

紫外线辐射增加对大豆光合作用的影响和生长的影响

杨志敏 颜景义 郑有飞

(南京气象学院, 应用气象系生物教研室, 南京, 210044)

A 摘要 通过模拟南京地区自然光中有效紫外线B和紫外线A辐射, 增大辐射剂量对大豆光合作用, 生长及生物量形成的影响进行了研究。3个加强的UV辐射(0.15, 0.35, 0.70 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)处理均使大豆植株矮化, 抑制根、茎、叶的生长及干物质的积累。在3个UV处理中, 生物效应以0.70 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 处理为最大, 0.15 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 处理影响最小。UV辐射均匀使大豆叶片光合作用下降。下降幅度随UV辐射强度的增大而增大。本文还对UV影响大豆生长的可能机制进行了探讨。

关键词: UV辐射, 大豆, 生长, 光合作用。

紫外线辐射。

EFFECTS OF ELEVATED ULTRAVIOLET RADIATION ON THE GROWTH AND PHOTOSYNTHESIS OF SOY BEAN

Yang Zhimin Yan Jingyi Zheng Youfei

(Biological Science Division, Department of Applied Meteorology,
Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, China, 210044)

Abstract Influences of elevated ultraviolet radiation(UV, broad band, 280—400 nm) of the natural solar ultraviolet radiation in Nanjing area on the growth, photosynthesis and development of biological yield of soy bean plants were investigated. The three levels of UV radiation intensity(0.15, 0.35, 0.70, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) inhibited the growth of leaves, stems and roots, and reduced total biomass of soy bean plants. Soy beans showed the largest biological response to the UV radiation of 0.70 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, while the least response was observed with treatment of 0.15 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ UV radiation. UV radiation significantly decreased the net photosynthesis. Changes in photosynthetic capacity decreased with the increase in UV radiation. The possible mechanism by which UV radiation affects soy bean plants was discussed.

Key words: UV radiation, soy bean, growth, photosynthesis.

• 国家气象局自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1994 03 22, 修改稿收到日期: 1994 07 12。

由于氟氯烷烃化合物(CFC)的污染, 大气平流层中臭氧分子(O_3)正在不断地减少。据最近资料表明, 1969 至 1988 年期间, 全球 O_3 总量平均减少了 1.7%—3.0%, 亚洲水稻区域上空 O_3 量的减少为 4.0% 左右。 O_3 是吸收太阳光谱中紫外光 B(UV-B, 280—320 nm)和紫外光 C(UV-C 200—280 nm)的重要气体。试验表明, 大气中的 O_3 每减少 1%, 照射到地表上的紫外线量就增加 2%^[1]。过量的 UV 到达地表对生物及生态系统产生严重的影响, 众多试验显示增加 UV-B 辐射会改变植物的生长和生理状态。特别是中高纬度地区的植物对 UV 辐射甚为敏感。UV 对植物的伤害作用是多方面的。主要表现在形态结构^[2], 生长发育^[3]、光合作用^[4], 营养生理^[5]等方面。但植物受 UV 辐射后的伤害机理尚不很清楚。

国外 UV 对植物生长及胁迫生理影响的研究异常活跃, 试验大多采用 UV-B 或 UV-A 来研究植物对紫外线的反应, 且多数试验在控制或半控制条件下进行。本试验则根据自然太阳光中紫外线波段, 采用宽波段 UV(broad band 280—400 nm)作为紫外光源, 并置于田间开放系统。其试验结果, 具有实用的参考价值。

1 材料与方法

试验材料为大豆(*Glycine max* L. merr.) 宁镇 2 号。于 1993 年 4 月 10 日播于田间。土壤为黄棕壤, 肥力中等偏上。4 月 24 日出苗。4 月 27 日开始接受 UV 辐射处理直至成熟为止。UV 每日照射时数为 6 h。移动式的 UV 发射管架于大豆植株上面。每组处理小区重复 3 次。

试验处理设对照 CK 即为自然光照, T_1 、 T_2 、 T_3 为紫外光处理组即在自然光照基础上额外增加 UV 辐射。其辐射强度分别为 0.15, 0.35, 0.70 $W \cdot m^{-2}$ 。分别相当于夏季南京地区日平均 UV 辐射强度的 2%, 4.5% 和 8.0% 左右。

大豆出苗后 3 d 选择生长一致的植株挂牌标记, 各处理取植株 15 株。每隔 2—3 d 测定株高。同时, 每隔 6 d 取样 3—5 株烘干称重进行生物量计算。净光合速率测定采用美国产 LI-6200 光合测定系统。每组处理取 6 株, 每株选 2 张叶龄相同的叶片进行测定。每次测定至少重复 6 次。本文所列的净光合作用试验结果为晴天和阴天两次重复的平均值。

2 结果与讨论

2.1 紫外光对大豆光合作用的影响

试验表明 UV 能强烈地抑制大豆叶片 CO_2 的同化(图 1)。以刚完全展开的 2 复叶为例, 对照组叶片的净光合速率先上升, 达到最大值后缓慢下降。在近一个月内其净光合下降幅度为 46% 左右; 而 3 个 UV 处理叶片的净光合速率从开始便下降, 且下降幅度随 UV 辐射强度的增强而增大, 从测定开始至结束, 0.15, 0.35 和 0.70 $W \cdot m^{-2}$ UV 组的净光合速率各自下降了 53%、77% 和 90%。可见大豆叶片净光合强度与 UV 辐射之间呈负相关趋势(图 2)。

此外, 从不同叶位的净光合作用上发现。随着叶位升高, UV 辐射对光合作用的抑制作用也较大(图 3), 表明幼叶对 UV 的反应比老叶敏感。从 2 复叶起, 对照与各 UV 处理组的净光合速率之间开始出现显著差异。而且叶位越高差异越大。同时, 0.35 和 0.70 Wm^{-2} UV 处理之间的净 CO_2 同化在 1 复叶、2 复叶, 3 复叶上差异不显著, 而在幼嫩的 4 复叶上才产生差异。进一步发现幼叶对 UV 辐射较大的敏感性。Teramura 曾在低光控制条件下发现 UV-B 能抑制大豆叶片净光合速率^[6]。Basioung 等人在油菜、燕麦和大豆试验上也得到类似的结果^[7]。但紫外光造成光合作用下降的原因不同的研究者有不同的看法。一些作者

认为光合能力下降与 UV 抑制希尔反应, 破坏光合系统 II 有关^[8], 紫外光也能破坏叶绿体质膜和叶绿素分子, 抑制 RUBP 羧化酶活性^[9]。紫外光的这些作用可以理解为直接伤害作用。另一些试验结果表明 UV 可以通过相对温和的方式来影响植物叶片的光合作用。例如通过某些生理环节使叶片气孔阻力增大, 从而影响 CO₂ 的同化速率^[10]。在本试验中, 测定了叶片叶绿素含量及气孔阻力, 发现各处理间叶绿素含量没有显著差异, 而气孔阻力则随 UV 辐射强度的增大而增大。可见在本试验条件下, UV 对大豆叶片光合抑制作用很可能是经过间接作用途径而实现的。

2.2 紫外光对大豆生长的影响

UV 能明显使大豆植株矮化(图 4), 矮化程度随 UV 辐射强度的增强而增大。

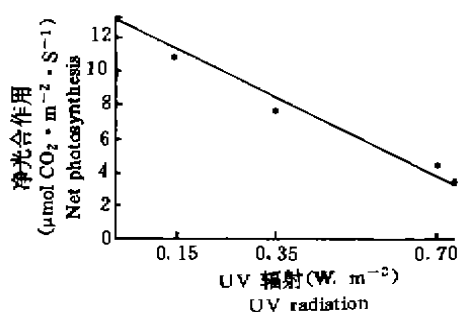


图 2 UV 辐射强度与大豆叶片净光合作用的关系

Fig. 2 The relationship between UV radiation and net photosynthesis of soybean plants

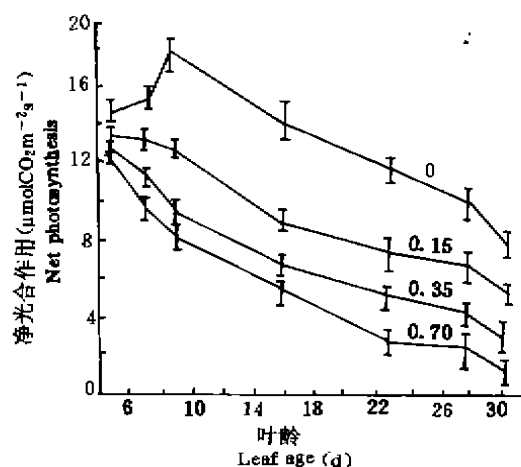


图 1 UV 对大豆第二复叶净光合作用影响的时间进程

Fig. 1 Time course of net photosynthesis of the second leaf of soybean exposed to the three levels of UV radiation

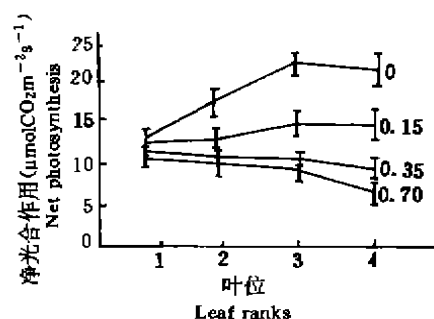


图 3 UV 对不同叶位叶片净光合作用的影响

Fig. 3 Effects of UV radiation on net photosynthesis of leaf at different ranks

至 7 月 4 日试验结束, 0.15, 0.35 和 0.70 W·m⁻² UV 处理的大豆植株株高分别为对照的 87%、82% 和 67%。UV 对大豆植株矮化作用在 3 叶期前表现不明显。这可能是 3 叶期前大豆接受 UV 辐射剂量尚未达到一定值。另外, 大豆在苗期生长相对缓慢, 因而在形态学上表现不出对 UV 的明显反应。3 叶期后, 由于气温逐渐升高, 大豆植株进入快速生长期。同时在 UV 辐射剂量增大状况下, 各组生长差异开始变大。

UV 不但使大豆植株矮化, 而且造成生物学产量下降(图 5, 表 1)。大豆植株干物质积

• 资料待发表。

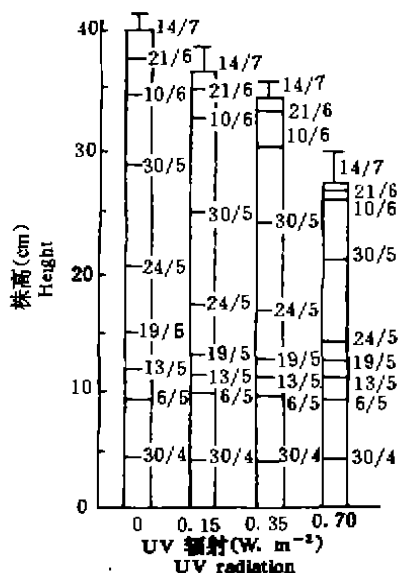


图 4 大豆株高对 UV 辐射的反应
Fig. 4 Response of height of soybean plants to UV radiation

对 UV 较为敏感的品系之一。图 6 表明 UV 辐射强度与大豆单株干重呈负相关趋势。

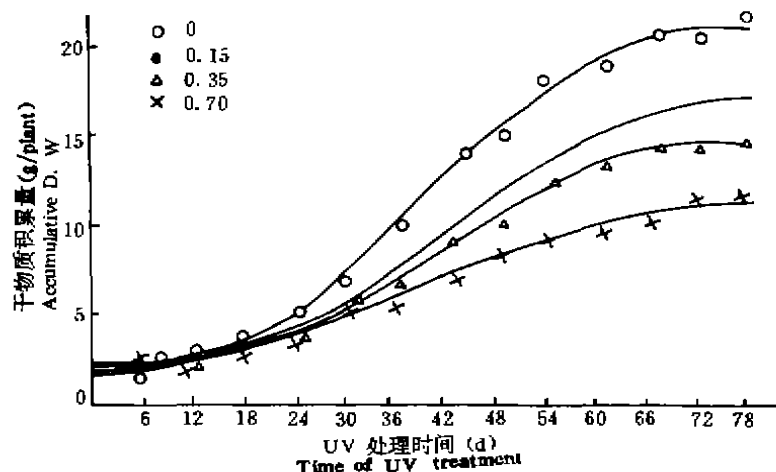


图 5 UV 辐射对大豆单株干重积累量的影响
Fig. 5 Effect of UV radiation on the accumulative dry weight of single soybean plant

紫外光对大豆干物质积累和籽粒产量的影响是一系列复杂的生理生化和环境调控过程。迄今,在这方面的研究结果远没有揭示它们内在的因果关系。但试验结果表明大豆产量下降与光合速率降低保持同步。而光合速率下降又与气孔阻力增强有关。因而认为 UV

累积量显示 3 个 UV 处理组的植株的植株生长相对处于弱势。特别是 $0.70 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ UV 处理组。单株干物质积累量只占对照的 50% 左右。试验结果表明 UV 对大豆地上部的影响要比地下部影响大得多。这种影响明显地反应在根冠比数值上。即 UV 辐射强度越大,根冠比越大。

在籽粒生产方面,UV 处理与对照之间,UV 处理之间的差异都达到了 5% 显著水平(表 1)。表明大豆单株干物质积累量的减少与籽粒产量下降保持同步。

有关 UV 辐射对大豆生长和产量的影响时有报道^[7,11],但试验大都在控制条件下进行。Murali 曾用 UV-B 处理 20 多个大豆品种发现大部分品种的株高都降低^[5]。本试验结果虽然在大田下得到,但与前人的工作结果是一致的。试验观察表明大豆植株矮化是由茎节间缩短而引起。Tevini 等认为这主要是 IAA 吸收了 UV-B 后转化成多种光氧化产物。而这些氧化产物能抑制茎的伸长^[12]。

Basiouny 等曾发现 UV-B 对多种作物干物质生产有明显的抑制效应^[7]。从本试验结果中见宁镇 2 号是

表 1 紫外线辐射对大豆单株生物量性状的影响

Table 1 Effect of UV radiation on the biomass of single soybean plant

UV 辐射 UV radiation ($W \cdot m^{-2}$)	叶 Leaf (g)	茎 Stem (g)	根 Root (g)	豆类 Pot (g)	总量 Total biomass (g)	根冠比 RSR	粒重 Seed weight (g)	豆荚数 Number of pots	粒数 Number of seeds
0	4.23 a	3.95 a	240 a	11.17 a	21.75 a	0.12	6.40 a	36 a	72 a
0.15	3.33 b	3.13 b	1.96 b	8.67 b	17.09 b	0.13	5.40 b	26 b	59 b
0.35	2.80 b	2.50 c	1.83 b	7.30 b	14.43 c	0.15	3.89 c	22 b	49 b
0.70	1.90 c	1.93 d	1.66 b	6.20 c	10.69 d	0.17	3.40 c	20 b	36 c

a, b, c, d 之间差异显著性达 5% 水平 (SSR), 每组处理的结果为 5 株的平均值

Values between a, b, c, d indicate the significant difference at 5%

(SSR). Mean value of five plants assayed in each treatment

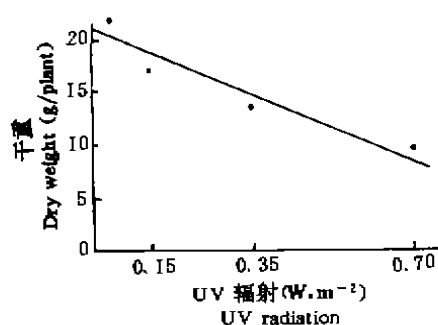


图 6 UV 辐射强度与大豆单株干重之间关系

Fig. 6 The relationship between UV radiation and D. W. of mean single soybean plant

很可能通过直接或间接的方式来影响气孔运动, 引起气孔开度变小, 从而降低 CO_2 在气孔内的移动速率, Dai 等曾观察到 UV-B 处理 4 星期的水稻敏感品种叶上表面的气孔密度减少比下表面多^[11], 证明 UV-B 可以抑制气孔的形成和发育, 从而影响到植物光合能力, 导致生物量下降, 植物叶片气孔开度或气孔形成受 UV 的调控。但并不是影响光合同化和作物产量的唯一原因。这里并不排除还有其它多种途径的存在。事实上在以前报道中有些大豆品种的产量并未受 UV 辐射的影响。表明 UV 对作物产量的影响存在品种间的差异。在这方面, 本试验所用的品种比较单一, 今后将进一步比较不同种质及不同品种间对 UV 辐

射的反应。总之, 为了评价未来紫外光辐射增加对农作物的影响, 探索 UV 对作物生理生长作用的机制, 探明大豆或其它作物品种间的差异, 筛选对 UV 反应迟钝品种, 以适应未来气候环境的变化, 保证农业高产, 具有非常重要的意义。

参 考 文 献

- 1 Caldwell M M. In A Castellani (ed). *Research in photobiology*. Plenum Press, New York, 1977, 597
- 2 Barnes P W et al. Morphological responses of crop and weed species of different growth forms to UV-B radiation. *Amer. J. Bot.* 1990, 77(10): 1354
- 3 Biggs R H and Kossuth S V. *Report of UV-B biological climate effects*. University of Florida Press, Florida, 1978, 77
- 4 Teramura A H and Ziska I H. Changes in growth and photosynthesis capacity rice and increased UV-B radiation. *Physiol. Plant.* 1991, 83: 373
- 5 Murali N S and Teramura A H. Effects of UV-B irradiance on soybean. VI Influence of phosphorus nutrition on growth and flavonoid content. *Physiol. Plant.* 1985, 63: 413
- 6 Teramura A M, et al. Effects of UV-B radiation on soybean. *Plant Physiol.* 1980, 65: 483
- 7 Basiouny F m, et al. Some morphological and biochemical characteristics of C_3 and C_4 plants irradiated with UV-B. *Physiol. Plant.* 1978, 42: 29

- 8 Okada M, *et al.* Inhibition of Photosystem I and Photosystem II in chloroplasts by UV radiation. *Plant Cell Physiol.* 1976, 17: 35
- 9 Vu C V, *et al.* Effects of supplemental UV-B radiation on primary photosynthetic carboxylating enzymes and soluble proteins in leaves of C₃ and C₄ crop plants. *Physiol Plant.* 1982, 55: 11
- 10 Wright I A and Murphy T M. Short wave ultraviolet light closes leaf stomata. *Amer. J. Bot.* 1982, 69(7): 1196
- 11 Teramura A H and Murali N S. Intraspecific differences soybean exposed to UV-B radiation under greenhouse and field conditions. *Environ. and Experie. Bot.* 1986, 26(1): 89
- 12 Tevini J, *et al.* The protective function of the epidermal layer of rye seedling against ultraviolet-B radiation. *Photochem. Photobiol.* 1991, 53: 329
- 13 Dai Q J, *et al.* Ultraviolet-B radiation effects on growth and physiology of four rice cultivars. *Crop Science.* 1992, 32: 1269

中加资源环境高技术中心在京正式成立

由中国国家自然科学基金委员会、中国科学院和加拿大冷海资源工程中心(C-CORE)共同筹建的“中加资源环境高技术中心”(简称 SCH-CORE 或中加中心)于 1995 年 11 月 27 日在京正式成立。新成立的中加中心,旨在联合中加学术界、企业界和政府有关部门,通过高技术的应用研究及其产业化,解决资源合理开发和高效利用、环境保护与环境改善等重大问题,促进绿色科技体系的建立及人类社会的可持续发展。

中加中心目前研究与开发的重点放在水与废水管理、海水养殖与海洋工程、固体废弃物管理、智能系统与自动化技术、农业资源的综合利用以及决策分析领域。

中加中心挂靠在中国科学院生态环境研究中心。中加中心在管理委员会的领导下,听取专家委员会的建议和意见,进行项目的研究和开发工作。中加中心实行管理委员会领导下的主任负责制。

中加中心管理委员会由来自中加双方政府部门、研究机构、企业界、基金会和大学的代表组成,给予中加中心政策上的指导、帮助和支持。管理委员会主任由国家自然科学基金委员会顾问胡兆森教授和加拿大 Questor 技术公司总裁兼首席执行官 Dan Motyka 担任;副主任由国家自然科学基金委员会副主任孙枢院士、中国科学院副院长陈宜瑜院士、加拿大冷海资源工程中心总裁兼首席执行官 Jack Clark 博士和中国科学院生态环境研究中心主任单孝全教授担任。

中加中心专家委员会由中加双方从事资源环境及相关领域工作的有影响的专家、企业家、政府官员和社会活动家组成。专家委员会委员将根据各自特长,提供研究和开发方面的咨询、建议和意见。

中加中心管理委员会最近正式任命中国科学院生态环境研究中心副研究员吕永龙为中加中心的常务副主任、代理主任,中国科学院青岛海洋研究所研究员林荣根和加拿大冷海资源工程中心副总裁 Judith Whittick 为中加中心副主任。

联系地点: 100085 北京海淀区双清路 15 号 中加资源环境高技术中心

电话: (010)2917903

传真: (010)2918177

(吕永龙)