

The Effect of Enhanced UV-B Radiation on the Growth of Cotton in Oasis Cotton Field

Jin Wang^{1,2}, Li Bai¹, Mingfeng Yang²

¹College of Life Sciences, Shihezi University, Shihezi Xinjiang

²Wulanwusu Agrometeorological Experiment Station, Shihezi Xinjiang

Email: apple6405@sohu.com

Received: May 29th, 2015; accepted: Jun. 17th, 2015; published: Jun. 24th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The objectives of this research were to study the influences of enhanced ultraviolet radiation (UV-B, 280 - 320 nm) on physiological indicator, yield and quality of cotton. We set four treatments of 0 w/m² (R0), 0.5w/m² (R1), 1w/m² (R2), 1.5 w/m² (R3) by increasing artificial UV-B radiation and studied the effect of enhanced Ultraviolet-B radiation on plant height, stem diameter, leaf area index (LAI), apparent injure in leaf, yield and quality of cotton. The results showed that the plant height, stem diameter and LAI had significant correlation with the increasing Ultraviolet-B radiation ($P < 0.01$), and the difference between R3 and other treatments also had statistically significance ($P < 0.01$). The apparent injury in leaf of cotton became more serious and the quantity and quality was also at the lowest level as followed. The relationship between UV-B radiation and cotton growth was closer. The higher intensity of UV-B radiation would have more negative effects on cotton growth.

Keywords

UV-B Radiation, Cotton, Physiological Indicator, Yield, Quality

绿洲棉田UV-B辐射增强对棉花生长发育的影响

王 进^{1,2}, 白 丽¹, 杨明凤²

¹石河子大学生命科学学院, 新疆 石河子

²乌兰乌苏农业气象试验站, 新疆 石河子

Email: apple6405@sohu.com

收稿日期：2015年5月29日；录用日期：2015年6月17日；发布日期：2015年6月24日

摘要

在大田试验条件下，研究UV-B辐射增强对棉花生长发育的影响。通过人工增加对棉花UV-B辐射，设置4个处理，每个处理的辐射剂量分别为0 W/m² (R0)、0.5 W/m² (R1)、1.0 W/m² (R2) 和1.5 W/m² (R3)，研究了UV-B辐射增强对棉花株高、茎粗、叶面积、叶片表现伤害、产量和品质的影响。结果表明：随着UV-B辐射增强，R1、R2和R3处理组的株高、茎粗、叶面积分别与对照达到了极显著水平($P < 0.01$)，R3与各个处理之间差异均达到了极显著水平($P < 0.01$)；棉花叶片可见伤害症状越来越严重，各个处理的棉花产量和品质显著低于对照。UV-B辐射增强使棉花形态、产量和品质之间存在密切的直接关系，UV-B辐射强度越大对棉花的影响就越大。

关键词

UV-B辐射，棉花，形态，产量，品质

1. 引言

由于大气臭氧层变薄，导致到达地表的UV-B辐射量增加，对作物产生了广泛的影响，UV-B辐射增加对植物生长、发育及生态影响的研究已成为全球的研究热点之一。然而大多数试验都是在温室中进行的，与大田的自然条件有着明显的差异，为了更准确的进行人工模拟条件下UV-B增加对农作物影响的研究，进行大田试验就极为重要，棉花是我国主要的经济作物，因此在大田条件下系统研究UV-B辐射增强对棉花形态、产量和品质的影响，具有重要的理论和现实意义。目前已证明紫外线对绝大多数的植物有不同程度的影响[1]，UV-B辐射增加对植物影响的一个重要特征是降低了植物的株高[2] [3]，形态学研究结果表明，作物株高降低是由于节间长度缩短，而节间个数不变[2] [4]。Biggs等(1978)以70个不同作物为材料发现叶面积减少达60%，并指出大豆、菜豆、豌豆、斑豆、黄瓜、西瓜等作物对紫外光极为敏感[5]。Sullivan和Teramura (1988)测定了10种松科植物幼苗生长及应激症状，发现可见症状为针叶褪色，有3种植物矮化，一种生物量增加，其它几种几乎不受UV-B的影响[6]。紫外辐射对大豆生物学产量有较大影响，随着UV-B辐射强度增加，干物质累积量下降，UV辐射增加8%，大豆干物质下降53.3%；UV辐射增加10%，小麦生物学产量下降25.5% [7]。从前人的研究来看，目前针对在UV-B辐射胁迫对植物的影响进行了大量研究，然而大多数研究都是在温室中进行的，经玻璃过滤的背景光与自然光有一定差异，因此，进行大田试验就极为重要，所获结果更具实践应用价值，而对棉花的研究还鲜为少见。鉴于此，本试验以棉花为受试材料，研究了UV-B辐射增强对大田棉花形态、产量和品质的影响。该研究试图通过UV-B辐射增强下，棉花一些生理指标的变化来探讨UV-B辐射增强对作物影响的机理，并为臭氧层减薄对我国大田作物生产的影响预测提供基础资料。

2. 材料与方法

2.1. 试验地点

本试验于2013年在新疆乌兰乌苏农业气象试验站进行(44°17'N, 85°49'E, 海拔高度468.2 m)。该站位于准葛尔盆地南缘，处于天山北坡带中心位置，气候属于典型的温带大陆性气候，冬季长而严寒，夏季短而炎热，年平均气温7.0℃，日照约2861.2小时，无霜期约170天，年降水量210.6 mm，年蒸发量1664.1

mm。试验地土壤类型为灰漠土,土壤质地为中壤土,土壤肥力中等,土壤基本肥力情况为:有机质1.90%、全氮0.125%、全磷0.204%、碱解氮78.0 mg·kg⁻¹、速效磷91.5 mg·kg⁻¹、速效钾315 mg·kg⁻¹。

2.2. 试验材料

试验材料为新陆早 13 号,由新疆农垦科学院提供。

2.3. 试验方法

本试验采取随机区组设计,于 2013 年 4 月下旬播种,采用 1.4 m 宽膜覆盖,宽窄行配置(30 + 60 + 30 cm),平均行距 45 cm,平均株距 10 cm,平均留苗株数约 22.5 万株每公顷,病虫害管理按大田常规管理。待第 3 片真叶完全展开后进行 UV-B 照射处理,R0 作为对照为自然光照,人工增加的 UV-B 辐射剂量为 0 W/m²,另三处理在相同自然光照下增加 UV-B 辐射剂量分别为 R1: 0.5 W/m²、R2: 1.0 W/m²、R3: 1.5 W/m²。每隔 15 天剪取同一叶位的叶片测定各项生理指标,每次测定设 3 个重复,数据为各处理的平均值。

UV-B 辐射处理:紫外灯管(秦牌,波长峰值 310 nm,宝鸡光源研究所研制)发射的 UV-B 辐射,经 0.08 mm 乙酸纤维素膜过滤后照射植物,以消除紫外线 C 对植物产生的干扰。制作 2 m × 2 m 灯架,灯架的高度可调,将灯管悬挂在灯架上距植株 50 cm 的高度,每天 10:00~18:00 为处理时间,阴雨天除外,直到棉花吐絮为止。随着棉花的生长发育不断调整灯管与植物冠层之间的距离以保证植株接受相同剂量的紫外线 B 辐射。紫外线 B 辐射剂量由北京师范大学光电仪器厂制造的紫外辐照计测得。

2.4. 测定项目及方法

植株高度测定:在棉花吐絮时期,用直尺测量每个处理所有植株的高度,取平均值。

植株茎粗测定:用游标卡尺测量每个处理所有植株的子叶节位置的直径,取平均值。

叶面积测定:采用重量法来测定棉花植株各个处理时期的叶面积,重量法是利用全部叶片的面积(A)与部分叶面积(a)之比等于全部叶片的重量(W)与部分叶片的重量(w)之比的原理测定,即: $A/a = W/w$ $A = a \times (W/w)$ 。

棉花叶片伤害面积确定:以透明方格坐标纸(1 cm × 1 cm)测得叶片锈斑面积,并以处理叶片与对照叶片中出现的锈斑面积差值表征叶片的伤害面积[8]。

棉花产量的测定:在铃期观测每个处理每株棉花的铃数,最后取平均值。在棉花吐絮末期,把各处理的所有棉花全部采摘下来,称取籽棉重量,然后脱籽得到皮棉重量。

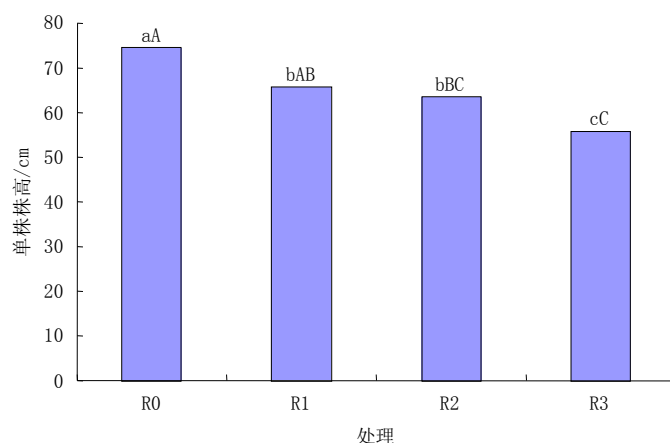
棉花品质的测定:农业部棉花品质监督检验测试中心进行测定棉花品质的测定,检验项目包括:上半部平均长度、整齐度指数、断裂比强度、马克隆值、伸长率、反射率以及黄度。UV-B辐射增强对棉花产量和品质的影响程度的比较方法采用反应指数RI (Response Index) $RI = \sum [(CK - T)/CK] \times 100\%$ [9] 分别计算棉花产量和品质的反应指数。处理间的差异显著性采用SPSS13.0进行分析。

3. 结果与分析

3.1. UV-B 辐射增强对棉花形态的影响

3.1.1. UV-B 辐射增强对棉花植株高度的影响

结果表明(如图 1),增强的 UV-B 辐射明显影响三个处理组植株的正常生长。以植株高度来表示其生长量,其中植株高度有 $R0 > R1 > R2 > R3$,且 R2 和 R3 分别与对照达到了极显著水平,R1 和 R2 之间差异不显著,R3 与 R1 达到了极显著水平,与 R2 达到了显著水平。表明棉花植株受到的 UV-B 辐射越强,对其生长量的影响就越大。



注：多重比较采用 SSR 法测验，不同小写字母为差异达显著水平($p < 0.05$)，不同大写字母为差异达极显著水平($p < 0.01$)。Note: Multiple comparisons were made by SSR's test, the small or capital letter indicated significant at $p < 0.05$ or 0.01 level.

Figure 1. Effects of enhanced UV-B radiation on plant height of cotton
图 1. UV-B 辐射增强对棉花植株高度的影响

3.1.2. UV-B 辐射增强对棉花植株茎粗的影响

从图 2 中可以看出，UV-B 辐射增强对棉花植株的茎粗产生一定影响。UV-B 辐射增强对棉花植株茎粗的影响与对株高的影响大致相同，R1、R2 和 R3 分别与对照达到了极显著水平差异，R1 和 R2 差异不显著，R3 与 R1、R2 分别达到了极显著水平。表明棉花植株受到的 UV-B 辐射强度越强，对其茎粗的影响就越大。

3.1.3. UV-B 辐射增强对棉花叶片面积的影响

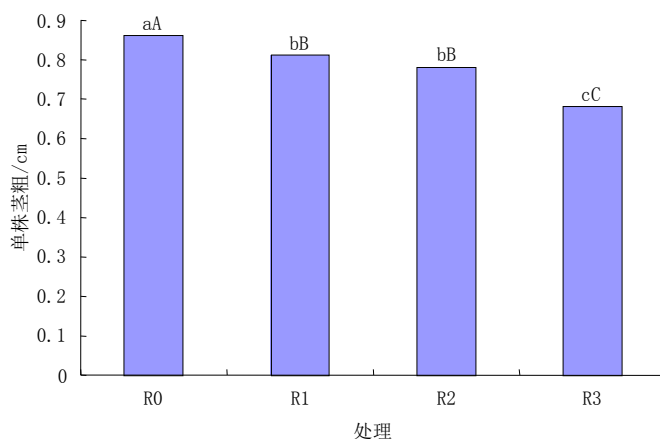
如图 3 所示，UV-B 辐射增强使棉花叶片面积变小。R1、R2 和 R3 棉花叶片面积分别比对照减少了 5.81%、9.30% 和 20.93%，方差分析表明，各个处理之间均达到了显著水平，R1、R2 和 R3 分别与对照达到了极显著水平，表明随着 UV-B 辐射强度的增强棉花叶片面积逐渐变小，UV-B 辐射增强对棉花叶片面积具有显著影响。

3.1.4. UV-B 辐射增强对棉花叶片引起的可见伤害症状

叶片是对环境胁迫最敏感的植物器官，因此叶片往往能直接反映外界环境对植物产生的影响。实验中发现，在 UV-B 辐射后，棉花叶片出现锈色伤斑，且伤斑面积随紫外辐射剂量的增加而增大，如图 4 所示。R1 辐射处理上部叶片多数正常，棉花叶片表现出的锈色伤斑很轻；R2 辐射处理导致 20% 叶片受到伤害，褪绿、变黄、卷曲反转，叶片正面所表现出来的锈色伤斑严重；R3 辐射处理时 50% 叶片受到伤害，正面重于背面，正面变黄，有类似烧焦发黑的迹象，在脉间出现不均匀的条状和块状斑点。可见，随 UV-B 辐射剂量增加，叶片受害程度加重。

3.2. UV-B 辐射增强对棉花产量的影响

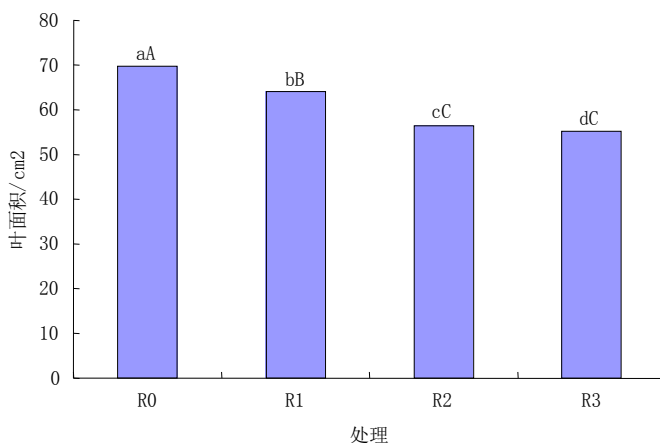
由于过量 UV-B 辐射的作用，棉花株高、茎粗、叶面积及棉株干质量等均出现了不同程度的下降，其结果肯定要影响棉花的产量结构产生不利影响，如表 1 所示。实验结果表明：UV-B 辐射增强对棉花产量有较大的影响。随着 UV-B 辐射强度的增加，棉花产量构成因子单株铃数、籽棉产量和皮棉产量都有明显的减少(表 1)，这种减少量随着 UV-B 辐射的增强而迅速加大，处理之间单株蕾数影响不大，R1、R2 和 R3 处理的单株铃数、籽棉产量和皮棉产量综合反应指数 RI 分别为 46.03%、102.13% 和 132.11%，这说明当紫外辐射量增加到一定值时，UV-B 辐射对棉花产量的影响会很大。



注：多重比较采用 SSR 法测验，不同小写字母为差异达显著水平($p < 0.05$)，不同大写字母为差异达极显著水平($p < 0.01$)。Note: Multiple comparisons were made by SSR's test, the small or capital letter indicated significant at $p < 0.05$ or 0.01 level.

Figure 2. Effects of enhanced UV-B radiation on plant diameter of cotton

图 2. UV-B 辐射增强对棉花植株茎粗的影响



注：多重比较采用 SSR 法测验，不同小写字母为差异达显著水平($p < 0.05$)，不同大写字母为差异达极显著水平($p < 0.01$)。Note: Multiple comparisons were made by SSR's test, the small or capital letter indicated significant at $p < 0.05$ or 0.01 level.

Figure 3. Effects of UV-B radiation on the leaf area of cotton

图 3. UV-B 辐射增强对棉花叶面积的影响



Figure 4. Enhanced UV-B radiation caused the visible injury symptoms on cotton leaf

图 4. UV-B 辐射增强对棉花叶片引起的可见伤害症状

Table 1. Effects of enhanced UV-B radiation on yields and factors of yields of cotton

表 1. UV-B 辐射增强对棉花产量及其产量构成因子的影响

| 处理 Treatment | 单株蕾数 bud number (蕾/株) | 单株铃数 Boll number (铃/株) | 籽棉产量 Seed wool yield (g/株) | 皮棉产量 Lint yield (g/株) | 减产率 Yield reduction rate (%) | RI |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------|
| CK | 6 | 6 | 21.941 | 9.201 | | |
| R1 | 5 | 5 | 19.411 | 7.576 | 17.66 | 46.03% |
| R2 | 6 | 4 | 14.464 | 6.006 | 34.72 | 102.13% |
| R3 | 5 | 3 | 12.858 | 5.471 | 40.54 | 132.11% |

3.3. UV-B 辐射对棉花品质的影响

UV-B 辐射增强对棉纤维内在品质的主要指标上半部平均长度、整齐度、断裂比强度、马克隆值、伸长率、反射率和黄度都有影响, 如表 2 所示。上半部平均长度、整齐度、断裂比强度、马克隆值、伸长率、反射率有随辐射强度的增大而下降趋势, 黄度与辐射强度呈正相关, 辐射强度越大黄度越高, 而黄度越高品质就越低。R1、R2 和 R3 处理的棉花品质指标综合反映指数分别为 7.38%、14.73%和 23.32%, 因此可以看出 UV-B 辐射增强最终影响了棉花的品质。

4. 讨论

植物形态特征的变化是外界环境变化对其影响最明显、最直观的表现。因此, 大气中臭氧层衰减所引起 UV-B 辐射增加对植物个体的影响, 就直接表现在对植物生长和形态特征的变化上。UV-B 辐射增强对茎秆生长的影响主要表现在对株高的影响上, 多数植物的株高在 UV-B 辐射胁迫下会产生矮化效应。本实验研究结果发现, UV-B 辐射增强使棉花植株株高、茎粗和叶面积减小, 且各个处理之间均达到了显著水平, UV-B 辐射强度越大对棉花叶片伤害程度就越大, R1 处理叶片多数正常, R2 处理叶片 20% 受到伤害, 叶片变黄, 有锈色伤斑, R3 处理叶片 50% 受到严重的伤害, 在脉间出现不均匀的条状和块状斑点。

本实验分析认为, 在实验中表现出来的植株矮化、茎粗和叶面积减小是 UV-B 辐射增强对棉花植株生长的一种影响, 更是棉花植株个体针对 UV-B 辐射增强的一种保护性措施, 是应对 UV-B 辐射对植株个体影响的一种方式, 这与李亚敏等(2005)在对浙贝母生长和光合作用的影响研究中表述的观点基本一致 [10]。出现这种情况是因为 UV-B 辐射增加导致植物体内生长素等促进伸长的激素含量下降, 而促进缩短的激素乙烯含量升高所致 [11], 或者是因为植物的伸长受到细胞激动素、生长素的影响, 因为生长素在 UV-B 辐射范围内吸收易分解转化成多种光氧化产物, 这些氧化产物能抑制茎的伸长, 故而使株高变短 [12]。

棉花的铃数是产量高低的直接反映, 一般铃数愈高, 产量也愈高, 本试验的研究结果证明了这一点。因此在本实验中棉花产量下降的主要原因是产量构成因素受 UV-B 辐射的影响, 同时, UV-B 辐射还影响棉花品质, 产量和品质的变化是棉花对 UV-B 辐射增加的综合反应的结果。郑有飞等 [13] 指出, UV-B 辐射显著降低大豆的总生物量, 原因可能是增强的 UV-B 辐射使植物体内产生大量的自由基, 使净光合速率降低, 同时叶面积指数降低, 光合有效面积减少, 引起植株光合能力下降, 从而降低总生物量和产量。

总之, 从本研究结果来看, UV-B 辐射增强对棉花生长的影响是十分明显的, 最终导致棉花产量和品质显著下降, 这对农业生产会产生不利的影。所以在农业生产实践中应培育抗 UV-B 辐射或对 UV-B 辐射不敏感的品种。当然, UV-B 辐射对棉花的影响还与棉花生长的其它因素如水分、温度、矿质营养元素、光合有效辐射等密切相关。关于 UV-B 辐射与环境因子变化结合起来, 研究它们对棉花的综合影响,

Table 2. Effects of enhanced UV-B radiation on factors of quality in cotton
表 2. UV-B 辐射增强对棉花品质构成因素的影响

| 处理 Treatment | 上半部 平均长度 mm | 整齐度 指数 % | 断裂比 强度 cN/tex | 马克隆值 | 伸长率 % | 反射率 % | 黄度 | RI |
|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|------|----------|----------|-----|--------|
| CK | 29.4 | 84.9 | 28.3 | 5.2 | 6.6 | 75.1 | 6.0 | |
| R1 | 28.7 | 84.7 | 27.8 | 5.0 | 6.5 | 74.5 | 6.2 | 7.38% |
| R2 | 28.6 | 84.0 | 27.8 | 4.8 | 6.4 | 72.5 | 6.3 | 14.73% |
| R3 | 27.9 | 83.9 | 26.3 | 4.7 | 6.4 | 72.1 | 6.4 | 23.32% |

在这方面还有待进一步的研究。只有这样，才能正确地评估和预测臭氧层减薄，UV-B 辐射增强对棉花的影响后果。

5. 结论

1) UV-B 辐射增强使棉花植株株高变矮，茎粗减小，叶面积降低，叶片伤害面积随着辐射强度的增强而加大，UV-B 辐射强度增加抑制棉花生长，可能与光合作用物质合成有关，光合色素破坏、光合系统 II 活性下降，从而导致光合能力降低。

2) UV-B 辐射强度增加降低棉花产量，主要原因是降低了棉花的铃数，同时也降低了棉花品质。

基金项目

国家自然科学基金项目(41205085)；中国气象局乌兰乌苏绿洲农田与生态站资助项目。

参考文献 (References)

- [1] Teramura, A.H. (1983) Effect of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiologia Plantarum*, **58**, 415-427.
- [2] 郑有飞, 颜景义, 万长建, 等 (1996) 紫外辐射增加对农作物的影响及其对策. *中国农业气象*, **4**, 51-53.
- [3] 林文雄, 梁康廷, 梁义元, 等 (2002) 水稻对紫外线 B 辐射增强的抗性遗传分析. *作物学报*, **5**, 686-692.
- [4] 杨志敏, 颜景义, 郑有飞 (1996) 紫外辐射增加对大豆光合作用和生长的影响. *生态学报*, **4**, 154-159.
- [5] Biggs, R.H. and Kouthus, S.V. (1978) UV-B biological and climate effects research final report U.S. Department of Agriculture. University of Florida Press, Gainesville, 77.
- [6] Sullivan, J.H. and Teramura, A.H. (1988) Effects of ultraviolet-B ration on seeding growth in the pinaceae. *American Journal of Botany*, **75**, 225-230.
- [7] 郑有飞, 杨志敏, 颜景义, 等 (1996) 作物对太阳紫外辐射增加的生物效应及其评估. *应用生态学报*, **1**, 107-109.
- [8] 刘荣绅, 胡艳, 李永政 (1998) 沈阳陨石山森林公园 SO₂ 污染现状与植物反应的研究. *生态学杂志*, **2**, 26-31.
- [9] Dai, Q.J., Peng, S.B., Chavez, A.Q. and Vergara, B.S. (1994) Intra-specific responses of 188 rice cultivars to enhanced UV-B radiation. *Environmental and Experimental Botany*, **34**, 433-442.
- [10] 李亚敏, 岳明 (2005) 补充 UV-B 辐射对浙贝母生长和光合作用的影响. *西北植物学报*, **4**, 740-744.
- [11] 王传海, 郑有飞, 何都良, 等 (2003) 小麦不同指标对紫外辐射 UV-B 增加反应敏感性差异的比较. *中国农学通报*, **6**, 43-45.
- [12] 杨志敏, 颜景义, 郑有飞 (1996) 紫外线辐射增加对大豆光合作用和生长的影响. *生态学报*, **2**, 154-159.
- [13] 郑有飞, 简慰民, 李秀芬, 等 (1998) 紫外辐射增强对大豆影响的进一步分析. *环境科学学报*, **5**, 549-552.