

溴氰菊酯在模拟河蟹稻田养殖系统中的归趋性研究

尹君, 石晓旭, 陈亦, 黄嵘 (上海市浦东新区农业技术推广中心, 上海 201201)

摘要 [目的]建立模拟稻田养殖系统,研究溴氰菊酯在生态系统中的代谢及分布。[方法]采用 HPLC 测定水体、土壤、水稻根、河蟹肝胰腺及血浆等不同样品中溴氰菊酯的残留量及在环境中的分布和消除规律。[结果]试验结束时,溴氰菊酯在水体中残留量低于检测限;底泥中残留量高达 1 500.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$,消除半衰期长约 104 d。[结论]溴氰菊酯肝胰腺组织中的残留量大于血浆组织中的残留量,易在河蟹肝胰腺内积累,其残留量具有组织差异性。

关键词 溴氰菊酯;稻田养殖生态系统;吸收;残留;消除

中图分类号 S482.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)25-0009-03

Distribution of Deltamethrin in Simulated Rice Field System of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*)

YIN Jun, SHI Xiao-xu, CHEN Yi et al (Agricultural Technology Extension Center of Pudong New District of Shanghai, Shanghai 201201)

Abstract [Objective] The aim of this study is to establish a simulated rice farming system to study the metabolism and distribution of deltamethrin in the ecosystem. [Method] The residues of deltamethrin in different samples of water, soil, rice root, crab, hepatopancreas and plasma and their distribution and elimination in the environment were determined by HPLC. [Result] At the end of the test, the residual amount of deltamethrin in water was lower than the detection limit, and the residue in the sediment was up to 1 500.48 $\mu\text{g}/\text{kg}$, and the half-life was about 104 d. [Conclusion] The residual amount of deltamethrin in the hepatopancreas was greater than that in the plasma tissue. It was easy to accumulate in the hepatopancreas of the river crab. The residual amount of the liver and pancreas was different from that of the tissue.

Key words Deltamethrin; Simulated rice field system; Absorption; Residue; Elimination

河蟹稻田养殖是中国种植业和渔业相结合的新型生态养殖方式,由于其能使稻田的生态系统在结构和功能上得到合理改善,实现种养共生互利,取得最佳的生态经济效益^[1-2]。但随着河蟹稻田养殖技术的发展,种稻过程中所用的农药及养殖水产品使用的渔药产生的食品安全性问题成为研究的热点。溴氰菊酯是一类含有苯氧基的环丙烷酯的拟除虫菊酯类农药,广泛用于农作物的病虫害防治,同时可防治河蟹寄生虫病^[3],对人畜的毒性虽比有机磷和氨基甲酸酯类低,但其潜在的雌激素^[4]作用特性需引起高度重视,近年来大量的使用溴氰菊酯直接或间接地威胁水生动物的生存及生态系统平衡。这类药物属于高亲脂性杀虫剂,在水中能直接进入河蟹的鳃和血液,水产品对其的转化和排泄能力明显低于对农药的积累,同时这类农药可通过钠离子通道干扰非靶生物的神经传导功能,因此,拟除虫菊酯类农药对水生动物有很强的毒性。进入生态系统中的溴氰菊酯会受各种物理或化学因素发生降解及迁移,其或是吸附于土壤等沉积物,或是被生物体吸收进而通过食物链进行传递。因此,研究养殖系统中溴氰菊酯的分布代谢是非常有意义的。我们以河蟹稻田模拟养殖系统为研究对象,研究溴氰菊酯在生态系统各组分中的分布及代谢情况,旨在建立拟除虫菊酯农药对水体生态的破坏性评估数据,为农业生产中安全使用拟除虫菊酯类农药提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与设备 Aglient-1100 型高效液相色谱仪配自动进样器,美国 Aglient 公司产品;漩涡混合器,美国 Thermo fisher 公司产品;旋转蒸发仪,德国 Eppendorf 公司产品;精密电子天平(METTLER AB104-N);高速冷冻离心机,德国 Ep-

pendorf 公司产品。有机玻璃水族箱:V 150 L, h 100 cm, S 15 dm²。

1.2 药品与试剂 溴氰菊酯标准储备溶液(100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,农业部标准物质中心 GSB05—2310;色谱纯乙腈,购自德国默克公司;乙酸乙酯,正己烷。溴氰菊酯标准中间溶液(50 $\mu\text{g}/\text{mL}$),配制:准确移取 500 μL 溴氰菊酯标准储备溶液,氮吹至近干,加 1 mL 乙腈,再次氮吹至近干,超纯水稀释定容至 10 mL,4 $^{\circ}\text{C}$ 下保存。

1.3 试验动物 中华绒螯蟹:平均质量(10.0 \pm 0.5)g,蟹体表以及解剖观察健康。水稻根:去掉老根及枯叶,于 ZPJ-1 植物培养架培养 7 d,培养温度 25 $^{\circ}\text{C}$,光照周期 12 h。土壤:采自崇明稻田试验区,经检验所有试验材料不含溴氰菊酯。

1.4 模拟河蟹稻田养殖系统的构建 在室外培养 3 个小型的模型河蟹稻田养殖系统。每个水缸底部铺上厚约 10 cm 的土壤,注入曝气 48 h 的自来水 30 L,水深约 5 cm,自然光照,充氧平衡 7 d。栽入水稻苗 60 棵。水稻长势良好,生态缸较为稳定后,放入 40 只河蟹,水温控制在 25 $^{\circ}\text{C}$ 左右,每 3 d 用自来水补充蒸发失水,使水深保持在 5 cm。试验期间投喂适量空白饲料。

1.5 试验方法

1.5.1 浸泡给药及取样。 试验用河蟹共 27 尾,每个时间点取 3 只。用超纯水定容配制成 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 溴氰菊酯浸泡溶液,将 100 mL 浸泡溶液单次倒入模拟生态系统中,给药前禁食 24 h,给药后 6 h 投饵,并在给药后 0.25、0.5、1、3、6、12、24、48、96 h 分别取血浆、肝胰腺、土壤、水体及水稻根样品,将取得样品置于 -80 $^{\circ}\text{C}$ 保存。

1.5.2 样品前处理方法。 将样品从低温冰箱取出,室温解冻。取 1 mL 血浆(1 mL 水样经 0.45 μm 滤膜过滤,滤液供高效液相测谱测定使用)或 1 g 肝胰腺,土壤及水稻根样品匀浆置于 15 mL 离心管中,加入 3 mL 乙酸乙酯,漩涡振荡 3

min后以4 500 r/min离心10 min,取上清液于另一干净10 mL离心管。用3 mL乙酸乙酯重复提取一次后,合并上清液。45 °C恒温条件下旋转蒸干,加1 mL流动相振荡溶解3 min。再用1 mL正己烷去脂2次,取下清液经0.45 μm微孔滤膜过滤后置于进样瓶中,用高效液相色谱进行检测。

1.5.3 色谱条件。色谱柱:Agilent Zorbax XDB-C18分析柱(4.6 mm×150 mm×5 μm)。流动相:乙腈:水=78:22(V/V);检测波长:205 nm;流速1 mL/min;柱温35 °C;进样量为100 μL。

1.5.4 溴氰菊酯标准溶液的配制和标准曲线的制备。用流动相将溴氰菊酯标准储备溶液(100 μg/mL)分别稀释成质量浓度为0.05、0.10、0.20、0.50、1.00、2.00、5.00 μg/mL共7个质量浓度梯度的标准溶液,以HPLC仪分别测定其峰面积,然后分别制作2种标准品的标准曲线,并求出回归方程

和相关系数。

1.5.5 数据处理。各组织中药代动力学模型拟合及参数计算采用药动学程序软件DAS 3.0进行计算,药物消除的药时曲线图及药物标准曲线则采用Microsoft Excel 2013软件绘制,数据统计学分析采用软件SPSS 13.0进行。

2 结果与分析

2.1 标准曲线、线性范围及检测限 在设定的色谱条件下,以高效液相色谱仪测定样品中溴氰菊酯的含量,色谱图基线走动平稳,特异性强,重现性好(图1)。溴氰菊酯在水样中的线性范围在0.05~5.00 μg/mL,在中华绒螯蟹血浆及肝胰腺中的线性范围在0.20~5.00 μg/mL,在水稻根和土壤中的线性范围在0.25~5.00 μg/mL(表1)。回归系数(r^2)均大于0.999 5,线性范围良好,该方法的恩诺沙星最低检测限为0.005 μg/mL(表1)。

表1 不同样品间溴氰菊酯的线性关系

Table 1 Linear relation and limit of detection of deltamethrin different samples

样品 Sample	线性范围 Linear range//μg/mL	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient	检测限 Limit of detection//μg/mL
水样 Water	0.05~5.00	$Y=172.46X-4.358$	0.999 5	
血浆、肝胰腺 Hepatopancreas and plasma	0.20~5.00	$Y=179.42X-3.256$	0.999 7	0.005
水稻根、土壤 Rice root, soil	0.25~5.00	$Y=182.41X-1.654$	0.999 9	

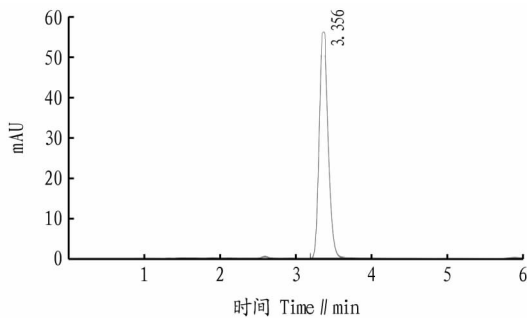


图1 溴氰菊酯的色谱行为

Fig.1 HPLC chromatograms of deltamethrin

2.2 回收率和精密度 加入低、中、高3个不同浓度水平的溴氰菊酯标准液,使溴氰菊酯在水体、土壤、水稻根、血浆及肝胰腺不同样品组织中的溴氰菊酯含量分别为0.05、0.50、2.00 μg/mL,测定回收率。由表2~3可以看出,溴氰菊酯浓度在0.05~5.00 mg/kg内,各组织样品中的回收率在84.22%~122.80%,相对标准偏差为0.548%~5.147%,均能达到检测要求;其日内相对标准偏差为0.548%~5.147%,日间相对标准偏差在0.247%~6.147%,符合精密度的测定要求。结果表明,检测方法可靠,重复性良好。准确度和精密度均符合测定要求。

表2 不同浓度溴氰菊酯在不同组织的回收率及变异系数

Table 2 The recoveries and variation coefficients of deltamethrin in different samples containing various concentrations of deltamethrin

样品 Samples	添加浓度 Added concentration mg/kg	实测浓度 Measured concentration mg/kg	回收率 Recovery %	相对标准偏差 Relative standard deviation//%
水样 Water	0.05	0.049 6±0.003 46	99.20±2.25	1.984
	0.50	0.456 3±0.025 89	91.26±3.25	2.255
	2.00	1.985 0±0.048 62	99.25±0.25	1.874
土壤 Soil	0.05	0.049 3±0.002 52	98.60±1.36	2.404
	0.50	0.512 6±0.080 02	102.52±4.58	3.893
	2.00	2.154 2±0.000 32	107.71±0.24	2.547
水稻根 Rice root	0.05	0.045 2±0.015 49	90.42±0.98	5.147
	0.50	0.421 1±0.084 62	84.22±5.25	2.369
	2.00	1.932 5±0.021 58	96.62±4.15	5.126
血浆 Plasma	0.05	0.060 1±0.025 94	120.20±0.98	2.316
	0.50	0.521 1±0.156 23	104.22±0.48	1.004
	2.00	1.936 5±0.026 58	96.82±2.87	1.321
肝胰腺 Hepatopancreas	0.05	0.061 4±0.081 23	122.80±0.68	4.252
	0.50	0.462 8±0.032 52	92.56±1.45	0.548
	2.00	2.087 4±0.015 49	104.37±4.32	1.574

表 3 不同组织样品中溴氰菊酯测定方法的日内和日间精密度

Table 3 Within and between day accuracy and precision for the determination of deltamethrin in different samples

样品 Samples	浓度 Concentration mg/kg	日内浓度 Intraday concentration mg/kg	日内相对标准偏差 Intraday relative standard deviation//%	日间浓度 Interday concentration mg/kg	日间相对标准偏差 Interday relative standard deviation//%
水样 Water	0.05	0.049 60±0.003 46	1.984	0.056 40±0.012 54	4.258
	0.50	0.456 30±0.025 89	2.255	0.495 40±0.025 48	1.255
	2.00	1.985 00±0.048 62	1.874	1.832 10±0.154 85	1.987
土壤 Soil	0.05	0.049 30±0.002 52	2.404	0.049 80±0.011 95	0.247
	0.50	0.512 60±0.080 02	3.893	0.408 30±0.135 82	3.147
	2.00	2.154 20±0.000 32	2.547	2.078 70±0.032 55	1.874
水稻根 Rice root	0.05	0.045 20±0.015 49	5.147	0.045 70±0.095 54	5.248
	0.50	0.421 10±0.084 62	2.369	0.488 30±0.154 82	2.147
	2.00	1.932 50±0.021 58	5.126	2.021 30±0.025 48	3.258
血浆 Plasma	0.05	0.060 10±0.025 94	2.316	0.059 60±0.003 25	0.258
	0.50	0.521 10±0.156 23	1.004	0.608 80±0.125 45	3.258
	2.00	1.936 50±0.026 58	1.321	2.008 30±0.002 20	4.158
肝胰腺 Hepatopancreas	0.05	0.061 40±0.081 23	4.252	0.061 20±0.015 47	6.147
	0.50	0.462 80±0.032 52	0.548	0.490 33±0.214 72	1.321
	2.00	2.087 40±0.015 49	1.574	1.922 42±0.021 48	1.145

2.3 溴氰菊酯在各组分的含量变化及消除规律 将各时间点采得组织样品预处理后,利用 HPLC 分析测定溴氰菊酯的含量,对照组均未检出。表 4 为不同取样时间点各样品中溴氰菊酯的残留量。

表 4 溴氰菊酯在模拟养殖生态系统各样品组织中的残留量

Table 4 Residues of deltamethrin in different samples in simulated ecosystem

样品 Samples	不同时间溴氰菊酯在各样品中的残留量 Residues of deltamethrin in different samples for different time// $\mu\text{g}/\text{kg}$							
	6 h	12 h	1 d	3 d	6 d	12 d	24 d	48 d
水样 Water	9.46±1.25	12.89±3.24	16.48±0.54	13.25±1.25	11.48±0.88	5.48±1.46	5.00±1.21	ND
土壤 Soil	18.47±6.48	32.78±2.42	114.2±0.45	301.80±2.40	421.40±10.40	845.23±45.2	1980.14±32.87	1500.48±21.68
水稻根 Rice root	42.15±16.78	69.44±2.45	255.1±1.24	407.12±1.98	698.12±6.48	1007.52±8.03	798.24±77.00	400.56±96.18
血浆 Plasma	46.50±24.68	79.16±16.54	165.25±6.45	87.44±9.68	45.76±11.44	49.19±2.42	24.44±0.84	9.34±6.40
肝胰腺 Hepatopancreas	300.54±56.48	781.48±26.51	518.45±20.89	368.78±23.67	240.69±21.34	362.91±21.54	83.26±17.46	26.12±20.00

在模拟养殖生态系统中,水体、土壤、水稻根、中华绒螯蟹血浆及肝胰腺组织中的溴氰菊酯消除规律见表 5、6。

表 5 溴氰菊酯在模拟养殖体系的水体、土壤及水稻根的药动学参数

Table 5 Pharmacokinetic parameters of deltamethrin in different components of simulated breeding system

药代学参数 Pharmacokinetic profiles	C_{\max} $\mu\text{g}/\text{L}$	T_{\max} h	$t_{1/2\text{Ka}}$	$t_{1/2}$	V_1 L/kg	CL/L h/kg	$\text{AUC}^{0-\infty}$	Ka
水体 Water	18.45	2	1.654	10.465	0.001	14.562	200.214	0.601
土壤 Soil	2089.32	30	22.415	104.321	1.615	0.024	59847.48	0.29
水稻根 Rice root	1203.41	15	9.481	37.541	0.201	0.298	7325.629	0.524

注: C_{\max} 为给药后的最大药物质量浓度; T_{\max} 为给药后出现最大药物质量浓度的时间; $t_{1/2}$ 为药物消除半衰期;CL为总体消除率; $\text{AUC}^{0-\infty}$ 为药时曲线下总面积; Ka 为吸收速率常数; V_1 为表观分布容积; $t_{1/2\text{Ka}}$ 为药物吸收半衰期

Note: C_{\max} , the peak concentration in plasma; T_{\max} , the time point of maximum plasma concentration of the drug; $t_{1/2}$, elimination half-life of the drug;CL, total body clearance of the drug; $\text{AUC}^{0-\infty}$, area under the concentration-time curve from 0 h to ∞ ; Ka , absorption rate constant; V_1 , the apparent volume of distribution; $t_{1/2\text{Ka}}$, absorption half-life of the drug

表 6 溴氰菊酯在模拟养殖体系的血浆及肝胰腺组织的药动学参数

Table 6 Pharmacokinetic parameters of deltamethrin in different components of simulated breeding system

药代学参数 pharmacokinetic profiles	C_{\max} $\mu\text{g}/\text{kg}$	T_{\max} h	$t_{1/2\text{Ka}}$	$t_{1/2\alpha}$	$t_{1/2\beta}$	V_1 L/kg	CL/L h/kg	$\text{AUC}^{0-\infty}$	Ka
血浆 Plasma	179.54	2.0	0.786	0.956	14.213	0.895	1.985	1495.259	0.098
肝胰腺 Hepatopancreas	802.65	0.5	0.200	12.451	11.326	0.025	0.311	6911.078	1.789

注: C_{\max} 为给药后的最大药物质量浓度; T_{\max} 为给药后出现最大药物质量浓度的时间; $t_{1/2}$ 为药物消除半衰期;CL为总体消除率; $\text{AUC}^{0-\infty}$ 为药时曲线下总面积; Ka 为吸收速率常数; V_1 为表观分布容积; $t_{1/2\text{Ka}}$ 为药物吸收半衰期

Note: C_{\max} , the peak concentration in plasma; T_{\max} , the time point of maximum plasma concentration of the drug; $t_{1/2}$, elimination half-life of the drug;CL, total body clearance of the drug; $\text{AUC}^{0-\infty}$, area under the concentration-time curve from 0 h to ∞ ; Ka , absorption rate constant; V_1 , the apparent volume of distribution; $t_{1/2\text{Ka}}$, absorption half-life of the drug

- 研究与应用,2004,16(3):404-405.
- [14] LIAZID A, GUERRERO R F, CANTOS E, et al. Microwave assisted extraction of anthocyanins from grape skins [J]. Food chemistry, 2011, 124(3):1238-1243.
- [15] 孙建霞, 张燕, 胡小松, 等. 花青素的提取、分离以及纯化方法研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(8):111-117.
- [16] 武学宁, 刘瑞敏, 刘成玉, 等. 花青素的生理功能及其在乳品工业中的应用 [J]. 中国乳业, 2013(8):59-62.
- [17] WU X Y, LIANG L H, ZOU Y, et al. Aqueous two-phase extraction, identification and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) [J]. Food chemistry, 2011, 129(2):443-453.
- [18] 叶春皓, 李淑芬, 唐韶坤, 超临界 CO₂-大孔树脂分离纯化葡萄籽中原花青素 [J]. 化学工业与工程, 2006, 23(3):220-223.
- [19] 赵云荣, 王世雷. 植物花青素研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(8):3095-3097.
- [20] 蒋丽, 王雪莹. 紫薯酸奶发酵工艺研究 [J]. 饮料工业, 2011, 14(8):24-26.
- [21] 王超, 周云, 谷晓莹. 凝固型柔荑酸奶的研制 [J]. 食品研究与开发, 2007, 28(5):64-67.
- [22] 金鑫. 紫甘薯花青素在冰淇淋中的应用研究 [J]. 食品研究与开发, 2014(14):13-16.
- [23] 楚文靖, 滕建文, 夏宁, 等. 紫甘薯酒抗氧化活性的研究 [J]. 酿酒科技, 2007(12):43-46.
- [24] 方志祥, 倪元颖. 紫肉甘薯饮料加工技术 [J]. 食品工业, 2004(2):9-10.
- [25] 张军翔. 一种检测红葡萄酒中掺加黑米色素的方法研究 [J]. 科技导报, 2007, 25(14):46-48.
- [26] 陈亚泉, 邓放明, 彭清辉. 微胶囊技术在食品加工中的应用 [J]. 中国食品工业, 2008(5):18-20.
- [27] 陈红波, 徐保明. 壁材组成对原花青素微胶囊化的影响 [J]. 食品研究与开发, 2010, 31(9):68-71.
- [28] 刘云海, 曹小红, 刘瑛. 天然色素花青素的微胶囊化研究 [J]. 食品科技, 2004(11):18-20.
- [29] GRADINARU G, BILLADERIS C G, KALLITHRAKA S, et al. Thermal stability of *Hibiscus sabdariffa* L. anthocyanins in solution and in solid state: Effects of copigmentation and glass transition [J]. Food chemistry, 2003, 83(3):423-436.
- [30] DUANGMAL K, SAICHEUA B, SUEEPRASAN S. Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(8):1437-1445.
- [31] 李颖畅, 吕春茂, 孟宪军, 等. 蓝莓花色苷的微胶囊化 [J]. 食品与发酵工业, 2010(6):71-75.
- [32] ZUHAILI I, IDAYU M I, ROJI S M. Degradation kinetics and color stability of spray-dried encapsulated anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. [J]. Journal of food process engineering, 2012, 35(4):522-542.
- [33] BERG S, BRETZ M, HUBBERMANN E M, et al. Influence of different pectins on powder characteristics of microencapsulated anthocyanins and their impact on drug retention of shellac coated granulate [J]. Journal of food engineering, 2012, 108(1):158-165.
- [34] 钱明雪, 潘利华, 樊基胜, 等. 蓝莓花青素微胶囊的包埋工艺 [J]. 食品研究与开发, 2013(24):166-169.
- [35] YOUSUF B, GUL K, WANI A A, et al. Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2015, 56(13):2223-2230.
- [36] 周耀华, 肖作兵. 食用香精制备技术 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2007.
- [37] 李飞, 蔡沙, 施建斌, 等. 紫薯花青素微胶囊工艺的研究 [J]. 食品工业, 2017(7):167-171.
- [38] 刘云海, 刘瑛, 曹小红, 等. 天然食用色素花青素的微胶囊化 [J]. 食品工业科技, 2004(12):109-110.

(上接第 11 页)

3 讨论

3.1 模拟养殖系统的建立 根据稻田养殖中华绒螯蟹的生态组分建立模拟生态养殖系统。在稻田养殖过程中水稻作为生产者, 为水生态环境提供氧气、净化水质并且遮阳避光。该试验选用水稻根、中华绒螯蟹、土壤及曝气自来水能够很好地模拟养殖生态系统。养殖水生态系统相比自然环境中的水生态系统来说, 结构及组成成分较为简单, 更接近人工建立的模拟水生态系统。模拟养殖生态系统的生物学组成、多种物理参数以及营养循环和自然生态系统较为相似, 可以在人工控制的条件下研究外来物质在生态系统中的行为及生态效应。比单种生物测试提供更完整的信息, 并且可以合理地将试验结果外推到自然生态系统中。国内外已经有许多学者利用微宇宙的试验方法研究兽药^[5-7]、农药^[8-10]及其他的有机污染物^[11-12]在模型生态系统中的归趋行为及生态效应等问题。

3.2 溴氰菊酯在水体、土壤及水稻苗中的分布及消除规律 水稻根能够快速吸附溴氰菊酯, 0~15 d 茎叶中的溴氰菊酯的残留量不断增加, 之后缓慢下降, 在试验结束时还能在水稻根内检测到溴氰菊酯; 以浸泡给药方式进入到中华绒螯蟹养殖系统中的溴氰菊酯, 在系统中有多种降解方式。随水体进入动物体内进行生物降解、自然光降解及微生物降解外, 环境中的离子及活性物质也会影响溴氰菊酯的降解。

3.3 溴氰菊酯在中华绒螯蟹血浆及肝胰腺组织中的分布及消除规律 中华绒螯蟹的血浆及肝胰腺组织中的药物含量都能很快达到峰值随后迅速下降, 试验 7 d 时开始缓慢增加到 15 d 后药物降解缓慢, 药物利用率较低, 总体呈前期快速

上升、后期缓慢下降的趋势, 变化趋势与此时土壤中含量变化相似, 表明河蟹体内的药物含量与土壤中的药物含量有密切的关系。溴氰菊酯肝胰腺组织中的残留量大于血浆组织中的残留量, 说明溴氰菊酯容易在肝胰腺组织内积累。

参考文献

- [1] 于向阳, 李妍, 王丽, 等. 稻田养殖大规格河蟹 (*Eriocheir sinensis* H. Milne-Edwards) 技术 [J]. 现代渔业信息, 2004, 19(11):26-28.
- [2] 刘巧荣, 黄磊, 黎玉林, 等. 稻田养殖水产品农残安全性调查与分析 [J]. 中国渔业质量与标准, 2013, 3(3):8-13.
- [3] 梁卫清, 陆梅, 丁清波, 等. 气相色谱法测定水中溴氰菊酯 [J]. 仪器仪表与分析监测, 2009(1):42-43.
- [4] 罗晓燕, 林玉娜, 周洪伟, 等. 反相高效液相色谱法检测水中五种拟除虫菊酯类农药残留量 [J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(6):1371-1372.
- [5] COATS J R, METCALF R L, LU P Y, et al. Model ecosystem evaluation of the environmental impacts of the veterinary drugs phenothiazine, sulfamethazine, clopidol, and diethylstilbestrol [J]. Environ health perspect, 1976, 18:167-179.
- [6] INGERSLEV F, TORÅNG L, LOKE M L, et al. Primary biodegradation of veterinary antibiotics in aerobics and anaerobic surface water simulation systems [J]. Chemosphere, 2001, 44(4):865-872.
- [7] 俞道进, 曾振灵, 陈杖榴. 土霉素残留对模型池塘生态系统代谢的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(4):511-513.
- [8] 黄玉瑶, 高玉荣, 曹宏, 等. 单甲胺农药对草型塘模型生态系统影响的初步研究 [J]. 环境科学学报, 1994, 14(4):466-472.
- [9] METCALF R L, SANGHA G K, KAPOOR I P. Model ecosystem for the evaluation of pesticide biodegradability and ecological magnification [J]. Environ Sci Technol, 1971, 5(2):709-713.
- [10] WEBBER E C, DEUTSCH W G, BAYNE D R, et al. Ecosystem-level testing of a synthetic pyrethroid insecticide in aquatic mesocosms [J]. Environ Toxicol Chem, 1992, 11(1):87-105.
- [11] MILES R A, DOUCETTE W J. Assessing the aerobic biodegradability of 14 hydrocarbons in two soils using a simple microcosm/respiration method [J]. Chemosphere, 2001, 45(6/7):1085-1090.
- [12] TOLLE D A, FRYE C L, LEHMANN R G, et al. Ecological effects of PDMS-augmented sludge amended to agricultural microcosms [J]. The science of total environment, 1995, 162(2/3):193-207.