UV-B增强对中高海拔干旱半干旱地区春小麦植株形态的影响

张　磊，王连喜，张晓煜，袁海燕，亢艳莉
（宁夏气象防灾减灾重点实验室，宁夏 银川　750002）

摘　要：以春小麦“宁春4号”为供试材料，采用大田定位试验，利用可升降式紫外灯装置，观测增加不同剂量UV-B情况下春小麦的株高、绿叶数及叶部形态的变化状况。连续两年的试验结果显示，UV-B增强使春小麦植株矮化、绿叶数减少、叶角变小、单叶叶面积减小。单叶叶面积减小的原因是叶长和叶宽都有所减少。多数情况下，随着UV-B辐射增加量越多，春小麦株高和叶形态受到的影响程度越大。在中高海拔干旱半干旱地区，UV-B增强使春小麦的株型缩小、绿叶数减少，这会对春小麦的干物质积累和籽粒形成产生不利影响。

关键词：UV-B；干旱半干旱地区；中高海拔；春小麦；植株形态
中图分类号：S512.1+2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-7601(2007)02-0080-06

由于人类大量使用氯氟烃化合物和哈龙等卤族化合物，致使高中纬度地区大气平流层中臭氧层遭到破坏，从而导致到达地球表面的UV-B辐射大量增加[1,2]。大气中的臭氧量每减少1%，地球表面的UV-B辐射强度就将增加2%[3]。虽然目前国际臭氧层保护计划实施顺利，已有160多个国家加入了《保护臭氧层维也纳公约》，大多数氯氟烃化合物和哈龙化合物已经或即将被禁止使用，但短时期内在全球范围完全禁止此类物质的使用还不太现实。况且，由于氯氟烃化合物和哈龙等卤族化合物在大气层中的存活寿命长达几十年甚至上百年，其对臭氧层的破坏将是长期的，因此，到达地球表面的UV-B辐射增加还将持续一定时期。据预测，今后60年内全球大气臭氧浓度将减少2%～10%，到达地球表面的UV-B辐射将增加4%～20%[4]。UV-B辐射增加会对陆地生物的生命活动产生极大影响，关于地表UV-B增强对农作物的生理特性、形态特征及经济产量的影响是国内外全球变化研究领域的热点问题之一，此方面的研究工作已经全面展开[5～10]。

小麦作为最主要的粮食作物之一，地表UV-B增强对其生物生理学特性的影响受到人们的普遍关注，国内关于这方面的研究报告也较多。UV-B增强会对小麦的植株形态产生较大影响[11～15]。陈建军等在云南研究了大田栽培和自然光条件下UV-B辐射增强对20个小麦品种影响的形态学差异，结果显示20个小麦品种的植株和叶部形态均受UV-B增强的影响，同时叶面积指数、株高、节间长、茎基粗对UV-B增强响应具有品种间差异[16]。多数研究结果表明，随着UV-B强度增加，小麦株高呈现显著下降趋势，其原因主要是由于节间长度缩短，而节间个数不变，并且穗下第4、5节间的长度缩短对株高下降影响的效应较大[17]。孙林等报道了UV-B辐射增强使冬小麦单株叶面积减小，进而降低了小麦的光合能力，最终减少了冬小麦的籽粒产量[18,19]。王传海等研究了小麦单株叶面积减小的原因，一是绿叶数有所减少，二是叶片的长、宽缩短[20]。

目前关于地表UV-B增强对小麦生长影响的研究多集中在低海拔、湿润地区，而对中高海拔、干旱半干旱地区的研究很少。本文拟在地处我国中高海拔干旱半干旱地区的宁夏引黄灌区，研究大田条件下UV-B辐射增强对春小麦植株形态的影响，为正确评估UV-B增强对小麦生长的影响并制定相应应对措施提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　试验地概况

试验在宁夏永宁农业气象试验站进行，该站位于北纬38°15′、东经106°14′，海拔1 116.7 m；地处宁夏引黄灌区的中心地带，日照充足、干旱少雨，年降水量200 mm左右，雨热同季，降水集中在夏秋季；试验田地势平坦，30 cm以上为沙壤土，30 cm以

收稿日期：2006-09-22
基金项目：宁夏自然科学基金项目“地表紫外辐射增强对宁夏主要农作物生理及生态系统的影响”(A1012)
作者简介：张　磊(1974—)，男，宁夏永宁人，硕士，工程师，主要从事农业气象、生态学等方面的研究。
中国知网 https://www.cnki.net

下为壤土,微碱性,中等肥力,灌溉条件良好,前茬种植作物春小麦。

1.2　试验处理

试验时间两年,分别是 2004 年和 2005 年的 2～7 月,供试品种为春小麦"宁春 4 号"。2004 年 2 月 28 日播种,7 月 8～9 日收获;2005 年 3 月 5 日播种,7 月 4～6 日收获。

试验设 3 个处理:CK、T1、T2。CK 为自然光对照,T1、T2 为在自然光照基础上增加 UV-B 辐射,采用国产紫外灯管(光谱 280～320 nm)用以模拟 UV-B 辐射增强处理,在试验中,T1 和 T2 在自然光照基础上分别增加 0.5 W/m^2 和 1.0 W/m^2 强度的 UV-B 辐射,分别相当于宁夏银川地区夏季日平均 UV-B 辐射强度的 13%和 26%左右。利用可升降式灯架将紫外灯管(CK 处理只用灯罩,不安装灯管)平行悬挂于植株上方,不断调整灯管与植株顶端之间的距离以保证植物接受恒定剂量的 UV-B 辐射。每处理设两次重复,共计 6 个小区,每小区面积 30 m^2。每天处理 8 h(9:00～17:00),雨天除外。整个生育期内,各处理田间管理措施保持一致。

每处理随机选取 10 株小麦作为观测对象,测定小麦的株高、单株绿叶数,每 10 d 测定 1 次;分别测定小麦植株上部、2/3 高度、1/3 高度上的叶角(主茎与叶片之间的夹角)、叶长、叶宽和叶面积等,每 5 d 测定 1 次。

2　结果与分析

2.1　UV-B 增强对春小麦株高的影响

株高是反映小麦整体株型的一个重要方面,对小麦的抗倒伏性及产量构成有较大影响。对于某一特定的小麦品种,虽然矮植株的抗倒伏能力强,但整体植株太矮会影响小麦产量,在一定范围内,小麦的穗粒数和小穗数随着株高的增加而增加,其产量的稳定性也会增强。两年的试验结果显示(图 1,图 2,图中六条拟合曲线的显著水平均低于 0.01),增加不同剂量的 UV-B 辐射均对春小麦的株高产生了不利影响,辐射强度越大,矮化现象越明显;在发育前期,3 个处理的小麦株高差别较小,从抽穗期开始,3 个处理的株高差异迅速加大,到小麦成熟期,CK 处理的株高分别比 T1 和 T2 处理的株高增加了近 10%和 20%,增加幅度非常明显,同时 T1 处理的株高也明显高于 T2 处理。小麦株高差异的显著性(t 测验)检验也说明了这一点,除了 2004 年拔节期,其它各个时期 CK 处理的小麦株高都明显高于 T1 和 T2 处理,并且处理 T1 和 T2 之间也有明显差异(如表 1)。

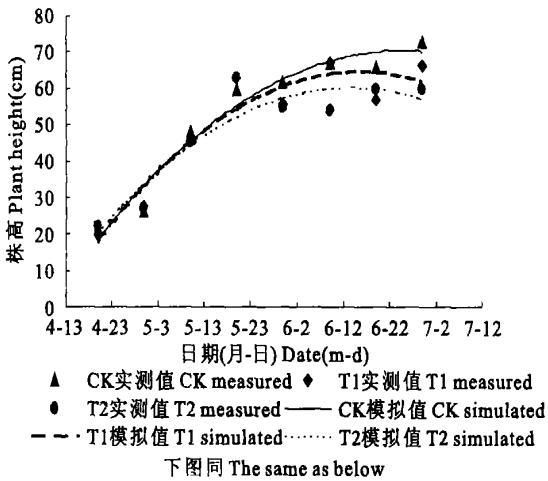

图 1　2004 年小麦株高变化

Fig.1　Plant height change of wheat in 2004

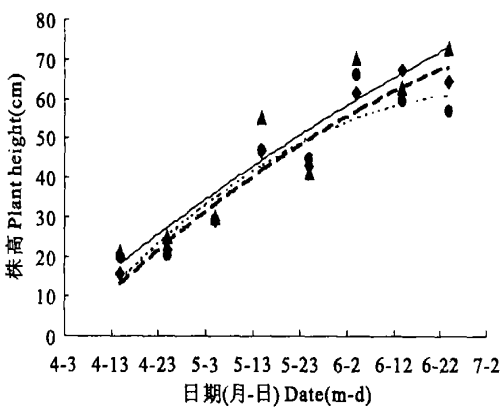

图 2　2005 年小麦株高变化

Fig.2　Plant height change of wheat in 2005

表 1　小麦主要生育期株高差异的 t 测验(LSD 法)

Table 1　T-test about plant height of wheat(LSD)

处理 Treatment α	2004 年拔节期 2004－Jointing		2004 年抽穗期 2004－Heading		2004 年成熟期 2004－Maturity		2005 年拔节期 2005－Jointing		2005 年抽穗期 2005－Heading		2005 年成熟期 2005－Maturity	
	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01
CK	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
T1	ab	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
T2	b	a	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c

注:其中 0.05 和 0.01 代表显著性水平。Note: 0.05 and 0.01 are significant levels.

中国知网 https://www.cnki.net

2.2 UV-B 增强对春小麦绿叶数的影响

小麦单茎绿叶数的变化一方面影响单茎叶面积的大小，一方面显示了小麦衰老的程度，较大的叶面积和较长的绿叶持续时间有利于小麦的干物质积累和产量形成。2004 年的试验结果显示(图 3，图中三条拟合曲线的显著水平均低于 0.05)，在拔节期之前 T1 处理的单茎绿叶数要明显多于 CK 处理，其后一直是 CK 处理的绿叶数最多，T1 处理的次之，T2 处理的最少；在 2005 年这种现象不明显(图 4，图中三条拟合曲线的显著水平均低于 0.01)，在拔节期前 T1 处理的单茎绿叶数稍高于其他两个处理，在拔节期到开花期之间 CK 处理的单茎绿叶数明显多于其他两个处理，其后三个处理的单茎绿叶数差别不明显。两年的试验结果表明增加低剂量 UV-B 辐射促使春小麦在拔节期前产生更多的绿叶数，但其后绿叶数会迅速减少；增加较高剂量的 UV-B 辐射将使春小麦单茎绿叶数明显减少。表 2 给出了部分观测期 3 个处理之间小麦绿叶数差异的 t 测验结果。

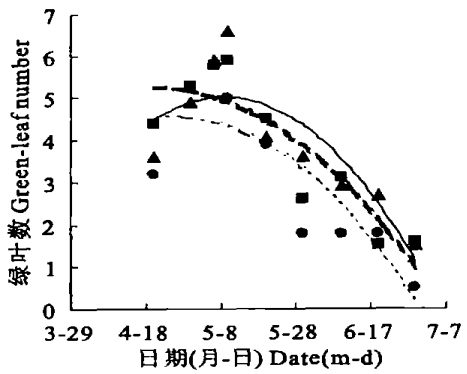

图 3 2004 年小麦单茎绿叶数变化

Fig.3 Green-leaf number of wheat in 2004

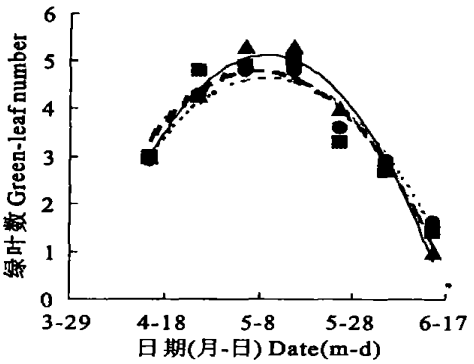

图 4 2005 年小麦单茎绿叶数变化

Fig.4 Green-leaf number of wheat in 2005

表 2 小麦不同时期绿叶数差异的 t 测验(LSD 法)

Table 2 T-test about green-leaf number of wheat(LSD)

处理 Treatment	2004—04—20		2004—05—10		2004—05—30		2005—04—15		2005—05—05		2005—05—25	
α	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01
CK	b	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ab
T1	a	a	a	a	b	b	a	a	a	a	a	b
T2	c	b	b	b	c	c	a	a	a	a	a	a

注：其中 0.05 和 0.01 代表显著性水平。Note: 0.05 and 0.01 are significant levels.

2.3 UV-B 增强对春小麦叶形态的影响

小麦叶形态涉及叶角(叶片和主茎之间的夹角)、叶长、叶宽和叶面积等方面，我们将详细描述 UV-B 增强对春小麦上部叶形态的影响。

如图 5，处理 CK 的叶角明显大于处理 T1、T2，T1 和 T2 之间的叶角差异不大(图 5 为 2004 年的试验结果，2005 年由于叶角观测数据缺失较多，故没有引用。图中三条拟合曲线 CK、T1、T2 的显著水平分别为 0.058、0.547、0.467)。UV-B 辐射明显减小春小麦叶角，其原因可能是春小麦对 UV-B 辐射增强的一种响应对策：叶角减小使叶片受到的辐射更少，从而减轻地面 UV-B 增强给春小麦带来的危害程度。当然，其响应机理还需深入进行研究。表 3 是部分观测期内 3 个处理之间小麦叶角差异的 t 测验结果。

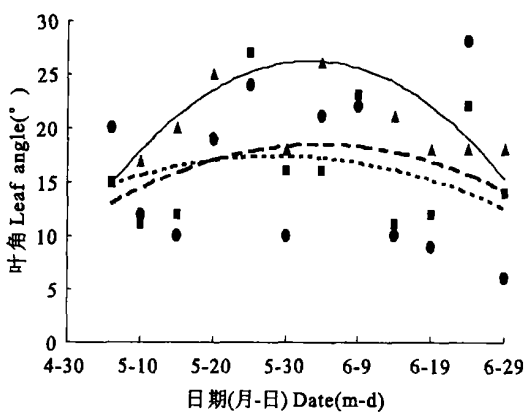

图 5 小麦上部叶片的叶角变化

Fig.5 Leaf angle of wheat upside

中国知网 https://www.cnki.net

表 3　小麦不同时期叶角差异的 t 测验(LSD 法)

Table 3　T-test about leaf angle of wheat(LSD)

处理 Treatment	2004-05-10		2004-05-20		2004-05-30		2004-06-09		2004-06-19	
α	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01
CK	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
T1	b	a	b	b	a	a	b	a	a	a
T2	ab	a	b	b	b	a	b	a	a	a

注:其中 0.05 和 0.01 代表显著性水平。Note: 0.05 and 0.01 are significant levels.

UV-B 辐射增强将使春小麦上部叶的叶长变短(图 6,三条拟合曲线 CK、T1、T2 的显著水平分别为 0.000、0.188、0.016),孕穗期之前 T1 和 T2 处理的小麦叶长变短程度接近,从孕穗期后,小麦叶长变短程度和 UV-B 辐射增加程度近似一致:T2 处理的 UV-B 辐射增加量是 T1 处理的两倍,相应 T2 处理的小麦上部叶片长度缩短量也近似是 T1 处理的两倍。表 4 给出了部分观测期 3 个处理之间小麦叶长差异的 t 测验结果。

试验结果显示(图 7,三条拟合曲线的显著水平均低于 0.05),小麦上部叶的叶宽随着 UV-B 辐射增强而变窄,但其变化趋势和叶长的变化趋势稍有不同:从小麦拔节后期到成熟期,处理 CK 的叶宽明显大于 T1 和 T2,但 T1 和 T2 处理之间的叶宽变化似乎没有规律——抽穗期前 T1 的叶宽小于 T2,之后 T1 的叶宽大于 T2。表 5 是部分观测期 3 个处理之间小麦叶宽差异的 t 测验结果。

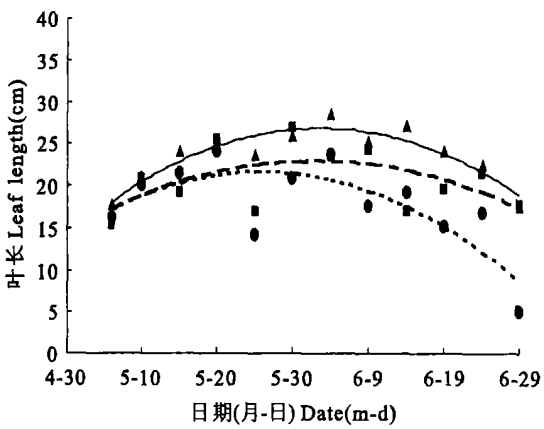

图 6　小麦上部叶片的叶长变化

Fig. 6　Leaf length of wheat upside

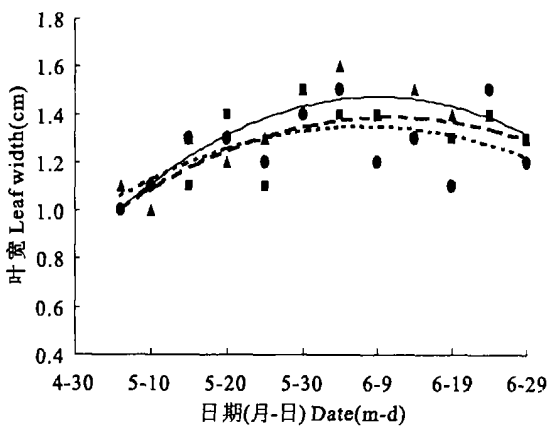

图 7　小麦上部叶片的叶宽变化

Fig. 7　Leaf width of wheat upside

表 4　小麦不同时期叶长差异的 t 测验(LSD 法)

Table 4　T-test about leaf length of wheat(LSD)

处理 Treatment	2004-05-10		2004-05-20		2004-05-30		2004-06-09		2004-06-19	
α	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01
CK	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
T1	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	ab
T2	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b

注:其中 0.05 和 0.01 代表显著性水平。Note: 0.05 and 0.01 are significant levels.

表 5　小麦不同时期叶宽差异的 t 测验(LSD 法)

Table 5　T-test about leaf width of wheat(LSD)

处理 Treatment	2004-05-10		2004-05-20		2004-05-30		2004-06-09		2004-06-19	
α	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01
CK	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
T1	a	a	a	a	a	a	a	ab	ab	ab
T2	a	a	a	a	b	b	b	b	b	b

中国知网 https://www.cnki.net

注:0.05 和 0.01 代表显著性水平。Note: 0.05 and 0.01 are significant levels.

由于UV-B辐射增强不仅使春小麦上部叶的叶长变短，而且使得叶宽变窄，因此T1和T2处理上部叶的单叶叶面积均有所减小，并且随着增加UV-B辐射量越多，其叶面积减小量越多，单叶叶面积大小和UV-B辐射强度之间呈现出负相关关系：UV-B辐射越强，春小麦上部单叶叶面积越小(图8，三条拟合曲线CK、T1、T2的显著水平分别为0.000、0.055、0.166)。表6给出了部分观测期3个处理之间小麦单叶叶面积差异的 t 测验结果。

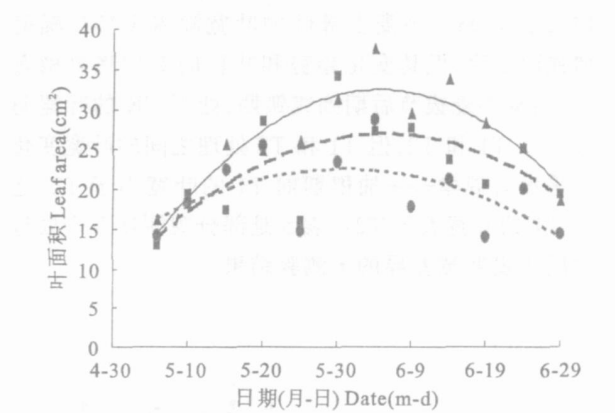

图8 小麦上部单叶叶面积变化

Fig.8 Single leaf area of wheat upside

3 结论和讨论

通过两年的田间试验我们得到如下结论：

1) 在中高海拔的干旱、半干旱地区，UV-B辐射增强将使春小麦植株矮化，并且UV-B增加剂量越大，小麦植株越矮。

2) 增加低剂量UV-B辐射促使春小麦在拔节期前产生更多的绿叶数，但其后绿叶数会迅速减少；而增加较高剂量的UV-B辐射使春小麦单茎绿叶数明显减少。

两年的试验结果显示，增加低剂量的UV-B辐射似乎使春小麦生育前期的单茎绿叶数有所增加，这和其他地区的试验结果稍有不同，原因可能是高原地区的UV-B辐射强度较大，本地春小麦品种在和环境协同进化的过程中能够忍受较高的UV-B辐射，当短期内增加低剂量UV-B辐射时，反而刺激春小麦产生更多的绿叶数。当然，这种耐受性会受到辐射时间和辐射强度的限制，在较长时期和更高剂量的UV-B辐射环境下，春小麦的单茎绿叶数会明显减少，我们的试验结果证实了这一点。

3) UV-B辐射增强使春小麦的叶角减小、叶长变短、叶宽变窄、单叶叶面积减小。

在中高海拔的干旱、半干旱地区，UV-B辐射增加对春小麦植株形态产生了明显影响，最终表现为株型缩小(植株矮化、叶角变小、叶面积减小一叶变短变窄)，并且随着UV-B辐射增加的越多，影响程度越大，这和其它地区的试验结果基本类似。根据研究，小麦植株矮化的原因是节间长度明显变短，并且主要是下部节间长度的变化，而和小麦的节间数无关。小麦株型缩小是一种对UV-B辐射增强的适应策略：小株型可以减少UV-B辐射量，避免小麦受到严重伤害。当然，小麦产生这种适应对策的生理生化机理还需进一步研究。

表6 小麦不同时期叶面积差异的 t 测验(LSD法)

Table 6 T-test about leaf area of wheat (LSD)

处理 Treatment α	2004-05-10		2004-05-20		2004-05-30		2004-06-09		2004-06-19	
	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01
CK	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
T1	a	a	a	a	a	a	a	a	b	ab
T2	a	a	a	a	b	b	b	b	c	b

注：0.05和0.01代表显著性水平。Note：0.05 and 0.01 are significant levels.

参考文献：

[1] 杨志敏，颜景义，郑有飞，等.紫外辐射增强对植物生长的影响[J].植物生理学通讯，1994，30(4)：241-248.

[2] 郭秀林，王睿文.紫外辐射增加对植物生长及某些生理代谢的影响[J].生物学杂志，2001，18(1)：12-14.

[3] 吴永波，薛建辉.UV-B辐射增强对植物影响的研究进展[J].世界林业研究，2004，17(3)：29-31.

[4] 梁婵娟，陶文沂，周 青.UV-B辐射增强的环境植物学效应研究[J].中国生态农业学报，2004，12(4)：40-42.

[5] 吴杏春，林文雄，郭玉春，等.植物对UV-B辐射增强响应的研究进展[J].中国生态农业学报，2001，9(3)：52-55.

[6] 吴永波，薛建辉.UV-B辐射增强对植物影响的研究进展[J].世界林业研究，2004，17(3)：29-31.

[7] 周 青，黄晓华.生存胁迫一紫外辐射增强对植物的生态生理效应[J].自然杂志，2001，23(4)：199-203.

[8] 郑有飞，颜景义，万长建.紫外辐射增加对农作物的影响及其对策[J].中国农业气象，1996，17(4)：50-54.

[9] 郭秀林，王睿文.紫外辐射增加对植物生长及某些生理代谢的影响[J].生物学杂志，2001，18(1)：12-14.

中国知网 https://www.cnki.net

[10] 郑有飞,杨志敏,颜景义,等.作物对太阳紫外线辐射增加的生物效应及其评估[J].应用生态学报,1996,7(1):107－109.

[11] 张富存,何雨红,郑有飞,等. UV-B 辐射增加对小麦的影响[J].南京气象学院学报,2003,26(4):545－551.

[12] 颜景义,郑有飞,杨志敏,等.地表太阳紫外辐射强度变化对小麦影响的初步研究[J]. 南京气象学院学报,1995,18(3):416－420.

[13] 王传海,郑有飞,何都良,等.南京地区近地面紫外线辐射 UV-B 强度对小麦生长及产量影响的评估[J].农业环境科学学报,2003,22(2):147－149.

[14] 王连喜,肖　薇,王传海,等.南京何宁夏地区 UV-B 辐射增强对小麦影响的对比研究[J].农业环境科学学报,2004,23(1):34－38.

[15] 王传海,郑有飞,何都良,等.小麦不同指标对紫外辐射 UV-B 增加反映敏感性差异的比较[J].中国农学通报,2003,19(6):43－45.

[16] 陈建军,祖艳群,陈海燕,等. 20 个小麦品种对 UV-B 辐射增强响应的形态学差异[J].农村生态环境,2001,17(2):26－29.

[17] 王传海,郑有飞,何都良,等.紫外辐射 UV-B 增加对小麦株高和节间细胞长度影响的初步研究[J].中国农学通报,2004,20(1):77－79.

[18] 孙　林,黄海山,赵秀勇,等.UV-B 辐射增强对冬小麦生长发育及产量的影响[J].农村生态环境,2004,20(2):24－27.

[19] 王传海,郑有飞,万长建,等.紫外辐射增加对小麦产量及产量形成的影响[J].中国农业气象,2001,22(4):19－22.

[20] 王传海,郑有飞,何雨红,等.紫外辐射增加对小麦群体结构的影响[J].南京气象学院学报,2000,23(2):204－210.

Effects of enhanced Ultraviolet radiation-B on plant form of spring wheat in arid and semiarid regions of middle-high elevation

ZHANG Lei, WANG Lian-xi, ZHANG Xiao-yu, YUAN Hai-yan, KANG Yan-li

(*Ningxia Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*)

Abstract: The article studied influence of enhanced ultraviolet radiation-B on plant form of spring wheat in arid and semiarid regions of middle-high elevation. Using lift lamp of UV-B, we observed plant height, green leaf number and leaf form of spring wheat "Ningchun 4" at different UV-B exposure dose in field condition. Field trail for two years showed that enhanced UV-B reduced plant height, green-leaf number, leaf angle, and single leaf area of spring wheat, the reason of small single leaf area was in decrease of both leaf length and leaf width. In the most conditions, enhanced ultraviolet radiation-B exposure dose is harmful for upgrowth of spring wheat. Enhanced UV-B shrink plant form and decreased green-leaf number of spring wheat in arid and semiarid regions of middle-high elevation. It is very disadvantageous for dry matter production and yield of spring wheat.

Keywords: Ultraviolet radiation-B; middle-high elevation; arid and semiarid regions; spring wheat; plant form

中国知网　https://www.cnki.net