

文章编号: 1000-2022(2003) 04-0545-07

UV-B 辐射增加对小麦的影响

张富存¹, 何雨红², 郑有飞², 王传海²

(南京气象学院 1. 气象台; 2. 环境科学系, 江苏 南京 210044)

摘 要: 通过观测, 分析了 UV-B 辐射增加对小麦生长发育的影响, 计算了 UV-B 增加条件下对作物群体生产力生态特征值发生变化的情况。分析结果表明, UV-B 辐射增加影响小麦生长发育表现在: 生育期推迟, 叶面积、分蘖和开花数减少, 植株矮化, 绿叶数、单株干物重、叶重、穗重等减小; 影响小麦群体生产力表现在: 群体生长率、相对生长率、叶面积指数、叶日积、净同化率都在生育期的中后期有大幅度的减小, 从而使小麦每亩株数、每株穗数、每穗粒数、千粒重也明显下降, 最终影响到小麦群体生物学产量及经济学产量。

关键词: UV-B 辐射; 小麦; 生长发育; 生产力

中图分类号: P435. 122. 2 **文献标识码:** A

随着地球生态环境的不断恶化, 大气层臭氧含量逐年减少, 使到达地球表面的紫外线辐射量逐年增加。在过去 20 a 中, 全球范围的臭氧浓度已减少 2 % ~ 3 %, 紫外辐射量增加了 4 % ~ 6 %^[1]。据预测^[2], 在今后 70 a 内, 平流层的臭氧浓度将再减少 2 % ~ 3 %, 紫外辐射将再增加 4 % ~ 20 %, 会对地球生物产生极大的影响。因此, 研究紫外线辐射增加对农作物的影响已成为目前研究的新热点。

国内外专家就紫外辐射增加对作物的影响已经进行了大量的研究, 研究发现紫外辐射增加影响作物的生长发育^[3-5], 包括使作物植株矮化、株型缩小, 抑制根、茎、叶的生长和干物质的积累, 改变根冠比、解除顶端优势, 推迟作物生长发育进程等。紫外辐射对植物的生理生化效应有抑制作物的净光合速率和蒸腾速率^[6-8]。但这些试验结论大多是在人工控制条件下进行的, 由于缺乏大田状况下的对比试验资料, 与实际状况存在着一定距离, 影响到预测评估的准确性。本文通过对小麦增加紫外辐射处理的田间试验, 对小麦单株作物形态(株高、绿叶数、分蘖数、单株叶面积、叶角、茎重、叶重、干物重、穗重、粒数)、群体生产力(生长率、相对生长率、叶面积指数、叶日积、净同化率、干物重、每亩穗数、千粒重)等进行平行观测和计算, 并作了进一步分析。这一研究不仅有利于弥补目前研究的局限性, 还可修正和完善气候变化对小麦影响结果, 可为制定防御紫外线增加对策、减轻农作物受害程度提供科学依据。

收稿日期: 2002-10-11; 改回日期: 2003-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40175029); 海外青年学者合作研究基金项目(4000028503); 江苏省“337 工程”

作者简介: 张富存(1972-), 男, 青海贵南人, 助工, 研究方向: 农业气象。

1 资料和方法

本文所用大田研究资料是 1998 年 10 月—1999 年 5 月、2000 年 10 月—2001 年 5 月在南京气象学院农业气象试验站内小麦试验区里进行的试验获取的。供试品种为扬麦 158, 植株密度大约为 40 万株/亩, 试验田土壤肥力中等偏上, 按常规方法进行田间管理。1998 及 2000 年 11 月 1 日播种, 出苗后即进行 UV-B 辐射处理至收获。

试验分 3 个水平处理, CK、T1(弱)、T2(强), CK 为自然光照(用作对照), T1、T2 为在自然光照基础上增加 UV-B 辐射, 采用了国产“黑—光”灯, 其光谱为 280~400 nm(宽波段紫外辐射, UV-AB), 强度为 $0.32\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 和 $0.61\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, 分别相当于南京地区夏天日平均紫外辐射强度的 3.8% 和 6.9%, 每日照射 8 h(08 时到 16 时)。观测时间是每隔 5 d 观测一次, 每一个处理(CK, T1、T2)随机抽取 5 株小麦, 作为观测对象。观测项目包括: 小麦发育期、株高、绿叶数、分蘖数、根、茎、叶、穗、子粒的鲜重和干重、叶面积等。

2 结果与分析

2.1 UV-B 增加对小麦单株生长发育的影响

不同作物对 UV-B 辐射的增强有不同的敏感性, 小麦属于中等敏感作物^[2], 但试验结果表明, UV-B 辐射增强对小麦仍有较大的影响(图 1)。

UV-B 增强能使小麦单株株高受抑, 发生矮化现象^[4]。本试验结果亦如此。如图 1 所示, 虽各处理下小麦单株株高都大致符合 S 型曲线, 但受 UV-B 辐射增强的影响, T1、T2 两处理小麦株高在整个生育期都比对照矮, 其矮化程度随 UV-B 增大明显。至 5 月 9 日试验结束, T1、T2 两个处理小麦株高分别为对照的 89%~97% 和 81.9%~92.7%。

UV-B 辐射增加也对小麦绿叶数产生了影响。叶片是小麦进行光合作用的主要器官, UV-B 增加对绿叶数的影响必将对小麦的生物量 and 经济产量产生影响。如图 2 所示, 小麦单株绿叶数在各个处理都呈抛物线型分布, 但 UV-B 增强下的 T1、T2 处理, 单株的绿叶数较 CK 少, 且

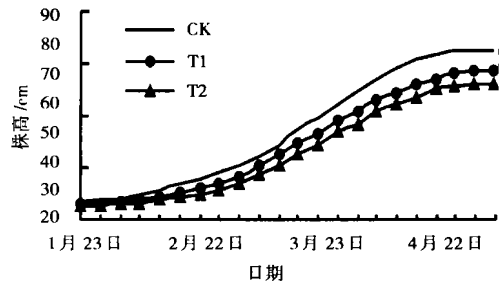


图 1 UV-B 增加对小麦单株株高的影响
Fig. 1 Influence of enhanced UV-B radiation on the height of wheat plant

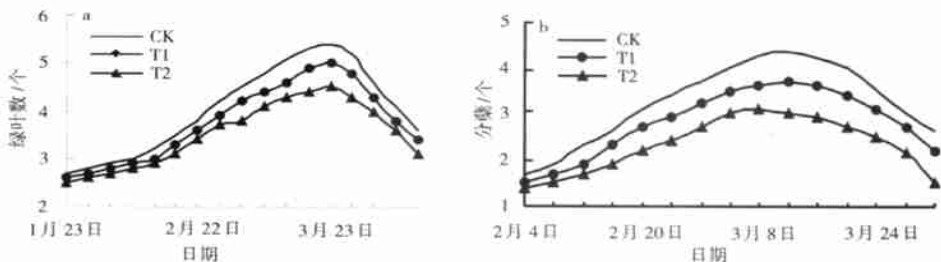


图 2 UV-B 增加对小麦单株绿叶数(a)、单株分蘖(b)的影响
Fig. 2 Influence of enhanced UV-B radiation on the number of green leaves(a) and the tillers(b) of single wheat plant

随 UV-B 辐射增强, 绿叶数减少的越多。UV-B 辐射增加对小麦单株绿叶数的影响在拔节到开花期表现尤为明显, T₁、T₂ 分别为 CK 的 90.2 %、82.7 %, 而在其他生育期 UV-B 增加对绿叶数的影响较小。

图 2 还表明, UV-B 辐射增加, 小麦单株分蘖显著减少, 且也有 UV-B 强度越大, 减少越多的规律。在分蘖盛期, CK、T₁、T₂ 的分蘖数分别为: 4.3、3.7、3.0, T₁、T₂ 分别比 CK 下降了 14 %、29.2 %。这将在减少小麦群体有效穗数的同时, 增加了对小麦株高、绿叶数的影响, 减少了小麦的光合有效面积, 从而影响小麦单株干物质累积, 对后期麦穗的形成和籽粒的充实产生了严重的影响。

图 3 表明, 小麦群体的叶重、茎重、穗重及总干物重, 均随 UV-B 的增加而减少, 且减小的幅度基本一致, 都随处理时间增长和强度增大而减小的越多。其中, UV-B 增加对穗重和每穗粒数影响最显著, T₁、T₂ 的穗重分别是 CK 的 79.8 %、60.5 %, 这是因为齐穗前 T₁、T₂ 茎、叶内贮藏物质转运到籽粒中的要比转运到 CK 的少。

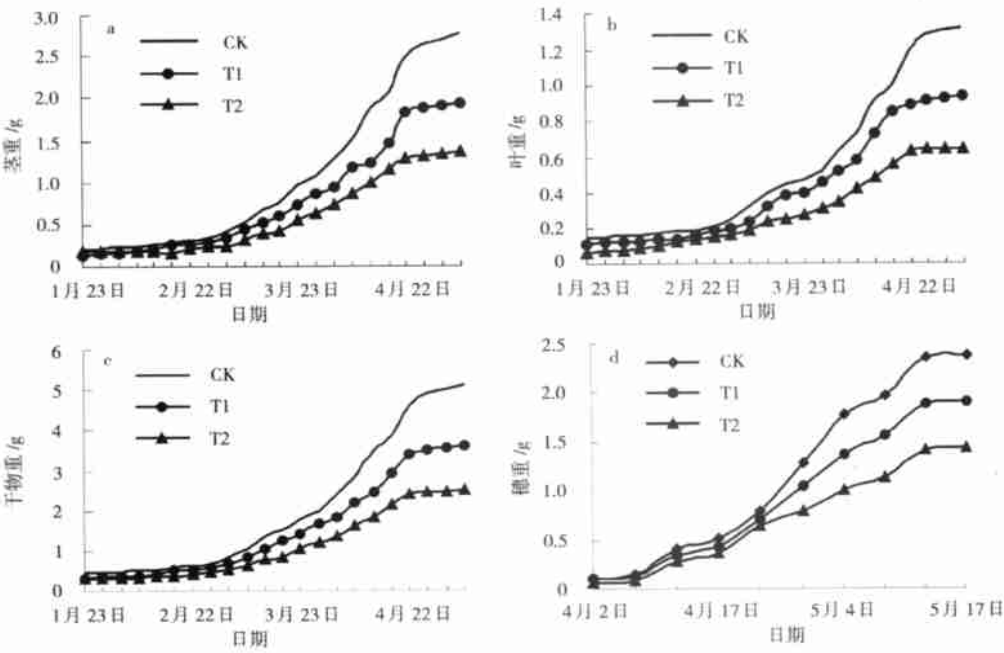


图 3 UV-B 增加对小麦单株茎重(a)、叶重(b)、干物重(c)和穗重(d)的影响

Fig.3 Influence of enhanced UV-B radiation on the weight of stem(a), leaf(b), dried stuff(c) and ear(d) of wheat

UV-B 辐射增强能推迟小麦生长发育进程(表 1), T₂ 处理的滞后效应在三叶期就已初显其生物效应, T₁ 处理的滞后效应在分蘖至拔节期出现。在整个生育期, 以拔节至抽穗期对 UV-B 辐射最敏感, T₁、T₂ 两处理导致孕穗期相对于 CK 分别滞后了 5 d 和 6 d; 此后的开花到成熟期又表现出明显的减弱, T₁、T₂ 处理组小麦生长至成熟期分别比 CK 推迟 2 d 和 3 d。

2.2 UV-B 增加对小麦群体生产力的影响

试验表明, UV-B 辐射增加对小麦单株的生长和生物量的显著影响, 这将造成对作物群体生产力的削弱。本文计算了 T₁、T₂ 处理后小麦的群体生产力的各项指标, 同时进一步分析 UV-B 增加对小麦群体生长发育的影响。

表 1 UV-B 增加对小麦发育进程的影响(2000 年 11 月 2 日到 2001 年 5 月 10 日)

Table 1 Influence of enhanced UV-B radiation on the growth of wheat

处理	日期									
	播种	出苗	三叶	分蘖	拔节	孕穗	抽穗	开花	灌浆	成熟
CK	11-02	11-09	11-19	11-27	02-14	03-14	03-21	04-03	04-24	05-10
T1	11-02(0)	11-09(0)	11-19(0)	11-28(1)	02-17(3)	03-19(5)	03-24(3)	04-06(3)	04-27(3)	05-12(2)
T2	11-02(0)	11-09(0)	11-20(1)	11-30(2)	02-19(5)	03-20(6)	03-25(4)	04-06(3)	04-27(3)	05-13(3)

注: 括号中数据为和对照的日期差。

2. 2. 1 UV-B 增加对小麦群体生长率影响

作物生长速率(CGR)是作物群体在单位时间单位土地面积上的干物质增量,是生产力的反映,它表示作物生长的快慢。其计算公式为

$$R_{CG} = \frac{W_1 - W_2}{t_1 - t_2}。$$

(1)

式中 W_2 、 W_1 分别为第 2 次与第 1 次测定单位土地面积上的作物干重; $t_2 - t_1$ 为两次测定的时间间隔^[2]。单位为 $g/(m^2 \cdot d)$ 。

小麦群体生长速率即干物质的积累随 UV-B 辐射强度和不同生育期而表现不同(表 2)。T1、T2 两个处理的小麦群体生长速率在各生育期都小于 CK, 且对生育后期的影响较大。在整个生育期, T1、T2 处理的生长速率分别为 CK 的 54. 67 %~86. 08 %、28. 9 %~57. 45 %, 说明 UV-B 辐射增强对小麦生长前期的作用虽不明显, 但经过不断累加, 使生长中后期作物群体光合速率减小, 造成积累的干物质显著下降, 影响最终生物学产量的形成。

表 2 UV-B 增加对小麦群体生长率 R_{CG} 的影响

Table 2 Influence of enhanced UV-B radiation on the growth rate of wheat community

日期	CK 的 $R_{CG}/$ $g/(m^2 \cdot d)$	T1 的 $R_{CG}/$ $g/(m^2 \cdot d)$	T1 和 CK 的 R_{CG} 比/ %	T2 的 $R_{CG}/$ $g/(m^2 \cdot d)$	T2 和 CK 的 R_{CG} 比/ %
02-12	5. 9	4. 4	74. 96	3. 12	52. 91
02-17	9. 7	6. 8	70. 59	5. 14	53. 07
02-22	14. 5	10. 4	72. 03	7. 25	49. 99
02-27	16. 8	13. 3	79. 12	7. 14	42. 59
03-04	19. 3	15. 3	79. 12	10. 17	52. 69
03-09	19. 1	16. 5	86. 08	11. 00	57. 45
03-14	21. 7	15. 4	70. 93	10. 77	49. 66
03-19	26. 5	18. 9	71. 38	14. 65	55. 37
03-23	35. 1	20. 8	59. 37	15. 96	45. 5
03-28	37. 7	25. 0	66. 17	18. 19	48. 22
04-02	44. 8	31. 4	70. 12	20. 46	45. 73
04-07	42. 9	26. 3	61. 34	16. 33	38. 05
04-12	30. 9	21. 9	70. 83	12. 14	39. 28
04-17	25. 6	14. 0	54. 67	7. 41	28. 9

2.2.2 UV-B 增加对小麦群体叶面积指数(LAI)的影响

LAI 是单位土地面积上的绿叶面积与该土地面积之比,是衡量群体结构是否合理的一个重要指标。本试验采用称重法测定小麦群体的叶面积指数。

统计结果表明,全生育期 3 个处理的叶面积指数大致拟合抛物线形式(图 4)。UV-B 辐射增强对小麦叶面积指数的影响,表现在同一生育期随 UV-B 强度增大而 LAI 减小,开花至灌浆期的 LAI 减少最多,此时,T1、T2 的叶面积指数值仅占 CK 的 81.65 % 和 83.12 %,表明 UV-B 辐射增加将使叶面积指数大幅度减小,同时也减少了单位时间、单位面积上参加光合作用的叶面积,导致生物学产量的减少。

2.2.3 UV-B 对小麦群体净同化率的影响

净同化率(NAR)也称光合生产率。它是指每平方米叶面积上干物质的增量。其表达式为

$$R_{NA} = \frac{\ln U_2 - \ln U_1}{U_2 - U_1} \frac{W_1 - W_2}{t_1 - t_2}。$$
 (2)

式中 U_2 、 U_1 分别为第一次与第二次测定的叶面积指数; W_2 、 W_1 分别是第一次与第二次测定的干物重; t_2 、 t_1 是两次测定的时间间隔日数。UV-B 增加对小麦净同化率的影响,根据本次试验有以下结果(表 3)。

由表 3 知,净同化率变化趋势为:整个生育期,各处理组净同化率均有 $CK > T1 > T2$

表 3 UV-B 辐射增加对小麦群体净同化率 R_{NA} 的影响

Table 3 Influence of enhanced UV-B on the net assimilation rate of wheat community

日期	CK 的 R_{NA} / $g/(m^2 \cdot d)$	T1 的 R_{NA} / $g/(m^2 \cdot d)$	T1 和 CK 的 R_{NA} 比/ %	T2 的 R_{NA} / $g/(m^2 \cdot d)$	T2 和 CK 的 R_{NA} 比/ %
02-12	3.31	2.68	80.86	1.97	59.61
02-17	5.03	4.01	79.73	3.12	62.02
02-22	7.08	5.51	77.81	4.10	57.90
02-27	7.48	6.78	90.68	3.81	51.00
03-04	7.59	6.76	89.13	5.16	68.00
03-09	6.55	6.44	98.36	4.86	74.21
03-14	6.38	5.00	78.29	4.14	64.92
03-19	7.06	5.37	76.07	4.62	65.36
03-23	7.84	5.14	65.54	4.25	54.19
03-28	7.27	5.46	75.13	4.29	59.05
04-02	7.57	5.81	76.78	4.07	53.78
04-07	6.20	4.35	70.18	2.85	46.05
04-12	4.02	3.27	81.29	2.09	51.98
04-17	3.14	2.03	64.61	1.27	40.40

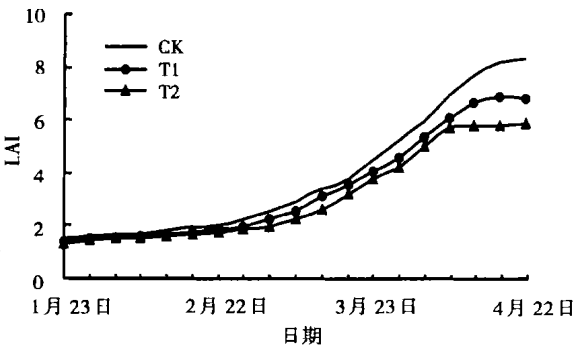


图 4 UV-B 增加对小麦群体 LAI 影响
Fig. 4 Influence of enhanced UV-B radiation on the LAI of wheat community

的趋势,且 UV-B 辐射越强净同化率减少越多;对于不同处理组,小麦净同化率变化趋势基本一致,在生育期前期(02-12—03-04),3 个处理组的净同化率都是一个逐渐增加的过程;在生育中期(03-04—04-02),各处理组净同化率基本维持在±1 范围内变动;在生育后期(04-02—04-17),各处理组净同化率又开始减小,直至小麦成熟。另外,从表 3 还可看出,紫外辐射对小麦净同化率的影响在生育前期要小于中后期,在生育前期 T1、T2 的净同化率占 CK 百分比变化范围为:77.81 %~90.68 %、51.00 %~68.00 %,而在生育中后期 T1、T2 的净同化率占 CK 百分比变化范围为:64.61 %~98.36 %、40.40 %~74.21 %。

2.2.4 UV-B 增加对小麦群体产量结构的影响

UV-B 辐射增强后,小麦群体株高、绿叶数、叶面积、生长率、净同化率均出现不同程度的下降,这将对小麦群体干物重、产量结构等产生不利的影响。

试验结果表明,UV-B 增强对小麦干物质累积的影响与以上各因素的影响保持同步变化,与 CK 相比,T1、T2 两个 UV-B 处理组的小麦群体干物质累积表现出明显的被抑制作用,到试验结束时,扬麦 158 群体干物重分别是 CK 的 69.55 %、46.87 %。UV-B 对作物群体干物重的影响随生育期进程而加大,但不同时期 UV-B 的影响量是不同的,UV-B 对小麦群体的干物重影响主要表现在拔节以后到开花以前。小麦干物重的下降直接导致小麦每穗粒数和千粒重的降低(表 4),这是 UV-B 增强影响小麦产量的一个重要原因。从表中还可见,每穗粒数的减少又是产量下降的最主要的影响因素。另外,每亩穗数的减少也是 UV-B 增加导致小麦产量下降的原因之一,而每亩穗数的减少又是单株分蘖降低造成的。

表 4 UV-B 增加对作物群体产量结构的影响

Table 4 Influence of enhanced UV-B radiation on the yield structure of wheat

处理	干物重/(g/m ²)	每亩穗数/万	每穗粒数/颗	千粒重
CK	2 080.9(100)	271 900(100)	47.48(100)	32.39(100)
T1	1 447.6(69.55)	267 900(98.53)	40.90(86.10)	29.54(91.20)
T2	974.95(46.87)	260 000(95.62)	35.32(74.70)	26.72(82.50)

注:括号中数据为和对照的百分比。

3 结 论

UV-B 辐射增加将使小麦的生长发育在单株和群体生产力等诸多方面受到不同程度的影响,且随 UV-B 辐射增强,所受的抑制作用越明显。就单株小麦而言,将出现绿叶数减少、植株矮化,单株干重、叶重、穗重等减小的情况。对小麦群体的影响表现在:生育期推迟,叶面积、分蘖数和开花数减少,群体生产力下降,作物的生长速率、相对生长率、叶面积指数、叶日积及净同化率在生育期的中后期都有大幅度的减小。对小麦产量结构而言,每亩株数、每株穗数、每穗粒数、千粒重也下降明显,最终影响到小麦群体生物学产量及经济学产量。

参考文献:

[1] 郑有飞,颜景义,杨志敏.等. UV-B 增加对作物的影响及对策[J]. 中国农业气象, 1996, 17(4): 50-53.
[2] 郑有飞,杨志敏,颜景义. 紫外辐射增加对大豆影响及其估算[J]. 应用气象学报, 1995, 6(4): 442-448.
[3] 郑有飞,杨志敏. 作物对紫外辐射增加的生物学效应及其评估[J]. 应用生态学报, 1996, 7(1): 107-109.
[4] Tevini M, Teramura A H. UV-B effects on terrestrial plants[J]. Photochem and Photobiol, 1989, 50: 479-487.
[5] Teramura A H. Effects of ultraviolet radiation on the growth and yield of crop plants[J]. Physiol Plant, 1983, 58: 415-

427.

- [6] Noorudeen A M, Kalandaivelu G. On the possible site of inhibition of photosynthetic electron transport by ultraviolet B radiation[J]. *Physiol plant*, 1982, 55: 161-166.
- [7] Murali N S, Teramura A H. Effect of supplemental UV-B radiation on the growth and physiology of field grown soybean[J]. *Environ and bot*, 1986, 26(3): 233-235.
- [8] Teramura A H, Biggs R H, Kossuth S. Effects of UV-B radiation on soybean 2[J]. *Plant Physiol*, 1980, 65: 480-482.

Effect of Enhanced UV-B Radiation on Wheat

ZHANG Fu-cun¹, HE Yu-hong²,
ZHENG You-fei², WANG Chuan-hai²

(1. Meteorology Laboratory; 2. Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the observational data, the effect of enhanced UV-B radiation on the growth of wheat is investigated and the ecological feature of the plant community productivity is calculated under the condition of UV-B enhancement. The results show that this effect is mainly displayed in delaying plant growth, reducing leaf area, tiller and number of flowering, shortening plant height, decreasing the number of green leaves, the weight of dried stuff, leaf and ear. In addition, it also affects the productivity of wheat such as its community growth rate, comparative growth rate, leaf area index, daily leaf accumulation, net assimilation rate, all of which are decreased significantly in the middle and late stages of its growing period. As a result, the number of wheat plant per unit area, the ear number of single plant, the grain number per ear and the weight of 1 000 grains are reduced substantially, which influences the yield product of biology and economy of wheat community.

Key words: UV-B radiation; wheat; growth; productivity