

10个小麦品种对 UV-B 辐射增强响应的生长和产量差异

何丽莲¹, 祖艳群², 李元², 吴渝生¹

(1.云南农业大学农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201; 2.云南农业大学生态环境研究所, 云南 昆明 650201)

摘要:在大田条件下,模拟 UV-B 辐射增强($5.0\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$,相当于昆明地区臭氧层减少 20%),着重研究了 10 个小麦品种对 UV-B 辐射响应的生长和产量差异。结果表明,经增强 UV-B 辐射,10 个小麦品种在株高、叶面积指数、分蘖数、地上部分的生物量、产量都发生了明显的变化,且存在种内差异;分蘖数的变化是引起地上生物量($r = 0.94, P < 0.01$)和产量($r = 0.92, P < 0.01$)变化的主要因素;根据生长响应指数(RI)判定供试小麦品种对 UV-B 辐射增强的耐性顺序为:绵阳 26 > 辽春 9 > 绵阳 20 > 文麦 3 > 文麦 5 > 陇春 15 > 云麦 39 > 凤麦 24 > 会宁 18 > 陇春 16。

关键词:小麦; UV-B 辐射; 生长; 产量; 种内差异

中图分类号:S131.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)04-0648-04

Effect of Enhanced UV-B Radiation on Growth and Grain Yield of Different Wheat Cultivars

HE Li-lian¹, ZU Yan-qun², LI Yuan², WU Yu-sheng¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Institute of Eco-Environment Research, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: The impact of enhanced UV-B radiation has been investigated extensively, most of which are conducted in growth chambers and greenhouses where the unnatural spectral balance of radiation may substantially change plant sensitivity to UV-B and lead to unrealistic conclusions, and little is known about intraspecific responses of plants to enhanced UV-B. 10 wheat cultivars were grown in field under ambient and supplemental levels of UV-B radiation to study intraspecific differences in growth and grain yield response of 10 wheat cultivars to UV-B radiation. The supplemental UV-B radiation was $5.00\text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, simulating a depletion of 20% stratospheric ozone. Seven wheat cultivars showed significant changes in plant height, with three increasing and four decreasing. The effect of UV-B on leaf area index also varied with different cultivars, one showed significant increase and five cultivars decrease; one cultivar showed significantly increase in tiller number and five cultivars significantly decreased. Among the ten cultivars, six cultivars significantly decreased in shoot biomass and grain yield. UV-B radiation had a positive effect on shoot biomass and grain yield respectively. The change of tiller number was an important reason for the change of shoot dry weight ($r=0.94, P<0.01$) and yield ($r=0.92, P<0.01$). According to RI, tolerance to UV-B radiation was Mianyang26>Liaochun9>Mianyang20>Wenmai3>Wenmai5>Longchun15>Yunmai39>Fengmai24>Huining18>Longchun16.

Keywords: wheat (*Triticum aestivum* L.); ultraviolet-B radiation; growth; grain yield; intraspecific differences

小麦作为主要的粮食作物,自然被当作 UV-B 辐射的研究对象,从 20 世纪 70 年代就开始研究,如 UV-B 辐射使植株矮化、株型缩小、叶面积减少^[1-3]、生物量和产量降低^[3,4]等。但是,以往的研究大多数是在温室或盆栽中进行,并且品种只有少数几个,因此,研

究结果不能完全真实地反应大田情况和显示出小麦对 UV-B 辐射响应的种内差异。本研究试图通过在大田条件下,着重从 UV-B 辐射对 10 个小麦品种生长指标的影响,建立响应指数,判定耐性和敏感品种,为抗性品种培育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验共选用 10 个小麦品种,包括文麦 3、辽春 9、

收稿日期:2004-11-13

基金项目:国家自然科学基金项目(30160023)

作者简介:何丽莲(1970—),实验师,硕士,从事环境生态方向的研究工作。E-mail:helilian905@sohu.com

绵阳 20、绵阳 26、会宁 18、陇春 16、凤麦 24、云麦 39、文麦 5、陇春 15。其中会宁 18、陇春 16、陇春 15 由甘肃省农科院提供；文麦 3、文麦 5、云麦 39 由文山州农科所提供；辽春 9 由内蒙古宁城县种子公司提供；绵阳 20、绵阳 26 由四川绵阳农科所提供；凤麦 24 由云南省农科院提供。

1.2 试验设计

在云南农大甘蔗所大田条播,设 3 次重复,随机排列,60 个 1.0 m×1.0 m 小区,行距为 0.2 m,种植密度为 400 粒·m⁻²,试验小区边界保护行为 3 行。土壤为山地红壤,中等水肥条件,在整个过程中不施用肥料,常规管理。三叶期间苗,保持 300 苗·m⁻²,并开始模拟增强 UV-B 辐射。

1.3 UV-B 辐射处理

增加的 UV-B 辐射(波长 280~315 nm)是使用顾村牌(由上海顾村仪器厂生产)30W UV-B 灯管,灯管悬挂于小麦上方,5 盏灯·m⁻²。增加的 UV-B 辐射为 5.0 kJ·m⁻²(相当于昆明地区臭氧衰减 20%),UV-B 辐射强度用 742 型 UV-B 辐射测定仪(北京师范大学光电仪器厂生产)测定,从小麦三叶期开始模拟增强 UV-B 辐射,直到成熟。每天光照 7 h(10:00–17:00),雨天除外。灯管的高度每周调节一次,以保证灯管与小麦顶部的距离为 0.20 m。

1.4 测定方法

1.4.1 叶面积指数的测定

每小区测 3 个点,每点用叶面积测定仪(CI-301PS 美国)测 0.02 m² 内每片叶面积,最后计算出单位面积上叶片的总面积。叶面积指数=总叶面积/土地面积

1.4.2 株高、分蘖数、生物量的测定

在成熟期,每小区取 15 株按常规法测株高求平均值;在拔节期,每小区苗数减去 3 叶期的基本苗数,即为分蘖数;成熟期收集整个小区植株,在烘箱中 82℃烘 24~48 h 至恒重,茎、叶、籽粒重量之和为地上部分总生物量。

1.5 统计分析

测试各指标平均值的差异性、相关性用 Excel 进行 *t* 测验。

1.6 响应指数公式的建立

根据 Li Yuan 等(2000)提出小麦对 UV-B 辐射的生长响应指数公式^[5]:

$$RI = [(SW_t - SW_c) / SW_c + (PH_t - PH_c) / PH_c + (LAI_t - LAI_c) / LAI_c + (TN_t - TN_c) / TN_c + (GY_t - GY_c) / GY_c] \times 100\%$$

式中:RI 为生长响应指数, SW 为地上部分生物量, PH 为植株高度, LAI 为叶面积指数, TN 为分蘖数, GY 为籽粒产量。 *t* 为在 UV-B 下的处理, *c* 为对照。

2 结果与分析

2.1 株高、叶面积指数

大田条件下,经 UV-B 辐射,使 10 个小麦品种在高度上发生了变化,见表 1。在成熟期,有 4 品种的高度增加,其中 3 个(辽春 9、凤麦 24、文麦 5)表现出差异显著(*P*<0.01 或 *P*<0.05)另外,有 6 品种的高度降低,有 4 个(陇春 16、陇春 15、会宁 18、文麦 3)达到显著(*P*<0.05)。

UV-B 辐射改变了 10 个小麦品种的叶面积指数,在拔节期,有 6 个品种的叶面积指数有了显著变化,只有文麦 3 为正的响应(*P*<0.05);有 5 个品种(凤麦 24、云麦 39、陇春 16、陇春 15、会宁 18)为负的响应(*P*<0.05 或 *P*<0.01)。

表 1 10 个小麦品种对 UV-B 辐射增强响应反馈的株高、叶面积指数差异

品种	株高/cm			叶面积指数		
	对照	处理	变化/%	对照	处理	变化/%
文麦 5	56.9	60.7	6.68*	4.73	4.4	-6.97
绵阳 26	54.3	50	-7.92	3.94	4.09	3.80
云麦 39	57.3	60.4	5.41	6.5	4.8	-26.15**
辽春 9	65.5	73.7	12.52**	3.5	3.63	3.71
凤麦 24	59.8	65.4	9.36*	5.21	3.58	-31.28**
陇春 16	74	68.8	-7.03*	7.34	4.78	-34.87**
绵阳 20	59	53.8	-8.81	5.71	6.05	5.95
陇春 15	65.2	60.3	-7.52*	3.7	2.9	-21.62*
会宁 18	65.2	58.9	-9.66*	5.32	4.13	-22.36*
文麦 3	58	53	-8.62*	3.7	4.13	11.62*

注:**、* 分别为在 *P*<0.01、*P*<0.05 水平差异显著。

2.2 分蘖数、地上部分生物量和籽粒产量

在拔节期,UV-B 辐射使 3 个品种的分蘖数增加,但只有绵阳 26 达到显著(*P*<0.05),而使文麦 5、凤麦 24、云麦 39、陇春 16、会宁 18(*P*<0.01,*P*<0.05)的分蘖数极显著降低。10 个品种中,有 6 个品种的分蘖数有明显变化,分蘖数对增加的 UV-B 辐射反应敏感。

大田条件下经 UV-B 辐射,10 个品种中,有 6 个品种的生物量显著降低,只有绵阳 26 的生物量显著升高。有 6 个品种的籽粒产量显著减少,只有绵阳 26 的籽粒产量显著升高,见表 2。

表 2 10 个小麦品种对 UV-B 辐射增强响应反馈的分蘖数、地上部分生物量和产量

Table 2 Response differences of 10 wheat cultivars to UV-B radiation in tiller number, shoot biomass and grain yield under field conditions

品种	分蘖数/个数·m ⁻²			地上部分生物量/g·m ⁻²			籽粒产量/g·m ⁻²		
	对照	处理	变化/%	对照	处理	变化/%	对照	处理	变化/%
文麦 5	140	109	-22.14*	595.7	434.1	-27.12*	237.3	147.6	-37.80**
绵阳 26	147	172	17.02*	605	678	12.06*	111.2	121.6	9.35*
云麦 39	387	264	-31.78**	598	347.7	-41.85**	211.9	113.4	-46.48**
辽春 9	162	153	-5.56	890	942.9	5.94	452.8	475	4.90
凤麦 24	348	232	-33.33**	849.3	470	-44.66**	275.1	128.9	-53.14**
陇春 16	400	256	-36.00**	1039.5	514.8	-50.47**	496.6	237.6	-52.15**
绵阳 20	256	285	11.33	543.8	568.6	4.56	190.4	195.5	2.67
陇春 15	165	125	-24.24	734	498.4	-32.09*	210.8	141.2	-33.02*
会宁 18	295	185	-37.29**	1219.3	580.5	-52.39**	281	122.5	-56.40**
文麦 3	206	223	8.25	589.2	570.6	-3.15	203.9	174.4	-14.46

注:**、* 分别为在 $P<0.01$ 、 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.3 10 个小麦品种对 UV-B 辐射增强的响应指数

响应指数由植株地上部分生物量、籽粒产量、株高、分蘖数、和叶面积指数的变化百分率组成,它可以反应出小麦品种对增强 UV-B 辐射响应总的敏感性。在这个试验中)10 个小麦品种的响应指数有 3 个品种为正值,7 个为负值。陇春 16 受到最大的负的影响(RI-180.53), 绵阳 26 受到正的最大影响(RI34.31)。有 4 个品种的响应指数大于-10,为耐性品种,它们耐性依次为绵阳 26>辽春 9>绵阳 20>文麦 3;有 4 个品种的响应指数小于-120,为敏感品种,它们敏感性依次为陇春 16>会宁 18>凤麦 24>云麦 39。见表 3。

表 3 10 个小麦品种对 UV-B 辐射增强响应指数、起源和习性

Table 3 Origin, habitat and response index (RI) of 10 wheat cultivars under enhanced UV-B radiation

等级	品种	起源	习性	响应指数 RI
1	绵阳 26	南方	低海拔, 半冬性	34.31 耐性
2	辽春 9	北方	低海拔, 春性	21.52 耐性
3	绵阳 20	南方	低海拔, 半冬性	15.71 耐性
4	文麦 3	南方	高海拔, 半冬性	-6.37 耐性
5	文麦 5	南方	高海拔, 半冬性	-87.36 中性
6	陇春 15	北方	低海拔, 春性	-118.41 中性
7	云麦 39	南方	高海拔, 春性	-140.86 敏感
8	凤麦 24	南方	高海拔, 春性	-153.05 敏感
9	会宁 18	北方	低海拔, 春性	-178.11 敏感
10	陇春 16	北方	低海拔, 春性	-180.53 敏感

注:1~10 为 UV-B 敏感性增强的顺序。

3 讨论

3.1 小麦对增强的 UV-B 辐射响应在生长和产量上的差异

在前人的温室试验中, 由于植株不能正常地生长,UV-B 辐射对株高的影响并不确定。本试验在大田条件下,于成熟期测定株高,增强的 UV-B 辐射使 10 个小麦品种的株高产生了明显的变化。小麦株高的变化主要由于节间长度的变化、而不是由于节数的变化引起的^[4]。进一步的研究认为,株高的变化主要是由于植物内源激素 IAA 被光氧化, 减少了细胞壁的弹性;同时,UV-B 辐射会增加乙烯的水平,这会刺激横向的生长并减少伸长生长,这在葵花研究中已得到证实^[6]。另外,UV-B 辐射引起的黄瓜下胚轴的抑制可被 GA 恢复^[7],说明 GA 含量的变化会直接影响株高。

叶面积指数的变化是由叶面积和分蘖数的变化引起的,其对 UV-B 辐射响应的敏感性要比叶面积的敏感性大^[5],所以,较长时间地延长适宜的叶面积系数可作为高产的一个前提。尽管在温室的试验中,UV-B 辐射能增加单株小麦的分蘖数,但在大田试验中,分蘖数却明显减少^[8-10]。Michel(1981)认为,环境对分蘖的影响是通过改变植物体内源激素含量及其平衡进而引发生理上的效应来实现的^[11]。本试验中,分蘖数对增强 UV-B 辐射的响应比较敏感,表现出有增有减。这种变化是由于分蘖节内 IAA/ZR(玉米素核苷)的比值发生了变化引起的。IAA/ZR 的值下降有利

于分蘖^[12],这表明分蘖数的增与减是受 IAA 和 ZR 变化共同影响的。

地上部分生物量和产量是反映 UV-B 辐射对小麦生长影响的一个很好的指标^[6],它是很多因素综合影响的结果,如分蘖数、单株的光合生产力等,而光合生产力又与叶面积、光合强度、叶片光合功能期等因素有关^[13]。本试验中分蘖数的变化与地上生物量的变化呈正相关($r=0.94, P<0.01$),表明地上生物量的变化主要是由于分蘖数的变化而引起的。在地上部分生物量的变化中,大部分减少,但也有显示出增强的 UV-B 辐射使生物量不发生变化甚至有所增加的。这与 Teramura (1983)的结果一致^[8]。

3.2 响应指数

对于评价植物对增加 UV-B 辐射响应的敏感性,响应指数是一个很好的指标^[14]。在以前的研究中,用作响应指数的参数在不同的试验中是不同的。只有在 Teramura 等 1986 年所做的大豆试验中,种子产量被作为一个参数^[9]。本试验引用李元(2000)建立的响应指数公式。结果表明,4 个耐性品种中有 3 个品种(绵阳 20、绵阳 26、文麦 3)起源于南方(低纬度,高 UV-B 辐射水平),但其中一个品种(辽春 9)却起源于北方;另一方面,4 个敏感品种中有 2 个(会宁 18 和陇春 16)原产地为北方,另外 2 个(云麦 39 和凤麦 24)却为南方高 UV-B 区域的品种。所以,从起源地上来看,来源于高 UV-B 辐射水平区域的小麦品种并不一定对增强的 UV-B 辐射更具忍耐性。这与对水稻品种的试验结果一致^[10,14]。

参考文献:

[1] Teramura A H, Shllivan J H. Interaction of elevated ultraviolet-B radia-

tion and CO₂ on productivity and photosynthetic characteristics in wheat, rice and soybean[J]. *Plant Physiol*,1990,94:470-475.

[2] Biggs R H Kossuth S V . Effects of ultraviolet-B radiation enhancements under field conditions[A]. In: UV-B biological and climatic Effect Research (BAC-ER)[C]. Final Report, 1978.

[3] 郑有飞,杨志敏,颜景义.作物对太阳紫外辐射的生物效应及其评估[J].应用生态学报,1995,7(1):107-109.

[4] Li Yuan, Yue Ming, Wang Xunling. Effects of enhanced ultraviolet-B radiation on crop structure,growth and yied components of spring wheat under filed condition[J]. *Fild Corps Research*,1998, 57:253-263.

[5] Li Yuan, ZU Yanqun,et al. Intraspecific responses in crop growth and yield of 20 wheat cultivars to enhanced ultraviolet-B radiation under field conditions[J]. *Field Crops Research*, 2000,67:25-33.

[6] Ros J, Tevini M. Interaction of UV radiation and IAA buring growth of seelings and hypocotyls segments of sunflow J[J]. *Plant physiol*,1995, 146:295-302.

[7] Murali NS and Teramura AH, Effects of supplemental UV-B radiation on the growth and physiology of field grown soybean[J]. *Envion Exp Bot*, 1986,26:233-242.

[8] Teramura A H. Effect of ultraviolet-B radiation on the ground and grain of crop plant[J]. *Physiol Plant*,1983, 58:415-427.

[9] Teramura A H and murali N S. Intraspecific differences in growth and field of soybean exposed to ultraviolet-B radiation under greenhouse and fioel conditions[J]. *Environ Exp Bot*,1986, 26:89-95.

[10] Barnes P W. Intraspecific Variation in sensitivity to UV-B radiation in rice[J]. *Crop Science*,1993, 33:1041-1046.

[11] Michel G, Beringer H. The role of hormones in yield formation, physiological aspects of group productivity proceeding of the colloquium of the international potash institute held in Wageninien[J].*The Nether Lands*,1980,28:252-279.

[12] 代西梅.不同分蘖特性小麦内源激素变化动态及其与分蘖发生关系的研究[J].河南师范大学学报,2000,28(3):78-82.

[13] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学出版社,2002.

[14] Dai D J, Peng shaobing. Intraspecific response of 188 rice to enhanced UV-B radiation[J]. *Environ Experi Bot*,1994, 34:433-442.