

# 紫外线辐射增加对大豆的影响及其估算\*

郑有飞 颜景义 杨志敏

(南京气象学院, 南京 210044)

## 提 要

在田间及盆栽试验中观测到经超量紫外线(UV280 ~ 400nm)辐射处理的大豆作物,其株型、生理活动及产量均受到不同程度的影响,其影响量随UV辐射强度,大豆品种以及环境条件不同而异.文章还给出了计算紫外线辐射对大豆影响程度的公式,该计算方法效果较好.

**关键词:**大豆;紫外线辐射(UV);拟合.

## 引 言

大气臭氧层的破坏造成大量的UV辐射至地表,而UV辐射的增加会严重影响植物的生长发育.迄今,科学家对二百多种植物在过量UV-B(280 ~ 320nm)辐射后发现有三分之二以上植物受到不同程度的伤害<sup>[1]</sup>.因此,国际学术界对此进行了广泛的研究.但众多的研究一般都单独用UV-B或UV-A(320 ~ 400nm),而且试验在控制条件下进行.同时,研究偏重于植物生长、发育、生理胁迫等方面,而UV辐射对作物影响定量估算的研究甚少.本试验模拟自然UV辐射,采用更符合自然条件下的宽波段(broad band)UV(280 ~ 400nm),研究大豆在田间状况下受过量UV辐射后生长和生理反应,对两个品种大豆生长进行定性和定量比较,并结合UV辐射和环境因子的交互作用对大豆生理影响进行了分析,最终获得了UV辐射增加对大豆影响量估算式.这对于定量了解未来气候变化对大豆的影响具有重要意义.

## 1 材料与方法

试验于1992 ~ 1993年在南京气象学院农气试验站内进行.每年进行3个播期的试验.分别于4月10日,4月20日和4月30日播种.土壤肥力中等偏上,按常规方法进行田间管理.供试品种为大豆宁镇1号和宁镇Ⅱ号.种子出苗后2 ~ 3日开始接受UV处理,

\* 本文由中国气象局青年科学基金课题资助.

1994-04-04收到,1994-10-11收到修改稿.

直至成熟. 试验分 4 个水平处理, 即  $CK$  (自然光照)、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  在自然光照基础上增加 UV 辐射, 其强度分别为  $0.15$ 、 $0.35$ 、 $0.70 \text{ Wm}^{-2}$ , 相当于南京地区夏天日平均 UV 辐射强度的  $2\%$ 、 $4.5\%$  和  $8.0\%$  左右, 每日处理 6 小时 (09 ~ 15 时). 移动式的紫外灯架于大豆植株上方, 定株观测大豆生长状况、定时采样测定鲜干重、叶面积等指标, 用 Li-6200 便携式光合系统测定大豆光合、蒸腾、气孔阻力等生理指标.

## 2 结果分析

不同 UV 对宁镇 I、II 号大豆的影响结果如表 1 所示.

### 2.1 UV 辐射对大豆株型的影响

UV 能抑制大豆的株高 (图 1), 对同一品种在相同条件下, 不同强度 UV 辐射处理的植株株高不同, 其顺序为  $CK > T_1 > T_2 > T_3$ , 说明 UV 对植株的矮化作用随 UV 辐射强度增强而加大. 同时, 在相同强度 UV 辐射下, 两个大豆品种反应各异. 至成熟期, 宁镇 I 号  $T_3$  处理组的株高为  $CK$  组的  $63.7\%$ , 而宁镇 II 号  $T_3$  组的株高为其对照的  $45.5\%$ . 另外从图上可见 UV 辐射对大豆株高的影响表现在不同发育期. 宁镇 I 号在 UV 处理的前 30 日, 其株高抑制作用并不明显, 直到 30 日以后大豆株高抑制作用才开始明显. 而宁镇 II 号矮化明显期出现在 UV 处理后的 20 日左右, 说明宁镇 II 号对 UV 辐射的敏感期略早于宁镇 I 号. 受 UV 照射后, 大豆长势明显变差, 表现为叶片不能正常形成和伸展. 叶片数量和叶面积均减少 (见表 1).

表 1 不同 UV 影响后, 宁镇 I、II 号大豆各项指标测值及与对照比值 (%)

Table 1 The measured values of every index of No. I and II soybean exposed to UV radiation and ratio between them and comparison (%)

UV 处理	叶面积 $\text{cm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$ (%)	复叶数 (张 · 株 <sup>-1</sup> ) (%)	净光合速率 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (%)	蒸腾速率 $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (%)	气孔传导率 $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (%)	粒重 $\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$ (%)	
I	$CK$	612.08 (100)	13.0 (100)	20.97 (100)	15.8 (100)	2.64 (100)	11.50 (100)
	$T_1$	523.00 (85.5)	10.7 (82.3)	16.22 (77.3)	15.1 (95.6)	2.18 (81.2)	10.00 (87.0)
	$T_2$	371.27 (60.7)	10.0 (76.9)	12.86 (61.3)	14.2 (89.9)	1.89 (71.6)	7.65 (66.5)
	$T_3$	316.25 (51.7)	9.6 (73.8)	10.46 (49.9)	13.6 (86.1)	1.43 (54.0)	3.81 (33.0)
II	$CK$	592.00 (100)	12.2 (100)	18.15 (100)	15.4 (100)	2.84 (100)	13.61 (100)
	$T_1$	531.61 (89.8)	10.3 (84.4)	13.28 (73.2)	14.7 (95.5)	2.57 (90.4)	6.40 (47.0)
	$T_2$	437.60 (73.9)	9.5 (77.8)	11.20 (61.7)	13.9 (90.3)	2.01 (70.8)	2.89 (21.2)
	$T_3$	349.54 (59.0)	9.1 (74.6)	9.22 (57.8)	13.6 (88.0)	1.79 (62.9)	1.76 (12.9)

## 2.2 UV 辐射对大豆生理活动的影响

UV 辐射对大豆光合作用的影响表现在净光合速率的下降,其影响的程度随 UV 辐射强度的增强而加大(表 1).

UV 辐射对大豆光合作用的影响因光强、气温等环境因子的差异而不同(图 2a、b).当光强增大时,经不同 UV 强度处理过的宁镇 I 号光-光合速率曲线呈“密→疏→密”变化,表明 UV 对大豆净光合速率抑制作用随光强增大呈小→大→小之趋势.当光强在  $500 \sim 1500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,UV 对大豆的光合速率抑制作用最明显.在相同温度下,宁镇 I 号随着 UV 强度加大,净光合速率变小.在大豆光合作用最适温度范围内( $24 \sim 28^\circ\text{C}$ ),UV 的抑制作用最为明显.气温过高或过低都会削弱 UV 的生物抑制作用,而高温的削弱作用更为显著.UV 处理过的大豆植株气孔传导率变小(表 1),因而气孔阻力变大.由于 UV 对气孔的开张具有抑制作用,所以直接影响到植物的蒸腾作用,观测表明,UV 处理使得大豆蒸腾速率减弱(表 1).

不同发育期大豆生理活动强弱不同,但 UV 辐射对大豆生理活动的影响趋势一致,其影响量与当时的环境条件有关<sup>[2]</sup>.

## 2.3 UV 辐射对大豆产量的影响

由于 UV 的影响,大豆株高、叶面积、叶片数、光合速率等均出现不同程度的下降,其结果对大豆干物重、产量结构等产生不利影响.试验观测结果表明,UV 对大豆干物质累积影响较大(图 3),随着 UV 辐射强度的增加,干物质累积量下降.

UV 辐射对大豆干物重的影响随生育进程而加大,但不同时期 UV 的影响量是不同的.在三叶期前宁镇 I 号和宁镇 II 号大豆各处理之间干物质累积量差异不明显;从三叶期后各处理之间差异变大;到开花期差异趋于稳定.UV 辐射对大豆干物重的影响表现在三叶期后花期以前.

UV 辐射对大豆的粒重、粒数、结荚数的抑制影响都较大,当紫外辐射强度较大时,籽粒重等损失较大(表 1).

## 2.4 UV 辐射增加对大豆影响的估算

过量 UV 辐射对农作物的影响随作物品种、环境条件、栽培措施不同而有变化<sup>[3,4]</sup>.在本试验中,每个播期里环境条件和栽培管理措施一致,其间各不同 UV 剂量处理的大豆生长发育的差异可以认为是由增加 UV 辐射强度所致.下面给出过量 UV 辐射对大豆的影响量的估算式:

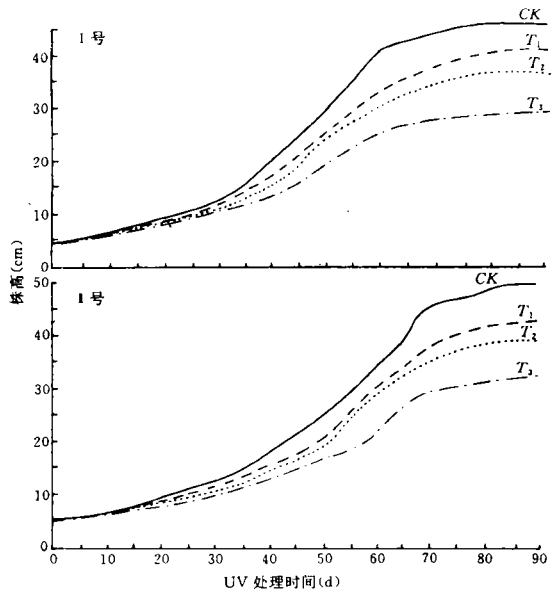


图 1 不同强度 UV 处理后宁镇 I、II 号大豆植株高变化曲线(1993 年第 II 播期试验资料)

Fig. 1 Variations of soybean plant height under treatment of different UV intensities (1993, No. 2 of sowing period)

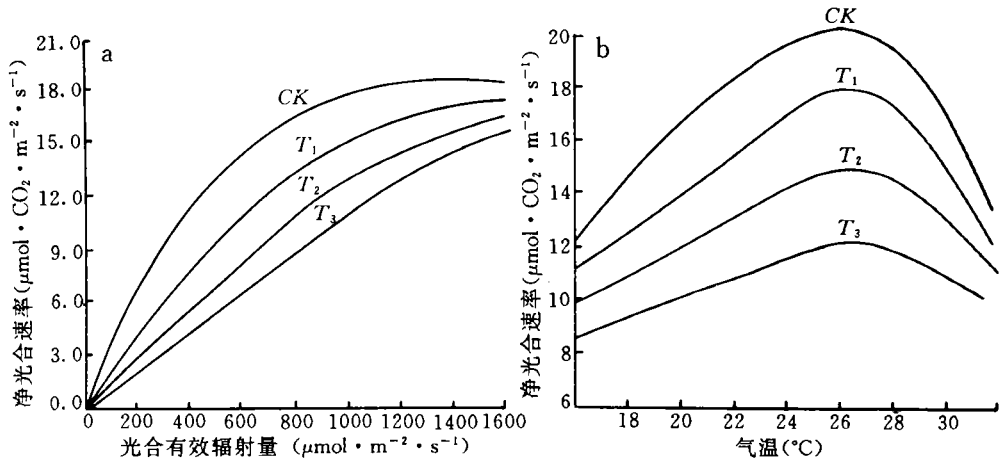


图 2 (a)UV 处理后宁镇 I 号大豆光 - 光合曲线 (b)UV 处理后宁镇 I 号大豆温度 - 光合曲线

Fig. 2 (a) Relationships of light-photosynthesis of No. 1 soybean under enhanced UV radiation

(b) Relationships of temperature-photosynthesis of soybean under enhanced UV radiation

$$\frac{dy_i}{dx} = -k_i y_i \quad (1)$$

式中  $y_i$  为大豆生长发育及产量的各个量(如株高、叶面积等),  $x$  为 UV 辐射强度,  $k_i$  为常数, 表示随 UV 辐射强度的增加, 各个量变化之程度。

式(1)表明, 随 UV 辐射强度的增加, 各个生物量的变化呈递减趋势. 显然, 当  $x \rightarrow 0$  时, 各个生物量达到最大量  $y_0$ , 则

$$-\int_0^x k_i dx = \int_{y_0}^{y_i} \frac{dy}{y} \quad (2)$$

$$y_i = y_0 e^{-k_i x} \quad (3)$$

由式(3)可看出, 随 UV 辐射强度增加, 各生物量呈负指数规律下降, 这符合种群消亡规律<sup>[5]</sup>. 实际观测资料证实了这点(图 4).

根据实测资料可得到过量 UV 辐射对大豆各生物量的影响量的估算式. 显然, 品种不同, 发育期不同, 影响量也不尽相同, 如宁镇 I 号大豆在不同发育期的株高估算式分别为:

$$\begin{aligned} y &= 4.32e^{-0.000001x} && \text{(三叶期)} \\ y &= 12.80e^{-0.1992x} && \text{(旁枝形成期)} \\ y &= 23.40e^{-0.4685x} && \text{(始花期)} \\ y &= 62.79e^{-1.147x} && \text{(结荚期)} \end{aligned} \quad (4)$$

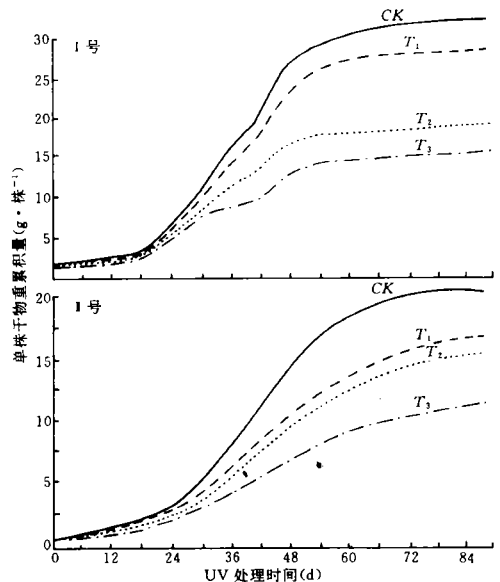


图 3 不同强度 UV 处理后宁镇 I、II 号大豆干物质变化曲线

Fig. 3 Variation curves of No. I and II soybean dry biomass after treatment of different intensities of UV radiation

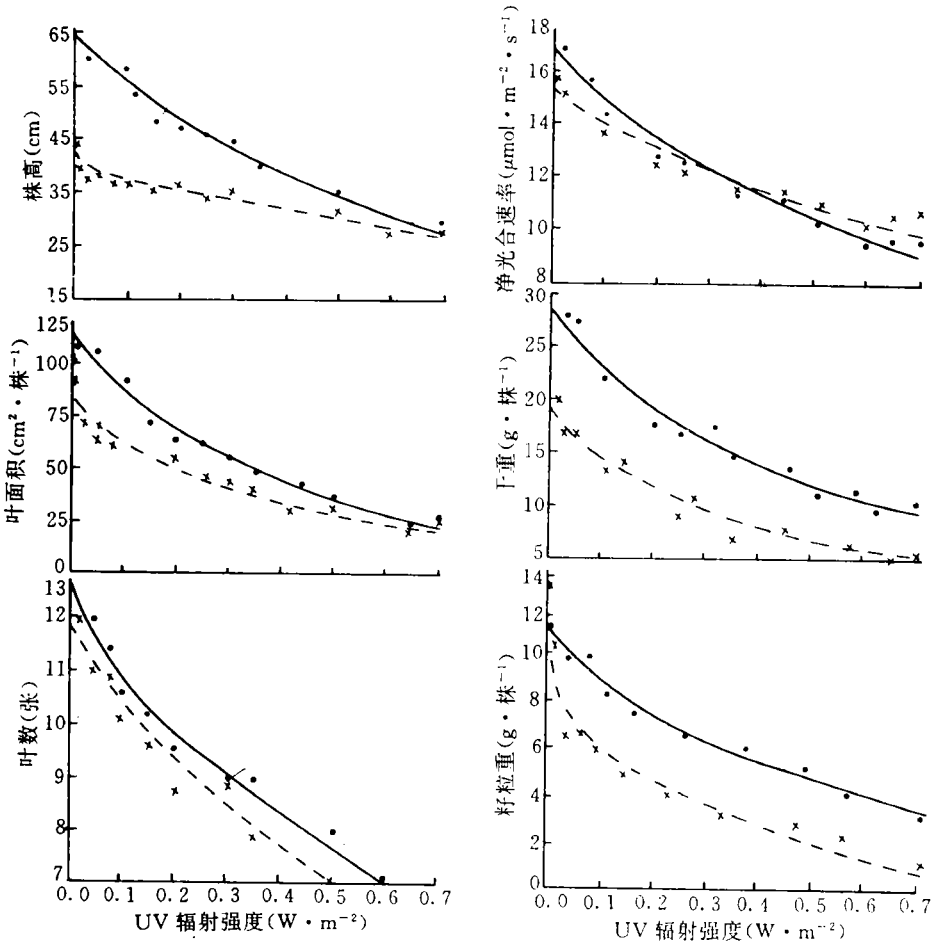


图4 大豆各项指标随UV辐射强度变化及其拟合

(—·—·— 宁镇1号拟合曲线 ···· 宁镇1号实测值  
--- 宁镇2号拟合曲线 -x-x- 宁镇2号实测值)

Fig. 4 Variations of every index of soybean with UV radiation and their fitting

(—·—·— fitting curve for No. 1, ···· measured values for No. 1  
--- fitting curve for No. 2, -x-x- measured values for No. 2)

表2为有代表性的发育期UV辐射对两个大豆品种各项生长生理指标影响的估算式.由表中公式可对任意强度的过量UV辐射对两个品种大豆生长发育及生理、产量等产生的影响作出评估.其估算值与实测值相比较,平均误差在3%~10%之间,拟合效果较好.

根据此类公式,可预测未来大气中UV辐射增加对农作物产生的影响,这为定量了解气候变化对大豆作物产生的影响提高了精度\*.

\* 郑有飞等.未来气候变化对江苏省大豆作物及产量的影响评估.海河大学出版社(待出版).

表 2 过量 UV 辐射量对大豆作物各指标影响的估算式

Table 2 Estimated expressions of various indices of soybean influenced by excessive UV radiation

影响指标	发育期	估算式	样本数	相关系数	平均误差(%)
株高(cm)	结荚期	$y_1 = 62.794e^{-1.147x} (I)$	78	0.980	3.31
		$y_1 = 39.675e^{-0.504x} (II)$	78	0.905	3.34
复叶数	结荚后期	$y_2 = 12.534e^{-1.007x} (I)$	78	0.911	4.61
		$y_2 = 11.848e^{-1.014x} (II)$	78	0.901	5.51
叶面积(cm <sup>2</sup> )	六复叶	$y_3 = 112.928e^{-2.308x} (I)$	78	0.988	3.00
		$y_3 = 77.990e^{-2.040x} (II)$	78	0.919	4.51
光合速率 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	二复叶	$y_4 = 14.546e^{-1.076x} (I)$	78	0.892	9.53
		$y_4 = 13.153e^{-0.786x} (II)$	78	0.853	10.20
	四复叶	$y_4 = 19.5095e^{-0.961x} (I)$	35	0.910	5.87
		$y_4 = 16.466e^{-0.903x} (II)$	35	0.898	7.19
干物重 (g · 株 <sup>-1</sup> )	收获期	$y_5 = 28.045e^{-1.571x} (I)$	78	0.943	2.38
		$y_5 = 18.364e^{-2.103x} (II)$	78	0.945	6.53
粒重 (g · 株 <sup>-1</sup> )	收获期	$y_6 = 10.835e^{-1.505x} (I)$	78	0.993	3.56
		$y_6 = 7.88e^{-2.867x} (II)$	78	0.940	6.92

### 3 结 论

紫外辐射增加对大豆生长发育产生的不利影响表现为植株矮化,复叶数量及叶面积减少,光合速率和蒸腾速率减弱,生理活动受阻,最终导致大豆生物量的减少,产量下降。

过量紫外辐射对大豆的影响程度,可以通过一定的公式进行计算,本文给出了这方面计算公式,其效果较好。

### 参 考 文 献

- Braun J, Tevini M. Regulation of UV-protective pigment synthesis in the epidermal layer of rye seedlings. *Photochemistry and Photobiology*, 1993, **57**(2): 318~323.
- Wright I A, Murphy T M. Short wave ultraviolet light closes leaf stomata. *American J. Bot.* 1982, **69**(7): 1196~1202.
- Teramura A H, Ziska L H, Szein A E. Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation. *Physiologia Plantarum*, 1991, **83**: 373~380.
- Teramura A H, Tevini M, Iwanzik W. Effects of UV-B radiation on plants during mild water stress. *Physiologia Plantarum*, 1983, **57**: 175~180.
- 骆世明. 农业生态学. 湖南: 湖南科技出版社, 1986. 181~182.

## IMPACT OF ENHANCED ULTRAVIOLET RADIATION ON SOYBEAN PRODUCTION AND ITS ESTIMATION

Zheng Youfei Yan Jingyi Yang Zhimin

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

### Abstract

Through the field and pot experiments, the impact of excessive solar ultraviolet (UV) radiation (280 ~ 400 nm) on the soybean plants, including stem pattern, physiological activity and yield, is investigated. Different responses to the three levels (0.15, 0.35, 0.70  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) of UV radiation are expressed of soybean production. The responses change with radiation intensity, various soybean species and environmental conditions. By studying the growth and physiological characteristics of soybean under the excessive UV radiation, several mathematical models are established to elucidate the differences of the two soybean species. The results are satisfactory.

**Key words:** Soybean; UV radiation; Simulation.