

增强的 UV-B 辐射对黄瓜 (*Cucumis sativus*) 不同叶位叶片生长、光合作用和呼吸作用的影响*

侯扶江** 李广¹ 贲桂英²

(甘肃草原生态研究所 兰州 730020)

(¹甘肃农业大学 兰州 730070)

(²中国科学院西北高原生物研究所 西宁 810001)

摘要 在植物生长室中,黄瓜植株第1片真叶出现后,用人工 UV-B 光源照射 60 d,测定植物各叶位叶片的生长和生理活动.结果表明,UV-B 辐射条件下,植物出叶时间被延迟;叶面积和叶干重下降,降幅与叶位高低正相关;叶片含水量降低,老龄叶片(第1叶,下位叶)和幼龄叶片(第5叶,上位叶)的水分降幅均高于成年叶片(第3叶,中位叶);叶片的伸展速度、叶片数目以及单叶面积减少,致使黄瓜总叶面积下降;植株节间长度缩短,是植株矮化的重要原因;根、茎、叶等器官之间的相关生长变化不大,叶片生长在其中起重要的协调作用. UV-B 降低 P_n 和 E_{AQE} ,对光合作用的抑制程度随叶位升高而增加. UV-B 辐射后,黄瓜叶片的光呼吸显著提高,增幅与叶片发育阶段有关. UV-B 对黄瓜第1叶的暗呼吸没有影响,第2、3叶略微下降,第4叶显著升高.分析认为,植株矮化和叶面积减少有利于植物适应 UV-B 辐射;水分含量和光合作用减少、呼吸作用增强是黄瓜生长受抑制的生理基础. 图2表2参18

关键词 UV-B 辐射; 黄瓜; 光合作用; 呼吸作用; 生长

CLC Q945.11 + S642.2

EFFECTS OF ENHANCED ULTRAVIOLET-B RADIATION ON GROWTH, PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF CUCUMIS SATIVUS LEAVES ON DIFFERENT POSITIONS

HOU Fujiang **, LI Guang¹ & BEN Guiying²

(Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China)

(¹ Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

(² Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract The growth and physiological variation of cucumber grown under UV-B radiation for 60 d in plant growth chamber were monitored. The results showed that the leaf emergence was delayed, the reduced magnitudes of leaf area and dry weight were positively correlative to leaf position. The reduced magnitude of water content in leaf, varying like a parabola line, was higher in both the oldest leaf (the first leaf in low position) and young leaf (the fifth leaf in high position), and was the lowest in the third leaf (leaf in middle position) because of UV-B radiation. Decrease in leaf extension rate, leaf number and area per leaf together resulted in the reduce of total leaf area. Variation of leaf growth played an important role in the relatively stable correlative growth among root, stem and leaf under the condition of enhanced UV-B radiation. The decrease in the internode length lead to the reduce of plant height. The inhibited degree of net photosynthetic rate and apparent quantum efficiency by UV-B radiation were positively correlative to leaf position. The photorespiration was significantly enhanced by UV-B radiation and the increment was not obviously in relation to leaf position. UV-B radiation had no effect on the dark respiration of the first leaf, slightly decreased the respiration of the second and third leaf, but sharply raised the dark respiration of the fourth leaf. It was suggested that the reduce of both plant height and leaf area was ad-

收稿日期: 2000-07-10 接受日期: 2001-01-19

*国家自然科学基金资助(No.:39570129, 39630250)项目

**通讯联系人(Corresponding author)

vantageous for plant to adapt to UV-B radiation, decrease in the water content and photosynthesis and increase in photorespiration and dark respiration may be the physiological bases of growth inhibition. Fig 2, Tab 2, Ref 18

Keywords ultraviolet - B radiation; *Cucumis sativus*; photosynthesis; respiration; growth

CLC Q945.11 + S642.2

太阳紫外线 - B (Ultraviolet - B, UV-B) 辐射是植物生命活动中重要的生态环境因子. 大气臭氧层变薄及其引起的太阳 UV-B 辐射增强, 对农业生产活动产生不利影响, 是当前人类面临的主要环境问题之一^[1]. 植物对 UV-B 辐射的响应, 一方面取决于植物冠层中的光合有效辐射 (Photosynthetically active radiation, PAR, = 400 ~ 700 nm) 等微气候因子^[2], 另一方面与植物发育阶段密切相关^[3]. 这主要是因为, 在植物发育过程中, 各叶位叶片依次出现, 不断地改变植株冠层结构, 致使微气候处于连续变化之中 (尤其是冠层中 PAR 和 UV-B 的分布)^[4], 从而影响叶表皮 UV-B 保护物质合成、蛋白质代谢、保护酶活性、光合作用等生理生化活动^[5,6]. 以往的实验研究, 主要测定 UV-B 辐射条件下某一叶片 (器官) 的生长或生理状况, 将实验结果外推至个体水平, 用以反映整个植株的情况^[7], 甚至外推至群落和生态系统水平^[6], 而在植物整株水平上, 对于各叶位叶片的生长发育, 尤其是生理活动的变化较少涉及. 在植物生长室内, 研究 UV-B 辐射对黄瓜不同叶位叶片生长、光合作用和呼吸作用的影响, 可以为针对目前太阳 UV-B 辐射的增强趋势采取有效对策、建立作物生长发育和生理变化模型提供有益参考.

1 材料与方法

1.1 植物生长与光照处理

植物生长室中, 黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 种子消毒、浸种 24 h 后播种, 盆中为无菌草甸土和田间熟土 (V:V = 1:1). 幼苗出土后, 用 Fillips 荧光灯提供 PAR 光源, 光强 $E = 300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. 待第 1 片真叶现叶后, 根据叶片大小、株高、茎粗等, 每盆保留 3 株生长较为一致的幼苗.

幼苗分成两组, 一组继续 PAR 辐射作为 CK, 另一组除 PAR 外, 外加两只国产 40W UV-B 灯管进行 UV-B 处理, UV-B 波谱范围 280 ~ 320 nm, 植物顶部 UV-B 强度 $0.24 \text{ J m}^{-2}\text{s}^{-1}$. 定期更换灯管, 使植株顶部与灯管之间的距离相对恒定, 以维持较为稳定的 UV-B 和 PAR 辐射. 室内温度保持昼/夜 = $25 \pm 1 / 15 \pm 1$, 定时定量浇灌 Hoagland 全营养液.

1.2 生长和生理观测

待黄瓜 CK 植株的第 6 片真叶现叶后, CK 和处理植物各取 12 株用于生长观测. 测定每片真叶的面积和干重. 相对水分含量用单位重量的干物质所含水分表示 ($w/g g^{-1}$), 以反映植物细胞、组织的吸水膨胀状况. 同时测定株高、节间长度及根、茎和全株干重. 生长试验重复 2 次, 报道其中 1 次.

用 Clark 氧电极测定光合气体交换, 反应液组成为 0.2 mol/L Tris 和 0.1 mol/L NaHCO_3 , pH 7.4, 按李德耀的方法操作^[8], 反应杯体积 1.2 mL, 超级恒温水浴 25. 每次测定光合作用光响应曲线, 计算最大净光合速率 (P_n) 和表观量子效率 (E_{AQE}). 光呼吸和暗呼吸测定参照 Gao 的方法^[9]. 重复 5 次, 计平均值.

2 结果与分析

2.1 UV-B 对黄瓜生长的影响

2.1.1 对不同叶位出叶时间的影响 UV-B 处理植株第 3、4、5 叶的出叶时间, 分别比 CK 晚 2 d、6 d 和 14 d, 处理植株第 6 叶未出现 (图 1 a), 可见, 随 UV-B 辐射时间增加, 黄瓜各叶位出叶被延迟的时间越长. 黄瓜叶片起源于顶端分生组织的叶原基, UV-B 可能通过抑制顶端分生组织的活动, 抑制黄瓜叶片发育; 这一点尚须进一步研究证实.

2.1.2 对不同叶位叶面积和叶干重的影响 如图 1 b 和 c 所示, UV-B 辐射 60 d 时, 随叶位升高, CK 和处理植株的叶面积和叶干重均呈单峰曲线变化. 对照植株第 3 叶的叶面积和叶干重最大, 第 6 叶最小, 处理则是第 2 叶最大、第 5 叶最小.

UV-B 处理植株的总叶面积比对照减少 57.2%, 其中, 第 1 ~ 5 叶的叶面积分别比对照下降 19.5%、41.9%、61.6%、70.4% 和 92.6% (图 1 b). 实验期间, 对照和处理黄瓜叶片平均伸展速度分别为 $2.12 \text{ cm}^2/\text{d}$ 和 $0.82 \text{ cm}^2/\text{d}$, 对照比处理快 1.58 倍. 处理植株的叶片总干重比对照降低 39.2%, 第 1 ~ 5 叶的干重分别低于对照 0%、14.3%、44.0%、58.5% 和 81.9% (图 1 c). 结果表明, 随叶位升高, UV-B 对黄瓜叶面积和干重的抑制程度增加.

叶伸展速度、叶数目和单个叶面积降低, 将导致

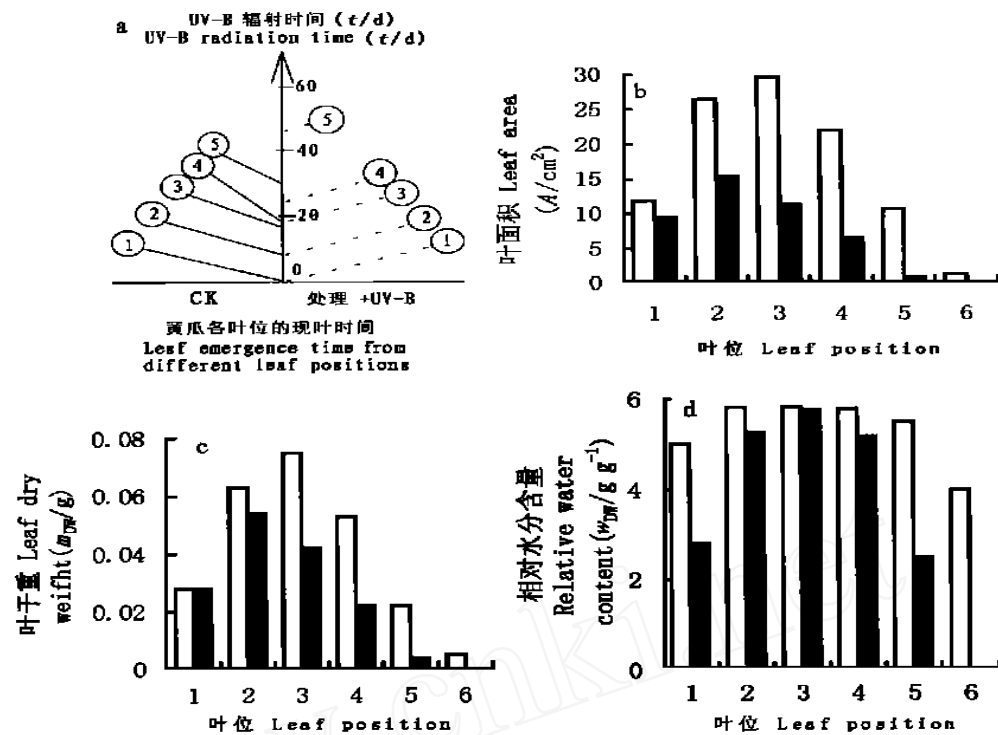


图1 UV-B对黄瓜幼苗不同叶位出叶时间(t/d)、叶面积(A/cm^2)、干重(m_{DW}/g)和水分含量(W_{DW}/gg^{-1})的影响
Fig. 1 Effects of UV-B on the leaf emergence time (t/d), leaf area (A/cm^2), dry weight (m_{DW}/g) and water content (W_{DW}/gg^{-1}) from different leaf positions in cucumber.

对照和处理之间,叶面积差异、干重和相对水分含量的平均值差异均达到显著水平($P < 0.05$)

The differences in leaf area, dry weight and relative water content between the control and treatment were significant respectively ($P < 0.05$)

CK, 处理 + UV-B Treatment + UV-B

植物总叶面积和干重减少。

2.1.3 对不同叶位叶片水分含量的影响 CK和处理植物的水分含量随叶位从低到高呈现单峰曲线变化,第3叶的水分含量最高(图1d)。与CK相比,处理叶片的水分含量平均下降19.2%,第1~5叶分别降低44.2%、9.8%、0.7%、10.8%和54.6%。结果表明,老龄叶片(第1叶)和幼龄叶片(第5叶)的失水比较严重,而成年叶片(第3叶)水分差异不大。叶片水分含量与细胞发育、生理生化活动关系密切,UV-B条件下,老叶失水会加速衰老,幼叶水分减少不利于细胞吸水膨胀、体积增大、分裂^[10],从而延迟叶片发育、降低叶面积和干重,同时,叶片光合作用、呼吸作用等一些生理生化活动也会受到一定影响。

处理与CK之间,第3叶至第6叶的叶龄不同,各生长指标之间似缺少可比性,然而UV-B辐射引起的叶龄差异,正是UV-B对植物生长发育作用结果。CK植物第1(58 d)、第2(50 d)和第4叶(40 d)分别与处理植株的第1、第2和第3叶的叶龄相同(图

1a)。以相同叶龄叶片进行比较表明,处理植株上述三个叶片的叶面积和干重分别比CK减少19.5%、41.9%、48.1%和0.14.3%、20.8%,水分含量分别下降44.2%、9.8%和0.1%。

黄瓜植株适当降低叶片接收辐射的面积,可以避免UV-B辐射诱导的生物合成途径(如类黄酮物质的合成)过多地消耗光合产物和能量,并减轻这些次生代谢产物对其他生理过程的不利影响,有利于植物适应UV-B辐射。根据本研究和其他一些实验结果,可能通过以下3个途径实现:延缓叶片发育以减少叶数目(图1a),或抑制叶组织细胞分裂和吸水膨胀以减少单叶面积(图1b和d),从而使总叶面积下降;节间长度缩短导致植株矮化(表1),以增加不同叶位之间的相互遮掩和保护程度;改变叶倾角,避免过多直射光线^[11]。

2.1.4 对株高、节间长度和根冠比的影响 为了探讨UV-B辐射条件下,叶生长与整体植株生长之间的关系,我们分析了黄瓜根茎叶器官干重、根/冠比、

株高和节间长度等其它一些生长指标(表 1)。

UV-B 处理 60 d, 处理植株的株高和节间长度分别比 CK 植株降低 40.2% 和 30.9% (表 1), 节间长度缩短将导致植株矮化。

CK 植株根、茎、叶三器官的干物质比为 1:2.29:5.02, 处理为 1:2.07:5.00, 只有茎的比例比 CK 下降 9.6%, 并且处理植株的根/冠比值略高于 CK 3.6% (表 1), 这些指标的变化与总干重减少 39.3% 相比, 变化不大, 说明在 UV-B 辐射下, 植物相关生长保持了较好的适应。叶片生长对协调植物各器官之间的相关生长尤为重要, 主要由于: 叶片不仅是光合作用物质生产的主要场所, 而且是接收 UV-B 辐射的主要器官; 叶片干重占植物总干重的比例大, CK 和处理植株的叶干重分别占总干重的 60.4% 和 62.0% (表

1); UV-B 辐射引起的叶片干重减少占总干重减少的比例大, UV-B 导致整株植物干重减少 0.157 g, 其中叶片减少 0.091 g, 占 58.0% (表 1)。

2.2 UV-B 对不同叶位叶片光合作用和呼吸作用的影响

由于 CK 植株与处理植株之间第 5 叶和第 6 叶的叶龄差别较大, 下面仅从相同叶位和相同叶龄 (CK 植物第 1、第 2 和第 4 叶分别与处理植株第 1、第 2 和第 3 叶的叶龄相同) 两个角度, 分析 UV-B 对第 1 叶~4 叶的光合作用和呼吸作用的影响。

2.2.1 对光合作用的影响 CK 和 UV-B 处理植株随叶位升高, P_n 逐渐增大 (图 2 a), 而 E_{AQE} 呈单峰曲线变化 (图 2 b), 第 3 叶最大。

表 1 UV-B 对黄瓜干重、根/冠比、株高和节间长度的影响

	mpw/g^*				根/冠比 Root/Shoot ratio	株高 [*] Plant height (h/cm)	节间长度 [*] Internode length (l/cm)
	全株 Plant	叶 Leaf	茎 Stem	根 Root			
CK	0.399	0.241	0.110	0.048	0.137	7.43 ± 0.56	0.97 ± 0.07
处理 Treatment	0.242	0.150	0.062	0.030	0.141	4.44 ± 0.70	0.67 ± 0.09

* $P < 0.01$

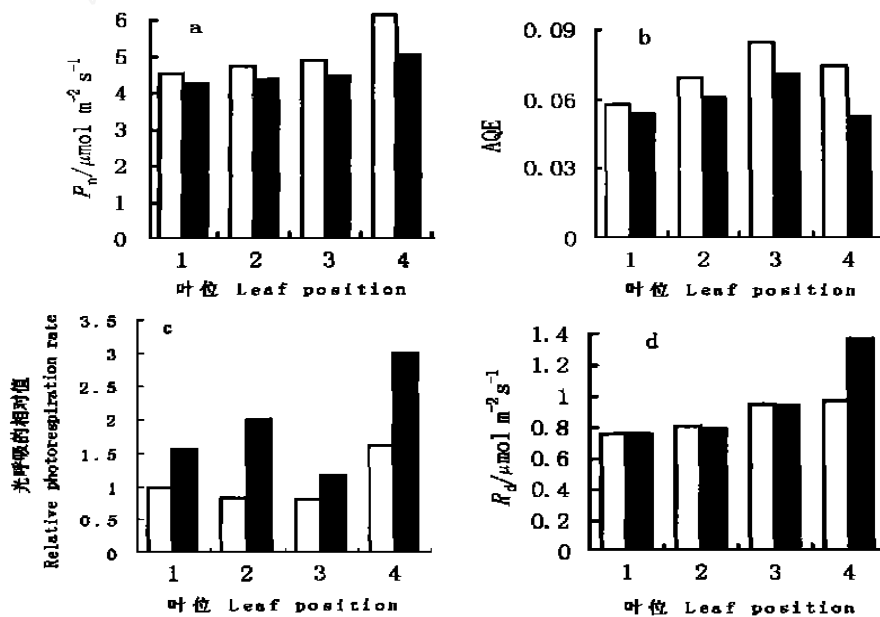


图 2 UV-B 对不同叶位黄瓜叶片净光合作用速率 (P_n)、表观量子效率 (E_{AQE})、光呼吸和暗呼吸 (R_d) 的影响

Fig. 2 Effects of UV-B on net photosynthetic rate (P_n), apparent quanta efficiency (E_{AQE}), photorespiration and dark respiration rate (R_d) of cucumber leaves at different positions

CK 和处理之间 P_n 、 E_{AQE} 、光呼吸和第 4 叶 DR 的差异均在 0.05 水平上显著

The differences in DR of the fourth leaf, P_n , E_{AQE} and photorespiration between control and treatment were significant at the 0.05 level respectively

CK, 处理 + UV-B, Treatment + UV-B

从第 1 叶至第 4 叶, 处理黄瓜植株的 P_n 和 E_{AQE} 比 CK 分别降低 5.9%、7.3%、9.1%、17.5% (图 2a) 和 6.9%、11.6%、16.7%、28.4% (图 2b)。可见, UV-B 辐射条件下, 黄瓜各叶位叶片的净光合作用速率和表观量子效率均不同程度下降, 降幅随叶位升高而逐渐增大。 P_n 和 E_{AQE} 同时降低, 说明 UV-B 引起光合作用的光抑制, 光合机构受到破坏可能是重要原因之一^[12]; Nedunchezian 等发现 UV-B 破坏豇豆 (*Vigna sinensis*) 叶绿体蛋白^[13], 在一定程度上支持了我们的分析结果。除此之外, UV-B 辐射引起植株矮化、节间长度缩短, 导致叶片相互遮荫程度增加, 也可使光合作用下降。

从相同叶龄的角度比较, 处理植株第 1、2 和 3 叶与 CK 植株的第 1、2 和 4 叶相比, P_n 和 E_{AQE} 分别减少 5.9%、7.3%、29.5% 和 6.9%、11.6%、4.1% (图 2a 和 b), 说明不同叶龄的叶片, 光合作用受 UV-B 辐射的抑制程度不同。

2.2.2 对呼吸作用的影响 UV-B 辐射条件下, 黄瓜叶片光呼吸显著升高, 处理植株第 1 叶~4 叶的光呼吸分别比 CK 升高 84.5%、141.0%、44.8% 和 108.5% (图 2c)。光呼吸对能量有较高需求, 可以避免或减轻过多的光能对光合机构的破坏, 一定程度上起保护光合机构的作用^[2,3]。

UV-B 辐射条件下, 处理植株第 1~4 叶的暗呼吸 (R_d) 比 CK 平均升高 10.5%, 但是不同叶位之间的差异较大 (图 2, d)。处理植株第 1 叶的 DR 与 CK 相同, 第 2 和第 3 叶仅分别比 CK 降低 2.5% 和 1.1%, 3 个叶位的差异不显著 ($P > 0.05$), 但第 4 叶的 R_d 显著高于 CK 41.2% ($P < 0.05$)。本实验结果与 Teramura 等对大豆 (*Glycine max*) 第 2 片真叶的测定结果相近^[14], 但 Larkum 等的研究表明, UV-B 对几种海洋藻类的呼吸作用没有影响^[15]。本研究中, 不同叶位的叶片一定程度上反映出叶片发育阶段的差异,

上述研究结果表明, UV-B 对 R_d 的影响与植物种了和植物叶片的发育阶段有关^[16]。

从相同叶龄的角度比较, 处理植株第 3 叶与 CK 的第 4 叶相比, 光呼吸降低 17.6%, 而 R_d 则升高 44.2%。以上结果也说明, 用单个叶片对 UV-B 的生理响应代表植株整体的情况, 某些时候难于取得满意结果。

3 讨论

叶片既是光合作用的主要场所, 又是接收 UV-B 辐射的重要器官。增加 UV-B 辐射, 黄瓜叶片生长的变化对于根、茎、叶等器官之间的相关生长有重要的协调作用。适当降低叶片接收 UV-B 辐射的面积, 有利于植物适应 UV-B 辐射。水分含量和光合作用下降以及光呼吸和暗呼吸升高, 是植物生长受 UV-B 抑制的重要生理基础之一。在一定范围内, UV-B 辐射对植物光合作用和生长的抑制是其辐射剂量的累计效应^[16]; 而且一般情况下, 随着辐射强度增加, UV-B 的生物效应相应增强^[13,14]。此外, UV-B 辐射对植物的影响与波长有很大关系^[17], 但是在 280~320 nm 波段, 不同波长 UV-B 辐射的生物效应却亟待研究。

当黄瓜第 1 片真叶出现后, 用人工 UV-B 光源处理 60 d, 对叶位和叶片生长、生理活动之间的相关分析结果表明, 随叶位升高, 生长和生理活动变化大致有 4 种趋势 (表 2): 叶面积和干重的降低幅度线性增加, 而且干重的减少趋势要快于叶面积; 出叶被延迟时间、 P_n 和 E_{AQE} 的降幅呈凹抛物线型增加, 即随着叶位升高, 呈加速度增加; 水分含量降幅呈凹抛物线型变化, 先逐渐减少, 直到处理植株第 3 叶的降幅最小, 然后又逐渐增加; 光呼吸和暗呼吸的变化趋势没有比较明显的规律。在 UV-B 辐射条件下, 不同叶位的叶片生长生理活动的响应明显不同, 可见仅仅根据某一叶片情况推断植株整体对 UV-B 辐射的响应有失全面。

表 2 UV-B 辐射条件下, 黄瓜叶片生长生理变化 (Y) 与叶位 (X) 的关系

Table 2 The relationship between the variation in growth and physiological action (Y) of cucumber leaves and leaf position (X)

生长和生理活动变化 Change of growth and physiology	关系式 Regressive equation	R^2
叶面积降幅 Decrease in leaf area (%)	$Y_1 = 17.47X - 4.79$	0.9846
干重降幅 Decrease in dry weight (%)	$Y_2 = 20.80X - 22.66$	0.9891
出叶被延迟时间 Delayed time of leaf emergence (t/d)	$Y_3 = 1.29X^2 - 4.31X + 3.20$	0.9967
P_n 降幅 Decrease in P_n (%)	$Y_4 = 1.75X^2 - 5.09X + 9.55$	0.9763
E_{AQE} 降幅 Decrease in E_{AQE} (%)	$Y_5 = 1.75X^2 - 1.79X + 7.25$	0.9925
水分含量降幅 Decrease in water content (%)	$Y_6 = 12.54X^2 - 73.08X + 105.28$	0.9942

北半球是人类居住密集区,也是人类从事农业生产活动的主要场所,该区域春季臭氧层的破坏程度达到最大^[1];而且 UV-B 辐射对作物的影响与 UV-B/ PAR 比值大小也有很大关系. 臭氧减少导致太阳 UV-B 辐射增强的同时,PAR 变化不大^[1],所以北半球的太阳 UV-B 辐射虽然春季相对较低,却无法使作物免遭伤害,尤其是对太阳 UV-B 辐射较敏感的植物种^[18]. 就全球来说,一年四季 PAR 对作物的保护作用也是有限的^[2,7]. 中国是农业大国,对此宜予重视,积极开展研究,为采取有效对策提供理论和实践依据.

参考文献

- Kerr LB. Evidence for large upward trends of ultraviolet - B radiation linked to ozone depletion. *Science*. 1994, **262**: 1032 ~ 1034
- Deckmyn G, Martens C, Impens I. The importance of ratio UV-B/ Photosynthetic active radiation (PAR) during leaf development as determining factor of plant sensitivity to increased UV-B irradiance: Effects on growth, gases exchange and pigmentation of bean plants (*Phaseolus vulgaris* cv. Labet). *Plant Cell and Environ*. 1992, **17**(3): 295 ~ 301
- Yakimchuk R, Hoddinott J. The influence of ultraviolet - B light and carbon dioxide enrichment on the physiology of seedlings of three conifer species. *Canadian Forest Res*. 1994, **4**(1): 1 ~ 8
- Brown MJ, Parker GG, Posener NE. A survey of ultraviolet - B radiation in forests. *J Ecol*. 1994, **82**: 843 ~ 854
- Feng GN(冯国宁), An LZ(安黎哲), Feng HY(冯虎元), Wang XL(王勋陵). Effects of enhanced UV-B radiation on protein metabolism of bean leaves. *Act Bot Sin*. 1999, **41**(8): 833 ~ 836
- Day TA, Demchik S M. Ultraviolet - B radiation screening effectiveness of reproductive organs in *Hesperis matronalis*. *Environ Exp Bot*. 1996, **36**(4): 447 ~ 454
- Deckmyn G, Impens I. The ratio UV-B/ Photosynthetically active radiation (PAR) determines the sensitivity of rye to increased UV-B radiation. *Environ Experi Bot*. 1997, **37**(1): 3 ~ 12
- Li DY(李德耀), Ye JY(叶济宇). Some technical problems in using oxygen electrode. *Plant Physiol Comm*. 1986, **22**(5): 56 ~ 58
- Gao SJ, Chen S, Li MQ. Rapid post - illumination oxygen consumption and its relation to photorespiration. *Acta Phytobiol Sin*. 1988, **14**(4): 313 ~ 317
- Santos Isabel, Almeida JN, Salema R. Plants of *Zea mays* L. developed under enhanced UV-B radiation some ultrastructural and biochemical aspects. *J Plant Physiol*. 1993, **141**(4): 450 ~ 456
- Robberecht R, Caldwell MM, Billings WD. Leaf ultraviolet optical properties along a latitudinal gradient in the arctic - alpine life zone. *Ecology*. 1980, **61**: 612 ~ 619
- Xu DQ(许大全), Zhang YZ(张玉忠), Zhang RX(张荣铄). Photoinhibition of plant photosynthesis. *Plant Physiol Comm*. 1992, **28**(4): 237 ~ 243
- Nedunchezhan N, Kalandaivelu G. Increased stability of thylakoid components in *Vigna sinensis* L. seedling grown under ultraviolet - B enhanced radiation. *Photosynthetica*. 1993, **25**(3): 431 ~ 435
- Teramura AH, Biggs RH, Kossuth S. Effects of ultraviolet - B irradiances on soybean, Interaction between ultraviolet - B and photosynthetically active radiation on net photosynthesis, dark respiration, and transpiration. *Plant Physiol*. 1980, **65**: 483 ~ 488
- Larkum AWD, Wood WF. The effect of UV-B radiation on photosynthesis and respiration of phytoplankton/benthic macroalgae and seagrasses. *Photosynth Res*. 1993, **36**(1): 17 ~ 23
- Hou FJ(侯扶江), Ben GY(賁桂英). Primary report to the effects of ultraviolet - B radiation on photosynthesis and respiration of three plant seedlings. *Acta Pratacult Sin*. 1998, **7**(3): 77 ~ 79
- Deckmyn G, Impens I. Seasonal responses of six Poaceae to differential levels of solar UV-B radiation. *Environ Exp Bot*. 1999, **41**: 177 ~ 184
- Li Y, Yue M, Wang XL, Hu ZD. Competition and sensitivity of wheat and wild oat exposed to enhanced UV-B radiation at different densities under field conditions. *Environ Exp Bot*. 1999, **41**: 47 ~ 55

耿 颢、王芋华等获我刊优秀论文奖

根据我部决定(见本刊 99 年第 2 期第 159 页)和有关专家推选评定,耿 颢、叶和春、李国凤、麻 密、种 康的论文《青蒿试管苗开花及用花器官为外植体诱导丛生芽生产青蒿素》[2001, 7(3): 201 ~ 206]和王芋华、毛双林、李浩杰、王世金、罗 科、李 平的论文《Xa21 基因导入水稻及转基因植株的鉴定》[2001, 7(3): 228 ~ 231]获本刊 2001 年第 3 期优秀论文奖. 本刊将授予两篇论文奖金各 500 元人民币,授予两篇论文的每位作者获奖证书.