 84.31%, 119.62%, CO₂浓度的提高使得树体的光合速率明显上升。CO₂施肥对油桃的新梢、叶片生长发育以及果实的品质有重要影响, 3个处理中油桃的平均单果重比对照增加了5.02%, 可溶性固形物比对照增加了17.18%, 维生素C含量增加了10.48%。同时, 新梢长度、叶片面积、叶绿素含量、气孔导度等生理指标也有不同程度的提高。CO₂施肥还能降低叶片的光呼吸速率。

[关键词] 油桃; 设施栽培; CO₂施肥; 生物学特性

[中图分类号] S662.101; S662.106⁺.2 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2004)07-0072-05

CO₂是植物光合作用的主要原料。据报道^[1-3], CO₂浓度升高能明显提前大豆、冬小麦、棉花等作物的生育期, 显著增大叶面积、厚度和密度, 减少叶肉细胞间隙体积, 引起气孔导度降低。CO₂浓度升高能提高叶片叶绿素含量, 这在烟草、油桐、玉米上得到证明, 并能使大豆、谷子叶片中聚生色素复合物(LCH II)聚合态(有效态)的量增加, 单体态的量减少, 利于光能的吸收与转化^[4,5]。在设施果树生产中, CO₂浓度不足被认为是果树产量和品质提高的阻碍因素之一, 因而CO₂施肥在果树生产上有重大意义。关于增施CO₂或升高CO₂浓度, 前人在林木、作物、蔬菜上已作了大量的试验研究, 也取得了一系列研究成果, 但在增施CO₂对多年生果树影响方面的研究还不够系统。本试验对设施条件下CO₂的变化规律, CO₂加富对油桃生物学特性的影响以及生产上合理的CO₂施用浓度进行了较深入的研究, 以期生产中CO₂的正确施用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材 料

油桃选用2年生曙光油桃, 株行距为0.8 m × 1.0 m, 盆栽, 土壤为壤土 蛭石 有机肥质量比=

8 1 1的混合土样, 定期浇营养液, 常规管理。

1.2 方 法

试验于2001-03-01~06-19在山东农业大学玻璃温室进行。温室为南北走向, 双面坡式, 南北长20 m, 东西跨度8 m, 脊高6 m, 内有喷水降温装置, 内扣4个聚乙烯紫光无滴膜小棚, 其长×宽×高=6 m×4 m×3.5 m, 每个小棚放置20株油桃。采用化学反应法制备CO₂, 即将体积分数98%浓硫酸与水按体积比3:1稀释后, 与农用化肥NH₄HCO₃反应来释放CO₂气体, 通过控制NH₄HCO₃的量来控制CO₂浓度。试验共设750, 1 100, 1 300 μL/L和CK(空气中约330~360 μL/L)4个CO₂浓度处理, 依次记为I, II, III, IV。试验于上午8:00~12:00进行, 每个小棚内均匀放置3个小塑料桶, 以使CO₂分布均匀, 每隔0.5 h补充1次NH₄HCO₃以保证CO₂浓度。在新梢速长期和果实膨大期测定光合作用的日变化、温室内CO₂浓度的日变化以及光呼吸速率等指标, 晴天11:00~16:00结合温室内的温湿状况对小棚进行通风、降温。采用PP-SYSTEM公司生产的CIRAS-1型便携式光合测定仪测定光合速率P_n。在测定光合速率时通过光合测定仪自身携带的CO₂钢瓶来控制CO₂浓度。光强则采用测定

* [收稿日期] 2002-05-21

[基金项目] 山东省教育厅基金资助项目(J30042)

[作者简介] 段成国(1979-), 男, 山东滕州市人, 在读硕士, 主要从事果树休眠与设施环境调控研究。

[通讯作者] 李宪利(1955-), 山东齐河人, 教授, 主要从事果树设施栽培生产及生物学研究。

仪的人工光源,其误差不超过±2%。CO₂浓度变化采用北京分析仪器厂生产的GXH-305型便携式红外线分析仪进行检测。光呼吸速率采用低氧抑制法(20 mL/L O₂浓度下的叶片表观光合速率与210 mL/L O₂浓度下的表观光合速率之差即为光呼吸速率)测定。叶绿素的相对含量采用叶绿素分析仪测定。

本试验在每个处理中选出4棵植株,每植株取25个有代表性的叶片测定叶面积及叶绿素含量。每植株选5个树体外围中部新梢测新梢长度。对光呼吸速率的测定则是在1组正常设施油桃和1组经30 d CO₂(500 μL/L)适应后的油桃之间进行。对每组油桃均进行3个CO₂浓度(750,1 100和1 300 μL/L)的外施处理,分析这两组油桃的光呼吸速率对不同CO₂浓度的反应。

2 结果与分析

2.1 设施油桃不同生育期 CO₂ 浓度的日变化

表 1 设施油桃不同生育期 CO₂ 浓度日变化

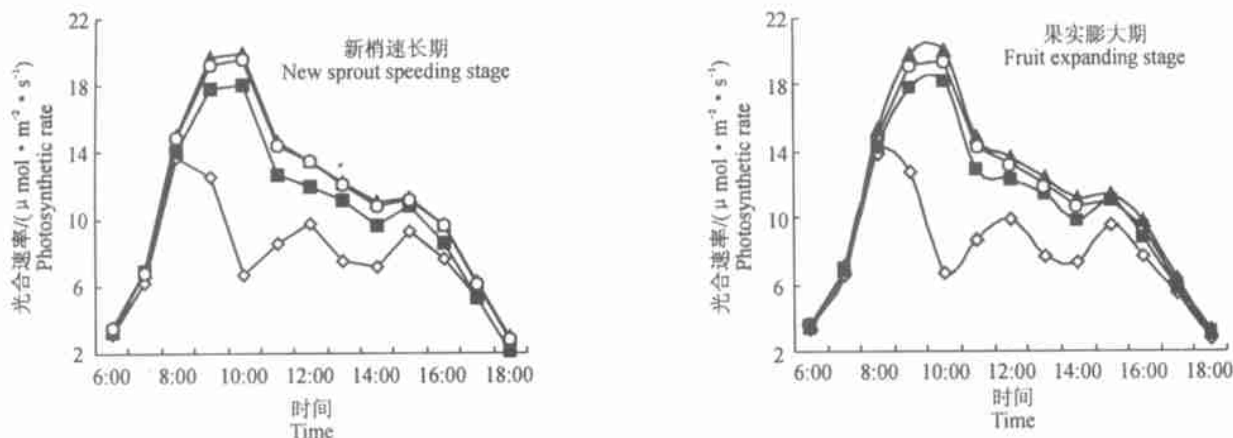
Table 1 The daily variation of CO ₂ level of nectarine in different development stages in greenhouse μL/L								
时间 Time	设施外 Out of green- house	萌芽期 Shooting stage	开花期 Bloom ing stage	幼果膨大期 Young fruit expanding stage	新梢速长期 New sprout speeding stage	果实膨大期 Fruit expanding stage	果实着色期 Fruit coloring stage	果实成熟期 Fruit maturing stage
6: 00	418	429	430	700	799	798	795	798
7: 00	395	393	390	581	640	636	630	666
8: 00	375	365	365	425	440	435	450	456
9: 00	369	366	357	340	280	278	298	305
10: 00	365	360	356	335	260	250	280	300
11: 00	370	365	360	328	268	255	279	290
12: 00	368	366	361	325	270	262	282	295
13: 00	367	364	363	315	284	276	295	306
14: 00	366	364	365	316	294	281	301	311
15: 00	367	365	362	325	295	288	308	319
16: 00	369	364	364	335	300	291	311	322
18: 00	371	376	375	402	409	410	412	416

2.2 CO₂ 施肥对设施油桃光合作用日变化规律的影响

图1结果表明,CO₂施肥后,设施油桃的光合速率日变化明显由对照的三峰曲线变为典型的双峰曲线。对照树体光合速率日变化曲线为典型的三峰曲线,3次高峰分别出现在8:00,12:00,15:00左右;各施肥处理光合速率日变化曲线均为典型的双峰曲线,第一次高峰比对照推迟大约2 h,出现在10:00左右,第二次高峰出现在15:00左右。这与处理后CO₂浓度的日变化规律相吻合(图2)。由图1可知,

由表1可知,在设施油桃的整个生长发育周期,CO₂亏缺程度先逐渐加重后有所缓和。扣棚初期(萌芽期和开花期)亏缺发生的程度较轻,温室内日平均CO₂浓度接近于露地;至幼果膨大期,出现CO₂浓度低谷,亏缺发生的程度较重,温室内日平均CO₂浓度比露地低493%,并在13:00~14:00出现最低值,亏缺程度最重,且CO₂浓度低谷出现的时间提前,即10:00~11:00;果实着色期和果实成熟期,由于温室内温度较为稳定,通风时间加长,CO₂浓度有所回升,CO₂亏缺程度有所缓解,但仍然严重,温室内日平均CO₂浓度分别比露地低11.67%和8.75%。这可能是由于随着生长发育的进行,树体的光合速率不断加强,生长代谢逐渐旺盛,CO₂的日平均消耗量不断增大。新梢速长期和果实膨大期CO₂亏缺严重,温室内日平均CO₂浓度分别比露地低14.78%和16.47%。

CO₂施肥后油桃树体的光合速率也明显高于不施肥油桃,在新梢速长期,I,II,III施肥处理树体的日最高光合速率(最高峰)分别为17.98,19.88和19.54 μmol/(m²·s),分别比对照(13.72 μmol/(m²·s))增加了31.05%,44.90%和42.42%;果实膨大期3种处理树体的日最高光合速率分别为18.16,20.02和19.46 μmol/(m²·s),分别较对照(13.81 μmol/(m²·s))增加了31.50%,44.97%和40.91%。

图 1 CO₂ 施肥对设施油桃光合日变化规律的影响

- - - 处理IV(对照); - □ - 处理 I; - △ - 处理 II; - ◇ - 处理 III

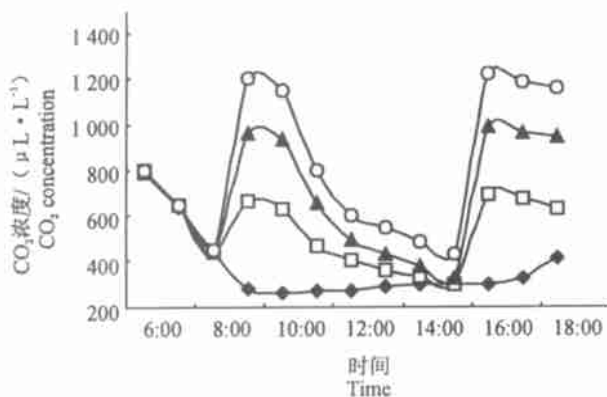
Fig. 1 Effect of CO₂ enrichment on diurnal changes of photosynthetic rate of peach

- - - Treatment IV (CK); - □ - Treatment I; - △ - Treatment II; - ◇ - Treatment III

2.3 CO₂ 施肥对设施内 CO₂ 浓度日变化规律的影响

由图 2 可以看出,CO₂ 施肥后日光温室内 CO₂ 浓度的日变化曲线发生明显改变。以新梢速长期为例,对照处理第 1 天的大部分时间中温室内 CO₂ 浓度非常低,形成比较严重的 CO₂ 亏缺,尤其在上午 9:00~11:00,温室内除 CO₂ 浓度以外的其他环境条件均比较适合光合作用的需要,但这段时间内 CO₂ 亏缺非常严重,最低浓度只有 250 μL/L。通风换气能使 CO₂ 浓度有所回升,在桃树发育的不同时

期,11:00~12:00 温室内的 CO₂ 浓度均有一定程度升高,下午温室内 CO₂ 的亏缺程度相应小于上午,受下午通风影响,15:00 时以后的 CO₂ 浓度又有所回升。与之相比,施肥处理后,一天中大部分时间温室内 CO₂ 浓度大幅度提高,各处理间的提高幅度以处理 III 最高,其次为处理 II 和处理 I,新梢速长期处理 I, II, III 日平均 CO₂ 浓度分别比处理 IV (对照) 高出 44.37%, 84.31%, 119.62%。在通风后,CO₂ 浓度有所升高,CO₂ 浓度提高的幅度下午小于上午,但仍明显高于对照。

图 2 新梢速长期 CO₂ 施肥对设施内 CO₂ 浓度日变化的影响

- ◇ - 处理 IV; - □ - 处理 I; - △ - 处理 II; - ○ - 处理 III

Fig. 2 Effect of CO₂ enrichment on diurnal changes of CO₂ concentration in greenhouse in shoot blooming

- ◇ - Treatment IV; - □ - Treatment I; - △ - Treatment II; - ○ - Treatment III

- ◇ - Treatment IV; - □ - Treatment I; - △ - Treatment II; - ○ - Treatment III

2.4 增施 CO₂ 对设施油桃光呼吸的影响

测定不施肥与 500 μL/L CO₂ 施肥条件下树体的光呼吸速率,结果如图 3 所示。图 3 表明,未施 CO₂ 油桃的光呼吸速率变化不大,而 CO₂ 施肥处理

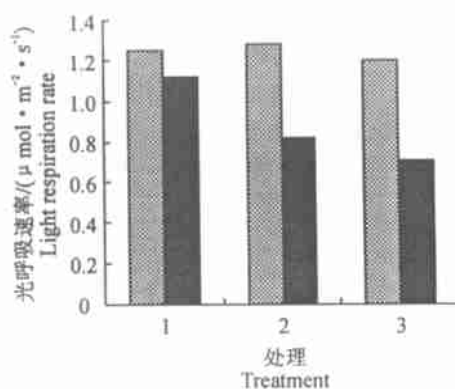


图 3 不同模式下不同处理对油桃光呼吸速率的影响

□.不施 CO₂; ■.CO₂ 适应后

Fig. 3 The effect of different treatment in different patterns on the light respiration of the nectarine

□.No CO₂; ■.CO₂ enrichment

后,树体的光呼吸速率均有所下降,各处理均达到显著差异。光呼吸速率下降的幅度大小顺序为处理 III > 处理 II > 处理 I,这与一些高浓度 CO₂ 引起光呼吸途径中一些酶活性降低的报道结果相符^[2,4]。推测

光呼吸速率下降的原因, 应该是 CO₂ 施肥使得 CO₂ 在 Rubisco 活化部位的竞争能力相对增强所致。

2 5 增施 CO₂ 对设施油桃品质的影响

在设施条件下, 果树叶片的比叶重一般较露地小。由表 2 可以看出, CO₂ 施肥可以使设施油桃的比叶重有所增加, 无论鲜重还是干重均达到显著水平, 比叶重增加说明叶片厚度或者叶片细胞内容物有所增加, 而叶片细胞内容物的增加则与叶片含水量的降低相吻合^[5~7]。CO₂ 施肥还可以显著提高果实的品质, 3 个处理的油桃平均单果重比对照增加了 5.02%, 可溶性固形物比对照增加了 17.18%, 维生素 C 含量增加了 10.48% (表 2)。

表 2 CO₂ 处理对曙光油桃品质性状的影响

Table 2 Effects of CO₂ treatment on fruit quality characteristics of "Shuguang" nectarine

处理 Treatment	单果重/g Single fruit weight	比叶重/g Leaf weight	可溶性固形物/ (g · kg ⁻¹) Soluble solid substance	Vc/ (mg · kg ⁻¹)
IV	97.57	8.5	103.8	3.5
I	101.32	8.9	115.3	4.7
II	103.21	9.7	124.5	4.0
III	103.34	9.6	125.1	3.9

2 6 增施 CO₂ 对设施油桃新梢生长及叶片发育的影响

表 3 结果表明, CO₂ 施肥能显著促进油桃的新梢生长, 3 个处理的油桃平均新梢长度为 21.78 cm, 较对照 (19.35 cm) 平均增长 12.56%。CO₂ 浓度增高还能显著增大叶面积, 处理后的平均单叶面积为 45.84 cm², 比对照 (43.81 cm²) 增大 4.63%。同时 CO₂ 加富处理还能增大叶片的厚度, 使油桃的叶子展开加速, 减少了叶肉细胞间隙体积, 引起叶片气孔导度的降低, 加速其的生长速率。3 种处理的平均气

孔导度为 0.258 mol/(m² · s), 比对照 (0.275 mol/(m² · s)) 平均降低了 6.18%。这使叶片蒸腾速率降低, 提高了叶片和植株的水分利用率, 但由于 CO₂ 浓度增高对植物生长发育的正效应, 所以整个生长期油桃的耗水量仍是增加的。蒸腾速率的降低减弱了叶片的蒸腾降温作用, 使叶温升高, 给植物生长发育带来复杂影响, 同时, 使油桃耐受水分胁迫能力延长或缓解了胁迫程度, 间接提高了油桃的抗旱性。

表 3 CO₂ 处理对油桃新梢及叶片发育的影响

Table 3 Effects of CO₂ treatments on the shoot and leaf development of nectarine

处理 Treatment	新梢长度/cm Length of new shoot	叶面积/cm ² Area of leaf	叶绿素含量/ (g · kg ⁻¹) Chlorophyll content	气孔导度/ (mol · m ⁻² · s ⁻¹) Air hole conduction speed
IV	19.35	43.81	41.65	0.275
I	21.69	43.99	43.91	0.268
II	21.73	46.63	44.52	0.257
III	21.92	46.91	44.33	0.249

同时, CO₂ 施肥还能明显改善大棚油桃叶片的叶绿素含量 (表 3)。在 4 个处理中, 以 350~750 μL/L 浓度处理对叶绿素含量的促进作用最为显著。这可能是由于长期高浓度 CO₂ 处理使光系统 II 的聚光色素复合体 (LHC II) 的聚合态 (有效态) 量增大, 单体态的量减少造成的, 这表明高浓度 CO₂ 能提高植物吸收、传递与转换光能的效率, 改善果树的光合性能。但高浓度 CO₂ 处理对叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值影响不大, 其具体原因尚不十分清楚, 还有待于进一步研究。

3 结论与讨论

本研究结果表明, 由于设施内的 CO₂ 得不到及

时补充而使设施内的 CO₂ 浓度远低于室外, CO₂ 不足对油桃的诸多生理生化过程有明显影响。经 CO₂ 施肥后, 设施油桃的光合速率日变化曲线由对照的三峰曲线变为典型的双峰曲线, 且光合速率最高峰比未施肥油桃延迟 2 h。CO₂ 施肥处理后, 设施内 CO₂ 浓度大幅度提高, 各处理间的提高幅度以处理 III 最高, 其次是处理 II 和处理 I。在通风后, CO₂ 浓度有所升高, CO₂ 浓度提高的幅度下午小于上午, 但仍明显高于对照, 此结果与王志强等^[6]的研究结果一致。经 CO₂ 施肥处理后, 树体的光呼吸速率均有所下降, 下降幅度的大小顺序为处理 III > 处理 II > 处理 I, 这与高浓度 CO₂ 可引起光呼吸途径中一些酶活性降低的报道结果相符^[2,4]。

试验表明, CO_2 施肥对油桃光合作用、产量、品质等性状具有显著的改善作用, 不但使树体生长健壮, 单果重增大, 品质改善。同时, 还能明显改善设施油桃的叶片质量, 使叶绿素含量升高, 增大比叶重和叶面积, 加速新梢的生长, 从而提高了叶片的光合性能。

综上所述, 在相对密闭的设施内, 果树进行光合作用而导致 CO_2 大量消耗, 进行设施内 CO_2 施肥能较好地弥补 CO_2 不能及时补充所造成的负面影响。

但是其中的具体生理生化机制尚不是十分清楚, 可能是高浓度 CO_2 增强了 1, 5-二磷酸核酮和加氧酶(Rubisco)的羧化活性^[7, 8], 增加了加氧酶(Rubisco)竞争活化位点的 CO_2 供给速率, 使其优先与 CO_2 结合发生羧化反应, 同时抑制了 O_2 的供给速率, 从而导致光呼吸速率下降, 有利于植物对 C 的固定^[9, 10]。但有关 CO_2 浓度升高对参与叶片光合作用和呼吸作用的各种酶的活性及水平的影响, 还需进一步研究。

[参考文献]

- [1] 李宪利, 高东升, 夏 宁. 果树设施栽培的原理与技术研究[J]. 山东农业大学学报, 1996, 27(2): 227- 232
- [2] 许大全. 光合作用及有关过程对长期高浓度 CO_2 的响应[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(2): 81- 87
- [3] 高东升, 李宪利. 果树设施栽培的尝试[J]. 落叶果树, 1997, (4): 1- 4
- [4] 王志强, 牛 良, 刘淑娥. 油桃设施栽培研究现状[J]. 果树科学, 1998, 15(4): 340- 360
- [5] 张其德. 大气 CO_2 浓度升高对光合作用的影响[J]. 植物学通报, 1992, 9(4): 18- 23
- [6] 王志强, 何 方, 牛 良, 等. CO_2 施肥对大棚油桃光合作用及产量品质的影响[J]. 果树学报, 2001, 18(2): 75- 79
- [7] 刘世荣, 蒋有绪, 郭泉水. 大气 CO_2 浓度增加对树木生长和生理的可能影响[J]. 东北林业大学学报, 1997, 25(3): 30- 35
- [8] Lorenzo P, Maroto C. CO_2 in plastic greenhouse in Almeria[J]. Acta Horti, 1990, 268: 165- 169
- [9] Seginer. Expected usefulness of CO_2 enrichment shading in a desert climate[J]. Acta Horti, 1990, 67: 221- 224
- [10] Mortensen L M. Nutritive role of seedcoats in developing legume seeds[J]. Amer J Bot, 1987, 74: 1122- 1137

Effects of CO_2 enrichment on the biological characteristics of nectarine in greenhouse

DUAN Cheng-guo¹, LI Xian-li¹, LIU Huan-fang¹, HOU Xin-cun², LIM eng¹

(1 College of Horticulture, Shandong Agriculture University, Taian, Shandong 271018, China;

2 Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, China)

Abstract With 2-year-old “Shuguang” nectarine, we studies the effects of CO_2 enrichment on biological characteristics of the nectarine and the technology of the CO_2 enrichment in the greenhouse. The results indicate: CO_2 content in the greenhouse is greatly lower than that of the outside. The daily photosynthesis velocity changed from 3 peaks to 2 peaks, the first photosynthesis velocity peak delayed about 2h compared with CK, it arrived at 10: 00, the second peak arrived at 15: 00. CO_2 content in greenhouse increased greatly after CO_2 enrichment. CO_2 enrichment has important effects on the growth and development of new shoot, leaves and quality of nectarine. Average fruit weight increased about 5.02%, soluble solid content increased about 17.18%, Vc content increased about 10.48% of 3 treatments compared with CK. At the same time, the length of new sprout, area of leaf, chlorophyll content, air hole conduction speed improved greatly.

Key words: nectarine; greenhouse cultivation; CO_2 enrichment; biological characteristics