

doi: 10.7541/2017.116

## 除草剂扑草净和阿特拉津对海草与大型藻类的毒性比较

高亚平<sup>1,3</sup> 蒋增杰<sup>2</sup> 杜美荣<sup>2</sup> 房景辉<sup>2</sup> 姜妮妮<sup>2</sup> 方建光<sup>2</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071; 2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 农业部可持续发展重点开放实验室, 青岛 266071; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 陆地径流等可引起海域中除草剂浓度升高, 从而威胁海洋大型植物——海草和大型藻类的生长。以叶绿素荧光为主要指标测定除草剂阿特拉津和扑草净的低、中、高(1、5和25  $\mu\text{g/L}$ )浓度对4种常见海草: 大叶藻(*Zostera marina* L.)、丛生大叶藻(*Z. caespitosa* M.)、矮大叶藻(*Z. japonica* Aschers. & Graebn.)、红须根虾形藻(*Phyllospadix iwatensis* M.)和2种常见大型藻类: 孔石莼*Ulva lactuca* L.和海索面*Nemalion helminthoides*的光合抑制。结果显示, 低浓度1  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净和5  $\mu\text{g/L}$ 的阿特拉津即对矮大叶藻、孔石莼和海索面产生了显著的光合抑制, 抑制率约而7.54%—12.97%; 大叶藻、丛生大叶藻和红须根虾形藻的扑草净和阿特拉津的显著作用浓度为5  $\mu\text{g/L}$ , 在相同浓度下, 扑草净的光合抑制较阿特拉津更强, 同时, 矮大叶藻及两种大型藻类较其他3种海草成体对除草剂作用更为敏感。

**关键词:** 扑草净; 阿特拉津; 海草; 大型藻类; 叶绿素荧光; 毒性作用

**中图分类号:** Q948.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3207(2017)04-0930-05

除草剂在世界农业生产中发挥着重要的作用, 然而在其大大节约劳动力、提高作物经济产出而被大量使用的同时, 由于相对较高的溶解度和残留时间<sup>[1]</sup>, 使得除草剂在经地表或地下径流后, 进入水生系统, 因而常在世界各除草剂使用国的水生系统中被检出, 威胁水生生物生存与水生环境的健康<sup>[2, 3]</sup>。除草剂污染程度及危害的研究多集中在淡水水域<sup>[4—8]</sup>, 在沿海海域中研究较少<sup>[9—12]</sup>。但据估计, 在全球所使用的除草剂等农药中, 至少2%流入了沿海水域中, 对沿海生物构成威胁。研究发现, 除草剂敌草隆是引起澳大利亚Mackay地区红树林顶梢枯死的原因<sup>[11]</sup>。Kennedy等<sup>[12]</sup>历时5年的跟踪监测证明, 大堡礁海区除草剂对珊瑚、海草和底栖硅藻存在影响。

与红树林和珊瑚礁同为三大典型海洋生态系的海草系统是浅海生态系中最丰富最重要的系统之一, 它们极具初级生产力, 构成多种海洋食物链

的基础部分, 大大地增加周围环境的生物多样性, 并在维持浅海环境的健康稳定方面发挥着重要作用<sup>[13—16]</sup>。而大型藻类作为浅海生态系统的重要组成部分, 亦是重要的物质基础, 在能量流动、物质循环和信息传递中发挥着不可替代的作用<sup>[17, 18]</sup>。在除草剂残留于浅海环境的背景下, 海草或藻类衰退是否和除草剂有关需要引起关注。Correll等<sup>[19]</sup>最早研究过除草剂阿特拉津对大叶藻和另外3种河口沉水植物的影响, 结合河流内检出浓度, 分析认为除草剂可能会影响切萨皮克湾的海草等植物。Ralph<sup>[20]</sup>也经实验对比过苯基二甲脲、阿特拉津、西玛津、草甘膦4种除草剂对喜盐草*Halophila ovalis*的毒性大小; Haynes等<sup>[21]</sup>发现, 最低0.1  $\mu\text{g/L}$ 的敌草隆即引起喜盐草和摩羯大叶藻*Zostera capricorni*光合有效量子产量的下降, 因此昆士兰近岸海草可能受到了除草剂潜在的威胁。Chesworth等<sup>[22]</sup>在研究两种除草剂对大叶藻的影响中发现1051和

收稿日期: 2016-07-07; 修订日期: 2016-11-21

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41306117和41676147); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(20603022013020和2060302201517102-2); 政府间国际科技创新合作重点专项(2016YFE0112600)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (41306117 and 41676147); the Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, Yellow Sea Fisheries Research Institutes (20603022013020 and 2060302201517102-2)]; the Key Program for International S&T Cooperation Projects of Intergovernment (2016YFE0112600)]

**作者简介:** 高亚平(1983—), 女, 山东聊城人; 助理研究员; 主要从事海洋生物生态研究。E-mail: gaoyaping8640@163.com

**通信作者:** 方建光(1954—), 男, 研究员; 主要研究方向为海水养殖生态。E-mail: fangjg@ysfri.ac.cn

敌草隆的叶绿素荧光 $F_v/F_m$  10 d暴露下的 $EC_{50}$ (引起 $F_v/F_m$ 被抑制50%的除草剂浓度)分别为1.1和3.2  $\mu\text{g/L}$ 。

阿特拉津(Atrazine)和扑草净(Prometryn)为两种均三嗪类除草剂,我国从20世纪80年代初开始使用,由于其较大的极性、水溶性和稳定性,降雨时可由径流入海,从而污染浅海环境。徐英江等<sup>[23]</sup>采用液相色谱串联质谱法对莱州湾海域43个站位表层海水中13种三嗪类除草剂及脱乙基阿特拉津进行了调查研究。阿特拉津、扑草净、扑灭津、莠灭净、脱乙基阿特拉津的检出率分别为100%、97.7%、51.2%、100%和93.0%,平均浓度分别为31.3、6.49、1.57、12.4和9.14  $\text{ng/L}$ <sup>[23]</sup>。

在浅海环境除草剂残留的背景下,我国环境除草剂对海草及大型藻类等威胁的相关研究不足,本实验拟以北方浅海4种常见海草:大叶藻(*Z. marina*)、丛生大叶藻(*Z. caespitosa*)、矮大叶藻(*Z. japonica*)、红须根虾形藻(*Phyllospadix iwatensis*)和2种常见大型藻类:孔石莼*Ulva lactuca*和海索面*Nemalion helminthoides*为研究对象,利用灵敏、快速、无损伤的叶绿素荧光技术作为其光和作用的指示,分析扑草净、阿特拉津的毒性,为我国浅海环境的保护及相关管理政策的制定提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 海草和大型藻类的采集与培养

**海草和大型藻类采集** 海草大叶藻、丛生大叶藻、红纤维虾形藻及2种大型藻类孔石莼和海索面取自山东桑沟湾楮岛海域,矮大叶藻取自桑沟湾八河港海域,取材料点水深0.5—5.5 m,底质为泥沙及岩礁底质。为使海草植株一致,大叶藻仅挑选具6个节间的枝条;矮大叶藻挑选具5个节间的枝条;由于丛生大叶藻和红纤维虾形藻呈簇状,小心将3—5个枝条分成一簇。所有枝条除去附着生物。孔石莼和海索面取大小相近的完整个体。

**材料培养** 数据计算及统计分析4种海草成体及2种藻类置于16 L玻璃缸内,室内15℃培养。培养基质为原位带回的基质。光照150  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光:暗12h:12h,充气培养,各组实验材料在适应72h后用于实验。

**主要试剂和仪器** 美国Accustandard阿特拉津和扑草净标准品;德国Walz水下调制叶绿素荧光仪Diving-PAM。

### 1.2 实验方法

在前期预实验基础上,扑草净和阿特拉津的实验浓度为:1、5和25  $\mu\text{g/L}$ ,分别测定4种海草和2种

大型藻类在以上浓度组中暴露1h、10h、24h、48h和72h的叶绿素荧光 $F_v/F_m$ ,计算由于除草剂结合或损伤PSII系统D1蛋白而产生的对 $F_v/F_m$ 抑制率,抑制率 $= (F_v/F_m \text{对照} - F_v/F_m \text{处理}) / F_v/F_m \text{对照}$ 。

### 1.3 数据处理

数据用SPSS 19.0对通过方差齐性检验(Modified Levene's test)的部分进行单因素方差分析(ANOVA),采用多SNK-*q*检验比较对照组及不同浓度组扑草净和阿特拉津对不同海草及藻类的光合抑制;对未通过方差齐性检验的利用进行独立样本Kruskal-Wallis检验;显著水平为0.05。

## 2 结果

如图1所示,在72h的除草剂暴露过程中,随时间的延长光合抑制逐渐加重,至24h时趋于稳定。与阿特拉津相比,扑草净对4种海草和2种藻类的光合抑制作用更大。大叶藻、丛生大叶藻和红纤维虾形藻在阿特拉津作用下均未在1  $\mu\text{g/L}$ 时发现显著的光合抑制,5  $\mu\text{g/L}$ 时,光合作用抑制显著( $P < 0.05$ ),抑制率平均为6.89%—8.94%;5  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净亦对3种海草产生了显著的光合抑制( $P < 0.05$ ),平均抑制率为14.58%—19.79%,25  $\mu\text{g/L}$ 的抑制率则为41.31%—46.32%;同一除草剂相同浓度对该3种海草的光合抑制并未发现显著的种间差异。但矮大叶藻在1  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净作用下即引起显著的光合抑制( $P < 0.05$ ),5  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净即使得光合作用抑制达40.74%,显著高于同浓度扑草净对其他3种海草的光合抑制( $P < 0.05$ );25  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净对矮大叶藻的光合抑制率则为69.85%,相同浓度阿特拉津对矮大叶藻的毒性作用比其他3种海草稍高,最高浓度25  $\mu\text{g/L}$ 的阿特拉津对矮大叶藻的抑制率为28.53%。

阿特拉津对孔石莼和海索面的最低效应浓度均是5  $\mu\text{g/L}$ ,扑草净对孔石莼和海索面的最低效应浓度则均为1  $\mu\text{g/L}$ ,孔石莼和海索面亦对扑草净更为敏感,尤其是海索面,在5  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净作用下,其光合作用抑制比为30.65%,而25  $\mu\text{g/L}$ 下,则高达73.46%,显著高于孔石莼及除矮大叶藻外的3种海草( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

阿特拉津和扑草净对北方常见的4种海草和2种大型藻类产生光合抑制,随浓度的升高,抑制作用增强,且相对于阿特拉津,扑草净的抑制作用更大;相对于大叶藻、丛生大叶藻和红纤维虾形藻,矮大叶藻和2种大型藻所受的光合抑制作用更强,显示它们在环境中为更敏感的种类。

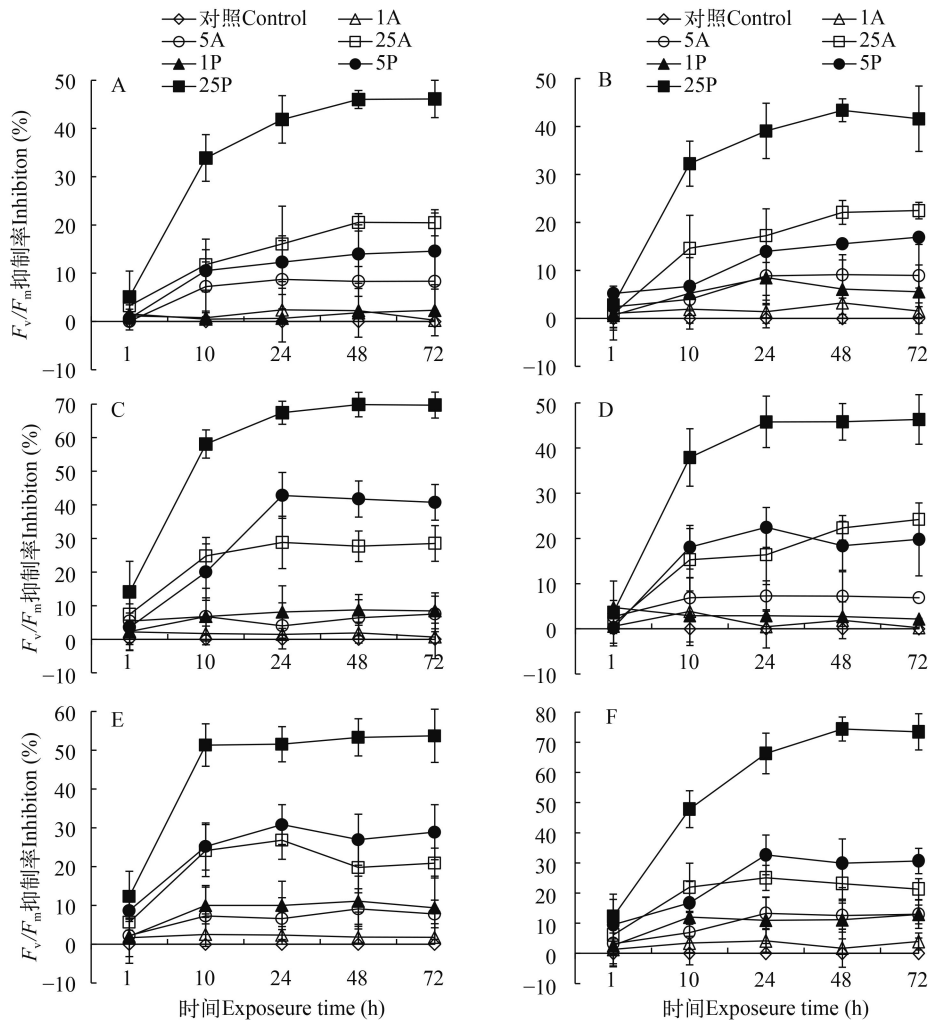


图1 阿特拉津A (1、5和25  $\mu\text{g/L}$ )和扑草净P (1、5和25  $\mu\text{g/L}$ )72h作用中对大叶藻(A)、丛生大叶藻(B)、红纤维虾形藻(C)、矮大叶藻(D)、孔石莼(E)、海菜面(F)  $F_v/F_m$ 的抑制

Fig. 1  $F_v/F_m$  inhibition of atrazine (1, 5 and 10  $\mu\text{g/L}$ ) and prometryn (1, 5 and 10  $\mu\text{g/L}$ ) on *Z. marina* (A), *Z. caespitosa* (B), *P. iwatensis* (C), *Z. japonica* (D), *U. lactuca* (E), *N. helminthoides* (F) during 72h exposure

随着农药等化学品在农业生产上的广泛应用,它们所带来的生态与环境问题日益严重,影响范围已由陆地扩大至海洋。阿特拉津和扑草净通过阻断电子从质醌QA向QB的传递,从而使植物光和作用受阻。1  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净即引起了矮大叶藻、孔石莼和海菜面显著的光合抑制,抑制率约7.54%—12.94%, 1  $\mu\text{g/L}$ 阿特拉津未对受试的海草和藻类产生显著的光合抑制,在相同浓度下,扑草净的毒性作用大于阿特拉津,表明其环境毒性更强。这与Wilkinson等<sup>[24]</sup>的研究一致,在其对十种PS II除草剂对喜盐草*Halophila ovalis*的研究中发现,24h的除草剂暴露中,11  $\mu\text{g/L}$ 的扑草净引起喜盐草有效光合量子产量 $\Delta F/F'_m$ 的降低50%,而相同抑制程度下的阿特拉津为22  $\mu\text{g/L}$ ;在对栅藻*Scenedesmus vacuolatus*的研究中,扑草净和阿特拉津的引起 $\Delta F/F'_m$ 被抑制50%的浓度分别为12.5和38.8  $\mu\text{g/L}$ <sup>[25]</sup>。2种

除草剂的毒性大小应于其本身在生物体内的扩散速率等化学特性相关。在本实验中5  $\mu\text{g/L}$ 的阿特拉津引起了大叶藻、丛生大叶藻和红纤维虾形藻显著的光合抑制,这在Macinnis-Ng等<sup>[26]</sup>对海草*Z. capricorni*的研究中亦有发现,其研究发现10  $\mu\text{g/L}$ 的阿特拉津作用10h引起了*Z. capricorni*成体有效光量子产量 $\Delta F/F'_m$ 的显著下降,而Gao等<sup>[27]</sup>则发现4  $\mu\text{g/L}$ 的阿特拉津显著抑制了大叶藻成体的 $F_v/F_m$ 。在本研究中,矮大叶藻相对其他3种海草成体所受毒性更大,这可能与其叶表薄、对除草剂吸收作用强有关,同样的敏感性趋势亦曾在Magnusson等<sup>[27]</sup>的研究中发现,即个体小的种类对除草剂更为敏感,所受除草剂毒性更大。同样,在Gao等<sup>[27]</sup>的研究中亦发现,相对于大叶藻成体,大叶藻的幼苗所受阿特拉津的抑制作用更强,这表明在浅海环境中存在除草剂污染时,部分小型种类会首先受到威胁。

由于目前除草剂对非靶标环境生物的影响多集中在淡水植物, 对大型藻类的研究非常少, 可比较的数据有限。扑草净与阿特拉津毒性大小在藻类上的相似体现应与2种物质本身结合蛋白的能力有关。三嗪类PS II 除草剂具有较高的水溶性, 因而非常容易被植物吸收, 同时在植物体中也有着较高的富集, 这在意大利Sacca di Goro泻湖石莼*U. rigida*的植物体中有着明显体现<sup>[29]</sup>。

尽管扑草净和阿特拉津等引起的光合抑制在停止除草剂暴露后会得到恢复, 如Macinnis-Ng等<sup>[26]</sup>在研究中发现阿特拉津等作用4d后, 将卡氏大叶藻(*Z. capricorni*)置入清水中, 其光合作用可恢复, 但在水交换低, 污染严重的河口地区, 海草暴露于除草剂污染中的时间会相对较长, 极有可能对海草造成不可逆性损伤, 而部分海草种类可能受损伤更大。尤其在多种除草剂在环境中同时存在时, 往往会存在毒性效应的叠加甚至协同, 从而对非靶标生物构成更大的威胁<sup>[24, 25]</sup>。

我国近年来扑草净使用量不断增大, 尤其是在沿海海域更为明显, 因此其带来的生态风险需引起重视。同时尽管包括欧盟在内许多国家都停止了阿特拉津的生产和使用, 但在我国阿特拉津依然使用量很大, 并在环境中不断被检出, 对浅海环境的影响亦需要准确评估。本实验就阿特拉津和扑草净对浅海水生植物的光合抑制作用进行了初步研究, 除室内短期模拟实验外, 野外长期跟踪监测有待开展, 同时在生理和代谢水平上的毒性影响亦需要深入开展。

#### 参考文献:

- [1] Tomlin, C D S. The Pesticides Manual, a World Compendium (11th edition) [M]. British Crop Protection Council. 1997, 109—111, 646—649, 767—769
- [2] Wilson P C, Boman B J. Characterization of selected organo-nitrogen herbicides in south florida canals: exposure and risk assessments [J]. *Science of the Total Environment*, 2011, **412**: 119—126
- [3] Glozier N E, Struger J, Cessna A J, *et al.* Occurrence of glyphosate and acidic herbicides in select urban rivers and streams in Canada, 2007 [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, **19**(3): 821—834
- [4] Faust M, Altenburger R, Backhaus T, *et al.* Predicting the joint algal toxicity of multi-component s-triazine mixtures at low-effect concentrations of individual toxicants [J]. *Aquatic Toxicology*, 2001, **56**(1): 13—32
- [5] Bricheux G, Le Moal G, Hennequin C, *et al.* Characterization and evolution of natural aquatic biofilm communities exposed in vitro to herbicides [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, **88**(7): 126—134
- [6] Chalifour A, Juneau P. Temperature-dependent sensitivity of growth and photosynthesis of *Scenedesmus obliquus*, *Navicula pelliculosa* and two strains of *Microcystis aeruginosa* to the herbicide atrazine [J]. *Aquatic Toxicology*, 2011, **103**(1): 9—17
- [7] Rimet F, Bouchez A. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: lotic mesocosm approaches [J]. *Ecological Indicators*, 2011, **11**(2): 489—499
- [8] Cedergreen N, Spliid N H, Streibig J C. Species-specific sensitivity of aquatic macrophytes towards two herbicide [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004, **58**(3): 314—323
- [9] Negri A P, Flores F, Röthig T, *et al.* Herbicides increase the vulnerability of corals to rising sea surface temperature [J]. *Limnology and Oceanography*, 2011, **56**(2): 471—485
- [10] Wilkinson A D, Collier C J, Flores F, *et al.* Acute and additive toxicity of ten photosystem-II herbicides to seagrass [J]. *Scientific Reports*, 2015, **5**(3): 17443
- [11] Duke N C, Bell A M, Pederson D K, *et al.* Herbicides implicated as the cause of severe mangrove dieback in the Mackay region, NE Australia: consequences for marine plant habitats of the GBR World Heritage Area [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, **51**(1): 308—324
- [12] Kennedy K, Schroeder T, Shaw M, *et al.* Long term monitoring of photosystem II herbicides—Correlation with remotely sensed freshwater extent to monitor changes in the quality of water entering the Great Barrier Reef, Australia [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, **65**(4): 292—305
- [13] Mateo M A, Romero J. Detritus dynamics in the seagrass *Posidonia oceanica*: elements for an ecosystem carbon and nutrient budget [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, **151**: 43—53
- [14] Bos A R, Bouma T J, de Kort G L, *et al.* Ecosystem engineering by annual intertidal seagrass beds: sediment accretion and modification [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, **74**(1): 344—348
- [15] Heck Jnr K L, Hays G, Orth R J. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2003, **253**: 123—136
- [16] Koch E W, Gust G. Water flow in tide-and wave-dominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum* [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, **184**: 63—72
- [17] Graham M H. Effects of local deforestation on the diversity and structure of southern California giant kelp forest food webs [J]. *Ecosystems*, 2004, **7**(4): 341—357
- [18] Norderhaug K M, Christie H, Fosså J H, *et al.* Fish-macrofauna interactions in a kelp (*Laminaria hyperborea*) forest [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2005, **85**(05): 1279—1286

- [19] Correll D L, Wu T L. Atrazine toxicity to submersed vascular plants in simulated estuarine microcosms [J]. *Aquatic Botany*, 1982, **14**: 151—158
- [20] Ralph P J. Herbicide toxicity of *Halophila ovalis* assessed by chlorophyll a fluorescence [J]. *Aquatic Botany*, 2000, **66**(2): 141—152
- [21] Haynes D, Ralph P, Prange J, *et al.* The impact of the herbicide diuron on photosynthesis in three species of tropical seagrass [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2000, **41**(7): 288—293
- [22] Chesworth J C, Donkin M E, Brown M T. The interactive effects of the antifouling herbicides Irgarol 1051 and Diuron on the seagrass *Zostera marina* (L.) [J]. *Aquatic Toxicology*, 2004, **66**(3): 293—305
- [23] Xu Y J, Liu H H, Ren C B, *et al.* Distributions of the triazine herbicides in the surface seawater of Laizhou Bay [J]. *Progress in Fisheries Science*, 2014, **35**(3): 34—39  
[徐英江, 刘慧慧, 任传博, 等. 莱州湾海域表层海水中三嗪类除草剂的分布特征. 渔业科学进展, 2014, **35**(3): 34—39]
- [24] Wilkinson A D, Collier C J, Flores F, *et al.* Acute and additive toxicity of ten photosystem-II herbicides to seagrass [J]. *Scientific Reports*, 2015, **5**: 17443
- [25] Faust M, Altenburger R, Backhaus T, *et al.* Predicting the joint algal toxicity of multi-component s-triazine mixtures at low-effect concentrations of individual toxicants [J]. *Aquatic Toxicology*, 2001, **56**(1): 13—32
- [26] Macinnis-Ng C M, Ralph P J. Short-term response and recovery of *Zostera capricorni* photosynthesis after herbicide exposure [J]. *Aquatic Botany*, 2003, **76**(1): 1—15
- [27] Gao Y, Fang J, Zhang J, *et al.* The impact of the herbicide atrazine on growth and photosynthesis of seagrass, *Zostera marina* (L.), seedlings [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, **62**(8): 1628—1631
- [28] Carafa R, Wollgast J, Canuti E, *et al.* Seasonal variations of selected herbicides and related metabolites in water, sediment, seaweed and clams in the Sacca di Goro coastal lagoon (Northern Adriatic) [J]. *Chemosphere*, 2007, **69**(10): 1625—1637
- [29] Magnusson M, Heimann K, Negri A P. Comparative effects of herbicides on photosynthesis and growth of tropical estuarine microalgae [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, **56**(9): 1545—1552

## COMPARISON OF THE HERBICIDE ATRAZINE AND PROMETRYN'S TOXICITY ON SEAGRASS AND SEAWEED

GAO Ya-Ping<sup>1,3</sup>, JIANG Zeng-Jie<sup>2</sup>, DU Mei-Rong<sup>2</sup>, FANG Jing-Hui<sup>2</sup>, JIANG Wei-Wei<sup>2</sup> and FANG Jian-Guang<sup>2</sup>

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Science, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Herbicide that applied to agriculture can contaminate estuarine and costal ecosystems through overspray, ground-water leachate and runoff to impair the health of seagrass and seaweed. This study investigated the toxic effects of herbicide atrazine (1 µg/L, 5 µg/L and 25 µg/L) and prometryn based on the photosystem II (PSII) inhibition on four species of seagrass (*Zostera marina*, *Z. caespitosa*, *Z. japonica* and *Phyllospadix iwatensis* M.) and 2 species of seaweed (*Ulva lactuca* L., *Nemalion helminthoides*) in north China. Results showed that the maximum quantum yield of *Z. japonica*, *U. lactuca* L., *N. helminthoides* and *Z. marina* L seedlings depressed significantly at 1 µg/L prometryn and 5 µg/L atrazine after 72h exposure, and *Z. marina*, *Z. caespitosa* and *P. iwatensis* depressed at both 5 µg/L prometryn and atrazine. At the same concentration, prometryn showed higher toxicity than atrazine for all species. *Z. japonica* and the two seaweed were more sensitive to herbicide then others.

**Key words:** Prometryn; Atarazine; Seagrass; Seaweed; Chlorophyll a fluorescence; Toxicity