

增施 CO₂ 对宁夏枸杞夏果秋果蔗糖代谢酶活性的影响

刘毓璟, 张雁南, 曹 兵*

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 752100)

摘要:以宁杞 1 号苗木为材料,采用 OTC 气室控制 CO₂ 浓度,设置自然环境 CO₂ 浓度($350 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,CK)和倍增 CO₂ 浓度($700 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$,TR)2 个处理,测定宁夏枸杞果实中蔗糖代谢相关酶活性的变化,研究大气 CO₂ 浓度倍增对宁夏枸杞果实糖代谢的影响。结果表明:在高浓度 CO₂ 下,夏果中(CO₂ 处理 90 d),合成酶类和分解酶类酶活性均为处理组>对照组,其中转化酶(AI、NI)活性差异极显著;秋果中(CO₂ 处理 120 d)合成酶类与分解酶类较夏果活性均有降低,分解酶类活性为处理组>对照组,合成酶类活性为处理组<对照组,且其中 SS 合成方向差异极显著。据此,AI、NI 及 SS(合成方向)可能是高浓度 CO₂ 下蔗糖代谢响应的关键酶,且长期高浓度 CO₂ 处理会降低宁夏枸杞果实中蔗糖代谢相关酶的活性。

关键词:宁夏枸杞; 果实; CO₂ 浓度倍增处理; 蔗糖代谢相关酶

中图分类号:S567.19 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)04-0044-04

Effects of Hight Atmospheric CO₂ Concentrations on Activities of Sucrose Metabolism-related Enzymes in *Lycium barbarum* Fruit

LIU Yu-jing, ZHANG Yan-nan, CAO Bing*

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 752100, China)

Abstract: Taking *Lycium barbarum* seedlings of cultivar “Ningqi No. 1” as research materials, effects of high atmospheric CO₂ concentration on the activities of the enzymes related to sucrose metabolism were investigated by measuring the activities of sucrose metabolism-related enzymes in *L. barbarum* fruit. Two CO₂ concentrations were set up: natural environment with a CO₂ concentration of ($350 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) (control) and doubled CO₂ concentration ($700 \pm 20 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) generated by open top chamber. The results showed that under high CO₂ concentration, the activities of the enzymes on sucrose synthesis and decomposition in summer fruit 90 d after treatment were higher than those in the control, in which differences in invertase (AI, NI) activity was significant. While in autumn fruit 120 d after treatment, the activities of the enzymes on sucrose synthesis and decomposition were lower than those in summer fruit, the activities of the enzymes on sucrose decomposition were higher than those in the control, the activities of the enzymes on sucrose synthesis were lower than those in the control, and the differences in SS (synthetic direction) were significant. It was concluded that the acid invertase (AI), the neutral invertase (NI) and sucrose synthase (SS synthetic direction) activities might be the key factors of sucrose metabolism-related under doubled atmospheric CO₂ concentrations. Moreover, the activities of sucrose metabolism-related enzymes would decrease under long-term doubled atmospheric CO₂ concentration.

Key words: *Lycium barbarum*; fruit; doubled atmospheric CO₂ concentrations; sucrose metabolism-related enzymes

收稿日期:2015-09-07 修回日期:2015-12-02

基金项目:宁夏大学研究生科技创新项目(GIP2015023);国家自然科学基金项目(30860227,31160172)。

作者简介:刘毓璟,女,硕士研究生,研究方向:果树生理生态与高效栽培。E-mail:lyjheihei@sina.com

*通信作者:曹 兵,男,教授,博士,研究方向:旱区造林与经济林栽培方面。E-mail:bincao2006@126.com

宁夏枸杞(*Lycium barbarum* L.)是茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium*)多年生落叶灌木,其果实中含有枸杞多糖、类胡萝卜素、糖脂、多酚类等生物活性成分,对抗衰老、免疫调节、治疗糖尿病具有显著的作用^[1]。其中枸杞多糖具有显著抗氧化作用^[2],其含量与果实中其他糖含量显著相关。糖含量是果实品质的重要衡量指标之一,蔗糖代谢是枸杞糖积累的关键因子^[3],对枸杞果实发育与糖积累至关重要,而对于蔗糖代谢研究多集中在干旱情况下糖含量及蔗糖代谢酶活性等方面^[3-7],鲜有涉及CO₂浓度倍增情况下枸杞果实糖含量和蔗糖代谢酶活性关系的研究。据报道,本世纪末,地球表层大气CO₂浓度将由380 μmol·mol⁻¹升高至730~1 020 μmol·mol⁻¹^[8],其变化对植物生长发育及农林生态系统的影响受到极大关注^[9-17]。本试验在前期研究的基础上,测定CO₂浓度倍增条件下,宁夏枸杞果实蔗糖代谢相关酶活性的变化,旨在探索CO₂浓度升高对宁夏枸杞糖代谢过程关键酶的影响,以期为气候变化背景下提高枸杞果实品质提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取‘宁杞1号’1年生扦插苗(购于宁夏农科院枸杞研究所),并于2014年4至10月种植于宁夏大学试验农场。

1.2 试验设计

本试验采取单因素试验设计,设置2个CO₂浓度梯度,即,对照组(CK)CO₂浓度约为(350±20)μmol·mol⁻¹(模拟当今CO₂浓度),处理组(TR)CO₂浓度约为(700±20)μmol·mol⁻¹(模拟下个世纪CO₂浓度)。

采用开顶气室法(open top chamber)进行CO₂浓度控制。每个梯度设置3个重复,共6个气室。其中OTC与CO₂浓度控制系统为实验室团队自行设计并安装^[6]。

试验地位于宁夏大学试验农场,从2013年4月开始,至10月结束,其中每个气室均配置9株枸杞移植苗,共54株,肥水管理均与大田相同。自5月新枝生长开始,每日8:00~20:00向TR组气室中通入一定浓度的CO₂,控制其浓度在要求范围内。

于8月(处理90 d)及9月(处理120 d),随机采取气室内结果植株成熟后期的夏果及秋果,液氮速冻后,置于-80℃,用于室内指标测定。

1.3 蔗糖代谢相关酶的提取及活性测定

蔗糖代谢相关酶提取参考赵智中^[18]及郑国

琦^[19]方法。转化酶的提取:称取0.5 g左右样品,液氮中研磨5~10 min,加入提取缓冲液(200 mmol·L⁻¹磷酸缓冲液,5 mmol·L⁻¹ MgCl₂,0.1% β-巯基乙醇,0.05% Triton-X 100,0.05% BSA,2% PVPP,pH 7.5),再匀浆3~5 min,20 000 g离心30 min,取上清,加(NH₄)₂SO₄至80%饱和度,放置30 min,20 000 g离心20 min,去除上清液,加入脱盐缓冲液(20 mmol·L⁻¹磷酸缓冲液,0.25 mmol·L⁻¹ MgCl₂,0.01% β-巯基乙醇,0.05% BSA,pH 7.5)重新溶解沉淀,透析24 h。

SPS和SS的提取同上,只是提取缓冲液为200 mmol·L⁻¹ hepes-NaOH(含5 mmol·L⁻¹ MgCl₂,0.01% β-巯基乙醇,0.05% Triton-X 100,0.05% BSA,2% PVPP,1 mmol·L⁻¹ EDTA,1 mmol·L⁻¹ EGTA,10 mmol·L⁻¹ VC,10 mmol·L⁻¹半胱氨酸-盐酸,2%甘油,pH 7.5);脱盐缓冲液为20 mmol·L⁻¹ hepes-NaOH(含有0.25 mmol·L⁻¹ MgCl₂,0.01% β-巯基乙醇,0.05% BSA,1 mmol·L⁻¹ EDTA,1 mmol·L⁻¹ EGTA,0.2%甘油,pH 7.5)。所有的提取过程均保证在0~4℃条件下进行。

酶活性的测定参照赵智中^[18]和郑国琦^[19]的方法。

1.4 数据处理

本试验采用Excel2007进行原始数据处理,用DPS7.05软件做统计分析。

2 结果与分析

2.1 CO₂浓度倍增对宁夏枸杞果实转化酶活性的影响

由图1、2可以看出,8月份的宁夏枸杞果实(夏果)转化酶活性(酸性转化酶AI和中性转化酶NI)明显高于9月份的(秋果)。CO₂浓度倍增情况下,夏果的酸性转化酶活性比对照高45.08%($p=0.000\ 3$),中性转化酶活性比对照高54.75%($p=0.000\ 1$);而秋果的转化酶活性(AI和NI)与对照间没有差异($p_{AI}=0.102\ 0$, $p_{NI}=0.675\ 4$)。

2.2 CO₂浓度倍增对宁夏枸杞果实合成酶活性的影响

由图3、4、5可知,8月的宁夏枸杞果实(夏果)中酶活性处理组均高于对照组,而9月份的(秋果)处理组低于对照组。CO₂浓度倍增情况下,夏果的蔗糖磷酸合成酶活性处理组比对照组高28.11%($p=0.103\ 3>0.05$),蔗糖合成酶(合成方向)活性处理组比对照组高38.07%($p=0.025\ 4<0.05$),蔗糖合成酶(分解方向)活性比对照组仅高0.19%

($p=0.9808 > 0.05$)。秋果中,蔗糖磷酸合成酶活性处理组比对照组高 9.77% ($p=0.0235 < 0.05$), 蔗糖合成酶(合成方向)活性处理组比对照组高 63.96% ($p=0.0062 < 0.01$), 蔗糖合成酶(分解方向)活性比对照组高 10.06% ($p=0.1131 > 0.05$)。

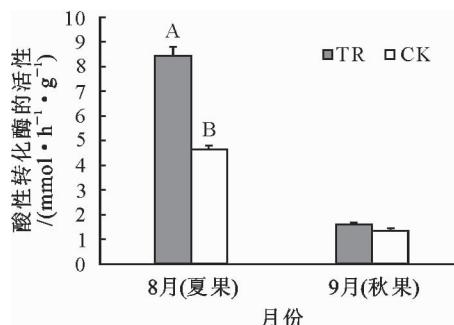


图 1 酸性转化酶活性变化

Fig. 1 Change of acid invertase activity (AI)

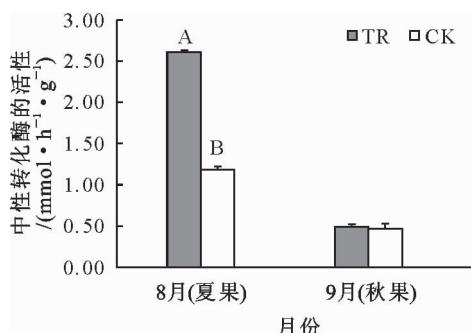


图 2 中性转化酶活性变化

Fig. 2 Changes of invertase activity (NI)

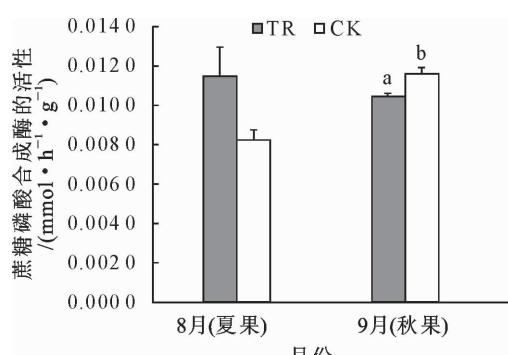


图 3 蔗糖磷酸合成酶的活性变化

Fig. 3 Changes of sucrose phosphate synthase activity (SPS)

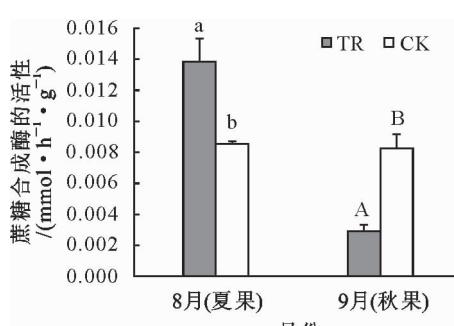


图 4 蔗糖合成酶活性(合成方向)变化

Fig. 4 Changes of sucrose synthase activity (SS synthetic direction)

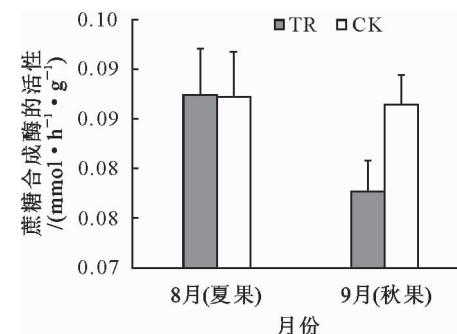


图 5 蔗糖合成酶活性(分解方向)变化

Fig. 5 Changes of sucrose synthase activity (SS cleavage direction)

2.3 CO₂ 浓度倍增下宁夏枸杞果实酶活性的分析及相关性分析

由表 1、表 2 可知,就整体酶活性而言,处理组均高于对照组,但 9 月秋果中合成酶类活性处理组低于对照组。就酶活性相关性而言,AI 与 SS 分解呈正相关,与 NI 显著正相关,与 SPS、SS 合成呈现负相关。SPS 与 SS 合成呈正相关,与 SS 分解呈负相关。

表 1 CO₂ 浓度倍增对宁夏枸杞果实蔗糖代谢酶活性影响

Table 1 All of sucrose-metabolizing enzyme activities in the mature fruits (mmol·h⁻¹·g⁻¹)

成熟果实	分解酶类活性	合成酶类活性	净活性
8月(夏果)	CK	5.9112	0.0168
	TR	11.1528	0.0253
9月(秋果)	CK	1.8885	0.0198
	TR	2.1767	0.0134

注:分解酶类活性=SS 分解方向+AI+NI;合成酶类活性=SPS+SS 合成方向;酶的净活性=分解酶类活性-合成酶类活性。

3 结论与讨论

宁夏枸杞果实发育为典型“双 S”型曲线,糖分代谢与运输以蔗糖为主,发育后期己糖大量积累,蔗糖的合成与合成酶类密切相关,分解酶类将枸杞运输过程中的蔗糖分解为己糖,并积累于果实中^[19]。本试验是多年试验,前期试验研究表明,在长期高浓度 CO₂ 处理下,宁夏枸杞果实与叶片中糖含量均下降^[20],影响果实品质;同时,对于 CO₂ 浓度倍增下,枸杞叶片荧光参数分析可知,枸杞叶片的光反应启动增加,整体光合能力增强,叶绿素含量不变,电子传递效率增加;碳同位素标记试验发现,CO₂ 浓度倍增处理条件下光合同化物在叶和果实的分配比例均增加,且长期处理下(120 d)光合同化 C(¹³C)在果实的积累处理比对照大幅增加(未发表)。这可能是 CO₂ 浓度倍增处理使宁夏枸杞光合能力增加,改变了固有的库-源平衡,或是蔗糖代谢相关酶发生了变化,影响糖分积累。

表2 宁夏枸杞果实蔗糖代谢酶活性间的相关性

Table 2 The correlation analysis between sucrose-metabolizing enzyme activities in the mature fruits

AI	酶活性间 Pearson 相关系数				
	AI	NI	SPS	SS 合成	SS 分解
AI	1.000 0	0.99**	-0.470 0	-0.040 0	0.250 0
NI	0.99**	1.000 0	-0.430 0	-0.080 0	0.210 0
SPS	-0.470 0	-0.430 0	1.000 0	0.320 0	-0.040 0
SS 合成	-0.040 0	-0.080 0	0.320 0	1.000 0	-
SS 分解	0.250 0	0.210 0	-0.040 0	-	1.000 0

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。 * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

本试验选取成熟期(转色期后的红果)宁夏枸杞果实测定,结果表明在高浓度CO₂下,夏果(CO₂处理90 d)中,合成酶类和分解酶类酶活性均为处理组高于对照组,其中转化酶(AI、NI)活性差异极显著,在OTC气室中高浓度CO₂处理下(90 d),宁夏枸杞果实中酶活性有所增加,由此分析,原因可能是高浓度CO₂下碳源增加,导致植株整体代谢增强,随之代谢相关酶活性也随之增加。9月秋果(CO₂处理120 d)中,长期高浓度CO₂处理下(120 d)合成酶类与分解酶类较8月夏果活性均有降低,分解酶类活性为处理组高于对照组,合成酶类活性为处理组低于对照组,且其中SS合成方向差异极显著,酶净活性处理组略高,由此分析,长期高浓度CO₂下,枸杞果实合成蔗糖的能力降低,但用于蔗糖分解的能力增加,更有利于枸杞果实己糖积累。对于蔗糖代谢酶相关性分析可知,高浓度CO₂下分解酶类与合成酶类成负相关关系;在正常条件下,枸杞分解酶与合成酶也呈现负相关关系^[21],且AI为蔗糖代谢关键酶^[3],本研究中由于转化酶(AI、NI)、SS合成方向的酶活性处理与对照间差异极显著,故推测高浓度CO₂下AI、NI及SS(合成方向)为蔗糖代谢关键酶。综上,因高浓度CO₂处理下9月秋果(CO₂处理120 d)合成酶类与分解酶类较8月夏果(CO₂处理90 d)活性均有降低,因而长期高浓度CO₂处理(120 d)会降低宁夏枸杞果实中蔗糖代谢相关酶的活性;又因AI、NI及SS(合成方向)酶活性处理组与对照组间差异极显著,故AI、NI及SS(合成方向)可能是高浓度CO₂下蔗糖代谢响应的关键酶。

植物果实中糖运输积累和代谢是一个复杂的过程,糖代谢与积累受多种因素影响,鉴于蔗糖代谢是宁夏枸杞果实糖代谢的重要方式,因此测定蔗糖代谢中的关键酶是有效推断调控糖分积累关键影响因子的一个途径;此外,影响果实品质及糖代谢的因子还有:1)有研究表明,果实糖含量的多少不是由叶输出的能力决定的,而是由其糖运载体的最大输出效率(V_{max})决定^[22],如:蔗糖运载体、己糖运载体等;2)也有可能是由存在于植物不同部位的运输蛋白调

节,如:番茄^[23]中蔗糖在库组织质外体中,通过transporter5介导直接被吸收进入库细胞,或通过转化酶将蔗糖水解为己糖,再通过己糖载体介导进入库细胞。枸杞果实中可能存在以上两种方式,但具体是何种运输蛋白存在于枸杞糖分运输过程中,且如何影响糖积累仍有待研究;3)库端反馈调节机制受影响:糖可以作为一种信号分子^[22],调控众多复杂的糖信号的转导机制但具体到枸杞果实中,糖是如何作为信号分子调控发挥作用的,以及高浓度CO₂下枸杞果实中糖信号的响应机制还不得而知。随着生物技术的发展,运用分子生物学手段成为研究此类问题的关键,尤其在是代谢组学、蛋白质组学及基因组学及相关技术的不断完善、革新与发展下,针对此试验,运用交叉学科知识及背景,以及相关技术手段解决此类问题是需要更进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 王心广,曹有龙.枸杞抗氧化功能研究进展[J].宁夏农林科技,2011(11):48-52.
- [2] AMAGASE H, SUN B, BOREK C. *Lycium barbarum* (goji) juice improves in vivo antioxidant biomarkers in serum of healthy adults[J]. Nutrition Research, 2009, 29(1):19-25.
- [3] 郑国琦.宁夏枸杞果实结构、发育与糖分积累关系研究[D].西安:西北大学,2011.
- [4] 赵建华,李浩霞,安巍,等.干旱胁迫对宁夏枸杞叶片蔗糖代谢及光合特性的影响[J].西北植物学报,2013,33(5):970-975.
ZHAO J H, LI H X, AN W, et al. Sugar metabolism and photosynthetic characteristics in leaf of *Lycium barbarum* L. under drought stress[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica, 2013, 33(5):970-975. (in Chinese)
- [5] 赵建华,李浩霞,周旋,等.干旱胁迫对宁夏枸杞生长及果实糖分积累的影响[J].植物生理学报,2012(11):1063-1068.
ZHAO J H, LI H X, ZHOU X, et al. Influence of drought stress on plant growth and sugar accumulation in fruit of *Lycium barbarum* L. [J]. Plant Physiology Journal, 2012 (11): 1063-1068. (in Chinese)
- [6] 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(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(7):193-198. (in Chinese)

- (1):10-18.
- [4] 陈艳,贺康宁,伏凯,等.青海大通不同树种水源涵养林对水质的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):220-225.
CHEN Y, HE K N, FU K, et al. Effects of water conservation forest of different tree species on water qualities in Datong, Qinghai[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29 (1):220-225. (Chinese)
- [5] 汪加魏,于丹丹,尹群,等.北京市八达岭林场景观型水源涵养林健康评价研究[J].西北林学院学报,2015,30(1):233-239.
WANG J W, YU D D, YING Q, et al. Forest health evaluation for landscape type of water conservation in Badaling forest farm in Beijing[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(1):233-239. (Chinese)
- [6] 刘世海,余新晓.北京密云水库区水源涵养林冠层水文特征研究[J].林业科学,2005,41(1):194-197.
LIU S H, YU X X. Hydrological properties of the canopy of water resource protection stands in the Miyun reservoir watershed, Beijing[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(1):194-197. (Chinese)
- [7] 刘畅.北京市八达岭林场阔叶次生林林分结构与健康经营关键技术研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [8] 王威,郑小贤,杜丽侠.北京山区水源林林分结构与功能耦合关系[J].东北林业大学学报,2011,39(7):22-24.
- [9] 蒋桂娟,郑小贤,宁杨翠.林分结构与水源涵养功能耦合关系研究—以北京八达岭林场为例[J].西北林学院学报,2012,27 (2):175-179.
- [10] JIANG G J, ZHENG X X, NING Y C. Relationship between forest stand structure and function of water conservation—a case study of Badaling forest farm[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2):175-179. (Chinese)
- [11] 宁金魁.水源涵养林结构调整研究—以北京密云水库周边水源涵养林为例[D].北京:北京林业大学,2004.
- [12] 王威,郑小贤,宁杨翠.北京山区水源涵养林典型森林类型结构特征研究[J].北京林业大学学报,2011,33(1):60-63.
WANG W, ZHENG X X, NING Y C. Structural characteristics of typical water conservation forests in mountain areas of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2011, 33 (1):60-63. (Chinese)
- [13] 赵阳,余新晓,黄枝英,等.北京西山侧柏水源涵养林空间结构特征研究[J].水土保持研究,2011,18(4):183-188.
- [14] 罗梅,郑小贤,王威,等.水源涵养林结构与功能耦合关系模型研究[J].林业资源管理,2011(5):84-88.
- [15] 秦红斌.GIS在八达岭林场风景林树种选择与配置中的应用研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [16] 王威.北京山区水源涵养林结构与功能耦合关系研究[D].北京:北京林业大学,2009.
- [17] 罗梅,郑小贤.八达岭辽东栎-油松混交林空间结构及其多样性[J].中南林业科技大学学报,2012,32(9):55-58.
LUO M, ZHENG X X. Study of spatial structure and species diversity of *Quercus liaotungensis*-*Pinus tabulaeformis* mixed stand in Badaling forest farm[J]. Journal of Central South University of Forestry& Technology, 2012, 32(9):55-58. (Chinese)

(上接第47页)

- [7] 罗霄,郑国琦,郑紫燕,等.宁夏枸杞果实遮光处理对果实糖积累和相关酶活性的影响[J].西北植物学报,2008(5):984-989.
- [8] HOUGHTON J T, DING Y H, GRIGGS D G, et al. Climate change 2001:the scientific basis. contribution of working group I to the third assessment report of international panel on climate change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- [9] 刘发民,王利荣,李怡,等.大气CO₂浓度升高对木本植物影响的研究进展[J].安徽农业科学,2008(28):12182-12185.
- [10] 任锦,郭双生,程泉勇,等.受控环境因素光和高CO₂下植物抗氧化系统的研究进展[J].航天医学与医学工程,2011(6):451-459.
- [11] 王建林,温学发,赵风华,等.CO₂浓度倍增对8种作物叶片光合作用、蒸腾作用和水分利用效率的影响[J].植物生态学报,2012(5):438-446.
- [12] 杨连新,王云霞,朱建国,等.开放式空气中CO₂浓度增高(FACE)对水稻生长和发育的影响[J].生态学报,2010,30 (6):1573-1585.
- [13] 徐胜,陈玮,何兴元,等.高浓度CO₂对树木生理生态的影响研究进展[J].生态学报,2015,35(8):2452-2460.
XU S, CHEN W, HE X Y, et al. Impact of elevated CO₂ on eco-physiology of trees[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35 (8):2452-2460. (in Chinese)
- [14] 牛耀芳.大气CO₂浓度升高对拟南芥根毛发育与养分吸收的影响及根系对养分的响应机理[D].杭州:浙江大学,2013.
- [15] 赵天宏,王美玉,张巍巍,等.大气CO₂浓度升高对植物光合作用的影响[J].生态环境,2006(5):1096-1100.
- [16] 王为民,王晨,李春俭,等.大气二氧化碳浓度升高对植物生长的影响[J].西北植物学报,2000,20(4):676-683.
- [17] 刘俊稚.几种典型植物对大气CO₂浓度升高的生理和病理响应研究[D].杭州:浙江大学,2010.
- [18] 赵智中,张上隆,徐昌杰,等.蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用[J].园艺学报,2001(2):112-118.
- [19] 郑国琦,罗霄,郑紫燕,等.宁夏枸杞果实糖积累和蔗糖代谢相关酶活性的关系[J].西北植物学报,2008,28(6):1172-1178.
- [20] 曹兵,侯晶东,潘静,等.宁夏枸杞不同器官中糖积累对大气CO₂浓度倍增的响应[J].西北林学院学报,2014,29(3):67-70.
- [21] CAO B, HOU J D, PAN J, et al. Effects of doubled atmospheric CO₂ concentration on sugar accumulations of different organs in *Lycium barbarum*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(3):67-70. (in Chinese)
- [22] 许兴,杨涓,郑国琦,等.盐胁迫对枸杞叶片糖代谢及相关酶活性的影响研究[J].中国生态农业学报,2006,14(2):46-48.
- [23] RUAN Y L, PATRICK J W. The cellular pathway of postphloem sugar-transport in developing tomato fruit[J]. Planta, 1995, 196(3):434-444.
- [24] PEREZ-ALFOCEA F, ALBACETE A, GHANEM M E, et al. Hormonal regulation of source-sink relations to maintain crop productivity under salinity:a case study of root-to-shoot signalling in tomato[J]. Functional Plant Biology, 2010, 37 (7):592-603.