

# 增强 UV-B 辐射与干旱复合处理对小麦幼苗生理特性的影响

冯虎元<sup>1,2</sup>, 安黎哲<sup>1,2</sup>, 陈书燕<sup>1</sup>, 王勋陵<sup>1\*</sup>, 程国栋<sup>2</sup>

(1. 兰州大学生命科学学院干旱农业生态国家重点实验室, 兰州 730000, 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 冻土工程国家重点实验室, 兰州 730000)

**摘要:**为研究由于平流层臭氧层减薄紫外线 B 辐射增强在干旱地区对春小麦生理特性的影响的特殊性,模拟平流层臭氧减少 20% 时辐射到地表的紫外线 B(UV-B, 280~315 nm) 的增强和水分胁迫(-0.5MPa, 聚乙二醇 PEG-6000 处理获得),通过测定两种胁迫下春小麦(*Triticum aestivum* L.) 叶绿素含量、类黄酮含量、水势、细胞膜相对透性、超氧化歧化酶(SOD)活性及丙二醛(MDA)含量,研究了增强 UV-B 辐射和水分胁迫复合作用对温室种植的小麦幼苗生理生化的影响。实验结果表明,虽然水分胁迫和 UV-B 辐射单独或复合处理都使春小麦的叶绿素含量降低,但仅 UV-B 辐射增强单独处理显著地降低小麦叶绿素 a、b 和总叶绿素的含量,而水分胁迫以及复合处理对叶绿素的含量的降低作用不显著。两种胁迫无论是单独作用还是复合作用均能使类黄酮含量升高,并且处理第 3 天比第 1 天高出近 50%,复合处理下类黄酮的含量大于两个因子单独处理。UV-B 辐射和水分胁迫处理 1d 对春小麦叶片的相对电导率的影响不明显,处理 3d 后两种胁迫下相对电导率均上升,表明膜透性增加,其中水分胁迫作用下增加尤其明显。膜质过氧化产物丙二醛的含量,在两种因子单独和复合作用下都升高,说明膜的生理功能受到了一定的不利影响。活性氧清除剂超氧化物歧化酶(SOD)的活性在各种处理下,都没有发生改变。虽然增强的 UV-B 辐射和干旱处理一样,会显著降低植物水势,但是,UV-B 辐射与干旱同时处理时叶片水势降低的程度,不但没有比两者分别处理时降低程度之和低,而且比单做干旱处理时的降低程度还低,这表明 UV-B 辐射和干旱胁迫同时处理时,UV-B 辐射不但没有加重水分胁迫,反而减轻了干旱对春小麦生长的胁迫。由此可以认为,在干旱条件下,增强 UV-B 辐射不会加剧而是有利于提高小麦对干旱的抗性。

**关键词:**UV-B 辐射; 水分胁迫; 小麦; 生理特征

## The Interactive Effects of Enhanced UV-B Irradiation and Water Deficit on Physiological Properties of Spring Wheat Seedling

FENG Hu-Yuan<sup>1,2</sup>, AN Li-Zhe<sup>1,2</sup>, CHEN Shu-Yan<sup>1</sup>, WANG Xun-Ling<sup>1</sup>, CHENG Guo-Dong<sup>2</sup> (1. School of Life Sciences, State Lab of Arid Agriocology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Lab of Frozen Soil Engineering Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1564~1568.

**Abstract:** The depletion of the stratospheric ozone layer has been well documented, so ultraviolet-B radiation (UV-B) (280~315nm) reaching the earth surface has increased since 1970s. Although extensive studies were done about biological and ecological effects of enhanced UV-B radiation, little was known about the effect of increased UV-B irradiance and water deficit on plants. In the present paper, the effects of ultraviolet-B irradiation and drought stress alone or combination on contents of chlorophyll, MDA, and flavonoids, water potential, relative leakage ratio and SOD activity in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under greenhouse conditions were studied. Supplemental UV-B irradiation simulated a 20% stratospheric ozone depletion in Lanzhou on summer solstice day. Water stress was produced by adding polyethylene glycol (PEG-6000) to maintain a water potential -0.5MPa. Chlorophyll a and b, and total

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170186, 30170083); 中国科学院“百人计划”资助项目; 中国科学院知识创新工程重点资助项目(KZCX1-09)

\* 通讯作者 Author for correspondence

收稿日期:2000-11-28; 修订日期:2002-03-26

作者简介:冯虎元(1967~),男,甘肃天水人,博士。主要从事环境生物学研究。E-mail:fenghy@Lzu.edu.cn

chlorophyll contents were decreased by enhanced UV-B radiation, drought stress and the two stresses combined had no significant impact on these pigments. Increased UV-B radiation or water deficit applied alone or combined caused an enhancement of flavonoid contents, and the content in third day of treatment was obviously greater than the first day. The relative leakage ratio was significantly in each treatment only after three day, the MDA content was significantly enhanced and water potential reduced by UV-B radiation and/or drought, indicating the increase of membrane permeability and change of physiological function. The effect of combined stresses on water potential was less than that of water stress alone. UV-B radiation, water deficit or all together had no statistically obvious influence on the activity of SOD. The results indicated that the effects of the combination of enhanced UV-B radiation and drought stress may increase the tolerance of wheat seedlings to one of stresses.

**Key words:** UV-B radiation; water stress; *Triticum aestivum*; physiological properties

文章编号:1000-0933(2002)09-1564-05 中图分类号:Q945.11,S181,S512.1 文献标识码:A

平流层臭氧(O<sub>3</sub>)浓度的减少导致辐射到地球表面的紫外线(主要是 280~315nm 的 B 区,简称 UV-B)增强是人们普遍关注的全球环境问题之一,近年来,在我国青藏高原也观测到季节性的臭氧层衰减。因此,研究增强的紫外线(UV-B)辐射所产生的生物学和生态学效应具有重要的理论和实践意义,目前国内外已经进行了大量的研究<sup>[1~3]</sup>。以往的研究大多集中在 UV-B 辐射这一单一因子作用,在干旱和半干旱的地区,干旱胁迫时常存在的情况下,增强的 UV-B 辐射如何影响植物的生长、发育以及生理生化代谢,国内外报道很少<sup>[1~5]</sup>。鉴于此,本文以小麦为材料,研究增强 UV-B 与干旱对其生理代谢的影响及相互作用的机理。

1 材料与方法

1.1 材料处理

春小麦和尚头品种(*Triticum aestivum* L. cv. *heshangtou*)(甘肃省农业科学研究院)作为研究材料。种子经 5%次氯酸钠消毒后,室温 20℃预萌发 24 h。选择萌发一致的种子均匀种于盛有石英砂的瓷盘中,放置于人工气候室培养,定期浇灌 Hoagland 营养液。幼苗长出第 3 叶时,分成 4 组进行处理:对照、UV-B 辐射处理、水分处理和 UV-B 与水分胁迫复合处理。分别于处理后的第 2 和第 4 天取叶片测定各项指标,每项指标的测定不少于 3 次,实验重复 2 次。

1.2 UV-B 辐射和水分处理

UV-B 辐射方法<sup>[6]</sup>和强度见文献<sup>[7]</sup>,紫外灯管(秦牌,波长峰值 305nm,宝鸡光源研究所生产)产生的 UV-B 辐射经 0.08mm 乙酸纤维素膜过滤后照射植物,每天处理 7h (10:00~17:00),辐射剂量用北京师范大学光学仪器厂的 UV-B 辐照计测定,并经 Caldwell<sup>[8]</sup>的经验公式转换,得到实际的生物有效辐射(Biologically effective radiation, UV-B<sub>BE</sub>)。

水分胁迫用聚乙二醇(PEG-6000)进行,处理强度为-0.5MPa。

1.3 指标测定

叶绿素含量的测定采用 Lichtenthaler<sup>[9]</sup>的方法。类黄酮含量用 5ml 酸化甲醇(甲醇:蒸馏水:盐酸,79%:20%:1%,v/v)提取,在 305nm 处测定光吸收。用李锦树<sup>[10]</sup>的方法测定细胞膜相对透性,用相对电导率表示。水势的测定用兰州大学植物生理实验室研制的水势仪测定。丙二醛含量采用 Buege 和 Aust<sup>[11]</sup>的方法。SOD 活性的测定采用王爱国等<sup>[12]</sup>的方法。

2 结 果

表 1 的数据表明,虽然水分和 UV-B 辐射单独或复合处理都使春小麦和尚头品种的叶绿素含量降低,但仅 UV-B 辐射增强单独处理显著地降低小麦幼苗叶片的叶绿素 a、b 和总叶绿素的含量( $p<0.05$ ),而水分胁迫以及复合处理对叶绿素的含量的影响不显著( $p>0.05$ )。对类黄酮来说,两种胁迫无论是单独作用还是复合作用均使类黄酮含量升高,并且处理第 3 天比第 1 天高出近 50%,表明时间积累效应(图 1)。另外,从图 1 还看出,水分胁迫下,类黄酮含量的增加比 UV-B 辐射增强处理更加明显,复合处理下类黄酮的含

量大于两个因子单独处理。从图 2 看,对于细胞膜的通透性的变化,处理 1d 后对春小麦叶片的相对电导率的影响不明显,处理 3d 后各种胁迫下相对电导率均上升,表明膜透性增加,其中水分胁迫作用下增加尤其明显。膜质过氧化产物丙二醛的含量,在两种因子单独和复合作用下都升高,说明膜的生理功能受到了一定的影响(图 3)。活性氧清除剂超氧化物歧化酶(SOD)活性在各种处理下,都没有发生改变(图 5)。增强的 UV-B 辐射和水分胁迫单独处理时显著影响春小麦叶片的水势( $p<0.05$ ),但水分对植物叶片的水势的影响大于 UV-B 辐射(图 4),两者复合处理比水分胁迫处理的作用低,表明 UV-B 辐射和水分胁迫复合处理并没有加重而是减轻了水分亏缺(图 4)。

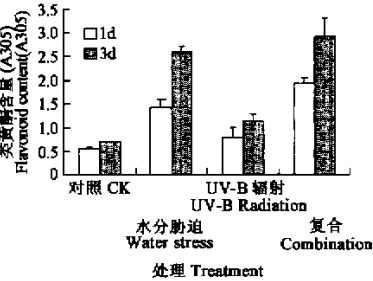


图 1 UV-B 辐射和水分胁迫对小麦幼苗类黄酮含量的影响

Fig. 1 Effects of enhanced UV-B radiation and water stress on flavonoid contents of spring wheat leaves

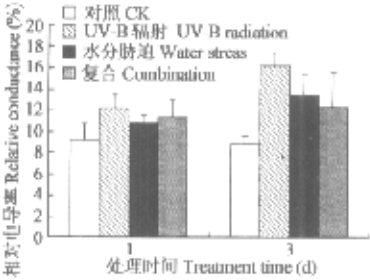


图 2 UV-B 辐射和水分胁迫对小麦幼苗相对电导率的影响

Fig. 2 Effects of enhanced UV-B radiation and water stress on relative conductance of spring wheat leaves

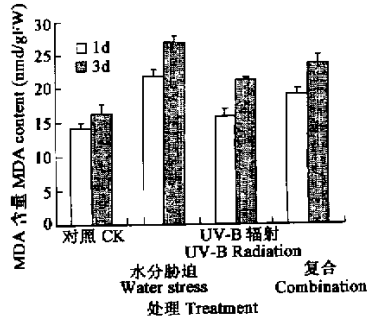


图 3 UV-B 辐射和水分胁迫对小麦幼苗丙二醛的影响

Fig. 3 Effects of enhanced UV-B radiation and water stress on MDA of spring wheat leaves

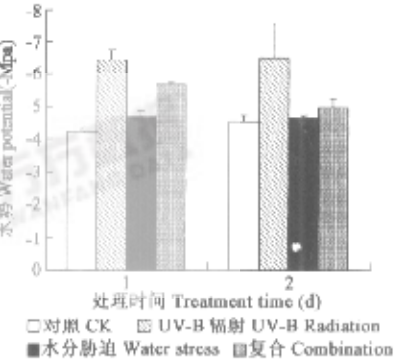


图 4 UV-B 辐射和水分胁迫对小麦幼苗水势的影响

Fig. 4 Effects of enhanced UV-B radiation and water stress on water potential of spring wheat leaves

3 讨论

许多研究者报告增强的 UV-B 辐射使植物叶片 UV-B 吸收物质(主要是类黄酮)的含量增加,这主要是与类黄酮合成有关的基因表达增加的结果。本试验得出,单独的 UV-B 辐射和干旱处理使小麦叶片类黄酮含量上升,复合处理对类黄酮的积累作用比单独作用时效应更加明显(图 1)。类黄酮能强烈吸收 UV-B,植物体类黄酮含量的增加是一种适应和保护性响应,可减轻的程度受伤害<sup>[8,13]</sup>。Sullivan 和 Teramura<sup>[14]</sup>认为干旱和 UV-B 辐射复合作用下,干旱引起类黄酮含量升高,从而提供了更多的 UV-B 吸收物质,增强了对 UV-B 辐射的保护作用,可能是两者产生相互作用减轻一种伤害的主要原因,这与本实验的结果完

全一致(图 1)。UV-B 作用下叶绿素含量的显著下降(表 1),这表明高能短波光可能抑制叶绿素的合成<sup>[2]</sup>,或促进了叶绿素的降解<sup>[1]</sup>,从而损害植物光系统的正常功能<sup>[2,3]</sup>。

Schmidt 等研究拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)在 UV-B 辐射和水分亏缺复合作用下,植物体新产生一种小分子物质 dehydrin(60 kD),这种物质同一些渗透调节物质(如离子、可溶性蛋白和糖类)一起维持细胞正常的生理功能<sup>[16]</sup>。膜脂质过氧化是各种胁迫导致小麦生理伤害的主要环节之一<sup>[17]</sup>,环境胁迫加强活性氧的产生导致氧化伤害,从而干扰新陈代谢。单独或复合的胁迫均使叶片中脂质过氧化产物(MDA)含量上升,但复合作用下增加 MDA 的程度较单因子下的程度轻,表明复合作用对春小麦膜伤害的程度小于单一因素(图 2)。细胞膜透性的改变(图 3)、MDA 含量的升高、叶绿素含量的降低(表 1),会影响植物的生物量积累和生长。正常情况下,植物体内活性氧的产生和清除处于一种动态的平衡状态,超氧化物歧化酶(SOD)等酶在维持平衡中起着重要的作用。本试验结果表明,无论是单独的还是复合作用,对 SOD 的活性影响都不显著。这一结果与王邦锡等<sup>[17]</sup>在干旱处理的小麦中,陈拓和王勋陵<sup>[18]</sup>在 UV-B 辐射处理的小麦中时的结果一致,但与 Balakumar 等<sup>[15]</sup>和李元等<sup>[19]</sup>的结果不同。这是否由实验的植物种类和实验的条件不同造成,有待进一步研究。

表 1 水分胁迫和 UV-B 复合作用对小麦叶片叶绿素含量的影响(mg/g FW)  
Table 1 The interactive effects of enhanced UV-B radiation and water stress on chlorophyll content of spring wheat leaves

处理 Treatment	处理 1d 1 day			处理 3d 3 days		
	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	总叶绿素 Total chlorophyll	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	总叶绿素 Total chlorophyll
对照 Control	0.95±0.03	1.16±0.13	2.11	0.89±0.04	1.01±0.04	1.89
水分胁迫 Water stress	0.93±0.15	0.98±0.07	1.91	0.83±0.10	0.85±0.06	1.69
UV-B 辐射 UV-B radiation	0.83±0.04	0.72±0.02	1.55	0.66±0.11	0.58±0.03	1.24
复合 Combination	0.92±0.05	0.84±0.02	1.76	0.76±0.11	0.75±0.01	1.51

对于干旱与 UV-B 之间的相互关系的阐明,有利于加深对平流层臭氧损耗的潜在作用的预见,正确预测未来全球变暖干旱加剧、UV-B 辐射增强对作物产量和生长能力的影响<sup>[1~6]</sup>。Allen 等<sup>[4]</sup>的实验表明单独增强 UV-B 辐射导致的类黄酮增加已足够保护其光合膜和生物量积累免受破坏。Petropoulou 等<sup>[6]</sup>观察到,增强 UV-B 辐射可减轻夏季干旱对两种地中海松的负作用,对这一现象,Björn<sup>[3]</sup>解释为在各种胁迫下植物启动相似的防御机制。而 Gehrke<sup>[20]</sup>在一种苔藓中发现,在水分胁迫下,UV-B 抑制其生长,供水充足时,生长受到促进。这说明植物对 UV-B 辐射和干旱或水分亏缺的响应有种间或品种间的差异性<sup>[16]</sup>。

综上所述,我们的结果表明,UV-B 和干旱单独作用会导致小麦幼苗叶片色素和其它生理特征的变化,光合作用色素含量下降,类黄酮含量升高,电导率和膜脂质过氧化产物增加高,水势上升等,但在复合作用下,植物受影响的程度并非单因子胁迫的加和,而是低于两者之和,表明春小麦对两种胁迫因子作用有交叉适应现象(cross-adaptation),至于这种交互作用的机理,需要深入研究。

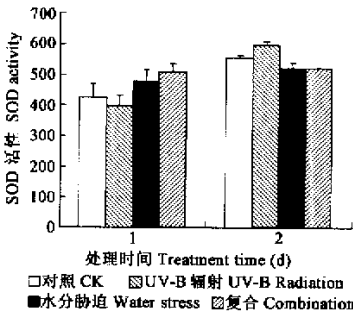


图 5 UV-B 辐射和水分胁迫对小麦幼苗 SOD 活性的影响  
Fig. 5 Effects of enhanced UV-B radiation and water stress on SOD activity of spring wheat leaves

## 参考文献

- [1] Caldwell M M, Björn L O, Bornman J F, *et al.* Effects of increased solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. *J. Photochem. Photobiol. Biol.*, 1998, **46**:40~52.
- [2] Björn L O. Effects of ozone depletion and increased UV-B radiation on terrestrial ecosystems. *Intern. J. Environ. Stud.*, 1996, **51**:217~243.
- [3] Allen D J and Baker A D. A thirty percent increase in UV-B has no impact on photosynthesis in well-watered and drought of pea plants in the field. *Glob. Change Biol.*, 1999, **5**:235~244.
- [4] Manetas Y, Petropoulou Y, Stamatakis K, *et al.* Beneficial effects of enhanced UV-B radiation under field conditions: improvement of needle water relations and survival capacity of *Pinus pinea* L. Seedlings during the dry Mediterranean summer. *Plant Ecol.*, 1997, **128**:100~108.
- [5] Petropoulou Y, Kyparissis A, Nikolopoulos D, *et al.* Enhanced UV-B radiation alleviates the adverse effects of summer drought in two Mediterranean pines under field conditions. *Physiol. Plant*, 1995, **94**:37~44.
- [6] Yang J H(杨景宏), Chen T(陈拓), Wang X L(王勋陵). The Effect of enhanced UV-B radiation on ABA and free praline contents of wheat leave. *Acta Ecologica Sinica*(in Chinese)(生态学报), 2000, **20**(1):39~42.
- [7] Feng H Y(冯虎元), Chen T(陈拓), Xu S J(徐世健), *et al.* The effect of enhanced UV-B radiation on growth, yields, and stable carbon isotope composition of soybean. *Acta Botanic Sinica*(in Chinese)(植物学报), 2001, **43**(7):709~713.
- [8] Caldwell M M. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plants. *Photophysiology*, 1971, **6**:131~177.
- [9] Lichtenthaler H K and Wellburn A R. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.*, 1983, **11**:591~592.
- [10] Dhindsa R S, Dhindsa P P, Thorpe T A. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *J. Exp. Bot.*, 1981, **32**:93~101.
- [11] Buege J, Aust S D. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology*, 1978, **52**:302~306.
- [12] Wang A G(王爱国), Li S S(李双顺), Shao C B(邵从本), *et al.* Studies on SOD of soybean seeds. *Acta Pant. Physiol. Sinica*(in Chinese)(植物生理学报), 1993, **9**(1):77~88.
- [13] Tevini M and Teramura A H. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem Photobiol* 1989, **53**(4):329~333.
- [14] Sullivan J H and Teramura A H. Field study of the interaction between solar ultraviolet-B radiation and drought on photosynthesis and growth in soybean. *Plant Physiol.*, 1990, **92**:141~146.
- [15] Balakumar T, Vincent V, Paliwal K, *et al.* On the interaction of UV-B radiation (280~315nm) with water stress in crop plants. *Physiol. Plant*, 1993, **87**:217~222.
- [16] Schmidt A, Ormrod D P, Livingston N J, *et al.* The interaction of ultraviolet-B radiation and water deficit in two *Arabidopsis thaliana* genotypes. *Ann. Bot.*, 2000, **85**:571~575.
- [17] Wang B X(王邦锡), Sun L(孙莉), Huang J C(黄久常). Osmotic stress caused membrane damage and superoxidation and the relationship with some reactive oxygen species. *Sci. in China*(C)(in Chinese)(中国科学 C), 1992, **4**:364~368.
- [18] Chen T(陈拓) and Wang X L(王勋陵). The effect of increased UV-B radiation on CAT, POX and SOD activities of spring wheat seedlings. *Acta Bot. Wuhan*(in Chinese)(武汉植物学研究), 1999, **17**(2):101~104.
- [19] Li Y(李元) and Wang X L(王勋陵). The effect of enhanced UV-B radiation on physiological yield and qualities of spring wheat. *Acta Environ. Sci. Sinica*(in Chinese)(环境科学学报), 1998, **18**(5):504~509.
- [20] Gehrke C. Effects of enhanced UV-B radiation on production-related properties of a *Sphagnum fuscum* dominated subarctic bog. *Funct. Ecol.*, 1998, **12**(6): 940~947.