

韩艳<sup>1,2</sup> 鲁建立<sup>3</sup> 韩晨光<sup>1</sup> 胡程达<sup>3</sup> 崔荣华<sup>1</sup>

# UV-B 辐射增强对不同品种花生结荚期 生理特性日变化的影响

## 摘要

以3个花生品种(开农49号、64号和69号)为材料,通过大田模拟试验,研究UV-B辐射增强对花生结荚期叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )和水分利用效率( $E_{wu}$ )日变化的影响,为筛选高产、抗旱、抗UV-B辐射花生品种提供依据。UV-B辐射设2个水平即自然光(CK,  $1.5\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )和UV-B增强20%(T,  $1.8\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ )。结果表明,UV-B辐射增强明显抑制花生的光合作用和蒸腾作用,与对照相比,UV-B增强条件下,开农49号、64号和69号 $P_n$ 日均值分别降低19.4%、27.8%、24.7%; $G_s$ 日均值降低26.7%、42.9%、28.6%; $C_i$ 日均值降低27.2%、20.4%、23.1%; $T_r$ 日均值降低17.8%、23.3%、25.1%; $E_{wu}$ 日均值降低16.6%、23.2%、23.9%。UV-B辐射增强对3个品种生长都具有抑制效应,但品种间存在一定的敏感性差异,其中开农49号最不敏感,因此,开农49号在抗UV-B辐射方面比其他2个品种具有更大的优势。

## 关键词

UV-B辐射;花生;品种;生理特性;日变化  
中图分类号 S162.5  
文献标志码 A

收稿日期 2016-10-21

资助项目 河南省教育厅科学技术研究重点项目(14A170001);中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室科学研究基金(AMF201602);河南省高校科技创新团队支持计划(16IRTSTHN012)

## 作者简介

韩艳,女,博士,主要从事气候变化与粮食安全研究.hanyanhhd@163.com.

- 1 河南大学 环境与规划学院,开封,475004
- 2 南京信息工程大学 应用气象学院,南京,210044
- 3 中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室,郑州,450003

## 0 引言

近年来,由于人类大量使用氯氟烃化合物和哈龙等卤族化合物,导致高中纬度地区大气平流层中臭氧层受到破坏,从而导致到达地球表面的UV-B辐射的大量增加<sup>[1]</sup>。紫外辐射(UV-B)的增加将会严重影响到植物的生命活动。20世纪70年代以来,UV-B辐射对植物的影响成为重要的研究课题,尤其是自1985年南极“臭氧空洞”现象作为臭氧层损耗的明显证据被发现以来,关于地表UV-B辐射增强的生物学效应的研究逐渐引起世界各国的高度重视,也是近年来国际上全球变化研究的热点之一。尽管紫外线-B(UV-B)只占太阳辐射的一小部分,但增强的UV-B已对植物的生长进程<sup>[2]</sup>及生理代谢<sup>[3]</sup>产生了较大影响,而植物在受到UV-B伤害的同时,也在形态结构及生理代谢方面表现出一定的适应性<sup>[4]</sup>。前人研究表明,木本植物遭受较强的UV-B辐射,其株高、茎粗、叶片叶绿素含量、生物量及叶面积显著降低,虽叶片厚度增加,但栅栏组织减少,光合作用受抑。王燕等<sup>[5]</sup>发现,增强的UV-B辐射可显著降低棉花地上部生物量的累积,但对地下部生物量无影响。增强的UV-B辐射亦可显著影响大豆<sup>[6]</sup>、豇豆<sup>[7]</sup>、小麦<sup>[8]</sup>的生长和光合色素含量,降低玉米叶片净光合速率<sup>[9]</sup>,减弱UV-B辐射可以促进烟草植株节间和茎的伸长,并使叶片变大变薄,低剂量的UV-B对拟南芥及苔藓植物生长有促进作用,高剂量的UV-B则有抑制作用<sup>[10-11]</sup>。大量研究发现,UV-B辐射强烈改变植物的高度和叶面积等形态学指标,使绝大多数受试植物表现出植株矮化、节间缩短<sup>[12]</sup>、叶面积减小、叶片增厚<sup>[13]</sup>、叶面积指数降低<sup>[14]</sup>。UV-B辐射使小麦、水稻、玉米和大麦等不同农作物的光合作用降低<sup>[15-18]</sup>,因而光合特征的改变通常被作为评价作物对于UV-B辐射敏感性的指标之一。

花生是世界上重要的油料和经济作物,也是食用植物油和蛋白质的来源之一<sup>[19]</sup>,在我国国民经济和社会发展中占有重要地位,同时花生还是我国增加农民收入和参与国际竞争的优势作物<sup>[20]</sup>。本文以花生为研究对象,开展在大田条件下UV-B辐射增强对3个花生品种生理指标的影响,探讨花生对UV-B辐射响应的种内差异及其机理,为筛选抗UV-B辐射的花生新品种提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试花生的种子由河南省开封市农林科学研究院提供,花生品种为开农49号、64号和69号。

### 1.2 试验设计

本试验于2014年6月10日—2014年10月15日在郑州市农业气象试验站(113°39'E,34°43'N,海拔110.4 m)大田内进行,试验田土壤质地为砂壤土,PH值为7.8,偏碱性.首先对试验地进行耕作、施肥,所施肥料为有机复合肥,施用量共计4 kg,采用全层施肥法并以深施为主.花生种子用50%辛硫磷乳剂拌种,药剂用量为种子质量的0.2%,花生种子经药剂拌种处理后播种,播种量为18万穴/hm<sup>2</sup>,每穴2粒,大田常规管理。

整个试验分2个大区,一区为自然光(CK,UV-B辐射强度1.5 kJ·m<sup>-2</sup>),另一区为UV-B辐射增强(T,UV-B辐射强度1.8 kJ·m<sup>-2</sup>),较CK约高20%.采用可升降式UV-B灯架,将UV-B灯管(光谱为280~320 nm)置于作物上方0.8 m处,用于模拟UV-B辐射增强.采用国产紫外辐照计(BNU297,北京)测定297 nm条件下植株顶部辐射强度.于2014年6月10日播种花生,每个区分别播种3个品种的花生,每个处理重复3次,2个区共18个小区,小区面积3 m×3 m=9 m<sup>2</sup>.从6月15日(出苗期)开始进行UV-B辐射处理,光源与植株顶部之间距离始终保持约0.8 m,每天辐照时间为8:00—16:00,共计8 h,阴雨天停止照射,直至10月15日花生成熟收获。

### 1.3 花生叶片生理指标的测定

观测花生生长发育进程,在结荚期(2014-08-19)采用便携式光合作用仪(Li-6400,美国)测定光合作用和蒸腾作用指标,主要参数包括叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间CO<sub>2</sub>浓度( $C_i$ )和蒸

腾速率( $T_r$ ),测定叶位为主茎往下第3片叶,并挂牌标记,测定时间为8:00—18:00,每2小时测量一次,每个处理每次取3个重复,每个重复取3片叶,并重复读取3次数值,以平均值作为该时次的测量结果,以全部时次测定值的平均值为数据日均值。

### 1.4 数据处理

数据处理采用SPSS统计分析软件进行统计分析.测试指标平均值之间的差异显著性用单因素方差分析,仅限于同一时间的处理与对照.\*表示0.05的显著水平,\*\*表示0.01的显著水平,没有标明的表示未达0.05显著性水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 UV-B辐射增强对不同品种花生净光合速率( $P_n$ )日变化的影响

由图1可以看出,与对照(CK)相比,UV-B辐射增强条件下,3个品种花生叶片的净光合速率均呈下降趋势,开农49号花生 $P_n$ 日均值降幅为19.4%、开农64号降幅为27.8%、开农69号降幅为24.7%.3个品种花生净光合速率降幅最大的是开农64号,开农49号降幅最小,说明开农64号净光合速率对紫外辐射增强最为敏感,而开农49号不敏感,抗紫外辐射能力较强。

3个品种花生在2个辐射水平间,各观测时刻点花生叶片净光合速率差异有所不同,开农49号仅在8:00和10:00达到显著水平( $P<0.05$ ),其他观测时刻点未达显著水平( $P>0.05$ );开农64号叶片的净光合速率在8:00和10:00差异达到极显著( $P<0.01$ ),其他观测时刻点差异达显著水平( $P<0.05$ );而开农69号各观测时刻点均未达显著水平( $P>0.05$ ),说明UV-B辐射增强对不同品种花生净光合速率影响程度有明显的差异。

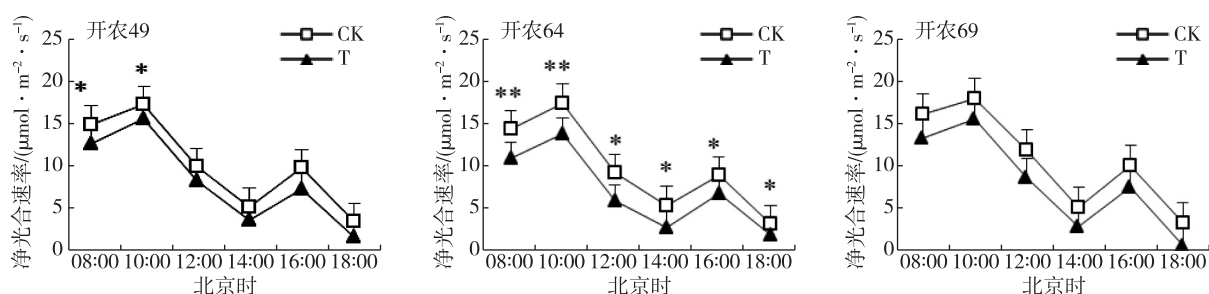


图1 UV-B辐射增强对不同品种花生净光合速率( $P_n$ )日变化的影响

Fig. 1 Effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variation of net photosynthetic rate( $P_n$ ) for different peanut cultivars

UV-B 辐射增强条件下,3 个品种的花生叶片净光合速率的日变化趋势与对照一致,均呈双峰型,峰值分别出现在 10:00 和 16:00.10:00 花生叶片净光合速率达到最大值,之后迅速下降,14:00 到达最低谷,出现了明显的“午休”现象,16:00 达到一天当中的小高峰,随后下降.

## 2.2 UV-B 辐射增强对不同品种花生气孔导度 ( $G_s$ ) 日变化的影响

从图 2 可以看出,UV-B 辐射增强与对照相比,明显降低了花生叶片的气孔导度,3 个品种的花生叶片的气孔导度日降幅分别为:开农 49 号 26.7%、开农 64 号 42.9%、开农 69 号 28.6%,开农 64 号降幅最大,开农 49 号降幅最小.说明开农 64 号花生叶片的气孔导度受紫外辐射影响较大,而开农 49 号受紫外辐射影响对较小.

3 个花生品种 2 个辐射水平间各观测时刻点差异不同.开农 49 号在 8:00、10:00 花生叶片的气孔导度差异达极显著 ( $P < 0.01$ ),12:00 达显著水平 ( $P < 0.05$ ),其他观测时刻点差异不显著 ( $P > 0.05$ );开农 64 号在 8:00 叶片气孔导度达极显著水平 ( $P < 0.01$ ),10:00 达显著水平 ( $P < 0.05$ ),其他各观测时刻点差异不显著 ( $P > 0.05$ );开农 69 号在 8:00 和

10:00 差异均达极显著水平 ( $P < 0.01$ ),12:00 差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ),其余各观测时刻点叶片气孔导度差异未达显著水平 ( $P > 0.05$ ).从以上分析可知,UV-B 辐射增强对花生叶片的气孔导度的影响是不同的.

与对照相比,UV-B 辐射增强下,3 个品种的花生叶片气孔导度变化趋势与对照基本一致,表现为逐渐下降趋势.8:00 为最大值,之后迅速下降,13:00 之后下降幅度及差异不大,基本处于稳定状态,18:00 降为最小值,说明 UV-B 辐射增强对花生气孔导度影响并不明显.

## 2.3 UV-B 辐射增强对不同品种花生胞间 $CO_2$ 浓度 ( $C_i$ ) 日变化的影响

从图 3 可以看出,UV-B 辐射增强可明显增加胞间  $CO_2$  浓度,3 个品种花生胞间  $CO_2$  浓度的日均值增幅分别为:开农 49 号增幅 27.2%、开农 64 号为 20.4%、开农 69 号 23.1%.不同品种花生叶片胞间  $CO_2$  浓度各处理间差异表现为:开农 49 号在 8:00、12:00 和 18:00 显著 ( $P < 0.05$ ),14:00 达极显著水平 ( $P < 0.01$ ),其余各点差异不显著 ( $P > 0.05$ );开农 64 号仅在 12:00 和 18:00 达显著水平 ( $P < 0.05$ ),其余各观测点差异均不显著 ( $P > 0.05$ );开农 69 号在

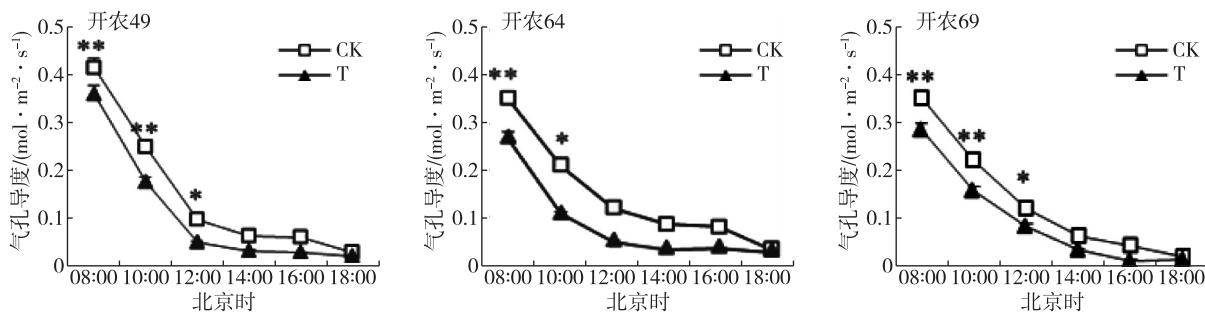


图 2 UV-B 辐射增强对不同品种花生气孔导度 ( $G_s$ ) 日变化的影响

Fig. 2 Effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variation of stomata conductance ( $G_s$ ) for different peanut cultivars

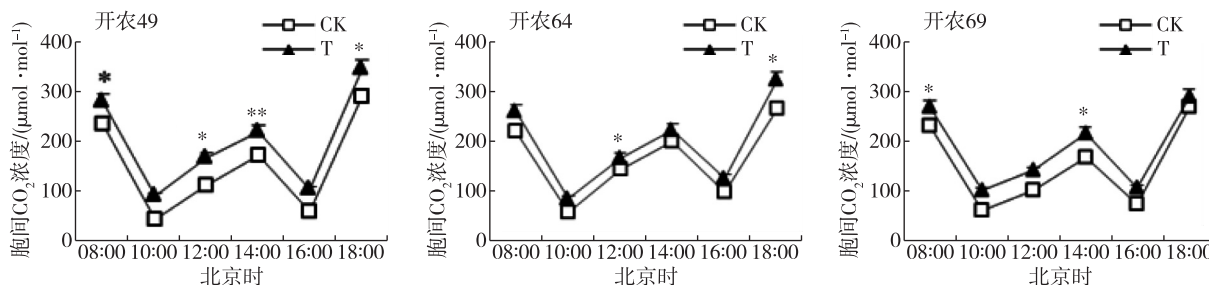


图 3 UV-B 辐射增强对不同品种花生胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 日变化的影响

Fig. 3 Effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variation of intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ) for different peanut cultivars

8:00 和 14:00 差异显著( $P < 0.05$ ),其余观测点差异不显著( $P > 0.05$ ).以上分析表明,UV-B 辐射增强对不同品种花生叶片胞间  $CO_2$  浓度的影响差异是不同的.

3 个品种花生在不同 UV-B 处理下,胞间  $CO_2$  浓度日变化均呈现“双谷”变化趋势,其中 8:00—10:00 快速下降,10:00—14:00 又明显上升,之后又下降,16:00 后快速升高.从日变化趋势看,UV-B 辐射增强下花生叶片胞间  $CO_2$  浓度的变化趋势与净光合速率的变化趋势相反,说明胞间  $CO_2$  浓度的变化与净光合速率的变化直接相关.UV-B 辐射增强对花生叶片净光合速率的影响并不是通过影响气孔导度而阻止  $CO_2$  的供应来起作用的,而可能是通过影响光合作用本身的反应过程而产生的效果.

#### 2.4 UV-B 辐射增强对不同品种花生蒸腾速率( $T_r$ )日变化的影响

从图 4 中可以看出,UV-B 辐射增强后花生叶片的蒸腾速率与自然光照条件下的变化基本相同,都呈现下降趋势,最大值出现在 8:00,随后逐渐下降,18:00 达到最小值.与 CK 相比,UV-B 辐射增强明显降低了花生叶片的蒸腾速率.通过分析 3 个品种花生叶片的蒸腾速率日变化的平均值可以看出,开农 49 号花生叶片蒸腾速率比对照下降了 17.8%、开农 64 号下降 23.3%、开农 69 号下降 25.1%.其中 3 个品种花生经均值方差分析:开农 49 号在 8:00、10:00 和 14:00 花生叶片的蒸腾速率差异达极显著水平( $P < 0.01$ ),18:00 达显著( $P < 0.05$ ),而 12:00 和 16:00 差异不显著( $P > 0.05$ );开农 64 号在 8:00 差异达到极显著( $P < 0.01$ ),10:00 和 12:00 差异显著( $P < 0.05$ ),其余各观测点差异不显著( $P > 0.05$ );开农 69 号分别在 8:00 和 14:00 差异达到极显著( $P < 0.01$ ),16:00 达显著水平( $P < 0.05$ ),其余各点差异不显著( $P > 0.05$ ).这种不同 UV-B 辐射强度下花生

叶片蒸腾速率的差异可能与气孔开闭有关.

#### 2.5 UV-B 辐射增强对不同品种花生水分利用效率( $E_{wn}$ )日变化的影响

水分利用效率是指植物蒸腾消耗单位质量的水分所同化的  $CO_2$  的量,常用净光合速率与蒸腾速率的比值表示,因此按下式计算 UV-B 辐射增加条件下花生的水分利用效率:

$$E_{wn} = \overline{P_n} / \overline{T_r} \quad (1)$$

式中  $E_{wn}$  为水分利用效率, $P_n$ 、 $T_r$  分别为光合速率与蒸腾速率的日平均值.

从图 5 可看出,UV-B 辐射增强与自然光条件下的水分利用效率趋势基本一致.通过分析 3 个品种花生叶片的水分利用效率日变化的平均值可以看出,与 CK 相比,开农 49 号的水分利用效率降低了 16.6%、开农 64 号降低 23.2%、开农 69 号降低 23.9%.经方差分析,除 18:00 差异较显著( $P < 0.05$ )外,3 个品种其余各观测时间点差异均未达显著水平( $P > 0.05$ ).水分利用效率随着辐射强度的增加而降低的变化趋势表明,UV-B 辐射增强对花生叶片的水分利用效率具有一定的抑制作用.

在整个观测时间内水分利用效率总体呈上升趋势,与蒸腾变化趋势相反,早上 8:00 为最低值,18:00 达到最大值,中间有一定的起伏.由式(1)可知,水分利用率与光合速率成正比,与蒸腾速率成反比,在 UV-B 辐射增强条件下,处理组的光合速率与蒸腾速率同时减小时,水分利用率反而增大,说明蒸腾速率对花生水分利用起主导作用.

### 3 讨论

UV-B 辐射增强对不同品种花生生理特性的影响与花生品种、生长发育进程有很大关系.与对照相比,在 UV-B 辐射增强条件下,3 个品种花生叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率以及水分利用效率都

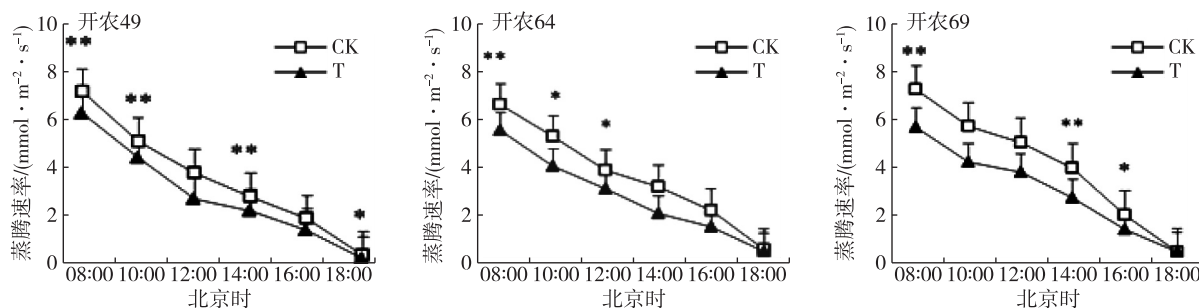
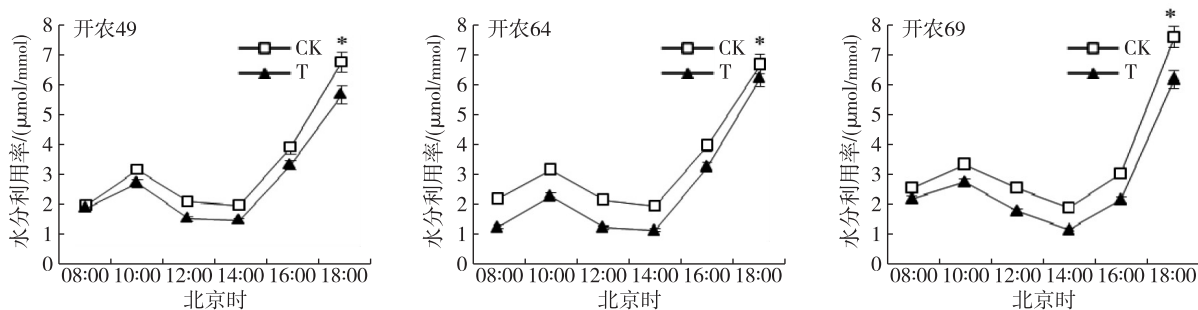


图 4 UV-B 辐射增强对不同品种花生蒸腾速率( $T_r$ )日变化的影响

Fig. 4 Effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variation of transpiration rate( $T_r$ ) for different peanut cultivars

图5 UV-B 辐射增强对不同品种花生水分利用效率( $E_{wu}$ )日变化的影响Fig. 5 Effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variation of water use efficiency( $E_{wu}$ ) for different peanut cultivars

有不同程度的降低,这与姜运生等<sup>[21]</sup>的研究结果一致.其原因可能在于,UV-B 辐射可以破坏类囊体光系统,尤其是捕光色素系统,导致叶绿体吸收光能减少、光能转换效率下降,以及改变叶片的水分运输和分配,导致气孔阻力增大,减低某些作物中的 Hill 反应活力,增加叶片内可溶性蛋白质含量,降低 Rubisco 活力,增加暗呼吸;UV-B 辐射也可以通过破坏光系统 II (PS II) 反应中心,抑制 PS II 联系的电子传递,使环式磷酸化解耦联作用等直接受到伤害,影响植物的光合能力<sup>[22-23]</sup>.

蒸腾作用是植物体内的水分以气态方式从植物的表面向外界散失的过程.蒸腾作用不仅是植物吸收和运输水分的主要动力,还是植物吸收和运输各种营养物质以及在植物合成的有机物转运的动力,此外,蒸腾作用对植物体还具有降温的作用.水分利用效率是指植物叶片净光合速率与蒸腾速率的比值,可以反映植物叶片光合作用过程中对水分的利用情况.UV-B 辐射增强导致植物蒸腾作用的减弱,其主要原因可能是 UV-B 辐射抑制了植物细胞内液薄膜上钾-腺苷三磷酸酶活性,促进钾离子从保卫细胞中流出,从而导致了气孔关闭;也可能是 UV-B 辐射导致了细胞内源激素脱落酸的生物合成,从而对气孔行使调节作用,导致气孔关闭,使得蒸腾速率降低<sup>[24]</sup>.

本试验结果表明,3 个品种花生受到 UV-B 辐射胁迫后,花生叶片胞间  $CO_2$  浓度的变化趋势与净光合速率的变化趋势相反,说明胞间  $CO_2$  浓度的变化与净光合速率的变化直接相关.UV-B 辐射增强对花生叶片净光合速率的影响并不是通过影响气孔导度阻止  $CO_2$  的供应来起作用的,而可能是通过影响光合作用本身的反应过程产生的效果.

不同品种花生对于 UV-B 辐射胁迫的敏感性有一定差异.开农 64 号在受到 UV-B 辐射胁迫后,处理

与对照间净光合速率、气孔导度差异较其他 2 个花生品种明显,同时,其处理与对照间蒸腾速率、水分利用效率的差异较其他 2 个品种也更加明显.这表明开农 64 号对于 UV-B 辐射胁迫的敏感性较强,而开农 49 号净光合速率、气孔导度等光合作用参数的差异没有开农 64 号明显.因此,开农 49 号对于 UV-B 辐射增强的抗性较强.

#### 4 结论

UV-B 辐射增强条件下,不同品种花生叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、水分利用效率均明显降低.3 个花生品种中,开农 64 号对 UV-B 辐射增强最为敏感,而开农 49 号则最不敏感.在品种选择中以选择净光合速率高,且蒸腾速率和气孔导度相对较低的品种为好,也即选择水分利用率较高的品种.气孔导度是反映气孔行为最为重要的生理指标,也是反映植物抗旱保水性能的一个重要指标,且抗旱性强的品种气孔导度一般较低,在未来农业生产实践中,筛选或培育抗 UV-B 辐射或对 UV-B 辐射不敏感的花生品种,将是缓解 UV-B 辐射增强对花生生产不利影响的有效措施.

本研究结果是花生结荚期某一天晴朗天气的日变化数据,并不能代表花生全生育期生理特性的日变化趋势,在不同天气情况下的日变化趋势也可能存在差异,这些方面有待做进一步研究.在全球气候变暖及紫外辐射增强的背景下,培育和更新作物品种,增强作物对外界环境的适应能力及抗逆性,是农业生产和社会经济持续稳定发展的重要措施之一.

#### 参考文献

##### References

- [1] 王少彬,苏维瀚,魏鼎文.太阳紫外线的生物有效辐射与大气臭氧含量减少的关系[J].环境科学学报,

- 1993,13(1):114-120  
WANG Shanbin, SU Weihai, WEI Dingwen. Biologically effective radiation of solar ultraviolet radiation and the depletion of ozone layer [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1993, 13(1): 114-120
- [ 2 ] Singh S, Kumari R, Agrawal M, et al. Modification of growth and yield responses of *Amaranthus tricolor* L. to sUV-B under varying mineral nutrient supply[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 120(2): 173-180
- [ 3 ] Liu Q, Yao X Q, Zhao C Z, et al. Effects of enhanced UV-B radiation on growth and photosynthetic responses of four species of seedlings in subalpine forests of the eastern Tibet plateau [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2011, 74(1): 151-156
- [ 4 ] 师生波, 尚艳霞, 朱鹏锦, 等. 滤除自然光中 UV-B 辐射成分对高山植物美丽风毛菊光合生理的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(2): 176-186  
SHI Shengbo, SHANG Yanxia, ZHU Pengjin, et al. Effects of UV-B exclusion on photosynthetic physiology in alpine plant *saussurea superba* [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(2): 176-186
- [ 5 ] 王燕, 李茂营, 张明才, 等. 增强 UV-B 辐射对棉花幼苗氮代谢生理特性的影响[J]. *棉花学报*, 2013, 25(6): 525-532  
WANG Yan, LI Maoying, ZHANG Mingcai, et al. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on physiological characteristics of nitrogen metabolism in cotton seedlings (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. *Cotton Science*, 2013, 25(6): 525-532
- [ 6 ] 陈建军, 祖艳群, 陈海燕, 等. UV-B 辐射增强对 20 个大豆品种生长与生物量分配的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(1): 29-33  
CHEN Jianjun, ZU Yanqun, CHEN Haiyan, et al. Influence of enhanced UV-B radiation on growth and biomass allocation of twenty soybean cultivars[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(1): 29-33
- [ 7 ] Mishra V, Srivastava G, Prasad S M, et al. Growth, photosynthetic pigments and photosynthetic activity during seedling stage of cowpea (*Vigna unguiculata*) in response to UV-B and dimethoate[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2008, 92(1): 30-37
- [ 8 ] 田向军, 林玥, 邱宗波, 等. 温室条件下增强 UV-B 辐射对小麦、谷子大小等级性和异速生长的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(12): 5202-5208  
TIAN Xiangjun, LIN Yue, QIU Zongbo, et al. Effects of enhanced ultraviolet-B irradiance on size hierarchy and allometry of wheat and millet in greenhouse[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5202-5208
- [ 9 ] Correia C M, Pereira J M M, Coutinho J F, et al. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: A Mediterranean field study[J]. *European Journal of Agronomy*, 2005, 22(3): 337-347
- [ 10 ] 李晓阳, 陈慧泽, 韩榕. UV-B 辐射对拟南芥种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *植物学报*, 2013, 48(1): 52-58  
LI Xiaoyang, CHEN Huize, HAN Rong. Effect of UV-B irradiation on seed germination and seedling growth of *Arabidopsis* [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2013, 48(1): 52-58
- [ 11 ] 刘丽丽, 张文会, 范颖伦, 等. 不同剂量 UV-B 辐射对冬小麦幼苗形态及生理指标的影响[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(2): 314-318  
LIU Lili, ZHANG Wenhui, FAN Yinglun, et al. Effects of different doses UV-B radiation on the morphological and physiological indices of winter wheat seedlings [J]. *Chinese Journal of Ecology* 2010, 29(2): 314-318
- [ 12 ] 侯扶江, 贲桂英, 颜景义. 田间增加紫外线辐射对大豆幼苗生长和光合作用的影响[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 256-261  
HOU Fujiang, BEN Guiying, YAN Jingyi, et al. Effects of supplemental ultraviolet (UV) radiation on the growth and photosynthesis of soybean growing in the field [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(3): 256-261
- [ 13 ] 安黎哲, 冯虎元, 王勋陵. 增强的紫外线-B 辐射对几种作物和品种生长的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(2): 249-253  
AN Lizhe, FENG Huyuan, WANG Xunling. Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of some crops [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2): 249-253
- [ 14 ] 李元, 王勋陵. 紫外辐射增强对春小麦生理、产量和品质的影响[J]. *环境科学学报*, 1998, 18(5): 504-509  
LI Yuan, WANG Xunling. The effects of enhanced UV-B radiation on the physiological indicator, yield and quality of wheat [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1998, 18(5): 504-509
- [ 15 ] 何丽莲, 祖艳群, 李元, 等. 10 个小麦品种对 UV-B 辐射增强响应的生长和产量差异[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(4): 648-651  
HE Lilian, ZU Yanqun, LI Yuan, et al. Effect of enhanced UV-B radiation on growth and grain yield of different wheat cultivars [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(4): 648-651
- [ 16 ] 何永美, 湛方栋, 吴炯, 等. UV-B 辐射对元阳梯田水稻根系 LMWOAs 分泌量和根际微生物数量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(4): 613-619  
HE Yongmei, ZHAN Fangdong, WU Jiong, et al. Effects of UV-B radiation on rice roots-exuded LMWOAs and rhizospheric microorganism quantities in a paddy field of Yuanyang terraces, Yunnan province [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(4): 613-619
- [ 17 ] 王芳, 姬茜茹, 邱宗波, 等. 不同玉米品种对增强 UV-B 辐射与干旱复合胁迫的生理响应[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(3): 438-442  
WANG Fang, JI Qianru, QIU Zongbo, et al. The interactive effects of enhanced UV-B irradiation and water deficit on physiological responses in different maize (*Zea mays*) cultivars [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 438-442
- [ 18 ] 武君, 姜运生, 李永秀, 等. UV-B 辐射增强对大麦生理生态的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(6): 1033-1038  
WU Jun, LOU Yunsheng, LI Yongxiu, et al. Effect of enhanced ultraviolet-B radiation on physiological and ecological parameters in barley [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(6): 1033-1038
- [ 19 ] 姚云游, 乔玉兰. 花生功能成分及营养价值的研究进展[J]. *中国油脂*, 2005, 30(9): 31-33

- YAO Yunyou, QIAO Yulan. Advance in study on functional compositions and nutritive value of peanut[J]. China Oils and Fats, 2005, 30(9): 31-33
- [20] 郑亚萍, 田云云, 李雪英, 等. 国内外花生科研进展及生产发展动态[J]. 花生学报, 2003, 32(增刊1): 92-95
- ZHENG Yaping, TIAN Yunyun, LI Xueying, et al. Research progress and development trend of peanut at home and abroad[J]. Journal of Peanut Science, 2003, 32(sup 1): 92-95
- [21] 娄运生, 黄岩, 李永秀, 等. UV-B 辐射增强对不同大麦品种生理特性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(4): 51-55
- LOU Yunsheng, HUANG Yan, LI Yongxiu, et al. Effect of enhanced ultraviolet-B radiation on physiological properties of different cultivars of barley[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011, 27(4): 51-55
- [22] 张晓晶, 鹿捷, 郑永美, 等. 高温胁迫对不同花生品种生理指标的影响[J]. 花生学报, 2015, 44(2): 18-23
- ZHANG Xiaojing, LU Jie, ZHENG Yongmei, et al. Effects of high temperature stress on physiological indexes of different peanut varieties[J]. Journal of Peanut Science, 2015, 44(2): 18-23
- [23] 杜照奎, 钟章成. 花生对 UV-B 辐射增强的光合生理响应[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 29(9): 66-72
- DU Zhaokui, ZHONG Zhangcheng. On response of *Arachis hypogaea* photosynthetic physiology to enhanced ultraviolet-B radiation[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2014, 29(9): 66-72
- [24] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244
- XU Daquan. Some problems in stomatal limitation analysis of photosynthesis[J]. Plant Physiology Communications, 1997, 33(4): 241-244

## Effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variations of physiological characteristics of different cultivars of peanut at fruiting stage

HAN Yan<sup>1,2</sup> LU Jianli<sup>3</sup> HAN Chenguang<sup>1</sup> HU Chengda<sup>3</sup> CUI Ronghua<sup>1</sup>

1 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004

2 School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique, China Meteorological Administration, Zhengzhou 450003

**Abstract** A field experiment was conducted to investigate the effects of enhanced UV-B radiation on diurnal variations of net photosynthetic rate ( $P_n$ ), stomata conductance ( $G_s$ ), intercellular  $CO_2$  concentration ( $C_i$ ), transpiration rate ( $T_r$ ), and water use efficiency ( $E_{wu}$ ) of peanut leaves at fruiting stage of different peanuts cultivars, so as to provide a basis for screening out high-yield, drought-resistant and UV-B-radiation-resistant peanut varieties. The experiment was designed with two levels of UV-B radiation, natural light (CK) and enhanced UV-B radiation by 20% (E). The results showed that enhanced UV-B radiation inhibit photosynthesis and transpiration of peanuts significantly. The daily average  $P_n$  of KaiNong No.49, 64, and 69 declined by 19.4%, 27.8%, and 24.7%, respectively; the daily average  $G_s$  decreased by 26.7%, 42.9%, and 28.6%, respectively. Besides, the daily average  $C_i$  of KaiNong No.49, 64, and 69 declined by 27.2%, 20.4%, and 23.1%, respectively, and the  $T_r$  decreased by 17.8%, 23.3%, and 25.1% respectively. Furthermore, the  $E_{wu}$  reduced by 16.6%, 23.2%, and 23.9% for KaiNong No 49, 64, and 69, respectively. These results indicate that enhanced ultraviolet-B radiation have a restraint effect on these three cultivars, but sensibility differences exist among these peanuts cultivars. Therein, KaiNong No.49 is the least sensitive peanuts cultivar. Therefore, compared with the other two cultivars, KaiNong No.49 shows great advantages in regard to UV-B radio-resistance.

**Key words** UV-B radiation; peanut; cultivar; physiological characteristics; diurnal variations