

UV - B 辐射与酸雨复合胁迫对油菜幼苗生长的影响

梁婵娟¹, 周青¹, 沈东兴², 曾庆玲¹, 张光生¹, 黄晓华³

(1. 江南大学工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214036; 2. 无锡锡山区种子分公司, 江苏 无锡 214064; 3. 南京师范大学化学与环境科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要: 采用水培实验方法研究了紫外辐射 (UV - B, 280 ~ 320 nm) 与酸雨 (AR) 单一和复合胁迫对油菜幼苗生长的影响。实验表明, 单一胁迫与复合胁迫对油菜幼苗生长有不同程度的抑制作用。在单一紫外辐射胁迫下 (T_1, T_2), 地上部分的降幅为 11.8% ~ 44.8%、21.7% ~ 50.4%, 地下部分的降幅为 2.7% ~ 34.7%、2.8% ~ 42.8%。单一酸雨胁迫下 (AR_1, AR_2), 降幅依次为 6.2% ~ 17.7%、3.7% ~ 10.9%、1.6% ~ 23.7%、0.6% ~ 10.9%。复合胁迫下降幅明显低于单一胁迫, 地上部分的降幅为 24.7% ~ 50.5% ($AR_1 + T_1$)、18.5% ~ 49.2% ($AR_2 + T_1$)、32.3% ~ 67.9% ($AR_1 + T_2$)、24.4% ~ 66.5% ($AR_2 + T_2$)。地下部分的降幅依次为 3.6% ~ 46.2%、3.5% ~ 43.1%、4.0% ~ 52.9%、3.7% ~ 49.7%。

关键词: UV - B 辐射; 酸雨; 复合胁迫; 油菜幼苗; 生长指标

中图分类号: S131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 2043(2004)02 - 0231 - 04

Effect of UV - B Radiation and Acid Rain on Rape Seedling Growth

LIANG Chan-juan¹, ZHOU Qing¹, SHEN Dong-xing¹, ZENG Qing-ling¹, ZHANG Guang-sheng¹, HUANG Xiao-hua³

(1. The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Wuxi 214036, China; 2. Xishan District Seed company, Wuxi 210064, China; 3. College of Chemistry & Environment Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Responses of rape seedling growth to single and combined stress of elevated ultraviolet - B radiation (UV - B, 280 ~ 320 nm) and acid rain were studied. The results showed that the growth of rape seedling was restrained in varying degrees under alone stress and combined stress. Under UV - B radiation stress alone (T_1, T_2), the decreasing degrees of growth index were about 11.8% ~ 44.8%, 21.7% ~ 50.4% in the aboveground parts and about 2.7% ~ 34.7%, 2.8% ~ 42.8% in the underground parts. Under acid rain stress alone (AR_1, AR_2), the ordinal decreasing degrees of index were 6.2% ~ 17.7%, 3.7% ~ 10.9%, 1.6% ~ 23.7% and 0.6% ~ 10.9% respectively. The decreasing degrees of growth indexes of rape seedling under combined stress were significantly higher than those under single stress, Which were 24.7% ~ 50.5% ($AR_1 + T_1$), 18.5% ~ 49.2% ($AR_2 + T_1$), 32.3% ~ 67.9% ($AR_1 + T_2$), 24.4% ~ 66.5% ($AR_2 + T_2$) in the aboveground and 3.6% ~ 46.2%, 3.5% ~ 43.1%, 4.0% ~ 52.9% and 3.7% ~ 49.7% in the underground.

Keywords: ultraviolet - B radiation; acid rain; combined stress; rape seedling; growth index

从生态生理学层面研究紫外 (UV - B, 280 ~ 320 nm) 辐射增强或酸雨 (acid rain, 简称 AR) 胁迫对植物的影响, 国内外已有很多报道^[1, 2], 但涉及 UV - B 与 AR 复合胁迫伤害植物的工作尚不多见。鉴于在自然界上述复合污染存在的现实, 本研究以油菜 (*Brassica campestris*) 幼苗为试材, 初步探讨了 UV - B 辐射增强

与 AR 复合胁迫对植物的影响。目的旨在客观、综合评估复合污染对植物的生物与生态学效应提供基础实验数据, 该研究内容目前尚未见文献报道。

1 材料与方法

1.1 试材培养

油菜“史力丰”的种子用 0.1% 的 $HgCl_2$ 消毒 10 min, 无菌水漂洗 3 次, 浸种 4 h 后, 将其放入垫有 3 层滤纸的培养皿中, 置于恒温培养箱 ($25\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$) 中萌发, 当种子上胚轴长至 2 cm 时移入直径 10 cm 的塑杯中, 去离子水培养, 每杯 5 株, 待真叶长出后, 移入

收稿日期: 2003 - 03 - 27

基金项目: 国家计委 (GJX01100626); 江苏省科技厅 (BG2001045); 江苏省教育厅 (01KJB150006)

作者简介: 梁婵娟 (1978—), 女, 新疆石河子人, 环境生态学硕士研究生。

联系人: 周青, E-mail: zqwx@263.sina.com

1/2(Arnon + Hogland) 营养液中继续培养, 每天向杯中通气 2 次, 3 d 更换一次营养液, 以确保 pH 值的稳定, 培养 6 周后用作处理。

1.2 试材处理

1.2.1 UV - B 处理

模拟 UV - B 辐射增加使用 40 W UV - B 灯管 ($\lambda \approx 280 \sim 320 \text{ nm}$), 灯管悬挂于植株上方, 冠层上方辐射强度设定为: $0.30 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}(\text{T}_1)$ 和 $0.45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}(\text{T}_2)$ [13], 并经双通道 UV - B 紫外辐照计(北京师大光电仪器厂)验证, 每日照射 5 h, 连续照射 6 d。为保持实验全程紫外辐射强度恒定不变, 需不断调节灯管的高度。

1.2.2 AR 处理

模拟酸雨 (AR) 的配制参照文献 [4], 先配制 pH 1.0 的酸雨母液, 其中硫酸根和硝酸根的体积比为 4.7:1。以去离子水作为稀释液, 将母液分别调制成 pH3.5 (AR₁) 和 pH4.0 (AR₂) 的酸雨 [15], 并经 PHS - 29A 酸度计(上海精密科学仪器有限公司)校准。将配制好的 pH3.5 和 pH4.0 的酸雨溶液, 用喷雾器均匀喷布油菜叶片, 以滴液为限, 每天喷 1 次, 连续喷 3 d, 对照植株 (CK) 喷等量的蒸馏水。

1.2.3 UV - B 与 AR 复合处理

将 AR 处理后的部分油菜幼苗移于 UV - B 灯管下, 时间与强度同前 (1.2.1)。以上各处理与 CK 均 3

杯, 3 次重复。

1.3 生长指标测定

根系生长指标测定参照文献 [6], 排水法测定根系体积; 用直尺量出茎长、株高及主根长; 叶面积与伤害面积皆以透明方格纸法计算而得 [17]。以单株为单位, 分别测出每株油菜幼苗的叶片鲜重, 茎鲜重, 根鲜重。之后, 于电热恒温干燥箱中, $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青 10 min, $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘 12 h 至恒重, 分别称其干重。

2 实验结果

2.1 复合胁迫对油菜幼苗根系生长影响

表 1 数据显示, 与 CK 相比, AR₁ 与 AR₂ 胁迫下的油菜根系 6 项指标均呈下降态势, 其中 AR₁ 降幅为 1.6% ~ 23.7%, AR₂ 降幅为 0.6% ~ 10.9%, AR₁ > AR₂; T₁ 与 T₂ 胁迫下, 根系 6 项指标同样也低于 CK, 其中 T₁ 降幅为 2.7% ~ 34.7%, T₂ 降幅为 2.8% ~ 42.8%, T₂ > T₁。上述“剂量 - 效应”关系与以往报道相符 [1-3, 5]。从复合处理看, 经 AR₁ + T₁、AR₂ + T₁、AR₁ + T₂、AR₂ + T₂ 4 种组合处理的油菜幼苗, 其根系 6 项指标降幅分别为 3.6% ~ 46.2%, 3.5% ~ 43.1%, 4.0% ~ 52.9%, 3.7% ~ 49.7%, 其效应序列为: AR₁ + T₂ > AR₂ + T₂ > AR₁ + T₁ > AR₂ + T₁。AR + T 复合胁迫大于 AR₁, AR₂, T₁, T₂ 单独胁迫的事实, 证明 AR 和 UV - B 两种污染因子对植物伤害存在协同作用。

表 1 UV - B 与酸雨复合胁迫对油菜幼苗地下部分生长的影响

Table 1 Effects of UV - B radiation and acid rain on the growth of underground organs of rape seedling

处理	主根长/cm	根体积/cm ³	根鲜重/g	根干重/g	总吸收面积/m ²	活跃吸收面积/m ²
CK	9.64 ± 0.50(100.0)	2.39 ± 0.15(100.0)	1.278 ± 0.097(100.0)	0.154 ± 0.029(100.0)	3.134 ± 0.010(100.0)	1.552 ± 0.009(100.0)
AR ₁	8.21 ± 0.14(85.2)	1.99 ± 0.01(83.5)	0.925 ± 0.047(76.3)	0.138 ± 0.018(78.2)	3.076 ± 0.010(98.1)	1.526 ± 0.001(98.4)
AR ₂	8.62 ± 0.31(89.3)	2.17 ± 0.01(90.5)	1.139 ± 0.060(89.1)	0.149 ± 0.011(89.6)	3.114 ± 0.070(99.4)	1.528 ± 0.001(98.5)
T ₁	8.08 ± 0.11(83.8)	1.81 ± 0.02(75.5)	0.835 ± 0.028(65.3)	0.112 ± 0.007(72.4)	3.002 ± 0.042(95.8)	1.510 ± 0.003(97.3)
T ₂	7.67 ± 0.24(79.7)	1.56 ± 0.002(65.2)	0.732 ± 0.033(57.2)	0.097 ± 0.021(62.7)	3.001 ± 0.037(95.7)	1.508 ± 0.001(97.2)
AR ₁ + T ₁	7.02 ± 0.15(72.7)	1.49 ± 0.00(62.2)	0.688 ± 0.000(53.8)	0.086 ± 0.008(56.1)	2.968 ± 0.056(94.7)	1.496 ± 0.001(96.4)
AR ₂ + T ₁	7.24 ± 0.00(75.1)	1.68 ± 0.05(70.4)	0.728 ± 0.037(56.9)	0.095 ± 0.005(61.7)	2.990 ± 0.055(95.4)	1.497 ± 0.000(96.5)
AR ₁ + T ₂	7.00 ± 0.33(68.4)	1.50 ± 0.02(51.0)	0.634 ± 0.018(49.6)	0.073 ± 0.009(47.1)	2.963 ± 0.023(94.6)	1.490 ± 0.005(96.0)
AR ₂ + T ₂	7.02 ± 0.99(72.7)	1.75 ± 0.08(56.4)	0.716 ± 0.065(56.0)	0.078 ± 0.016(50.3)	2.968 ± 0.071(94.7)	1.494 ± 0.007(96.3)

2.2 复合胁迫对油菜幼苗地上部生长影响

在 AR₁ 与 AR₂ 单独胁迫下, 油菜幼苗茎高、株高、叶片数、叶面积 4 项生长指标 (表 2), 叶鲜重、叶干重、茎鲜重、茎干重 4 项生物量指标 (表 3) 均低于 CK, 其生长指标的降幅为 6.2% ~ 17.5% (AR₁)、3.7% ~ 8.4% (AR₂), 叶片伤害面积则高于 CK 2.2% (AR₁)、1.9% (AR₂); 生物量指标的降幅是 15.5% ~ 17.7% (AR₁)、6.8% ~ 10.9% (AR₂), AR₁ > AR₂。T₁

与 T₂ 处理的油菜植株, 上述 8 项指标同样低于 CK (表 2、3), 其降幅为 11.8% ~ 44.8% (T₁)、21.7% ~ 50.4% (T₂); 17.4% ~ 38.3% (T₁), 28.3% ~ 49.8% (T₂), 叶片伤害面积则高于 CK 10.8% (T₁)、27.0% (T₂), 总趋势仍为 T₂ > T₁。此结果符合前人“酸雨与 UV - B 辐射剂量同伤害效应呈正相关”的实验结论 [1-3, 5]。

在 AR 与 UV - B 复合胁迫中, 4 种组合处理的油

表 2 UV - B 与酸雨复合胁迫对油菜幼苗地上器官生长的影响

Table 2 Effects of UV - B radiation and acid rain on the growth of aboveground organs of rape seedling

处理	茎高/cm	相对值	株高/cm	相对值	叶片数/枚	相对值	叶面积/cm ²	相对值	伤害面积/cm ²	相对值
CK	5.34 ± 0.19	100.0	19.15 ± 1.05	100.0	6.0 ± 0.10	100.0	50.74 ± 0.36	100.0	0.00	100.0
AR ₁	4.41 ± 0.03	82.5	16.57 ± 0.25	86.5	5.4 ± 0.19	90.1	47.60 ± 0.26	93.8	1.050.05	2.2
AR ₂	4.96 ± 0.10	92.8	17.54 ± 0.36	91.6	5.5 ± 0.15	91.8	48.87 ± 0.18	96.3	0.85 ± 0.02	1.9
T ₁	4.50 ± 0.06	84.2	16.45 ± 0.06	85.9	5.2 ± 0.20	88.2	28.02 ± 0.33	55.2	3.02 ± 0.01	10.8
T ₂	4.01 ± 0.14	75.0	14.59 ± 0.13	76.2	4.7 ± 0.06	78.3	25.14 ± 0.13	49.6	6.78 ± 0.02	27.0
AR ₁ + T ₁	3.99 ± 0.21	74.6	15.63 ± 0.35	76.4	4.5 ± 0.17	76.3	25.18 ± 0.19	49.5	3.98 ± 0.07	17.4
AR ₂ + T ₁	4.18 ± 0.16	78.2	16.24 ± 0.10	78.8	4.9 ± 0.07	81.5	25.80 ± 0.34	50.8	4.11 ± 0.03	15.9
AR ₁ + T ₂	3.11 ± 0.03	63.5	11.95 ± 0.09	67.7	4 ± 0.0	67.2	16.29 ± 0.09	32.1	5.17 ± 0.01	33.0
AR ₂ + T ₂	3.51 ± 0.08	65.7	13.18 ± 0.14	69.8	4.5 ± 0.14	75.6	17.00 ± 0.11	33.5	5.28 ± 0.06	31.0

表 3 UV - B 与酸雨复合胁迫对油菜幼苗地上部分生物量的影响

Table 3 Effects of UV - B radiation and acid rain on the aboveground biomass of rape seedling

处理	叶鲜重/g	相对值	叶干重/g	相对值	茎鲜重/g	相对值	茎干重/g	相对值
CK	2.350 ± 0.159	100.0	0.185 ± 0.022	100.0	0.322 ± 0.014	100.0	0.025 5 ± 0.001	100.0
AR ₁	1.935 ± 0.077	82.3	0.156 ± 0.015	84.5	0.271 ± 0.001	84.1	0.019 2 ± 0.000	83.3
AR ₂	2.903 ± 0.164	89.1	0.172 ± 0.015	93.2	0.296 ± 0.15	91.8	0.023 3 ± 0.001	91.4
T ₁	1.449 ± 0.119	61.7	0.118 ± 0.010	63.7	0.266 ± 0.004	82.6	0.020 5 ± 0.001	80.4
T ₂	1.121 ± 0.109	50.3	0.093 ± 0.0016	50.2	0.217 ± 0.009	67.5	0.018 3 ± 0.004	71.7
AR ₁ + T ₁	1.168 ± 0.052	49.7	0.095 ± 0.004	51.2	0.194 ± 0.002	60.2	0.015 8 ± 0.002	62.0
AR ₂ + T ₁	1.267 ± 0.122	53.9	0.101 ± 0.017	54.9	0.207 ± 0.004	64.2	0.018 ± 0.002	70.6
AR ₁ + T ₂	0.942 ± 0.011	40.1	0.081 ± 0.005	43.8	0.159 ± 0.000	49.5	0.014 1 ± 0.000	55.1
AR ₂ + T ₂	1.061 ± 0.020	45.2	0.087 ± 0.010	46.8	0.187 ± 0.014	58.1	0.016 6 ± 0.001	65.0

菜幼苗,地上部 8 项指标明显低于 CK(表 2、3),其降幅为 23.6% ~ 50.5%, 38.0% ~ 50.3% (AR₁ + T₁), 18.5% ~ 49.2%, 29.4% ~ 46.1% (AR₂ + T₁), 32.3% ~ 67.9%, 44.9% ~ 59.9% (AR₁ + T₂), 24.4% ~ 66.5%, 35.0 ~ 44.8% (AR₂ + T₂)。叶片伤害面积则分别高于 CK 17.4% (AR₁ + T₁), 15.9% (AR₂ + T₁), 33.0% (AR₁ + T₂) 和 31.0% (AR₂ + T₂)。其效应序列与上述地下器官的效应序列相吻合:AR₁ + T₂ > AR₂ + T₂ > AR₁ + T₁ > AR₂ + T₁。AR + T 复合胁迫作用大于 AR₁, AR₂, T₁, T₂ 单独胁迫效应的现象,再次证明 AR 与 UV - B 两种污染因子对植物伤害存在协同作用。

3 讨论

研究表明,在 UV - B 与 AR 单一胁迫和两者复合胁迫下,油菜幼苗地下、地上器官生长均受到抑制,但因胁迫方式不同,抑制程度也不尽一致。其作用规律为:

(1)AR 与 UV - B 复合胁迫对油菜幼苗的抑制程度高于 AR 与 UV - B 单独作用,说明两种污染因子间存在协同效应。

(2)复合因子的效应序列 (AR₁ + T₂ > AR₂ + T₂ >

AR₁ + T₁ > AR₂ + T₁) 显示,复合伤害效果除遵循一般的“剂量—效应”关系外,AR 与 UV - B 对油菜幼苗胁迫伤害的贡献率有所不同,UV - B 作用大于 AR (AR₂ + T₂ > AR₁ + T₁)。

(3)AR 与 UV - B 复合胁迫对油菜幼苗地上器官的影响 (18.5% ~ 69.0%) 大于地下器官 (3.5% ~ 52.9%),这或许同植物遭受 AR、UV - B 复合伤害的时、空界面(即地上器官先于地下器官)不同;试验处理时间周期较短,以及试验材料为幼苗,根系生长的营养依赖地上部分供给,根系受复合胁迫的影响迟于地上部分;加之酸雨还未显著改变根系附近的 pH 值等因素有关。

至于 AR 与 UV - B 复合伤害机理推断如下:AR、UV - B 辐射降低植物体内活性氧清除酶系超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶与淬灭剂(抗坏血酸、脯氨酸、谷胱甘肽等)的活性及含量,导致活性氧生成量增加,植物体内自由基反应增强,继而导致细胞膜脂过氧化加剧,膜透性增加,电解质渗漏上升, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 等营养元素流失,造成植物营养障碍,胞电化学平衡破坏,代谢紊乱,从而影响植物的生长发育^[8-11]。

参考文献:

- [1] Paul N D. Stratospheric ozone depletion, UV - B radiation and crop disease[J]. *Environmental Pollution*, 2000, 108: 343 - 355.
- [2] 冯宗炜. 中国酸雨的生态影响和防治对策[J]. 云南环境科学, 2000, 19(增刊): 1 - 6.
- [3] 郑有飞, 何雨红, 甘思旧. 紫外辐射增加后麦田的小气候特征研究 (I) [J]. 农业环境保, 2002, 21(5): 406 - 409.
- [4] 张耀民, 吴丽英, 王晓霞, 等. 酸雨对农作物的叶片伤害及生理特性的影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(5): 197 - 208, 227.
- [5] 唐鸿寿. 模拟酸雨对油菜生长的影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(6): 261 - 263.
- [6] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 57.
- [7] 刘荣坤, 胡艳, 李永政. 沈阳陨石山森林公园 SO₂ 污染现状植物反应的研究[J]. 生态学杂志, 1998, 17(2): 26 - 31.
- [8] WANG C X, LIU Y L, LI F M, et al. Inhibition effect of rare earth nitrates on superoxide anion radical by pulse radiolysis[J]. *J Rare Earth*, 2000, 18(3): 286 - 290.
- [9] 周青, 黄晓华, 王东燕, 等. 钙对酸雨伤害甜瓜幼苗的影响[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 186 - 191.
- [10] 高健, 陈放鸣, 陈耀华, 等. 铜陵市酸沉降对马尾松林的影响[J]. 生态学杂志, 1996, 15(4): 24.
- [11] 严重玲, 洪业汤, 王世杰, 等. 稀土元素对酸雨胁迫小麦活性氧清除系统响应的作用[J]. 作物学报, 1999, 25(4): 504.