

# 防除滩涂米草入侵的根际缓释方法

胡宏友<sup>1,2</sup>, 董克钻<sup>1</sup>, 林光辉<sup>1,2</sup>, 谢婉滢<sup>1</sup>

(1. 近海海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学), 厦门 361005;  
2. 厦门大学滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 厦门 361005)

**摘要:** 为防除滨海滩涂互花米草入侵, 探讨根际土壤缓释除草剂的新方法。该研究采用扩散法研究了蛭石、PE 膜和合成壳聚糖膜 3 种缓释材料的根际缓释除草剂的性能, 同时, 采用根部浸泡试验验证根际施药防除互花米草的效果。结果表明, 3 种缓释材料的缓释性能差异显著, 蛭石对草甘膦控释能力较弱, 初始释放农药量最大, 释放迅速, 适合淤泥质潮滩; PE 膜则表现出较强的控释能力, 释放量较小, 但整个过程释放量较稳定, 适合沙质和近根际水体; 壳聚糖膜介于两者之间。根部浸泡试验表明, 0.25~1.00 g/L 草甘膦、0.09~0.23 g/L 百草枯、0.28~2.30 g/L 草铵膦根部浸泡 2~6 d 即可显现毒杀互花米草效果, 通过饱和土壤一维溶质渗滤模型计算, 在点源释放模式下, 除草剂根部释放点间有效除草间距为 50~60 cm。研究证明了根际缓释除草剂防除互花米草具有可行性。

**关键词:** 互花米草, 除草剂, 生态环境, 入侵, 缓释, 根际

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.07.050

中图分类号: S482.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-07-0283-05

胡宏友, 董克钻, 林光辉, 等. 防除滩涂米草入侵的根际缓释方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 283-287.

Hu Hongyou, Dong Kezuan, Lin Guanghui, et al. Controlled release method for herbicides in rhizosphere to prevent aggression of *Spartina alterniflora* in intertidal zone [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7): 283-287. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 是多年生禾本科米草属植物, 原产于大西洋沿岸及北美墨西哥湾, 是当地潮间带优势盐沼植物种<sup>[1]</sup>。中国于 1979 年初次引进后, 逐渐在东南沿海传播扩散, 蔓延十分迅速<sup>[2]</sup>。加之其自身独特的繁殖能力和缺乏天敌, 挤压潮间带乡土植物的生存空间<sup>[3-5]</sup>; 改变原有底栖动物群落, 对海产品养殖业造成巨大冲击<sup>[6]</sup>。因此已成为中国沿海滩涂最重要的入侵植物<sup>[7]</sup>。

鉴于互花米草给入侵地带来的广泛而深远的经济、生态危害, 各国学者在互花米草防除、控制途径上进行了大量研究。目前用于防除互花米草的措施可分为物理、生物和化学方法。物理防除包括遮荫、淹水、刈割、掩埋、碎根和剪花序等<sup>[8-10]</sup>。生物防治措施主要是替代种植, 如无瓣海桑<sup>[11]</sup>、芦苇<sup>[12]</sup>。此外, 还包括引入天敌, 如食草昆虫光蝉<sup>[13]</sup>、玉黍螺和滨螺<sup>[14]</sup>。物理和生物防除特点是环保清洁, 缺点是成本高, 效果较差。最为省力省时的当属化学防除方法。已经证实有效的化学防治方法是施用草甘膦、咪唑烟酸。试验表明, 相同条件下咪唑烟酸对互花米草的防除效果要好于草甘膦。但到目前为止, 草甘膦是唯一在防治互花米草中得到实际应用的, 也是

美国唯一允许使用的除草剂, 但其效果仍受海潮、生长期等影响, 较难控制<sup>[15]</sup>。

为了改进化学防治中常用的叶面喷施方法受潮汐冲刷影响药效的缺点, 针对潮滩植物根系的吸收能力强、受海潮影响小的特点, 提出通过根际施用除草剂新思路, 即利用缓释装置将除草剂施于互花米草的根部, 以控制其生长及萌蘖繁殖, 减轻叶面喷施导致潮汐冲刷农药的影响, 从而减少喷药次数, 提高除草剂野外防除互花米草的效果。本研究作为该工艺的一部分, 主要研究缓释装置及几种缓释材料的性能, 证明根际除草的可行性, 为深入研究互花米草化学防控技术提供新的方法。

## 1 材料与方 法

### 1.1 缓释材料制备

本试验选用的缓释材料共 3 种。其中, 颗粒缓释型材料为蛭石; 膜缓释型材料为 PE 膜和天然壳聚糖膜。蛭石由厦门市农业科学研究中心提供, PE 膜参照陈琳琳<sup>[16]</sup>, 天然壳聚糖膜根据蒋海明等<sup>[17]</sup>的方法改进制备, 制备方法如下: 将 2.0 g 壳聚糖(分子量为 15~20 万)溶于 2.0% (体积分数)的醋酸水溶液中, 搅拌溶解, 配置成浓度为 2.0% (质量分数)的壳聚糖溶液, 过滤。取上述滤液加入戊二醛  $6.25 \times 10^{-5}$  g/L, 甘油  $1.25 \times 10^{-3}$  g/L, 搅拌 25 min, 静置脱泡后于玻璃上浇铸成膜。膜干燥后用 2.0% (质量分数)的 NaOH 水溶液浸泡 1 h 脱膜, 并用蒸馏水冲洗至中性, 风干备用。

### 1.2 根际缓释管的制备

除草剂的根际缓释过程主要由根际缓释管完成。根据缓释材料不同, 根际缓释管的构造可分为膜缓释型和

收稿日期: 2010-11-29 修订日期: 2011-01-13

基金资助: 国家海洋公益性行业科研专项经费项目(200905009)资助

作者简介: 胡宏友(1968—), 男, 湖北洪湖人, 博士, 主要研究方向: 环境生态学及生态恢复工程。厦门 厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 361005。Email: hongyouhu@xmu.edu.cn

颗粒缓释型两类,如图1a、b。根际缓释管由内径为4 cm的PVC管制备,野外使用管长度约40~50 cm,上端覆盖透气防水的PE膜,下端用堵头密封,管侧用钻孔机打若干缓释孔,孔径3 mm。膜型缓释管(图1a)的缓释孔贴有缓释膜,使用时将除草剂贮存于贮药管内,经管壁缓释孔口的缓释膜向外释放;颗粒型缓释管(图1b)则由贮药管内的多孔颗粒材料吸附除草剂,经管壁缓释孔口直接向外释放。

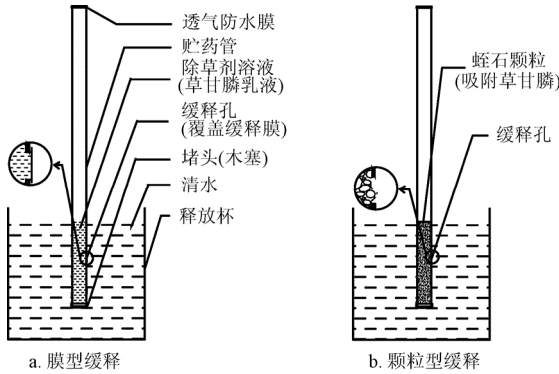


图1 根际缓释管的构造及其缓释性能测定装置

Fig.1 Determining the characteristics of controlled release pipe for releasing herbicides in plant rhizosphere

### 1.3 农药缓释特性测定

根据 Sidman<sup>[18]</sup> 的方法略做改进建立根际缓释管性能测定装置(试验缓释管长15 cm,具3个缓释孔),见图1a、b。膜型缓释管的缓释孔口分别用壳聚糖膜和PE膜粘封,并于每管中贮入质量分数10%草甘膦乳液10 mL,颗粒型缓释管直接加入5 g含5%(质量分数)草甘膦乳液的蛭石。填药的缓释管固定于释放杯中,于杯中加入去离子水100 mL,调整管内药面与管外水面平齐,磁力搅拌器连续搅拌,每隔一定时间测定杯中草甘膦浓度,持续12 d。分析每孔释放累积量及平均释放速率随时间变化动态,计算缓释膜的膜渗透系数。

### 1.4 模型选择与数据分析

#### 1.4.1 渗透系数

药物对聚合物膜渗透性能通常由其渗透系数 $P$ 表示,计算公式如下<sup>[19]</sup>

$$p = \frac{LV_2}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)At} \cdot \ln \frac{c_0}{c_0 - \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right)c_t}$$

式中, $p$ 为膜渗透系数, $\text{cm}^2/\text{h}$ ;  $A$ 为膜有效面积, $\text{cm}^2$ ;  $V_1$ 为缓释管中药物的初始容积, $\text{mL}$ ;  $V_2$ 为缓释杯中的水体积, $\text{mL}$ ;  $c_0$ 为缓释管中农药质量浓度, $\text{mg/L}$ ;  $c_t$ 为释放杯中农药质量浓度, $\text{mg/L}$ ;  $t$ 为释放时间, $\text{h}$ 。

#### 1.4.2 缓释模拟

根际土壤缓释是指将装药后的缓释管插入米草丛中,缓释孔口露没入潮滩底泥,药物经缓释孔口释放到底泥的间隙水中,依靠涨、退潮引起的间隙水流动,直接给根系施药并将其杀死。由于存在土壤对农药的吸附,为了简化起见,选用饱和土壤一维溶质渗滤模型作近似

模拟<sup>[20]</sup>。模型表达式如下

$$C = \frac{C_0}{1 - (1 - e^{-\lambda_0 L})e^{-\lambda_0 v c_0 t / m}}$$

式中, $C$ 为 $t$ 时间后草甘膦质量浓度, $\text{g/L}$ ;  $C_0$ 为缓释管内初始草甘膦质量浓度, $\text{g/L}$ ;  $\lambda_0$ 为海泥对草甘膦的初始过滤系数;  $t$ 为缓释有效时间, $\text{h}$ ;  $m$ 为海滩底泥的孔隙率,%;  $L$ 为距缓释管中心点的距离, $\text{cm}$ ;  $v$ 为间隙水的流速, $\text{cm/s}$ 。

结合根际施药除草试验,草甘膦初始质量浓度为1.00 g/L,间隙水的流速根据坡面长及厦门半日潮涨落潮历时估计有效时间为3 h;土壤对农药的比截留量(单位体积土壤吸附截留的农药量)估算 $\lambda_0$ 为0.15。

### 1.5 根际施药除草试验

为探讨根际缓释除草效果较好的农药,选用草甘膦、百草枯和草胺膦进行互花米草根部浸泡试验。挖取互花米草萌蘖株(高35~40 cm)置于培养桶(高25 cm,口径20 cm)内,每桶3株,用自来水配制质量分数15‰盐度海水于室内进行水培,水培30 d后用于根际施药试验。以大田除草推荐浓度为初始浓度,分别稀释0、1、2倍,配制成3种处理剂量。其中,草甘膦3个处理质量浓度为1.00、0.50、0.25 g/L,百草枯为0.34、0.17、0.09 g/L,草胺膦为2.30、1.15、0.28 g/L。每处理15盆,3个重复。连续处理7 d,每日及时补充因蒸发而丧失的水分。观察并记录萌蘖株出现药害(植株叶片出现枯黄症状)的时间,以未加除草剂处理作为对照。

## 2 结果与分析

### 2.1 缓释材料的特性比较

研究表明,3种缓释材料的累积释放量曲线差异明显(表1,图2)。蛭石和PE膜的累积释放量 $y(\mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2})$ 与释放时间 $t(\text{d})$ 呈线性函数关系,拟合曲线分别为 $y=1.982x+33.137$  ( $t<0.0001$ )和 $y=2.391x-1.598$  ( $t<0.0001$ ),壳聚糖膜则呈指数型,拟合曲线为 $y=0.346[1-\exp(-133.66t)]$  ( $t<0.0001$ ),见表1。3种缓释材料对草甘膦的平均释放速率也存在明显差异(图2)。其中,2种膜型缓释材料均为峰形曲线,颗粒型缓释材料呈指数曲线。三者平均释放速率大小为:蛭石( $203.85 \mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )>壳聚糖( $12.06 \mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )>PE膜( $2.07 \mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ )。这表明,蛭石对草甘膦控释能力较弱,释放迅速;PE膜则表现出较强的控释能力,释放量较小,但整个过程释放量较稳定;壳聚糖膜介于两者之间。

缓释材料起到控释农药,延长农药作用时间,提高药效的关键作用。颗粒型缓释材料因其孔隙极大增加了表面积而具有一定的吸持作用,膜缓释主要是利用膜孔阻隔作用缓释农药,前者释放特点是初始释放量大,持续时间较短,而后者释放则较均匀。但膜控释农药的能力与膜种类关系密切。本研究表明,壳聚糖释放速率呈指数释放,前期释放量大。PE膜则呈线性释放,全过程较均匀,这与陈琳琳<sup>[16]</sup>的研究结果一致。因此,壳聚糖膜型与颗粒型根际缓释更适合土壤孔隙较小的淤泥质海

滩，而 PE 膜型则适合于含孔隙较多的砂质海滩或水体释放。

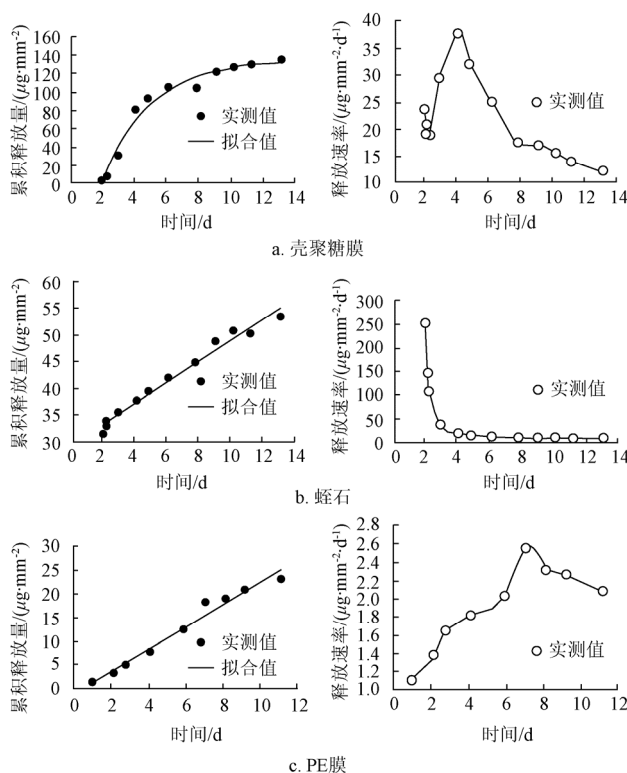


图 2 3 种缓释材料缓释草甘膦的特征曲线

Fig.2 Comparison of glyphosate-releasing curves of three controlled release materials

表 1 3 种缓释管的释放量曲线的拟合分析

Table 1 Fitting of herbicide-releasing curve of three kinds of controlled release pipes

缓释管类型	材料	孔数	单孔面积/ mm <sup>2</sup>	拟合公式	参数		R <sup>2</sup>
					k	b	
颗粒型	蛭石	3	31.89±0.52	y=kx+b	1.982	33.137	0.984
膜型	PE 膜	3	51.21±7.02	y=kx+b	2.391	-1.598	0.979
	壳聚糖膜	3	39.57±7.02	y=b[1-exp(-kt)]	0.346	133.66	0.976

### 2.2 膜缓释材料对除草剂渗透系数

缓释膜的渗透系数是表征膜渗透性能的重要参数。对 2 种膜渗透系数计算结果见表 2，PE 膜对草甘膦的渗透系数为 5.27 cm<sup>2</sup>/h，壳聚糖膜为 139.00 cm<sup>2</sup>/h，后者是前者的 26.38 倍。说明壳聚糖膜对草甘膦具有较强渗透性。影响药物的渗透性能的因素是多方面的。表 2 中列举了 3 种缓释膜对除草剂、精油类及医药类化合物的渗透系数。不同膜间比较，以壳聚糖膜的渗透系数最大，聚氨基酸膜居次，PE 膜最小。同一种膜对不同的药物渗透系数也存在显著差异，如 PE 膜对除草剂的渗透系数为萜类精油的 10 倍以上。这说明渗透系数 P 不仅决定于聚合物膜的种类，而且与药物种类有关。这一结果已经被众多试验证实<sup>[21-24]</sup>。

表 2 几种缓释膜的渗透系数比较

Table 2 Comparison of the permeability coefficients of several controlled release membranes

渗透物质	除草剂 (草甘膦)	精油 (萜类)	医药 (左旋炔孕酮)
PE 膜	5.270	0.620~0.798*	/
壳聚糖膜	139.00	/	/
聚氨基酸膜	/	/	6.85~20.1**

注：\*根据参考文献[16]中累积释放速率曲线的斜率计算

\*\*引自参考文献[17]

### 2.3 除草剂在潮滩的释放动态计算

采用饱和土壤一维溶质渗滤方程计算了 3 种孔隙率下的土壤缓释距离-浓度曲线。如图 3。结果表明，当距离大于 40 cm 时，草甘膦浓度迅速降低，仅为原始浓度的 1%~0.3%。综合考虑潮滩土壤施用可能会降低草甘膦的效果等因素，推荐的有效范围为 30~40 cm。根据图 2 中对 3 种孔隙度的拟合表明，孔隙度越大，吸附的农药就越多，运移过程损失也就越大，扩散溶液的浓度下降会更快，这说明缓释管除草的有效距离会随潮滩土的孔隙度变化而变化。但根据图 2 曲线变化趋势，超过 30 cm 后，其浓度急剧降低。考虑潮汐特点及药物有效浓度，建议野外防除工程中布管时，两缓释管间距离为 50~60 cm。

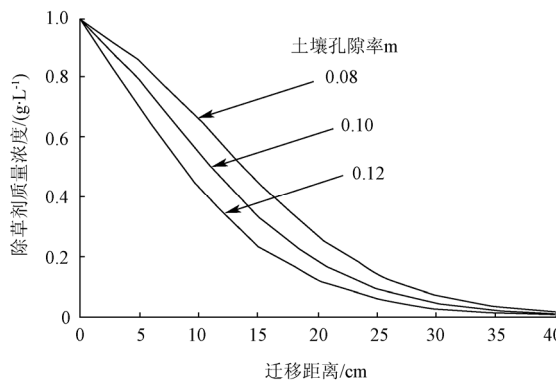


图 3 不同土壤孔隙率下除草剂缓释质量浓度随距离的变化  
Fig.3 Predicted data of glyphosate-releasing distant varying with different soil porosities

### 2.4 除草剂根施除草效果

草甘膦、百草枯和草铵膦根部除草效果见图 4。结果表明，草甘膦、百草枯和草铵膦在大田喷施浓度至稀释 2 倍条件下，浸泡根部均能在一周时间内杀死互花米草植株，并且毒杀效果随浓度增高而增强。1.00 g/L 草甘膦和 0.34 g/L 百草枯根部处理 2 d 后，可造成互花米草植株叶片脱色变黄、叶片卷曲，触杀效果已十分明显，而 2.30 g/L 草铵膦显效时间为 3 d。稀释 2 倍后，草铵膦 (0.28 g/L) 仍能在 4 d 呈显著除草效果，百草枯 (0.09 g/L) 和草甘膦 (0.25 g/L) 分别为 5、6 d。这表明，在正常大田施用浓度至更低浓度下 (稀释 2 倍)，草甘膦、百草枯和草铵膦根部浸泡 2~6 d 即可显现毒杀互花米草效果。其中，草甘膦作为一种使用范围极广、效果突出的农药，亦是唯一在互花米草防治中得到实际应用的除草剂，被证明

在防除互花米草上效果突出<sup>[15]</sup>，本试验亦表明草甘膦根部处理能使互花米草死亡。

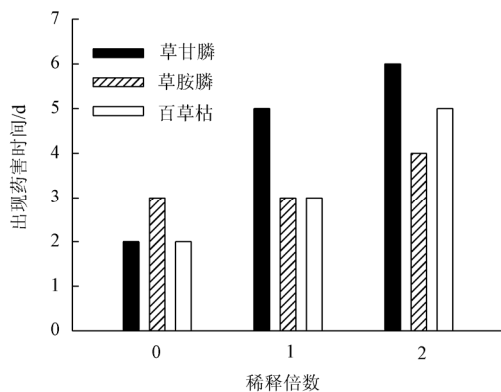


图4 不同浓度农药根部作用下对互花米草致死效果

Fig.4 Lethal effects of different concentrations of pesticides on seedlings of *Spartina alterniflora* in rhizosphere environment

### 3 结论

研究制备了以蛭石、壳聚糖膜和PE膜为缓释材料的3种缓释管，通过双室扩散法测试其对除草剂的缓释性能，并进一步验证应用于根际施药防除互花米草的可行性。研究的主要结论如下：

1) 3种缓释材料对除草剂草甘膦的缓释性能差异显著，蛭石对草甘膦控释能力较弱，呈线性释放，平均释放量为  $203.85 \mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ，释放迅速，因此，适合淤泥质潮滩；PE膜则表现出较强的控释能力，释放量较小，为  $2.07 \mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ，但整个过程释放量较稳定，适合沙质和近根际水体；壳聚糖膜介于两者之间，为  $12.06 \mu\text{g}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

2) 根据饱和土壤一维溶质渗滤模型分析结果，建议野外根际缓释管工程布设两管间有效除草间距为50~60 cm。

3) 农药根部触杀表明，在正常大田施用浓度至更低浓度下（稀释2倍），草甘膦、百草枯和草胺膦2~6 d均能有效杀死互花米草。

上述室内研究证明了根际缓释除草剂防除海滩互花米草具有可行性，同时量化了工程参数，工程应用效果及其比较将在随后的研究中进一步分析。

#### [参 考 文 献]

[1] Valiela I, Teal J M, Deuser W G. The nature of growth forms in the salt marsh grass *Spartina alterniflora*[J]. Am Nat, 1978, 985(112): 461-470.  
 [2] Chung C H. Thirty years of ecological engineering with *Spartina plantations* in China[J]. Ecol Eng, 1993, 2(3): 261-289.  
 [3] Zhang R S, Shen Y M, Lu L Y, et al. Formation of *Spartina alterniflora* salt marshes on the coast of Jiangsu Province, China[J]. Ecol Eng, 2004, 23(2): 95-105.  
 [4] Huang H M, Zhang L Q. A study of the population dynamics of *Spartina alterniflora* at Jiuduansha shoals, Shanghai, China[J]. Ecol Eng, 2007, 29(2): 164-172.

[5] Chen Z Y, Li B, Zhong Y, et al. Local competitive effects of introduced *Spartina alterniflora* on *Scirpus mariqueter* at Dongtan of Chongming island, the Yangtze river estuary and their potential ecological consequences[J]. Hydrobiologia, 2004, 528(1/3): 99-106.  
 [6] Luiting V T, Cordell J R, Olson A M, et al. Does exotic *Spartina alterniflora* change benthic invertebrate assemblages[R]. Washington State University, Olympia: Proceedings of the Second International Spartina Conference, 1997.  
 [7] Wang Q, An S Q, Ma Z J, et al. Invasive *Spartina alterniflora* biology, ecology and management[J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 2006, 44(5): 559-588.  
 [8] Li H P, Zhang L Q. An experimental study on physical controls of an exotic plant *Spartina alterniflora* in Shanghai, China[J]. Ecological Engineering, 2008, 32(1): 11-21.  
 [9] 唐龙. 刘割、淹水及芦苇替代综合控制互花米草的生态学机理研究[D]. 上海: 复旦大学, 2008.  
 Tang Long. Control of *Spartina alterniflora* by an integrated approach of clipping, waterlogging and ecological replacement with reed: An experimental study of ecological mechanisms[D]. Shanghai: Fudan University, 2008. (in Chinese with English abstract)  
 [10] Grevstad F S. Simulating control strategies for a spatially structured weed invasion: *Spartina alterniflora* Loisel. in Pacific Coast estuaries[J]. Biol Invas, 2006, 7(4): 665-677.  
 [11] 唐国玲, 沈禄恒, 翁伟花, 等. 无瓣海桑对互花米草的生态控制效果[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(1): 10-13.  
 Tang Guoling, Shen Lvheng, Weng Weihua, et al. Effects of using *Sonneratia apetala* to control the growth of *Spartina alterniflora* Loisel[J]. Journal of South China Agricultural University, 2007, 28(1):10-13. (in Chinese with English abstract)  
 [12] Grevstad F S, Strong D R, D. Garcia-Rossi, et al. Biological control of *Spartina alterniflora* in Willapa Bay, Washington using the plant hopper *Prokelisia marginata*, agent specificity and early results[J]. Biological Control, 2003, 27(1): 32-42.  
 [13] Silliman B R, Zieman J C. Top-down control of *Spartina alterniflora* production by periwinkle grazing in a Virginia salt marsh[J]. Ecology, 2001, 82(10): 2830-2845.  
 [14] Gustafson D J, Kilheffer J, Silliman B R. Relative effects of *Littoraria irrorata* and *Prokelisia marginata* on *Spartina alterniflora*[J]. Estuaries and Coasts, 2006, 2(4): 639-644.  
 [15] Patten K. Comparison of chemical and mechanical control efforts for invasive *Spartina* in Willapa Bay, WA[R]. San Francisco, California: The Third International Conference on Invasive *Spartina*, 2004.  
 [16] 陈琳琳. 膜挥发工艺及其香精配方结构特性的研究[J]. 香精香料化妆品, 2007(3): 14-17.  
 Chen Linlin. The characteristics of membrane-volatilizing craft and its perfume formula[J]. Flavour Fragrance Cosmetic, 2007(3): 14-17. (in Chinese with English abstract)  
 [17] 蒋海明, 夏金兰, 聂珍媛. 壳聚糖基复合控释膜的制备及渗透性能[J]. 中南大学学报, 2006, 37(1): 4-8.  
 Jiang Haiming, Xia Jinlan, Nie Zhenyuan. Preparation and permeability of control-release membranes of chitosan-based composite[J]. Journal of Central South University, 2006, 37(1):

- 4—8. (in Chinese with English abstract)
- [18] Sidman K R, Steber W D, Scwope A D, et al. Controlled release of macromolecules and pharmaceuticals from synthetic polypeptides based on glutamic acid[J]. *Biopolymers*, 1983, 22(1): 547—552.
- [19] Manabu S, Yoshimitsu K. Preparation and drug-releasing behavior of copoly ( $\alpha$ -amino acid) membranes[J]. *J Membrane Sci*, 1986, 27(2): 241—252.
- [20] 刘松. 渗滤的系统及其分析及其数学模型[J]. *数学物理学报*, 1994, 14(4): 361—365.  
Liu Song. System analysis and mathematical model of percolation[J]. *Acta Mathematica Scientia*, 1994, 14(4): 361—365. (in Chinese with English abstract)
- [21] 潘仕荣, 易武, 施峰. 聚  $\alpha$ -氨基酸膜的渗透性研究[J]. *中国药学杂志*, 1996, 31(9): 531—534.  
Pan Shirong, Yi Wu, Shi Feng. The permeability of poly ( $\alpha$ -amino acid) films to drugs[J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 1996, 31(9): 531—534. (in Chinese with English abstract)
- [22] 潘仕荣, 黄宁芳. 亲水性聚氨基酸膜对药物释放的影响[J]. *中山医科大学学报*, 1997, 18(2): 117—120.  
Pan Shirong, Huang Ningfang. The effect of hydrophilic poly amino acid film's on drug permeability[J]. *Academic Journal of Sun Yat-Sen University of Medical Sciences*, 1997, 18(2): 117—120. (in Chinese with English abstract)
- [23] 姚俊杰, 王亭杰, 潘健平, 等. 用聚合物乳液为包膜剂制备缓释尿素[J]. *化工进展*, 2005, 24(6): 666—670.  
Yao Junjie, Wang Tingjie, Pan Jianping, et al. Slow release urea preparation by film coating with polymer latex[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2005, 24(6): 666—670. (in Chinese with English abstract)
- [24] Sidman K R, Schwope A D, Steber W D, et al. Biodegradable implantable sustained release systems based on glutamic acid copolymers[J]. *J Membrane Sci*, 1980, 7(3): 277—277.

## Controlled release method for herbicides in rhizosphere to prevent aggression of *Spartina alterniflora* in intertidal zone

Hu Hongyou<sup>1,2</sup>, Dong Kezuan<sup>1</sup>, Lin Guanghui<sup>1,2</sup>, Xie Wanying<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** To guard effectively against the ecological aggression of the smooth cord-grass *Spartina alterniflora* growing in intertidal zone, a new method was considered to apply herbicides in rhizosphere soil with controlled release techniques. Three types of controlled release materials, vermiculite particles, polyethylene (PE) and chitin membrane, were tested on their herbicide-releasing characteristics, meanwhile, three herbicides, including glyphosate, paraquat and basta, were evaluated on the effects of killing the smooth cord-grass. The results show that the controlled herbicide-releasing ability of vermiculite particles is weaker than the other two materials, and its initial releasing quantity is bigger, so it can be used for the muddy beach. On the contrary, that of PE was stronger, and therefore it is suitable for a sandy beach. Furthermore, that of chitin membrane is between the vermiculite particles and PE membrane. The three herbicides, glyphosate, paraquat and basta, can kill the grass effectively after 2-6 days of cultivation in 0.25-1.00 0.09-0.23 and 0.28-2.30 g/L solutions, respectively. One dimensional model for solute infiltration in saturated soil was used to modulate the herbicide migration, and the modulation result suggested that the distance between any two herbicide-releasing points should be set at less than 50-60 cm in field weeding practice. The experiment proved it is feasible in practice to guard against the ecological aggression of smooth cord-grass by controlled release of herbicides in rhizosphere.

**Key words:** *Spartina alterniflora*, herbicides, ecological environment, aggression, controlled release, rhizosphere