

钙对紫外辐射 B 胁迫下小麦幼苗若干生物学特性的影响 *

周青¹, 黄晓华², 施国新², 戴玉锦³ (1. 江南大学生物工程学院, 无锡 214063; 2. 南京师范大学化学与环境科学学院, 南京 210097; 3. 苏州铁道师范学院生物系, 苏州 215009)

摘要:采用模拟紫外辐射(UV-B, 280~320nm)的盆栽实验法,研究钙离子对紫外B辐射胁迫下小麦幼苗若干生物学特性的影响.结果显示,在紫外辐射胁迫下(0.35 W/m²,每日照射6h,连续照射7d),2mmol/L钙离子处理的小麦,地下与地上部生长指标均明显低于对照植株(降幅为8.1%~36.1%).而6mmol/L钙离子处理的小麦幼苗,各种生长指标的降幅(3.2%~28.6%)低于2mmol/L钙离子处理的小麦幼苗.表明钙离子具有缓解紫外辐射伤害小麦幼苗的效应,这同钙离子对小麦幼苗部分生理生化指标的影响有关.

关键词:钙;UV-B胁迫;小麦幼苗;生物学特性

中图分类号:X171.5 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)06-04-0079

Effects of Calcium on Biological Characteristics of Wheat Seedlings under Ultraviolet B Radiation Stress

Zhou Qing¹, Huang Xiaohua², Shi Guoxin², Dai Yujin³ (1. The School of Biotechnology, Southern Yangtze University, Wuxi 214063; 2. The College of Chemistry and Environmental Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097; 3. Department of Biology, Suzhou Railway Teachers College, Suzhou 215009)

Abstract: Under simulated ultraviolet-B radiation (UV-B, 280~320nm), effect of calcium on biological characteristics of wheat seedlings was studied with pot culture experiment. The results showed that the growth indexes of wheat seedlings on ground and underground in calcium concentration 2mmol/L treated group were obviously reduced than that of wheat seedlings in control treated group (the descending range of 8.1%~36.1%) under UV-B stress (0.35 W/m², 6h per day, for 7 day). And the decreasing degree of growth indexes (3.2%~28.6%) for wheat seedlings in calcium concentration 6mmol/L treated group were lower than in calcium concentration 2mmol/L treated group. The experiment proved that calcium can mitigate the damage of ultraviolet-B radiation on wheat seedlings, and this effect was related to that calcium affected physiological and biochemical characteristics of wheat seedlings.

Key words: calcium; ultraviolet-B radiation stress; wheat seedlings; biological characteristics

本世纪70年代以来,国内外广泛开展了紫外辐射B(UV-B,280~320nm,以下简称紫外辐射)增强对作物生态生理效应的研究. Teramura^[1]和 Van 等^[2]发现,紫外辐射增强导致作物光合作用减弱,同化产物积累减少,生长发育受阻,生物量降低;李元等人^[3~5]报道,增加紫外辐射可引起春小麦生理、生化等生物学特性改变,籽粒品质下降并影响土壤氮、磷、铁元素的积累与循环;王传海等人^[6]证实,小麦开花与结实率同紫外辐射增强成明显的负相关; Kramer 等^[7]指出,作物在紫外辐射增强胁迫

下,细胞膜脂过氧化作用加剧,杨景宏等人^[8]则认为,此与紫外辐射胁迫下,作物细胞内源脱落酸的大量积累有关.同上述伤害效应与机理的探讨相比,迄今为止,涉及生态防护研究的报道明显偏少.本文借鉴钙在环境生理学中的调控理论,以植物生命周期中,感受紫外辐射最为敏感的幼苗阶段作为研究对象,初步探讨了钙

基金项目:江南大学工业生物技术教育部重点实验室基金资助项目.

作者简介:周青(1957~),男,教授,主要研究方向为污染生态学.

收稿日期:2000-12-22

对紫外辐射胁迫下小麦幼苗若干生物学特性的影响, 目的为减轻紫外辐射伤害的生态防护研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试材培养

春小麦(*Triticum aestivum* L.)“小偃 54”的种子用 0.1% $HgCl_2$ 消毒 8 min, 无菌水漂洗 3 遍后, 置 25℃ 下催芽。露白后排列于尼龙网架上, 在室内自然光照下水培。待长至一心二叶期时, 去除幼苗胚乳, 转入不同含钙离子水平的 Hoagland 营养液(塑杯 $V = 100$ ml) 中。每 3d 更换 1 次营养液, 以确保溶液 pH 稳定。5d 后, 用作紫外辐射实验的材料。

1.2 钙浓度设置

参照袁清昌等实验方法^[9], 采用分析纯 $CaCl_2$ (上海泗联化工厂产品) 配置 Hoagland 营养液, 设 2 个钙离子处理水平: $6\text{ mmol/L } Ca^{2+}$ (T_1); $2\text{ mmol/L } Ca^{2+}$ (T_2), $2\text{ mmol/L } Ca^{2+}$ (CK)。每杯内置 10 株小麦幼苗, 每一处理 12 杯, 分为 3 组, 计 36 杯。

1.3 紫外辐射处理

模拟紫外辐射增加使用 40 W UV-B 灯管(秦牌, 波长峰值 310 nm, 宝鸡光源研究所产品), 灯管悬挂于植株的上方, 发射的 UV-B 经 0.13 mm 醋酸纤维膜(Cellulose diacetate film) 过滤后照射小麦植株。辐射强度设定为 0.35 W/m^2 并经紫外辐射仪(北京师范大学制造, 读

数由 Caldwell 公式转换得到) 验证^[8], 每日照射 6 h, 连续照射 7 d。为保持实验全程紫外辐射强度稳定不变, 需不断调节紫外灯管的高度。

1.4 生长指标测定

根系生长指标测定参照文献^[10], 排水法测定根系体积; 根长为根系长度之和除以根数; 重量法测定根系干重与湿重。叶面积与伤害面积皆以透明方格纸法计算而得^[11]。

1.5 生理指标测定

小麦幼苗叶片的叶绿素含量、脯氨酸含量、细胞质膜透性、硝酸还原酶(NR) 活性及根系活力等生理指标均按文献^[12]提供的方法测定, 时间为紫外辐射开始后的第 5 天。以上数据均以 3 次重复的平均值与标准差($\bar{X} \pm S$) 表示。

2 实验结果

2.1 钙对紫外辐射胁迫下小麦苗期生长的影响

(1) 对小麦根系生长的影响 表 1 的实验结果显示, 在设定计量的紫外辐射胁迫下, 6 mmol/L 钙离子(T_1) 处理的小麦幼苗植株, 其根数、根干重与对照植株间的差别不大, 其它 3 项形态指标虽低于对照植株, 但却高于 2 mmol/L 钙离子处理下(T_2) 的小麦幼苗。相比之下, 2 mmol/L 钙离子处理下(T_2) 的小麦幼苗, 根系的 5 项生长指标均低于对照植株。表明钙对紫外辐射胁迫下小麦幼苗的正常生长, 起到一定程度的保护作用。

表 1 钙对紫外辐射胁迫下小麦根系生长的影响($\bar{X} \pm S$, $N = 20$)

Table 1 Effect of calcium on the root growth of wheat under Ultraviolet-B radiation stress

处理	根长/cm	根数	根体积/ cm^3	根鲜重 FW/g	根干重 DW/g
CK	6.08 ± 1.26 (100) ¹⁾	6.2 ± 0.14 (100)	0.119 ± 0.05 (100)	0.091 ± 0.007 (100)	0.0085 ± 0.0004 (100)
$T_1 + \text{UV-B}$	4.78 ± 1.13 (78.6)	6.0 ± 0.20 (96.8)	0.096 ± 0.02 (80.7)	0.074 ± 0.003 (81.3)	0.0082 ± 0.0007 (96.5)
$T_2 + \text{UV-B}$	4.11 ± 0.47 (67.6)	5.7 ± 0.24 (91.9)	0.076 ± 0.05 (63.9)	0.062 ± 0.002 (68.1)	0.0069 ± 0.0001 (81.2)

1) 括号内为相对值

(2) 对小麦地上部生长的影响 小麦地上器官是直接遭受紫外辐射伤害的部位。实验结果显示, 2 mmol/L 钙离子处理的小麦植株的各项生长指标, 皆明显低于对照植株。而经

6 mmol/L 钙离子处理(T_1) 的小麦幼苗, 除叶片数、伤害面积有别于对照植株外, 株高、叶面积、叶鲜重及叶干重与对照植株的差异不甚明显。说明钙在一定程度上有减轻紫外辐射伤害小麦

幼苗的作用。

为了解钙缓解紫外辐射胁迫伤害小麦幼苗

2.2 钙对紫外辐射胁迫下小麦生理指标的影响 的内在生理致因,实验中同步测定了与苗期植

表 2 钙对紫外辐射下小麦地上部生长的影响($X \pm S$, $N=20$)

Table 2 Effect of calcium on growth of wheat on ground under Ultraviolet-B radiation stress

处理	株高/cm	叶片数/片	叶面积/cm ²	伤害面积/cm ²	叶鲜重 FW/g	叶干重 DW/g
CK	17.15 ± 0.36 (100) ¹⁾	2.8 ± 0.01 (100)	2.79 ± 0.02 (100)		0.134 ± 0.012 (100)	0.0181 ± 0.0001 (100)
T ₁ + UV-B	16.32 ± 0.58 (95.2)	2.0 ± 0.0 (71.4)	2.69 ± 0.10 (96.4)	1.17 ± 0.09 (43.49) ²⁾	0.109 ± 0.026 (81.3)	0.0146 ± 0.0004 (80.7)
T ₂ + UV-B	14.80 ± 0.23 (86.3)	2.0 ± 0.0 (71.4)	2.20 ± 0.09 (78.9)	1.38 ± 0.03 (62.73)	0.089 ± 0.001 (66.4)	0.0127 ± 0.0001 (70.2)

1) 括号内为相对值 2) 伤害面积占叶面积的百分比

株生长及逆境生理相关的若干生理、生化指标。

(1) 对叶绿素、脯氨酸含量及质膜透性的影响 在逆境生物学中,叶绿素与脯氨酸含量及细胞质膜透性,常用来表征植物受逆境伤害的程度或植物自身抗逆性强弱。表 3 数据显示,与对照植株相比,2 mmol/L 钙离子处理(T₂)的

小麦幼苗,其叶绿素含量明显降低,而脯氨酸含量与细胞质膜透性 2 项指标却明显上升。但 6 mmol/L 钙离子处理(T₁)下的小麦幼苗,其 3 项生理生化指标的变幅明显低于 2 mmol/L 钙离子处理下的小麦植株。表明钙对紫外辐射胁迫伤害小麦幼苗有一定的缓解作用。

表 3 钙对紫外辐射胁迫下小麦叶片叶绿素、脯氨酸含量的影响($X \pm S$, $N=20$)

Table 3 Effect of calcium on content of chlorophyll and proline in wheat under Ultraviolet-B radiation stress

处理	叶绿素含量 FW/mg·g ⁻¹	相对值	脯氨酸含量 FW/μg·g ⁻¹	相对值	质膜透性/%	差值
CK	10.17 ± 0.32	100.0	4.21 ± 0.06	100.0	6.57 ± 0.02	
T ₁ + UV-B	6.15 ± 0.08	60.47	6.0 ± 0.08	142.52	11.13 ± 0.67	+ 4.56
T ₂ + UV-B	3.33 ± 0.59	32.74	16.5 ± 5.56	391.92	26.43 ± 0.08	+ 19.86

(2) 对硝酸还原酶活性、根系活力的影响 根系活力是反映植物根系生长和功能状态的良好指标,硝酸还原酶(NR)活性则是小麦幼苗离(胚)乳后,转入光合自养,进行光合氮代谢的重要酶系。表 4 数据说明,在紫外辐射胁迫下,2 mmol/L 钙离子处理(T₂)的小麦幼苗,硝酸还

原酶活性与根系活力均低于对照植株,而 6 mmol/L 钙离子处理(T₁)下的小麦幼苗,2 项指标虽也低于对照植株,但降幅却明显小于前者。再次说明,钙对紫外辐射伤害小麦幼苗,可起一定程度的缓解的作用。

表 4 钙对紫外辐射胁迫下小麦叶片硝酸还原酶(NR)¹⁾活性与根系活力的影响($X \pm S$, $N=20$)

Table 2 Effect of calcium on nitrate reductase activity and root activation under Ultraviolet-B radiation stress

处理	NR 活性/μmol·(g·h) ⁻¹	相对值	根系活力/%	差值
CK	10.65 ± 1.29 ¹⁾	100.0	54.31 ± 6.89	
T ₁ + UV-B	7.45 ± 1.61	69.95	53.01 ± 7.93	- 1.3
T ₂ + UV-B	4.26 ± 0.16	40.0	49.34 ± 1.49	- 4.97

1) NR 活性以单位时间、鲜重叶片 NO₂ 生成量表示

3 讨论

本文的研究结果表明,在紫外辐射增强胁迫下,2 mmol/L 钙离子处理(T₂)的小麦幼苗,

其根长、根数、根体积、根干重与鲜重、苗高、叶片数、叶面积、叶干重与鲜重等生长指标均明显低于对照植株,苗期生长趋劣,其结果势必影响到小麦的后期生长和产量形成。相反,经

6 mmol/L 钙离子处理 (T_1) 的小麦幼苗, 虽根长、叶片数也低于对照植株, 但其降幅明显小于 2 mmol/L 钙离子处理 (T_2) 的小麦植株, 其它各项生长指标与对照植株的差别不甚明显. 生理测定显示, 钙的上述效应是同其生理作用相吻合的. 即 6 mmol/L 钙离子处理 (T_1) 下的小麦幼苗, 叶绿素、脯氨酸含量、细胞质膜稳定性、硝酸还原酶活性、根系活力等与生长和抗逆性相关的生理、生化指标的变幅在 39.6% ~ 149.3% 间, 同对照植株相比变化不大 (表 3 ~ 4), 而 2 mmol/L 钙离子处理 (T_2) 的小麦植株则变化明显, 其变幅达 63.4% ~ 321.6%, 由此表明, 钙在一定程度上减轻了紫外辐射 B 对小麦幼苗部分生理机能的影响.

结合钙调节理论的研究成果推测, 钙离子的上述生理作用与钙作为植物细胞的结构、功能、信息物质, 继而诱导植物的抗逆生理过程有关. 研究表明, 钙能与植物细胞的膜成分形成复杂交联结合, 或以改变膜分子构型方式, 稳定膜结构^[13~14], 从而提高细胞质膜、叶绿体中类囊体膜的稳定性与完整性, 使膜透性和叶绿素含量保持稳定; 钙还能促进脯氨酸的合成^[15], 在逆境胁迫下, 脯氨酸能提高植物对干旱、低温、盐渍、 SO_2 、重金属等多种逆境的抗性^[16~19], 本实验中则体现为对紫外辐射增强的抗逆应激反应; 钙能提高硝酸还原酶 (NR) 活性^[20], 使光合氮代谢在逆境胁迫下不致过低, 满足小麦生长发育对氮素需求.

4 结论

(1) 钙离子对紫外辐射 B 胁迫下小麦幼苗生长变劣具有一定的减缓作用.

(2) 钙离子减轻紫外辐射伤害小麦幼苗的原因在于对小麦生理功能有一定的调节作用.

参考文献:

- 1 Teramura A H. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol. Plant*, 1983, **58**: 415 ~ 427.
- 2 Van T K, Garrard L A, West S H. Effects of UV-B radia-

- tion on net photosynthesis of some crop plants. *Crop Sci.*, 1976, **16**: 715 ~ 718.
- 3 李元, 王勋陵. 紫外辐射增加对春小麦生理产量和品质的影响. *环境科学学报*, 1998, **18**(5): 504 ~ 509.
- 4 李元, 王勋陵. UV-B 辐射增加对麦田生态系统 N、P 累积和循环的影响. *农业环境保护*, 2000, **19**(3): 129 ~ 132.
- 5 李元, 王勋陵, 胡之得. 田间增强 UV-B 辐射对麦田生态系统 Fe 营养和累积的影响. *环境科学*, 2000, **21**(2): 36 ~ 39.
- 6 王传海, 郑有飞, 万长建等. 紫外线 UV-B 增加对小麦开花及结实率的影响. *农业环境保护*, 2000, **19**(4): 221 ~ 223.
- 7 Kramer G F, Norman H A, Krizck D T et al. Influence of UV-B radiation on polyamines, lipid and membrane lipids in cucumber. *Photochemistry*, 1991, **30**: 2101 ~ 2108.
- 8 杨景宏, 陈拓, 王勋陵. 增强 UV-B 辐射对小麦叶片内源 ABA 和游离脯氨酸的影响. *生态学报*, 2000, **20**(1): 40 ~ 42.
- 9 袁清昌, 许长城, 邹琦. 钙及钙调素拮抗剂对小麦幼苗 LOX 活性的影响. *植物生理学通讯*, 1997, **33**(4): 266 ~ 268.
- 10 张志良 编著. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1990. 65 ~ 67.
- 11 刘荣坤, 胡艳, 李永政. 沈阳陨石山森林公园 SO_2 污染现状与植物反应的研究. *生态学杂志*, 1998, **17**(2): 26 ~ 31.
- 12 邹琦 主编. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1997. 27, 30, 34, 94, 96.
- 13 Hepler PK, Wayne RO. Calcium and plant development. *Ann Rev Plant Physiol.*, 1985, **36**: 397 ~ 410.
- 14 陈由强, 叶冰莹, 高一平, 陈文列. 低温胁迫下枇杷幼叶内 Ca 水平及细胞超微结构变化的研究. *武汉植物学研究*, 2000, **18**(2): 138 ~ 142.
- 15 洪法水, 周谋文, 董振吉. 钙和聚乙二醇对小麦幼苗水分胁迫的缓和效应. *植物生理学通讯*, 1995, **31**(3): 202.
- 16 Stewart L R, Hanson A D. in: Turner NC, Kramer AJ (eds), *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Johan Wiley and Sons, New York. 1980. 173.
- 17 韩素梅, 张晓何, 刘荣坤. 植物叶片脯氨酸的变化及其对亚硫酸伤害的防护作用. *植物生态学报*, 1996, **20**(4): 379 ~ 384.
- 18 秦天才, 吴玉树, 王焕校. 镉、铅及其相互作用对小白菜生理生化特性的影响. *生态学报*, 1994, **14**(1): 46 ~ 50.
- 19 Kefu Z, Munns R, King R W. Abscisic acid levels in NaCl-treated barley, cotton and saltbush. *Austr J Plant Physiol.*, 1991, **18**: 17 ~ 24.
- 20 段远霖, 李合生. 不同光质和钙对小麦幼苗硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性的影响. *植物生理学通讯*, 1999, **35**(2): 122 ~ 125.