

## 鎘在龍鬚菜與九孔體內之蓄積與釋放

林世榮·丁雲源

台南分所

### 摘要

龍鬚菜對鎘之吸收累積作用有隨處理濃度與時間之增加而上升，但累積倍數隨濃度增加而下降，在高濃度組尚未發現有變淡透明之現象。九孔經飼餵培育在鎘溶液之龍鬚菜後，其對鎘離子之蓄積量，在九孔內臟與腹足皆隨處理濃度及時間之增加而上升，與攝食之龍鬚菜含鎘量成正比關係，而且在各處理組，九孔內臟對鎘離子吸收累積量較腹足多。九孔經再飼餵未處理之龍鬚菜75天後，其對鎘之排出量與時間有顯著相關性，隨時間增長，保有率愈低，各處理組九孔內臟對鎘之保有率平均為  $19.50 \pm 1.37\%$ ，而九孔腹足對鎘之保有率平均為  $11.38 \pm 1.73\%$ 。

### 一、前言

本省之九孔養殖，自陸上養殖技術建立後，漸為盛行，產量大增，然而近年來工業發達，廢水未經處理即大量排放至河川、沿海，導致養殖用水遭受到嚴重污染。

九孔的主要餌料是龍鬚菜，業者除引用海水養殖龍鬚菜外，近來更利用龍鬚菜能淨化水質的功能，實施循環水養殖，若養殖用水之污染物為有機物質，則有利龍鬚菜，如為重金屬則可能經由龍鬚菜之蓄積而引發九孔之重金屬污染。林與丁(1993)之報告提出龍鬚菜對銅之累積量與變綠現象，與其濃度及時間成正比，而且九孔飼餵浸漬在銅溶液之龍鬚菜的銅吸收累積量亦隨濃度及時間之增加而上升。龍鬚菜對鋅之吸收累積作用亦隨處理濃度及時間之增加而上升，但在有透明白化現象時則吸收累積作用下降。九孔經飼餵培育在鋅溶液之龍鬚菜後，其對鋅離子之蓄積量，在九孔內臟有隨處理濃度及時間之增加而上升之現象，但腹足對鋅離子之吸收累積量則不隨處理濃度及時間之增加而連續上升，腹足對鋅離子之吸收累積量亦比內臟少。九孔內臟對鋅之釋放量，在飼餵75天除320ppb組外，其他各組之釋放量已接近對照組，而腹足對鋅之釋放量則不明顯。本計畫為探討龍鬚菜與九孔對鎘之蓄積作用，以供整治污染及今後發展斯業之參考。

### 二、材料與方法

#### (一)龍鬚菜對鎘之蓄積試驗

以鎘金屬化合物  $\text{CdCl}_2 \cdot 2 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ，配製成1000mg/l之原液，再稀釋成各試驗組，共實施2次不同濃度之蓄積試驗，第1次試驗以鎘原液配製成1、2、3、4、5 mg/l以及對照組，在2l燒杯內各放20g龍鬚菜，水量2l，進行方式採每天採樣與換試液，共採樣7次；第2次試驗配製成0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/l以及對照組，在2l燒杯中各放20g龍鬚菜，水量2l，每隔2天換試液1次，每7天採樣分析，共採樣8次，並進行重金屬累積分析。

#### (二)九孔飼餵培育在鎘溶液之龍鬚菜的吸收累積試驗

龍鬚菜培育在2.5噸圓型水槽，水量1噸，配製成不同鎘離子濃度，分別為20、40、80、160、320  $\mu\text{g}/\text{l}$  等5個處理組以及對照組，每水槽放養6kg，每隔3天換試液1次，並添加營養劑。另外，同時進行九孔對鎘吸收累積養殖試驗，雙重覆在130l塑膠水槽內放養50粒九孔，水量100l，平均殼長 $2.40 \pm 0.20\text{cm}$ ，體重 $1.47 \pm 0.37\text{g}$ ，水槽底部放二片弧形塑膠片，供九孔遮蔽用，以清淨海水飼養，採流流水式，試驗中加以充分打氣；每日各投飼培育在上述鎘溶液之龍鬚菜，共飼養80天，每20天採樣1次，每次各採3粒九孔以及龍鬚菜各5g

，取樣後量殼長、稱重，並即刻保存於  $-20^{\circ}\text{C}$  冷凍箱，供鎘之吸收累積分析。

### (三) 九孔對鎘之釋放試驗

在九孔對鎘吸收累積試驗結束後，繼續以未處理龍鬚菜飼養75天，每15天採樣1次，每次各採樣3粒九孔以及龍鬚菜5g，取樣後，量殼長稱重並即刻放入  $-20^{\circ}\text{C}$  冷凍箱保存，供鎘之釋放分析。

### (四) 重金屬分析方法

龍鬚菜與九孔之樣品先以蒸餾水洗淨，並經切割處理、稱重，九孔又分為內臟與腹足二部分分析，樣品各別置於50ml燒杯內，加入5ml濃硝酸與1.5ml 30%過氧化氫，置放電熱板上，在 $60^{\circ}\text{C}$ 下進行濕式消化，至溶液剛乾呈澄清之橘黃色為止，然後以1%硝酸定容至20ml，以火鋸式之偏極化苜曼原子吸光儀(Hitachi Z-8100 Polarized Zeeman AAS)測定重金屬之含量，並以 ppm( $\mu\text{g/g}$ )表示。

## 三、結果與討論

### (一) 龍鬚菜對鎘之蓄積試驗

以各種不同濃度之鎘溶液培育龍鬚菜，經2次試驗結果，其顏色變化不明顯，在高濃度組尚未發現有變淡透明現象，這與在對銅蓄積試驗中有變綠及對鋅有變淡現象有所不同。龍鬚菜樣品經消化後，以火鋸式之偏極化苜曼原子吸光儀測定其對鎘之吸收累積量，第1次試驗結果如表1所示，龍鬚菜對鎘之吸收累積作用有隨濃度與時間之增加而上昇之現象，在第7天，對照組與1至5 mg/l之各濃度組，分別為0.19、5.18、10.09、12.13、12.60、14.57 ppm，但累積倍數有隨濃度之增加而下降之現象。第2次試驗降低鎘離子濃度，範圍為0.1—0.5 mg/l，試驗結果如表2所示，在第7天各處理組即稍有累積現象，其對鎘離子之蓄積亦隨濃度與時間之增加而上升，在第56天時，0.1—0.5 mg/l 之各濃度組分別為29.54、31.59、38.99、44.53、45.03 ppm，由此顯示，培育時間愈長則較高濃度組之累積量有漸趨緩慢現象，而且累積倍數亦隨濃度之增加而下降。

### (二) 九孔飼餵培育在鎘溶液之龍鬚菜的吸收累積試驗

作為九孔餌料之龍鬚菜經培育在低濃度之鎘溶液 (20-320  $\mu\text{g/l}$ ) 中，其對鎘之吸收累積量與九孔經飼餵培育在鎘溶液之龍鬚菜的吸收累積量如表3所示。在本試驗中龍鬚菜對鎘離

子之吸收累積由各處理組與對照組之比較得知，其對鎘離子之吸收累積作用隨濃度與時間之增加而上昇，在各處理組中，以320  $\mu\text{g/l}$  濃度組在40天累積量最高，達72.53 ppm，其次第60與80天則分別降至59.60 ppm與50.58 ppm，而對照組維持在0.20—0.38 ppm之間。

九孔經飼餵這些處理過之龍鬚菜後，經分析得知，其對鎘離子之蓄積量，在九孔內臟有隨處理濃度及時間之增加而上升之現象，各處理組在第20天對鎘之蓄積作用則有顯著增加，在第60天之蓄積量各組皆達最高，其中320  $\mu\text{g/l}$  組高達262.86 ppm，到第80天除20  $\mu\text{g/l}$  組外都有下降現象，而對照組維持在2.02—2.81 ppm間。九孔腹足對鎘離子之吸收累積量，亦隨處理濃度及時間之增加而有顯著差異，以第40天之320  $\mu\text{g/l}$  組累積量最高，達31.6 ppm，但第60與80天則稍降為24.45 ppm與22.27 ppm，而其他各組則持續上升。綜合上述，內臟與腹足對鎘之吸收累積量與所飼餵經處理過之龍鬚菜之鎘蓄積量間有相當之關係。

在處理組中，九孔腹足對鎘離子之吸收累積量皆比內臟少，在對照組中，九孔之腹足之含鎘量亦比內臟少約10倍。

### (三) 九孔對鎘之釋放試驗

九孔對鎘之吸收累積試驗結束後，接著以未處理之龍鬚菜飼養75天，其對鎘之釋放，如表4所示，在飼餵30天後，九孔內臟與腹足對鎘之釋放量，各處理組皆有顯著釋放，在75天腹足之含鎘量幾乎已恢復到對照組之含量。在各處理組 (20-320  $\mu\text{g/l}$ ) 中，九孔內臟對鎘之保有率(Retention percent)平均為19.50±1.37%，而九孔腹足對鎘之保有率平均為11.38±1.73%。

## 四、結論與建議

龍鬚菜對鎘之吸收累積作用隨濃度與時間之增加而上昇，但培育時間愈長，較高濃度組之累積量有漸趨緩慢之現象；累積倍數隨濃度之增加而下降，但隨培育期間之增長而增大。九孔飼餵培育在鎘溶液之龍鬚菜其對鎘離子之吸收累積作用隨濃度與時間之增加而上昇，並與處理過之龍鬚菜對鎘之蓄積量有相當之關係。九孔吸收累積鎘之後，再飼餵未處理之龍鬚菜75天，其對鎘之排出量與時間有顯著相關性，隨時間之增長保有率愈低。

表 1 龍鬚菜培育在不同鎘溶液濃度及對照組之吸收累積量 (單位: ppm)

吸收時間		鎘溶液濃度 (mg/l)				
(天)	對照組	1	2	3	4	5
1	0.21	1.34 (1.34)	2.50 (1.25)	2.50 (0.83)	4.05 (1.01)	4.90 (0.98)
2	0.26	2.01 (2.01)	4.20 (2.10)	3.74 (1.25)	4.96 (1.24)	5.14 (1.03)
3	0.32	2.50 (2.50)	4.13 (2.07)	4.55 (1.52)	5.55 (1.39)	5.85 (1.17)
4	0.27	3.20 (3.20)	5.49 (2.75)	6.17 (2.06)	5.68 (1.42)	8.81 (1.76)
5	0.20	3.02 (3.02)	5.45 (2.73)	6.50 (2.17)	8.30 (2.08)	9.45 (1.89)
6	0.20	3.42 (3.42)	5.84 (2.92)	7.12 (2.37)	8.50 (2.13)	10.30 (2.06)
7	0.19	5.18 (5.18)	10.09 (5.05)	12.13 (4.04)	12.60 (3.15)	14.57 (2.91)

( ) 累積係數

表 2 龍鬚菜培育在不同鎘溶液濃度及對照組之吸收累積量 (單位: ppm)

吸收時間		鎘溶液濃度 (mg/l)				
(天)	對照組	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
7	0.10	2.01 (20.10)	2.41 (12.05)	2.08 (6.93)	2.67 (6.68)	2.78 (5.56)
14	0.31	4.81 (48.10)	4.91 (24.55)	8.70 (29.00)	8.35 (20.88)	9.10 (18.20)
21	0.10	6.70 (67.00)	9.60 (48.00)	9.80 (32.67)	12.85 (32.13)	13.60 (27.20)
28	0.10	7.89 (78.90)	11.29 (56.45)	13.80 (46.00)	14.76 (36.90)	14.07 (28.14)
35	0.33	10.27 (102.70)	13.80 (69.00)	17.02 (56.73)	21.31 (53.28)	22.50 (45.00)
42	0.36	13.27 (132.70)	17.78 (88.90)	18.60 (62.70)	21.62 (54.05)	28.10 (56.20)
49	0.34	20.03 (200.30)	20.34 (101.70)	21.10 (70.33)	29.56 (73.90)	30.98 (61.96)
56	0.35	29.54 (295.40)	31.59 (157.95)	38.99 (129.97)	44.53 (111.33)	45.03 (90.06)

( ) 累積係數

表 3 九孔飼餵經培育在不同鎘溶液濃度之龍鬚菜後對鎘之吸收累積量(ppm)

投飼 時間 (天)	項目	殼長 (cm)	全重 (g)	部位	龍鬚菜培育在鎘溶液之濃度( $\mu\text{g}/\ell$ )					
					對照組	20	40	80	160	320
0	龍鬚菜				0.18	0.20	0.31	0.34	0.26	0.28
	九孔	2.41 $\pm 0.20$ n=6	1.48 $\pm 0.37$ n=6	內臟  腹足	1.97 (0.08)	2.10 (0.10)	1.56 (0.04)	2.01 (0.06)	3.02 (0.18)	2.62 (0.09)
20	龍鬚菜				0.20	7.5	11.20	18.39	28.40	46.20
	九孔	2.64 $\pm 0.27$ n=6	2.02 $\pm 0.59$ n=6	內臟  腹足	2.10 (0.13)	16.43 (2.98)	27.10 (3.45)	27.72 (2.52)	35.67 (5.51)	38.25 (7.43)
40	龍鬚菜				0.38	17.07	23.47	24.53	30.98	72.53
	九孔	2.86 $\pm 0.26$ n=6	2.92 $\pm 0.91$ n=6	內臟  腹足	2.02 (0.05)	65.24 (9.64)	77.92 (13.22)	86.60 (11.68)	116.31 (12.66)	180.63 (26.30)
60	龍鬚菜				0.23	18.02	38.30	46.82	50.33	59.60
	九孔	2.97 $\pm 0.23$ n=6	3.28 $\pm 0.74$ n=6	內臟  腹足	2.81 (0.36)	68.71 (4.43)	143.68 (15.37)	164.14 (24.83)	206.04 (17.99)	262.82 (15.70)
80	龍鬚菜				0.34	20.67	33.60	40.20	48.50	50.58
	九孔	3.21 $\pm 0.73$ n=6	4.14 $\pm 0.97$ n=6	內臟  腹足	2.52 (1.06)	106.94 (12.33)	125.36 (16.76)	137.00 (18.96)	138.85 (17.42)	175.53 (14.34)

Data are shown as means  $\pm$  SE(n=2)

表 4 九孔體內蓄積鎘(ppm)後再飼餵未處理之龍鬚菜之釋放試驗

投飼時間 (天)	項目	殼長 (cm)	全重 (g)	部位	龍鬚菜培育在鎘溶液之濃度( $\mu\text{g}/\ell$ )					
					對照組	20	40	80	160	320
蓄積試驗										
80	龍鬚菜				0.34	20.67	33.60	40.20	48.50	50.58
	九孔	3.21	4.14	內臟	2.52	106.94	125.36	137.00	138.85	175.53
		$\pm 0.73$	$\pm 0.97$		(1.06)	(12.33)	(16.76)	(18.96)	(17.42)	(14.34)
		n=6	n=6	腹足	0.25	6.10	10.90	18.60	20.10	22.27
					(0.02)	(1.01)	(3.90)	(3.08)	(4.96)	(3.50)
釋放試驗					飼餵未處理之龍鬚菜後釋放鎘之濃度(ppm)					
15	龍鬚菜				0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	九孔	4.25	10.26	內臟	1.38	53.45	70.92	89.00	91.31	111.10
		$\pm 0.40$	$\pm 1.36$		(0.05)	(8.09)	(3.31)	(6.29)	(12.28)	(13.37)
		n=6	n=6	腹足	0.28	1.14	2.59	2.98	4.08	6.50
					(0.00)	(0.21)	(0.87)	(0.76)	(1.72)	(1.46)
30	龍鬚菜				0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	九孔	4.31	10.69	內臟	1.34	29.54	29.21	36.50	37.15	47.61
		$\pm 0.54$	$\pm 2.00$		(0.36)	(2.96)	(4.66)	(6.19)	(3.93)	(4.13)
		n=6	n=6	腹足	0.20	0.97	2.63	2.79	3.15	3.38
					(0.02)	(0.12)	(0.90)	(0.30)	(1.39)	(1.20)
45	龍鬚菜				0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
	九孔	4.55	11.80	內臟	1.34	23.58	28.26	30.19	32.29	42.30
		$\pm 0.50$	$\pm 1.69$		(0.38)	(2.86)	(2.54)	(3.57)	(0.13)	(5.37)
		n=6	n=6	腹足	0.21	0.78	2.42	2.37	2.83	3.29
					(0.03)	(0.06)	(0.59)	(0.22)	(0.24)	(0.85)
60	龍鬚菜				0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	九孔	4.45	10.91	內臟	1.68	22.21	26.23	24.58	30.87	40.15
		$\pm 0.58$	$\pm 1.05$		(0.23)	(2.11)	(2.93)	(4.09)	(3.63)	(4.77)
		n=6	n=6	腹足	0.19	0.53	1.69	2.15	2.95	3.05
					(0.00)	(0.16)	(0.54)	(0.62)	(0.71)	(0.98)
75	龍鬚菜				0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
	九孔	4.44	11.18	內臟	1.50	20.66	23.89	24.10	28.29	37.18
		$\pm 0.55$	$\pm 2.28$		(0.25)	(3.12)	(2.39)	(5.11)	(3.90)	(5.97)
		n=6	n=6	腹足	0.20	0.55	1.43	2.10	2.11	2.89
					(0.05)	(0.19)	(0.23)	(0.28)	(0.36)	(0.52)

Data are shown as means+SE(n=2)