

研究快报

# 环丙沙星-镉复合污染对高低累积型菜心种子发芽的影响

## Influences of Ciprofloxacin-Cadmium Combined Pollution on Seed Germination and Seedling Growth of Ciprofloxacin High- and Low-Accumulating *Brassica parachinensis*

吕旋<sup>1</sup>, 向垒<sup>1,2</sup>, 李彦文<sup>1,2</sup>, 莫测辉<sup>1\*</sup>, 蔡全英<sup>1</sup>, 黄献培<sup>1,2</sup>, 吴小莲<sup>1,2</sup>, 赵海明<sup>1,2</sup>

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

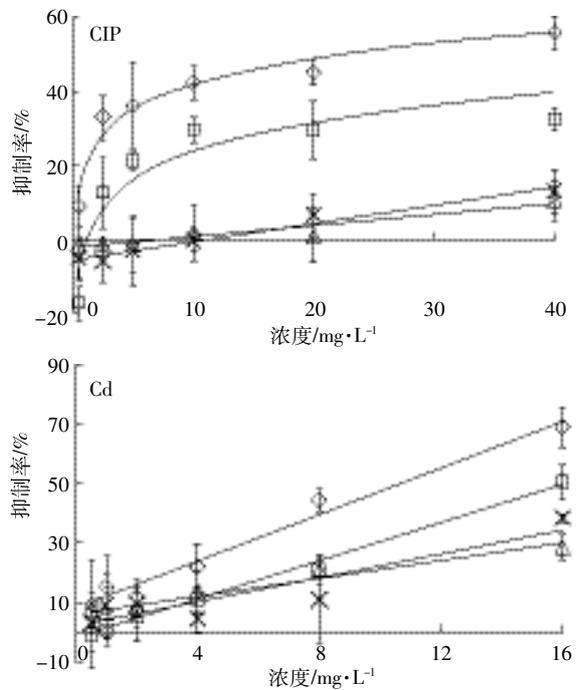
2.暨南大学生态学系, 广州 510632)

关键词: 环丙沙星; 镉; 复合污染; 菜心; 种子发芽; 毒性

抗生素被大量用于人类医疗及动物养殖中, 大部分以原形排出并进入环境<sup>[1]</sup>。针对珠三角地区抗生素污染特征的研究结果表明, 土壤及地表水中均有多种抗生素被检出<sup>[2-4]</sup>, 以喹诺酮类抗生素为主, 其含量在 1.0~5 080.1 ng·L<sup>-1</sup> (水) 以及 0.03~1.53 mg·kg<sup>-1</sup> (土壤)<sup>[5-9]</sup> 之间。同时, 珠三角地区土壤中 Cd 等重金属污染较为严重, 土壤中 Cd 含量在 0.57~11.0 mg·kg<sup>-1</sup> 之间<sup>[6]</sup>。目前针对重金属或抗生素单一污染毒性效应的研究均有报道, 但关于二者复合污染毒性效应的研究还鲜见报道。菜心是珠三角地区常年种植的主要蔬菜, 品种多达数十种。油青四九菜心和油绿粗苔菜心是前期筛选的环丙沙星(CIP)高累积和低累积菜心品种, 在环丙沙星污染条件下, 前者的累积量为后者的 3~10 倍。本文主要研究在 CIP 及 Cd 单一及其复合污染下对两种菜心的毒性效应。

单一污染实验在高/低累积型菜心根伸长抑制率为 10%~60% 的 CIP、Cd 浓度范围进行, 复合污染实验在 CIP、Cd 单一污染时两种菜心根伸长抑制率之和 (CIP+Cd) 为 50% (10%+40%、20%+30%、25%+25%、30%+20%、40%+10%) 的浓度组合进行。复合污染实验值, 若显著大于单一污染实验值之和则为协同作用, 若显著小于单一污染实验值之和则为拮抗作用, 若与单一污染实验值之和差异不显著则为加和作用。

结果表明, CIP (0.5~40 mg·L<sup>-1</sup>) 或 Cd (0.5~16 mg·L<sup>-1</sup>) 单一污染对高/低吸收累积型菜心种子发芽率均无显著影响; 但当 CIP 浓度大于 10 mg·L<sup>-1</sup> 或 Cd 浓度大于 2 mg·L<sup>-1</sup> 时, 两种菜心幼苗根伸长、芽伸长均受到显著抑制 (图 1), 且抑制率与污染物浓度呈显著线性关系 (表 1)。单一污染对高累积型菜心 (油青四九) 根伸长和芽伸长的 50% 抑制率浓度 (IC<sub>50</sub> 值) 依次为 99.5 mg·L<sup>-1</sup> 和 111.9 mg·L<sup>-1</sup> (CIP) 及 16.1 mg·L<sup>-1</sup> 和 23.9



□ 油青四九根 ○ 油绿粗苔根 × 油青四九芽 ▽ 油绿粗苔芽

图 1 环丙沙星、镉对菜心幼苗生长的影响

Figure 1 Influences of ciprofloxacin and cadmium alone on seedling growth of *Brassica parachinensis*

收稿日期: 2013-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071211, 41173101, 41301337); 广东省自然科学基金重点项目 (2011020003196); 广东省高校高层次人才项目; 东莞市科技计划项目 (2012108102043)

作者简介: 吕旋 (1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤有机污染与修复。E-mail: scan07@163.com

\* 通信作者: 莫测辉 E-mail: tchmo@jnu.edu.cn

表1 CIP和Cd浓度与菜心幼苗生长抑制率的线性关系  
Table 1 Relationships of ciprofloxacin and Cd concentrations with inhibition rates of *Brassica parachinensis* seedling growth

污染物	菜心品种	生理指标	回归方程	R <sup>2</sup>	IC <sub>50</sub> /mg·L <sup>-1</sup>
CIP	油青四九	根伸长	$Y=11.414\ln X-2.522$	0.896*	99.5
		芽伸长	$Y=0.498X-5.685$	0.965*	111.9
	油绿粗苔	根伸长	$Y=9.972\ln X+19.100$	0.961*	22.2
		芽伸长	$Y=0.300X-2.478$	0.979*	175.2
Cd	油青四九	根伸长	$Y=3.224X-1.895$	0.991*	16.1
		芽伸长	$Y=2.008X+2.088$	0.834*	23.9
	油绿粗苔	根伸长	$Y=3.924X+8.124$	0.979*	10.7
		芽伸长	$Y=1.510X+5.914$	0.942*	29.2

注：“\*”表示回归方程具有显著性， $P<0.05$ 。

mg·L<sup>-1</sup>(Cd),对低累积型菜心(油绿粗苔)根伸长和芽伸长的IC<sub>50</sub>值依次为22.2 mg·L<sup>-1</sup>和175.2 mg·L<sup>-1</sup>(CIP)及10.7 mg·L<sup>-1</sup>和29.2 mg·L<sup>-1</sup>(Cd)。可见,就污染物毒性大小而言,Cd>CIP;就指标敏感程度而言,根伸长>芽伸长;就作物耐受能力强弱而言,高累积型菜心>低累积型菜心。

复合污染时,CIP和Cd各浓度组合对高/低累积型菜心种子发芽率均无显著抑制作用,但对两种菜心种子幼苗根伸长及芽伸长在不同浓度组合下呈现不同的联合毒性效应。CIP浓度较低(低于两种菜心幼苗根伸长抑制率为30%的浓度)和Cd浓度较高(高于两种菜心幼苗根伸长抑制率为20%的浓度)的复合污染组合对两种菜心幼苗根伸长和芽伸长的联合毒性总体均表现为加和作用(表2),CIP浓度较高和Cd浓度较低的复合污染组合对两种菜心幼苗根伸长毒性表现为协同作用(表2),而对两种菜心幼苗芽伸长毒性表现为拮抗作用,甚至促进生长作用(低累积

型菜心)。在不同浓度组合条件下,CIP与Cd反应生成不同的络合物<sup>[7]</sup>,导致两种菜心种子发芽毒性效应的差异。可见,在环丙沙星污染较为严重时,若存在低浓度镉复合污染,生态毒性效应显著增强。这与微囊藻毒素(MC-LR)与铬(Cr)复合污染对白菜种子发芽毒性效应的研究结果类似<sup>[8]</sup>。本实验结果可为科学评估抗生素与重金属复合污染的生态毒性效应积累基础数据,并提供科学依据。

#### 参考文献:

- [1] Halling-Soeensen B, Nors N S, Lanzky P F, et al. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment[J]. *Chemosphere*, 1998, 36: 357-393.
- [2] 邵义萍, 莫测辉, 吴小莲, 等. 绿色和有机蔬菜基地土壤中喹诺酮类抗生素的污染特征[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(1): 125-130.
- [3] Li Y W, Wu X L, Mo C H, et al. Investigation of sulfonamide, tetracycline, and quinolone antibiotics in vegetable farmland soil in the Pearl River Delta Area, Southern China[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59: 7268-7276.
- [4] Yiruhan, Wang Q J, Mo C H, et al. Determination of four fluoroquinolone antibiotics in tap water in Guangzhou and Macao[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(7): 2350-2358.
- [5] 陈涛, 李彦文, 莫测辉, 等. 广州污水厂磺胺和喹诺酮抗生素污染特征研究[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(6): 144-147.
- [6] Yang S L, Zhou D Q, Yu H Y, et al. Distribution and speciation of metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in agricultural and non-agricultural soils near a stream upriver from the Pearl River, China[J]. *Environmental Pollution*, 2013, 177: 64-70.
- [7] Anaconda J R, Toledo C. Synthesis and antibacterial activity of metal complexes of ciprofloxacin[J]. *Transition Metal Chemistry (Dordrecht, Neth.)* 2001, 26: 228-231.
- [8] 詹晓静, 向垒, 李彦文, 等. 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[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(1): 203-204.

表2 环丙沙星-Cd复合污染对高/低累积菜心幼苗生长的影响

Table 2 Joint toxicity of ciprofloxacin and Cd to seedling growth of *Brassica parachinensis*

菜心品种	CIP+Cd 复合(对根伸长抑制率之和为50%)/mg·L <sup>-1</sup>	根伸长抑制率/%		芽伸长抑制率/%	
		相加值 <sup>(1)</sup>	实验值 <sup>(2)</sup>	相加值	实验值
高累积菜心(油青四九)	3.0+13.0(10%+40%)	49.99	48.74	23.99	26.15
	7.2+9.9(20%+30%)	50.08	45.34	19.87	19.89
	11.1+8.3(25%+25%)	50.01	43.63 <sup>(3)</sup>	18.69	14.69
	17.3+6.8(30%+20%)	50.05	49.84	18.66	12.58
	41.5+3.7(40%+10%)	49.90	54.26*	24.38	1.95*
低累积菜心(油绿粗苔)	0.4+8.1(10%+40%)	49.52	45.17	15.83	4.71
	1.1+5.6(20%+30%)	49.97	47.08	12.18	13.18
	1.8+4.3(25%+25%)	50.07	50.44	10.5	3.66
	3.0+3.0(30%+20%)	49.91	48.96	8.87	-13.92*
	8.1+0.5(40%+10%)	49.98	53.22*	6.59	-22.79*

注:(1)为单一污染实验值之和;(2)为复合污染实验观测值;(3)“\*”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( $P<0.05$ )。