

# 全球 CO<sub>2</sub> 升高背景下 UV-B 对 黄芩产量和品质的影响

陈怡平<sup>1</sup>, 贾凤安<sup>1</sup>, 宋双红<sup>2</sup>, 王喆之<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075;  
2. 陕西师范大学 西北濒危药材资源开发国家工程实验室, 西安 710062)

**摘要:**以黄芩为实验材料,研究了 CO<sub>2</sub> 浓度升高背景下不同剂量 UV-B 对黄芩叶片丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)以及黄芩根产量和品质的影响。结果表明:(1)正常 CO<sub>2</sub> 浓度和 CO<sub>2</sub> 浓度升高条件下,MDA 浓度、SOD 和 CAT 活性都随着 UV-B 剂量的增加而增加。低剂量 UV-B 条件下,CO<sub>2</sub> 浓度升高降低了 SOD 和 CAT 活性,MDA 浓度没有显著变化;高剂量 UV-B 条件下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致 SOD 和 CAT 活性升高,引起 MDA 浓度显著升高。(2)低剂量 UV-B 辐射有利于提高黄芩产量和黄芩苷含量,最佳剂量为 2.33 KJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup>。无紫外线辐射条件 CO<sub>2</sub> 升高增加黄芩产量,但降低黄芩品质。因此,在黄芩栽培过程补充 2.33 KJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> 的 UV-B 辐射有利于遏制 CO<sub>2</sub> 升高导致中药材品质降低问题。

**关键词:**UV-B 辐射;CO<sub>2</sub> 浓度升高;全球变暖;温室效应;黄芩

**中图分类号:**S567.23+9 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-9901(2011)06-0659-05

## Effects of different doses of UV-B on the yield and quality of *Scutellaria baicalensis* under elevated CO<sub>2</sub>

CHEN Yi-ping<sup>1</sup>, JIA Feng-an<sup>1</sup>, SONG Shuang-hong<sup>2</sup>, WANG Zhe-zhi<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 2. National Engineering Laboratory for Resource Developing of Endangered Chinese Crude Drugs in Northwest of China, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:**To determine the effects of different doses of UV-B on the yield and quality of *Scutellaria baicalensis* under elevated CO<sub>2</sub>, the *S. baicalensis* seedlings of 60-d-old were exposed to elevated CO<sub>2</sub> for 60 days at different UV-B doses. The results indicated (1) the concentration of MDA, the SOD and CAT activities increased with increment of UV-B doses under ambient and elevated CO<sub>2</sub> condition. At lower UV-B doses, elevated CO<sub>2</sub> treatment resulted in decreasing in SOD and CAT activities, no significant change was observed in MDA concentration. But at higher UV-B doses, elevated CO<sub>2</sub> treatment resulted in increasing in SOD and CAT activities; moreover, no MDA concentration was significant increased. (2) Lower UV-B doses radiation could improvement *S. baicalensis* yield and quality and the best dose was 2.33 KJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup>. Although elevated CO<sub>2</sub> lead to increase in yield of *S. baicalensis*, the quality was decreased. Therefore, UV-B of 2.33 KJ · m<sup>-2</sup> · d<sup>-1</sup> was applied in agriculture planting to hinder the elevated CO<sub>2</sub> effect.

**Key words:**UV-B radiation; CO<sub>2</sub>; global warming; greenhouse effect; *Scutellaria baicalensis*

黄芩 (*Scutellaria baicalensis* Georgi) 为唇形科 (Labiatae) 黄芩属 (*Scutellaria* L.) 多年生草本植物, 是我国常用中药材之一, 药用历史悠久, 为国家三级保护药用植物。黄芩以根入药, 其主要有效成分为黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、黄芩新素 I 和黄芩新素 II 等黄酮类物质, 具有抗氧化、抗菌、抗炎、解热镇痛、调节免疫、调节血脂和抗艾滋病病毒等功效 (李欣, 2008)。近年来, 随着黄芩药材临床用量的增加, 其野生资源严重枯竭, 为满足临床需要, 栽培黄芩成为药材黄芩的主要来源。栽培药材其产量和品质决定于其生长发育过程中气候条件。目前,  $\text{CO}_2$  浓度升高已经引起了国际社会的广泛关注, 自从工业革命以来全球  $\text{CO}_2$  浓度已经从  $280 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  升到  $380 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 预计本世纪中叶将会升高到  $700 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  (IPCC, 2007; Körner, 2006)。  $\text{CO}_2$  浓度升高直接影响植物的生长发育和代谢过程。  $\text{CO}_2$  浓度升高加速了植物的生长, 降低了经济作物的品质, 提高了光合速率, 降低了叶片的气孔导度和蒸腾速率, 提高了水分利用效率, 增加了碳水化合物的累积, 提高了植物对氮素的摄取。但是, 对于中药材次生代谢的研究十分稀少。

由于人类活动释放大量氯氟烃类气体到大气中, 导致大气臭氧层减薄, 造成太阳射线中到达地面的紫外线 B (280 ~ 320 nm) (ultraviolet B, UV-B) 辐射增强而且还有继续增强的趋势 (Kerr, 1988)。UV-B 辐射增强直接导致植物形态结构、生理代谢、花粉萌发、遗传特性和生长周期等方面发生变化 (Lytvyn et al, 2010; González et al, 2009; Zu et al, 2010)。然而, 在全球  $\text{CO}_2$  浓度升高背景下, 增强 UV-B 辐射对中国传统中药材产量和品种有什么样的影响? 这个科学问题至今尚未引起关注。为此, 本研究以中国传统中药材黄芩为实验材料, 研究了  $\text{CO}_2$  浓度升高背景下不同强度 UV-B 对黄芩产量和品质的影响, 旨在为全球气候变化背景下中药材栽培提供科学依据。

## 1 实验方法

### 1.1 材料处理

盆栽黄芩 (*Scutellaria baicalensis* Georgi) 种子在自然条件下萌发 20 d 后进行间苗, 每盆留 10 株, 待 60 d 后移至控光、控温、控湿培养箱中进行 UV-B 和  $\text{CO}_2$  处理。UV-B 剂量分别为:  $D_0$  组 ( $0 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $D_1$  组 ( $0.73 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $D_2$  组 ( $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),

$D_3$  组 ( $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ),  $D_4$  组 ( $4.23 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )。  $\text{CO}_2$  处理设正常浓度 360 ppm 和 480 ppm 加富浓度。  $\text{CO}_2$  浓度由安装在钢瓶上的转子流量计控制, 同时用 CI-301  $\text{CO}_2$  气体分析仪 (美国 CID 公司生产) 测量  $\text{CO}_2$ 。每天光照 12 h (8:00 - 20:00), RH: 70%, 培养箱光照强度  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。UV-B 辐射光源为秦牌紫外灯管 (波长峰值 305 nm, 宝鸡光源研究所生产), 紫外辐射剂量用 UV-B 辐照计测定 (北京师范大学光电仪器厂生产)。

### 1.2 丙二醛 (MDA)、超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 测定

在每个处理组中随机采集不同植株的叶片进行 MDA、SOD 和 CAT 生化指标的测定, MDA 含量测定参考 Predieri et al (1995) 的方法, SOD 酶活力的测定参考 Giannopolitis and Ries (1997) 的方法, CAT 酶活力的测定参考 Cakmak and Marschner (1992) 的方法进行。

### 1.3 黄芩苷含量测定

黄芩材料为实验室处理的 120 龄黄芩根, 分析样品是三次处理黄芩根研磨后的混合材料。采用 SHIMADZU LC-2010C 高效液相色谱仪进行黄芩苷含量测定; 色谱柱 Shimadzu C18 (4.6 mm  $\times$  150 mm, 5  $\mu\text{m}$ ); 黄芩苷标准品购自中国药品生物制品检定所; 甲醇、冰醋酸为色谱纯, 水为超纯水, 其他试剂为分析纯。黄芩苷含量测定方法参照本课题组前期研究结果 (宋双红等, 2006)。

### 1.4 形态指标测定

用直尺测量 120 龄黄芩植株根长, 每组测量 10 株。生物量测定: 取 10 株幼苗在  $90^\circ\text{C}$  下烘至恒重, 在天平上称量干重, 重复 3 次。

### 1.5 数据统计

文中数据均为 3 次实验的平均值 (黄芩苷除外)。显著性差异采用 Duncan's 的多重统计分析进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 $\text{CO}_2$ 对不同剂量 UV-B 辐射条件下黄芩叶片 MDA 含量、SOD 和 CAT 活性的影响

从图 1 可见, 随着 UV-B 剂量的增加, MDA、SOD 和 CAT 的数值也在增加, 其中 SOD 和 CAT 酶活性尤其显著。对于 MDA 而言, 小于  $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  剂量  $\text{CO}_2$  升高和正常  $\text{CO}_2$  并没有显著变化, 但是当剂量大于  $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$

则引起 MDA 显著升高。对于 SOD 酶活性而言,小于  $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 条件下,CO<sub>2</sub> 显著遏制 SOD 酶活性,大于  $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 条件下,CO<sub>2</sub> 升高促进 SOD 酶活性升高。对于 CAT 酶活性而言,小于  $4.23 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  的 UV-B 剂量条件下,CO<sub>2</sub> 浓度升高遏制 CAT 酶活性升高,高于这一剂量则促进了 CAT 酶活性。

## 2.2 CO<sub>2</sub> 对不同剂量 UV-B 辐射条件下黄芩根生长的影响

从图 2a 看,低剂量 UV-B 促进了黄芩根生长,较高剂量则开始抑制根的生长,但是在任何 UV-B 剂量条件下,CO<sub>2</sub> 升高均促进了黄芩根的生长。例如,与正常 CO<sub>2</sub> 浓度相比, $0.73 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根长增加 13% ( $P < 0.05$ ), $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根长增加 8.5% ( $P < 0.05$ ), $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根长增加 16% ( $P < 0.05$ )。从图 2b 和 c 可见,较低剂量 UV-B 促进黄芩根干重和鲜重增加,较高剂量抑制生物量积累。CO<sub>2</sub> 浓度升高导致黄芩生物量积累降低,而且随着 UV-B 增加而增大。例如, $0 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根干重增加 50% ( $P < 0.05$ ), $0.73 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根干重增加 9% ( $P < 0.05$ ), $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根干重减少 25% ( $P < 0.05$ ), $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致根干重减少 17% ( $P < 0.05$ )。

## 2.3 CO<sub>2</sub> 对不同剂量 UV-B 辐射条件下黄芩苷含量的影响

从图 3 看出,低剂量 UV-B 辐射有利于提高黄芩苷含量,而且 CO<sub>2</sub> 浓度升高与 UV-B 复合作用导致黄芩苷含量低于单纯 UV-B 辐射条件下。高剂量 UV-B 辐射降低了黄芩苷含量,CO<sub>2</sub> 浓度升高遏制了 UV-B 效应。例如, $0 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致黄芩苷含量降低 10%, $0.73 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致黄芩苷含量降低 6%, $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致黄芩苷含量降低 11%, $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致黄芩苷含量提高 28%。 $4.23 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  UV-B 辐射条下,CO<sub>2</sub> 浓度升高导致黄芩苷含量提高 37%。

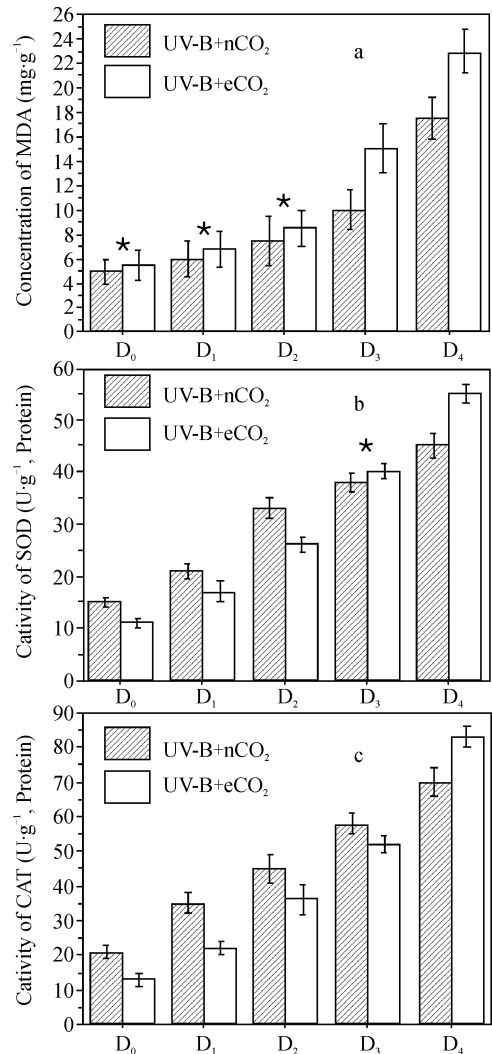


图 1 CO<sub>2</sub> 浓度升高背景下不同剂量 UV-B 辐射对黄芩叶 MDA、SOD 和 CAT 的影响

图中横坐标 D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 分别代表 UV-B 剂量为  $0 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.73 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $2.33 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $3.06 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $4.23 \text{ KJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。■表示正常 CO<sub>2</sub> 条件下,□表示升高 CO<sub>2</sub> 条件下。□和■之间 \*符号表示两者之间没有显著差异。

Fig. 1 Effects of different doses of UV-B on MDA, SOD and CAT of *Scutellaria baicalensis* leaf under elevated CO<sub>2</sub>

## 3 讨论

植物抗性生理研究表明:逆境胁迫(干旱、盐碱、重金属、低温和紫外线等)能导致植物体内活性氧代谢失调和大量自由基积累,自由基对细胞膜具有伤害作用,其主要产物为丙二醛(MDA)。植物体内存在复杂的非酶抗氧化系统和酶类抗氧化系统,它们在一定程度上能清除植物代谢产生的自由基,保持细胞内自由基的代谢平衡、保护膜系统不

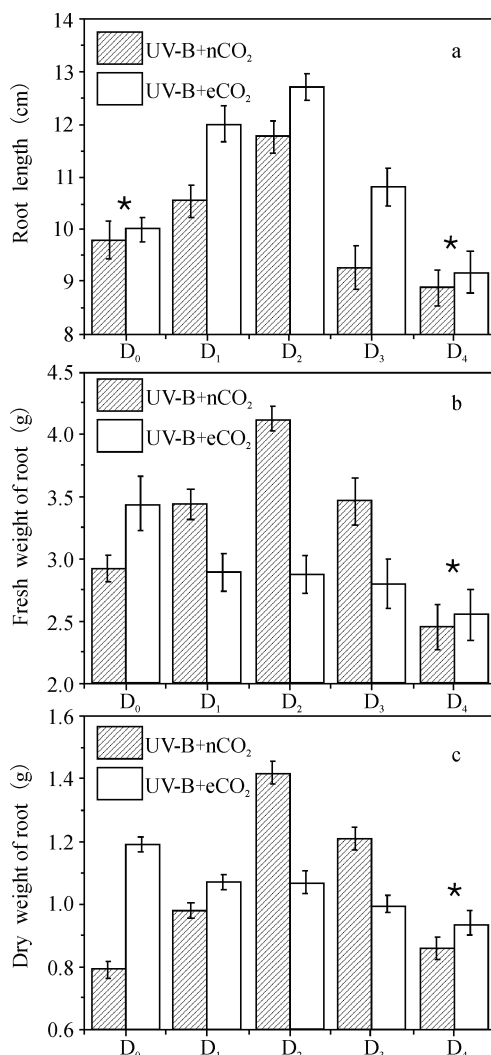


图2 CO<sub>2</sub>浓度升高背景下不同剂量UV-B辐射对黄芩根长度、鲜重和干重的影响

图中横坐标 D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 分别代表 UV-B 剂量为 0 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、0.73 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、3.06 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、4.23 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。■表示正常 CO<sub>2</sub>条件下,□表示升高 CO<sub>2</sub>条件下。□和■之间 \*符号表示两者之间没有显著差异。

Fig. 2 Effects of different doses of UV-B on *Scutellaria baicalensis* root length, fresh weight and dry weight under elevated CO<sub>2</sub>

受伤害(孙存普等,1999)。但是,当植物遭受逆境胁迫时,植物体内产生过多的活性氧自由基,抗氧化系统参与清除功能,植物细胞内超氧化物歧化酶(SOD),过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)参与清除自由基,但是超负荷胁迫,植物体内的超氧化物歧化酶(SOD),过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)消耗过多,导致抗氧化酶活性下降。

UV-B辐射增强直接导致生理代谢失调,最终表现为形态结构、花粉萌发、遗传特性和生长周期改变(Lytvyn et al, 2010; González et al, 2009; Zu et

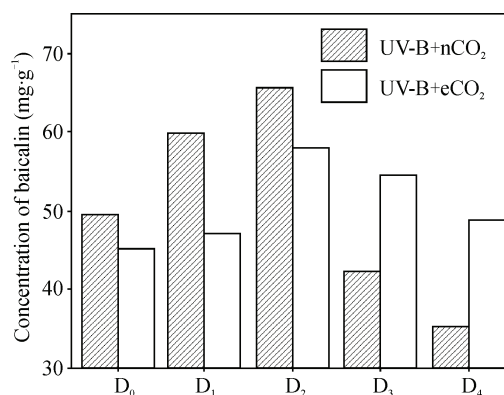


图3 CO<sub>2</sub>浓度升高背景下不同剂量UV-B辐射对黄芩根黄芩苷含量的影响

图中横坐标 D<sub>0</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>、D<sub>3</sub>、D<sub>4</sub> 分别代表 UV-B 剂量为 0 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、0.73 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、3.06 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>、4.23 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。■表示正常 CO<sub>2</sub>条件下,□表示升高 CO<sub>2</sub>条件下。

Fig. 3 Effects of different doses of UV-B on baicalin of *Scutellaria baicalensis* root under elevated CO<sub>2</sub>

al, 2010)。而全球 CO<sub>2</sub>浓度升高是另外一个重要环境因子,直接影响植物的生长发育和生理生化代谢过程。本研究以中国传统中药材黄芩为实验材料,研究发现在正常 CO<sub>2</sub>浓度和 CO<sub>2</sub>浓度升高条件下,SOD和CAT活性都随着UV-B剂量的增加而增加。低剂量UV-B条件下,CO<sub>2</sub>浓度升高导致SOD和CAT活性低于正常CO<sub>2</sub>浓度,高剂量UV-B条件下,CO<sub>2</sub>浓度升高导致SOD和CAT活性高于正常CO<sub>2</sub>浓度,这说明低剂量UV-B条件下,CO<sub>2</sub>浓度与UV-B复合作用没有引起胁迫,而高剂量UV-B条件下,CO<sub>2</sub>浓度与UV-B复合作用是一种复合胁迫,这一点在MDA浓度变化上也得到体现。MDA浓度在2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>UV-B辐射条件下,高浓度和正常浓度CO<sub>2</sub>之间没有显著差异。

从黄芩根的生物量和黄芩苷含量来看,低剂量UV-B辐射有利于提高产量和黄芩苷含量,产量和含量都最高的UV-B在2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>。结合MDA浓度变化的情况综合考虑,在黄芩栽培过程补充2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>既不造成细胞伤害,又有利于刺激次生代谢合成和产物积累。CO<sub>2</sub>升高处理在没有紫外线辐射条件下产量最高,但是黄芩苷含量却降低,2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>UV-B辐射下,CO<sub>2</sub>升高处理黄芩苷含量相对于其他剂量而言是最为理想。

#### 4 结论

中药黄芩为唇形科植物黄芩的干燥根,具有清

热燥湿,泻火解毒,止血安胎等作用。黄芩中含有多种黄酮类化合物,其中含量较高的成分有黄芩苷、汉黄芩苷、等。对于以根入药的植物来说,CO<sub>2</sub>浓度升高会提高其产量,但是会显著降低其品质;2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>UV-B辐射下辐射既会提高品质,也会提高产量,高于2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>UV-B辐射则对品质和产量有所降低。因此,在目前CO<sub>2</sub>浓度背景下,栽培黄芩可补充2.33 KJ·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>UV-B以提高黄芩产量和品质。既是将来CO<sub>2</sub>浓度升高背景下,补充UV-B也会遏制高CO<sub>2</sub>浓度带来中药品质下降的问题。

### 参考文献

- 李欣. 2008. 药用黄芩结构和黄酮类化合物及黄芩苷积累动态研究[D]. 西安: 西北大学.
- 宋双红, 张媛, 王喆之. 2006. HPLC测定不同产地黄芩中黄酮化合物的含量[J]. *中国中药杂志*, 31(7): 598-600.
- 孙存普, 张建中, 段绍瑾. 1999. 自由基生物学导论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 12-84.
- Cakmak I, Marschner H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. *Plant Physiology*, 98(4): 1222-1227.
- Giannopolitis C N, Ries S K. 1977. Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings [J]. *Plant Physiology*, 59(2): 315-318.
- González J A, Rosa M, Parrado M F, et al. 2009. Morphological and physiological responses of two varieties of a highland species (*Chenopodium quinoa* Willd.) growing under near-ambient and strongly reduced solar UV-B in a lowland location [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96(2): 144-151.
- IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change). 2007. Climate Change. The Second Assessment Report of IPCC Working Group I[M]. UK: Cambridge University Press.
- Kerr R A. 1988. Ozone hole bodes ill for the globe [J]. *Science*, 241(4867): 785-786.
- Körner C. 2006. Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply [J]. *New Phytologist*, 172(3): 393-411.
- Lytvyn D I, Yemets A I, Blume Y B. 2010. UV-B overexposure induces programmed cell death in a BY-2 tobacco cell line [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1): 51-57.
- Predieri S, Norman H A, Krizek D T, et al. 1995. Influence of UV-B radiation on membrane lipid composition and ethylene evolution in 'Doyenne d'Hiver' pear shoots grown in vitro under different photosynthetic photon fluxes [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 35(2): 151-160.
- Zu Y G, Pang H H, Yu J H, et al. 2010. Responses in the morphology, physiology and biochemistry of *Taxus chinensis* var. *mairei* grown under supplementary UV-B radiation [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 98(2): 152-158.