

宁夏枸杞不同器官中糖积累对大气 CO₂ 浓度倍增的响应

曹 兵, 侯晶东, 潘 静, 宋丽华, 康建宏

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁杞1号苗为试验材料,采用开顶式气室控制 CO₂ 浓度,研究大气 CO₂ 浓度倍增后 CO₂ 对宁夏枸杞不同器官中糖分积累的影响。结果表明,CO₂ 浓度倍增处理显著降低了叶片中果糖、淀粉的含量以及果实中蔗糖的含量,提高了果实中淀粉的含量;但对枸杞茎和根中的各种糖分的含量无显著性影响。

关键词:宁夏枸杞;CO₂;果糖;淀粉;酶活性

中图分类号:S718.43

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)03-0067-04

Effects of Doubled Atmospheric CO₂ Concentration on Sugar Accumulation of Different organs in *Lycium barbarum*

CAO Bing, HOU Jing-dong, PAN Jing, SONG Li-hua, KANG Jian-hong

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: Taking *Lycium barbarum* seedling as research material, and using open-top chamber to control CO₂ concentration, we studied the changes of sugar content in different organs of *L. barbarum* to analyze the sugar accumulation under doubled atmospheric CO₂ concentrations. The results followed that doubled atmospheric CO₂ concentration had no significant effect on the sugar content in the seedling stem and root, but the treatment reduced the fructose content in leaf, starch and sucrose contents in fruit significantly. Moreover, the treatment increased the content of fruit starch significantly.

Key words: *Lycium barbarum*; CO₂; fructose; starch; enzyme activity

宁夏枸杞(*Lycium barbarum*)是我国重要的特种经济植物资源之一,具备生态、经济、社会三位一体的显著效益和“药食同源”型滋补功能,很早就被誉为“红宝”驰名中外^[1-2]。由于宁夏特殊的地理环境,适宜的自然条件,加之科学的栽培管理技术,生产的宁夏枸杞品质优良,近年来呈现出供不应求的局面,成为宁夏的特色产业和传统的名特优产品,市场竞争力强,在促进地方经济发展,增加农民收入,改善生态环境等方面都具有重要的地位和作用,枸杞成为宁夏主要的特色优势经济林树种^[3-4]。

全球气候变化背景下,大气 CO₂ 浓度升高对木本植物生理影响研究已有报道^[5-6],但对植物的光合产物积累与分配机理,特别是由于木本植物第一次开花结实年龄较晚,对木本植物果实品质影响的研究较少^[7-8]。大气 CO₂ 浓度升高,宁夏枸杞的净光

合速率增大,水分利用效率提高,促进了植株生长,但果实中黄酮、类胡萝卜素含量降低,但植株与土壤中的 C、N 含量均与对照无差异^[9-10];但光合作用增强后,合成的产物(碳水化合物)在根、茎、叶、果实中是如何积累与分配,以及长期 CO₂ 浓度升高处理后对果实品质有何影响还需继续研究。因此,本试验以宁夏枸杞为对象,采用开顶气室系统控制 CO₂ 浓度,研究其光合产物积累对大气 CO₂ 浓度升高的响应机制,以揭示全球气候变化背景下宁夏枸杞碳素营养与果实有效成分含量变化规律,阐明其对气候变化的适应机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2010 年 4—10 月在宁夏大学试验农场

收稿日期:2013-08-20 修回日期:2013-11-19

基金项目:国家自然科学基金项目(30860227,31160172);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-11-1022)。

作者简介:曹兵,教授,博士,研究方向:旱区造林、经济林栽培。E-mail:bingcao2006@126.com

进行。供试材料为宁杞 1 号 1 年生扦插苗,购于宁夏农林科学院枸杞研究所。

1.2 试验方法

采用单因素试验设计,CO₂ 浓度设置 2 个处理:自然环境大气 CO₂ 浓度(CK,据实测结果,自然环境大气 CO₂ 浓度为(350±20) μmol·mol⁻¹)作为对照;CO₂ 浓度升高为(700±20) μmol·mol⁻¹ 作为处理(TR),采用开顶气室控制 CO₂ 浓度,每个处理设置 3 个重复(共 6 个气室)^[9-10]。每个气室均匀种植 9 株枸杞移植苗(普通农田土壤,共 54 株),与大田相同的常规肥水管理。自 5 月上旬至 10 月上旬间每天 8:00—20:00 控制气室内 CO₂ 浓度。

分别于 8 月 14 日、8 月 26 日采集叶片与果实,10 月 6 日采集叶片、果实、根、茎等测定糖含量;淀粉用蒽酮硫酸比色法测定;还原糖用 3,5-二硝基水杨酸法测定^[11];果糖、蔗糖用间苯二酚比色法测定^[12]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 进行原始数据的处理,DPS7.05

进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 CO₂ 浓度倍增处理(8 月)对枸杞叶片、果实糖含量的影响

8 月上旬,枸杞叶片的还原糖、果糖的含量处理和对照之间无差异($p>0.05$),蔗糖含量处理和对照之间存在着极显著差异性($p=0.006\ 5<0.01$)。CO₂ 浓度变化对枸杞叶片的除蔗糖外其他糖分代谢未产生影响。果实当中各种糖的含量处理均低于对照。其中,淀粉的降低幅度最大,达到 30.9%,其次为还原糖和果糖,分别为 25.5%和 22.1%,蔗糖的降幅最小,为 6%。方差分析可知,果实当中还原糖、淀粉、果糖含量处理和对照之间存在着极显著差异($p_{\text{还原糖}}<0.01, p_{\text{淀粉}}<0.01, p_{\text{果糖}}<0.01$),而蔗糖处理和对照无显著差异性($p=0.523\ 9>0.05$)。CO₂ 浓度的倍增处理对枸杞果实糖含量的积累会产生一定的抑制作用(表 1)。

表 1 CO₂ 浓度倍增对枸杞叶片、果实糖含量的影响(8 月上旬)

Table 1 The effect of doubled atmospheric CO₂ concentration on sugar contents in leaf and fruit of *L. barbarum* (early August)

器官	处理	还原糖	蔗糖	淀粉	果糖
		/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)
叶片	TR	24.475	11.691 B	4.544	43.062
	CK	24.165	12.513 A	4.662	45.006
果实	TR	552.367 B	128.793	8.882 B	409.739 B
	CK	741.363 A	137.118	12.863 A	526.140 A

注:表中数据基于供试器官鲜重测得。

8 月下旬的枸杞叶片还原糖处理和对照之间存在极显著差异性($p=0.000\ 4<0.01$),蔗糖、淀粉和果糖的含量处理和对照之间均无显著差异性;但相比 8 月上旬,叶片的各种糖含量有所增加。果实当中各种糖的含量处理均低于对照,处理和对照之

间存在极显著差异($p<0.01$)。其中,还原糖淀粉的降低幅度最大,达到 29.6%,其次为果糖和淀粉,分别为 20.2%和 18.7%,蔗糖的降幅最小,为 18.6%。说明 CO₂ 浓度的倍增处理对枸杞果实糖含量的积累会产生一定的抑制作用(表 2)。

表 2 CO₂ 浓度倍增对枸杞叶片、果实糖含量的影响(8 月下旬)

Table 2 The effect of doubled atmospheric CO₂ concentration on sugar contents in leaf and fruit of *L. barbarum* (middle August)

器官	处理	还原糖	蔗糖	淀粉	果糖
		/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)
叶片	TR	25.672 B	15.738	6.733	70.271
	CK	26.941 A	14.601	6.419	70.490
果实	TR	534.729 B	121.467 B	8.497 B	437.156 B
	CK	759.702 A	149.311 A	10.454 A	547.980 A

2.2 CO₂ 浓度倍增处理(10 月)对枸杞苗木根、茎、叶、果实糖含量的影响

由表 3 可知,叶片、茎和根的还原糖、蔗糖、果糖和淀粉含量处理和对照之间差异不大。其中,叶片的各种糖含量处理均低于对照,且也是枸杞苗木各器官中含量最低的;茎和根部各种糖的含量处理和对照之间没有差异性,但根的还原糖含量和淀粉含量要高于茎,而蔗糖和果糖含量低于茎。果实中除

淀粉外,各种糖含量均高于叶片、茎和根,且处理的含量均低于对照。CO₂ 浓度倍增处理下,叶片的还原糖、蔗糖、果糖、淀粉分别比对照降低了 10.93%,18.1%,20.93%,31.45%。方差分析表明,CO₂ 浓度倍增处理下叶片的果糖含量和对照之间存在着显著性差异($0.01<p=0.032<0.05$),而淀粉含量和对照之间存在着极显著性差异($p=0.008\ 7<0.01$)。枸杞茎的还原糖含量处理比对照降低了 4.75%,且二者之间存在着显著性差异($0.01<p=$

0.048 9<0.05),而其他糖含量处理和对照之间无显著差异性。枸杞根的还原糖含量处理比对照降低了 3.57%,蔗糖、果糖、淀粉处理分别是对照的 102.2%,104.98%和 107.13%,枸杞根的各种糖含量处理和对照之间无显著差异性。枸杞果实中还原

糖、蔗糖、果糖含量处理分别比对照降低了12.89%,17.14%和 3.77%;淀粉含量处理则比对照提高了 10%。方差分析可知,枸杞果实的蔗糖和淀粉含量处理和对照之间存在着显著性差异(0.01<p 蔗糖,p 淀粉<0.05)。

表 3 CO₂ 浓度倍增对枸杞苗木根、茎、叶、果实糖含量的影响

Table 3 The effect of doubled atmospheric CO₂ concentration on sugar contents in root,stem,leaf,and fruit of *L. barbarum*

器官	处理	还原糖	蔗糖	果糖	淀粉
		/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)	/(mg·g ⁻¹)
叶片	TR	24.697	11.156	69.632 b	4.661 B
	CK	27.730	13.621	88.065 a	6.799 A
茎	TR	22.484 b	17.424	104.745	6.015
	CK	23.602 a	16.788	95.242	5.988
根	TR	36.974	15.547	77.900	14.369
	CK	38.342	15.209	74.204	13.413
果实	TR	762.646	110.695 b	591.545	8.663 a
	CK	875.517	133.589 a	614.746	7.875 b

3 结论与讨论

CO₂ 是植物光合作用的重要原料,其浓度升高必然影响植物的光合速率与光合产出。植物光合作用对高浓度 CO₂ 的适应因其种类、生长发育阶段而异,并受到其它环境因素影响;光合作用对高浓度 CO₂ 的长期适应与短期反应有很大区别^[13-14]。林丰平^[15]等认为,CO₂ 浓度升高会引起碳水化合物合成的增加,会对光合产物的运输和分配产生一定影响,叶片中大量的碳水化合物积累会影响叶绿体对光的吸收以及光合作用的量子效率,同时 CO₂ 在叶片中的扩散阻力也可能增加,将造成植物叶片的生物量增加。G. S. Rogens^[16]等研究指出,CO₂ 浓度增高可能对植物碳水化合物的汇和源间的平衡产生影响,但由于一些木本植物叶片光合能力没有降低,也可认定碳水化合物并未对叶片光合速率产生影响,这可能与植物对 C 的利用能力,C 传输到汇的能力有关。CO₂ 浓度升高对植物叶片中不同种类的碳水化合物所造成的影响也不完全相同。K. L. Griffin^[17]等发现,火炬松叶片中的淀粉和可溶性糖含量在 CO₂ 浓度升高的影响下显著增加,美国黄松叶片中只有可溶性糖含量在 CO₂ 浓度升高条件下增加。T. A. Marek^[18]等发现,挪威云杉在 CO₂ 倍增处理后的下一个生长季,其叶片中的可溶性总糖含量增加,而淀粉含量不变。周玉梅^[19]等研究表明,在长期高 CO₂ 浓度处理下,长白赤松、红松、水曲柳幼苗叶片的淀粉和糖含量均升高。林丰平^[15]等通过研究发现,在高 CO₂ 浓度处理下,4 种豆科乔木幼苗叶片中的纤维素和可溶性糖含量降低,淀粉含量升高。本试验研究发现,CO₂ 浓度倍增处理下的枸杞叶片糖(还原糖、蔗糖和果糖)及淀粉均低于对照;枸杞茎和根除还原糖处理显著低于对照外,蔗糖、果

糖、淀粉均高于对照,但无显著差异;果实除淀粉处理显著高于对照外,糖含量均低于对照。造成这种现象的可能原因是:随着 CO₂ 浓度升高,植物净光合速率增大,光合产物积累增多,打破了枸杞植株体内原来的库源关系,造成枸杞各器官中碳水化合物的含量发生改变,也对枸杞的其它生理生态过程产生了影响。

参考文献:

[1] 高治军. 药食兼用的神奇植物——宁夏枸杞[J]. 宁夏林业通讯,2010(1):47-48.

[2] 闫秀梅,董静洲,王瑛. 枸杞和宁夏枸杞叶片主要活性成分含量比较研究[J]. 食品科学,2010,31(1):29-32.

YAN X M,DONG J Z,WANG Y. Comparison studies of main active compounds in young leaves of *L. barbarum* and *L. chinense*[J]. Food Science,2010,31(1):29-32. (in Chinese)

[3] 王兵,焦恩宁,秦垦,等. 宁夏枸杞传粉生态学初步研究[J]. 西北植物学报,2010,30(1):68-77.

WANG B,JIAO E N,QIN K,et al. Pollination ecology study of *Lycium barbarum* L. [J]. Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin. , 2010,30(1):68-77. (in Chinese)

[4] 牛艳,许兴,魏玉清,等. 不同产地土壤因子与宁夏枸杞中β胡萝卜素关系的研究[J]. 农业科学研究,2005,26(2):21-23.

[5] 谢立勇,林而达. 二氧化碳浓度增高对稻、麦品质影响研究进展[J]. 应用生态学报,2007,18(3):659-664.

XIE L Y,LIN E D. Effects of CO₂ enrichment on grain quality of rice and wheat: a research review [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2007,18(3):659-664. (in Chinese)

[6] 侯颖,王开运,牛德奎,等. CO₂ 浓度和温度升高对木本植物养分含量、分配的影响[J]. 江西农业大学学报,2006,28(1):95-100.

HOU Y,WANG K Y,NIU D K,et al. Effects of elevated CO₂ and temperature to plant nutrient content and allocation[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2006,28(1):95-100. (in Chinese)

[7] REDDY A R,RASINENI G K,RAGHAVENDRA A S. The impact of global elevated CO₂ concentration on photosynthesis and plant productivity[J]. Current Science.2010,99(1):46-57.

- [8] 白莉萍,周广胜.小麦对大气 CO₂ 浓度及温度升高的响应与适应研究进展[J].中国生态农业学报,2004,12(4):23-26.
BAI L P,ZHOU G S. Responses and adaptations of wheat to elevated CO₂ concentration and temperature rise[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2004,12(4):23-26. (in Chinese)
- [9] 曹兵,宋培建,康建宏,等.大气 CO₂ 浓度倍增对宁夏枸杞生长的影响[J].林业科学,2011,47(7):193-198.
CAO B,SONG P J,KANG J H, *et al.* Effect of elevated CO₂ concentration on growth in *Lycium barbarum*[J]. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(7):193-198. (in Chinese)
- [10] 侯晶东,曹兵.大气 CO₂ 摩尔分数升高对宁夏枸杞植株与土壤 C、N 分配的影响[J].东北林业大学学报,2011,39(9):75-77.
HOU J D,CAO B. Effect of elevated CO₂ concentration on carbon and nitrogen allocation in *Lycium barbarum*[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,39(9):75-77. (in Chinese)
- [11] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [12] 张志良,瞿伟菁,李小方.植物生理学实验指导[M].4版.北京:高等教育出版社,2009.
- [13] 彭晓邦,张硕新.大气 CO₂ 浓度升高对植物某些生理过程影响的研究进展[J].西北林学院学报,2006,21(1):68-71.
PENG X B,ZHANG S X. Research progress in effects of increased atmospheric CO₂ concentration on certain physiological process of plants[J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(1):68-71. (in Chinese)
- [14] 李青超,张远彬,王开运,等.大气 CO₂ 浓度升高对亚高山红桦碳水化合物含量与分配的影响[J].西北林学院学报,2008,23(1):1-5.
LI Q C,ZHANG Y B,WANG K Y, *et al.* Effects of elevated CO₂ concentration on carbohydrate contents and allocation in *Betula albo-sinensis* seedlings in sub-alpine forest area[J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(1):1-5. (in Chinese)
- [15] 林丰平,陈章和,陈兆平,等.高 CO₂ 浓度下豆科 4 种乔木幼苗的生理生化反应[J].植物生态学报,1999,23(3):220-227.
LIN F P,CHEN Z H,CHEN Z P, *et al.* Physiological and biochemical responses of the seedlings of four legume tree species to high CO₂ concentration[J]. Acta Phytocologica Sinica,1999,23(3):220-227. (in Chinese)
- [16] ROGENS G S, MILHAM P J, GILINGS M, *et al.* Sink strength may be the key to growth and nitrogen response in N-deficient wheat at elevated CO₂[J]. Aust. J. Plant Physiol.,1996,23(3):253-264.
- [17] GRIFFIN K L, WINNER W E, STRAIN B R. Construction cost of loblolly and ponderosa pine leaves grown with varying carbon and nitrogen availability[J]. Plant, Cell and Environment,1996,19(6):729-738.
- [18] MAREK M V, KALINA J, MATOUSKOVA M. Response of photosynthetic carbon assimilation of Norway spruce exposed to long-term elevation of CO₂ concentration[J]. Photosynthetica,1995,31:209-220.
- [19] 周玉梅,韩士杰,张军辉,等.CO₂ 浓度升高对长白山三种树木幼苗碳水化合物和氮含量的影响[J].应用生态学报,2002,13(6):663-666.
ZHOU Y M,HAN S J,ZHANG J H, *et al.* Effect of elevated CO₂ concentration on carbohydrate and nitrogen contents in seedlings foliage of three tree species in Changbai Mountain[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(6):663-666. (in Chinese)
- (上接第 56 页)
- [4] 王成,郅光发,彭镇华.有机地表覆盖物在城市林业建设中的应用价值[J].应用生态学报,2005,16(11):2213-2217.
C,QIE G F,PENG Z H. Application value of organic ground surface mulch in urban forestry construction[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(11):2213-2217. (in Chinese)
- [5] 顾兵,吕子文,梁晶,等.绿化植物废弃物覆盖对上海城市林地土壤肥力的影响[J].林业科学,2010,46(3):9-15.
GU B, LV Z W, LIANG J, *et al.* Effect of mulching greenery waste on soil fertility of municipal forest land from Shanghai[J]. Scientia Silvae Sinicae,2010,46(3):9-15. (in Chinese)
- [6] 赵广琦,沈烈英,王智勇,等.城市污泥堆肥对 12 种花灌木生长的影响[J].西北林学院学报,2011,26(5):87-90.
G Q, SHEN L Y, WANG Z Y, *et al.* Effects of sewage sludge compost on the growth of 12 flowering shrubs[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(5):87-90. (in Chinese)
- [7] 李际红,李玲,范志强,等.北美红花槭实生苗多样性的分析[J].山东农业大学学报:自然科学版,2007,38(2):169-172.
LI J H, LI L, FAN Z Q, *et al.* Analysis on diversity of north American red maple seedling[J]. Journal of Shangdong Agricultural University: Natural Science,2007,38(2):169-172. (in Chinese)
- [8] 王菲,潘婷,宋南.低温胁迫对红花槭生理指标的影响[J].农业科技与信息:现代园林,2011,9:15-17.
WANG C. Suitable stock selection and culture for two cultivars of *Acer rubrum* [J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences,2011,29(2):4-8. (in Chinese)
- [9] 王铖.2 个红花槭品种适生砧木的筛选与培育技术[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2011,29(2):4-8.
- [10] 冯立娟,苑兆和,尹燕雷,等.槭属 2 品种叶变色期花青苷含量与相关酶活性的变化[J].林业科学,2009,45(8):56-60.
FENG L J, YUAN Z H, YIN Y L, *et al.* Anthocyanin content and the relevant enzymes activities during leaf color changing of the *Acer species*[J]. Scientia Silvae Sinicae,2009,45(8):56-60. (in Chinese)
- [11] 黄利斌,李荣锦,王成.国外城市有机地表覆盖物应用研究概况[J].林业科技开发,2008,22(6):1-8.
- [12] 陈玉娟,王成,郅光发,等.有机覆盖物对城市绿地土壤水分和温度的影响[J].中国城市林业,2009,7(3):52-54,57.
- [13] 李东海,杨小波,邓运武,等.桉树人工林林下植被、地面覆盖物与土壤物理性质的关系[J].生态学报,2006,25(6):607-611.
- [14] 吴佳,孙丙寅,王敏.地面覆盖对花椒林生理生态效应的影响[J].西北林学院学报,2005,20(4):27-30.
WU J, SUN B Y, WANG M. The ecological and physiological effect of different ground covering in *Zanthoxylum bungeanum* forest [J]. Journal of Northwest Forestry University,2005,20(4):27-30. (in Chinese)
- [15] 张艳,阚丽艳.有机覆盖物对城市园林植物土壤含水量的影响[J].江西农业学报,2013,25(8):30-34.
ZHANG Y, KAN L Y. Effect of organic mulch on soil moisture of urban landscape plants[J]. Acta Agriculturae Jiangxi,2013,25(8):30-34. (in Chinese)