

研究快报

微囊藻毒素(MC-LR)和重金属铬复合污染对
白菜种子发芽的影响
Influences of Microcystin-LR and Chromium on Seed Germination of
Chinese Cabbage

詹晓静, 向 垒, 李彦文, 莫测辉*, 黄献培, 吴小莲, 袁 月, 刘 妍, 李梓君

(暨南大学环境工程系, 广东省高校水土环境毒害性污染防治与生物修复重点实验室, 广州 510632)

关键词: 微囊藻毒素(MC-LR); 铬; 复合污染; 白菜; 种子发芽; 毒性
中图分类号: X503.231 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2013)01-0203-02 doi:10.11654/jaes.2013.01.030

随着大量富含营养物质的废水排入水体和全球变暖, 水体富营养化及其引发的蓝藻水华污染日益严重^[1], 发生地点遍布全球^[2]。蓝藻水华污染主要危害之一是向水体中释放微囊藻毒素(MCs)。微囊藻毒素与有机磷农药毒性相当, 长期低剂量接触可诱发肝癌、肠癌^[3]。目前已有近 70 种微囊藻毒素异构体被检出, 其中 MC-LR 毒性最强、危害最大, 在水中含量可达 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 数量级^[4]。在蓝藻水华频发的太湖、滇池等水域通常还存在重金属污染^[5]。目前关于微囊藻毒素对植物的毒性效应报道较少, 其与重金属复合污染的毒性效应更是未见报道。因此, 本实验以白菜为研究对象, 依据美国国家环保局用于评价化合物生态毒性效应的种子发芽实验规程^[6], 研究了 MC-LR 及其与重金属铬(Cr)复合污染对白菜种子发芽的毒性效应。

根据预实验结果, 在 MC-LR 或 Cr 对白菜种子根伸长抑制率为 10%~60% 的浓度范围进行单一污染实验; 根据单一污

染实验结果, 选取二者单一污染时对白菜种子根伸长抑制率之和(MC-LR+Cr)为 50%(5%+45%、10%+40%、20%+30%、30%+20%、40%+10%)的浓度组合进行复合污染实验。复合污染实验的观测值, 若显著大于单一污染实验值之和时为协同作用; 若显著小于单一污染实验值之和时为拮抗作用; 若二者差异不显著时为加和作用。

实验结果表明, 在实验浓度范围内, MC-LR ($0.02 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 或 Cr ($1 \sim 19 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 单一污染对白菜种子发芽率均无显著影响; 但对白菜种子根伸长、芽伸长和生物量均有显著抑制作用(表 1), 且两种污染物的浓度分别与这 3 个指标的抑制率成显著线性关系(表 2)。MC-LR 和 Cr 对白菜种子根伸长、芽伸长和生物量的 IC_{50} 值(50%抑制率浓度)依次为 3.6 、 4.4 、 $5.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 4.5 、 15.1 、 $20.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (表 2)。可见, 就污染物毒性而言为 MC-LR>Cr; 就指标敏感程度而言为根伸长>芽伸长>生物

表 1 MC-LR 和 Cr 单一污染对白菜种子发芽的影响

Table 1 Single influences of concentrations of MC-LR and Cr on seed germination of Chinese cabbage

MC-LR 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	抑制率/%			Cr 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	抑制率/%		
	根伸长	芽伸长	生物量		根伸长	芽伸长	生物量
0.02	7.41±2.62f	8.24±8.02d	35.23±5.86b	1.0	11.50±4.01g	4.23±5.86c	0.58±12.99c
0.90	11.04±0.65e	9.22±0.83d	37.61±11.40b	1.7	17.90±2.82f	2.08±0.80c	3.25±4.38c
1.20	19.66±2.33d	37.25±4.26bc	34.19±4.72b	2.7	23.47±2.87c	-9.06±1.91d	6.87±8.82c
1.50	30.15±1.13c	27.61±4.65c	24.74±4.37b	3.0	39.95±1.02d	-2.47±1.17cd	9.52±1.75bc
2.00	37.89±1.29b	30.14±0.63c	22.68±0.87b	4.4	46.43±1.99c	-0.79±4.82c	9.64±13.47bc
3.40	58.98±3.52a	45.14±3.04b	59.50±9.03a	7.2	71.52±2.50b	18.63±4.30b	24.52±4.30b
5.00	60.87±3.36a	61.59±4.50a	61.52±5.75a	19.0	93.04±2.02a	68.24±5.83a	45.38±2.55a

注: 同列数字含有相同字母者差异不显著($P>0.05$)。

收稿日期: 2012-12-10
基金项目: 广东省自然科学基金重点项目(2011020003196); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(21612103, 216113133); 暨南大学本科生科技创新工程项目(CX12043)
作者简介: 詹晓静(1989—), 女, 硕士生, 研究方向为土壤污染与修复。E-mail: 461914787@qq.com
* 通信作者: 莫测辉 E-mail: tchmo@jnu.edu.cn

表 2 MC-LR 和 Cr 浓度与白菜种子发芽抑制率的线性相关关系($n=7$)

Table 2 Linear relationships between MC-LR and Cr concentrations and inhibition rate of Chinese cabbage seed germination($n=7$)

项目	生理指标	拟合方程	R^2	$IC_{50}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$IC_{10}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
MC-LR	根伸长	$y=19.3\ln(x)+25.409$	0.823 7*	3.6	0.5
	芽伸长	$y=16.452\ln(x)+25.449$	0.767 9*	4.4	0.4
	生物量	$y=7.821\ 4\ln(x)+36.566$	0.263 4*	5.6	0.03
Cr	根伸长	$y=30.143\ln(x)+4.551\ 1$	0.954 0*	4.5	1.2
	芽伸长	$y=4.052\ 2x-11.024$	0.923 3*	15.1	5.2
	生物量	$y=2.461\ 1x+0.541\ 4$	0.961 8*	20.1	3.8

注:“*”表示线性关系显著($P<0.05$); x 为污染浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); y 为抑制率(%).

量。特别地,MC-LR 对芽伸长表现出更强的毒性,对根伸长抑制率为 50%时,对芽伸长的抑制率也接近 50%;而 Cr 对根伸长抑制率为 50%时,对芽伸长的抑制率只有 10%。这可能与 MC-LR 既具有亲水又具有亲脂性的分子结构,从而导致其易于被植物吸收并在植物体内累积有关。前人研究结果显示,用含 MC-LR 的营养液水培油菜或莴苣,其体内 MC-LR 含量达到 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (鲜重)数量级^[6-7]。

复合污染时,MC-LR 与 Cr 之间各浓度组合对白菜发芽率均无显著抑制作用;但对白菜种子根伸长和芽伸长的联合毒性效应,在 MC-LR 与 Cr 不同的浓度组合下呈现出不同的联合毒性特征。MC-LR 浓度较低($0.02\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)和 Cr 浓度较高(4.4

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)的复合污染,对白菜种子根伸长、芽伸长的联合毒性表现为拮抗作用;随着 MC-LR 浓度增大和 Cr 浓度降低,复合污染对白菜种子根伸长、芽伸长的联合毒性明显增强,呈现加和作用,甚至协同作用(表 3)。这可能与二者在不同浓度组合下,发生了不同的络合反应有关。前人研究重金属铜、铅与除草剂氯嘧磺隆、乙草胺对白菜、大豆、小麦种子根伸长的联合毒性效应时,也得到类似结果^[8-9]。可见,在重金属铬污染较为严重时,若存在低浓度的 MC-LR 复合污染,可降低铬的生态毒性效应;反之,在 MC-LR 污染较为严重时,若存在低浓度的铬复合污染,可显著增强 MC-LR 的生态毒性效应。

表 3 MC-LR 与 Cr 复合污染对白菜种子发芽的联合毒性

Table 3 Joint toxicity of MC-LR and Cr to seed germination of Chinese cabbage

LR+Cr 浓度组合/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (对根伸长抑制率之和为 50%)	根伸长抑制率/%		芽伸长抑制率/%		生物量抑制率/%	
	相加值	观测值	相加值	观测值	相加值	观测值
0.02+4.4(5%+45%)	53.85	39.11*	7.44	-16.13*	44.87	41.15
0.9+3(10%+40%)	51.00	50.51	6.75	20.08*	38.19	23.66*
1.2+2.7(20%+30%)	50.80	49.58	28.19	30.19	41.07	29.22*
1.5+1.7(30%+20%)	48.05	49.67	29.69	43.41*	27.99	41.65*
2+1(40%+10%)	49.39	56.92*	34.37	58.54*	23.26	44.35*

注:相加值为单一污染实验值之和;观测值为复合污染实验观测值;“*”表示单一污染相加值与复合污染实验观测值之间差异显著($P<0.05$)。

参考文献:

[1] Hernández J M, López-Rodas V, Costas E. Microcystins from tap water could be a risk factor for liver and colorectal cancer: A risk intensified by global change[J]. *Medical Hypotheses*, 2009, 72(5):539-540.

[2] Dörr F A, Pinto E, Soares R M, et al. Microcystins in South American aquatic ecosystems: Occurrence, toxicity and toxicological assays[J]. *Toxicon*, 2010, 56(7):1247-1256.

[3] Xu C, Chen J A, Huang Y J, et al. Identification of microcystins contamination in surface water samples from the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 180(1-4):77-86.

[4] 焦伟, 卢少勇, 李光德, 等. 滇池内湖滨带重金属污染及其生态风险评估[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(4):740-745.

[5] Ecological Effects Test Guidelines: OPPTS 850.4200—1996 Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test. [S]. USA:EPA,1996.

[6] Chen J Z, Song L R, Dai J, et al. Effects of microcystins on the growth and the activity of superoxide dismutase and peroxidase of rape(*Brassica napus* L.) and rice(*Oryza sativa* L.)[J]. *Toxicon*, 2004(43):393-400.

[7] Wang Z, Xiao B D, Song L R, et al. Effects of microcystin-LR, linear alkylbenzene sulfonate and their mixture on lettuce(*Lactuca sativa* L.) seeds and seedlings[J]. *Ecotoxicology*, 2011, 20(4):803-814.

[8] Wang M, Zhou Q X. Single and joint toxicity of chlorimuron-ethyl, cadmium, and copperacting on wheat *Triticum aestivum*[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60(2):169-175.

[9] Chao L, Zhou Q X, Chen S, et al. Single and joint stress of acetochlor and Pb on three agricultural crops in Northeast China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(6):719-724.