

ウミウチワ属褐藻3種から得られたアセトン抽出物の 腹足綱6種に対する摂食阻害活性

吾妻行雄¹・川島亜希子¹・李 景玉¹・蔵多一哉²・谷口和也¹

Feeding-Deterrent Activity of Acetone Extract from Three *Padina* Species Against the Six Species of Herbivorous Gastropods

Yukio AGATSUMA¹, Akiko KAWASHIMA¹, Jing-Yu LI¹, Kazuya KURATA²
and Kazuya TANIGUCHI¹

Abstract: The feeding-deterrent activities of acetone extracts from brown algae *Padina crassa*, *P. australis* and *P. japonica* on abalones *Haliotis discus hannai*, *H. discus discus* and *H. gigantea*, and the snails *Chlorostoma lischkei*, *Omphalius rusticus* and *O. pfeifferi carpenteri* were tested by the bioassay using cellulose plate method. The neutral and acidic fractions of acetone extracts showed potent feeding-deterrent activity against these gastropods. The lipids, highly unsaturated and unsaturated fatty acids, were isolated from *P. crassa* as new feeding-deterrent metabolites. Feeding-deterrent activity of *P. japonica* was relatively low, possibly due to the physical defense with the accumulation of calcium carbonate. Among the three species of abalones, the mobile grazers *H. discus hannai* and *H. discus discus* are sensitive to metabolites of the algae. By contrast, the sedentary grazer *H. gigantea* is insensitive to those. Among the three species of snails, *Chlorostoma lischkei*, sympatric to *Padina* species, was most sensitive to the metabolites.

Key words: *Padina*; Gastropod; Feeding-deterrent; Secondary metabolite

アミジグサ目褐藻コナウミウチワ *Padina crassa* は日本では太平洋沿岸の中・南部，瀬戸内海，九州西・北岸，日本海沿岸に，ウスバウミウチワ *Padina australis* は太平洋沿岸南部と南西諸島，オキナウチワ *Padina japonica* は太平洋沿岸の中・南部，九州北・西岸，瀬戸内海，日本海沿岸の低潮線付近に生育する（岡村 1936; 吉田 1998）。

これらウミウチワ属褐藻は扇型の形態をしており，主に体横断面の細胞層によって分類される。コナウミウチワは4～8層の細胞からなり，裏面に薄く炭酸カルシウムを沈着し，革質である。これに対してウスバウミウチワとオキナウチワは全体が2層の細胞からなり，薄く柔らかい（吉田 1998）。オキナウチワは炭酸カルシウムを多量に沈着するため，白色の縞模様を呈する（Okazaki et al. 1986）。

多くの海藻は化学的防御物質を生産し，植食動物の摂食を阻害することが知られている（Hay and Fenical 1988, 1996; Hay 1996）。アミジグサ目褐藻では，フクリンアミジ *Dilophus okamurai*（谷口ら 1992），エゾヤハズ *Dictyopteris divaricata*（白石ら 1991a, 1992），シワヤハズ *Dictyopteris undulata*（谷口ら 1993），アミジグサ *Dictyota dichotoma*（Hay et al. 1987），*Dictyota ciliolata*（Cronin and Hay 1996），*Dictyota acutiloba*（Cronin et al. 1997）などで植食動物に対する摂食阻害活性を有し，テルペン化合物が活性物質であることが明らかにされている。ウミウチワ属褐藻においても *P. vickerisiae*（Hay et al. 1986），*P. tenuis*（Wylie and Paul 1988），*P. gymnospora*（Renaud et al. 1990）などで，植食動物に対する摂食阻害活性が報告されている。しかし，ウミウチワ属褐藻の摂食阻害活性や阻害物質に

2007年6月20日受付：2007年10月5日受理。

¹東北大学大学院農学研究科（Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, Miyagi 981-8555, Japan）。

²函館工業高等専門学校（Hakodate National College of Technology, Hakodate, Hokkaido 042-8501, Japan）。

については明らかにされていない。

海藻の植食動物の摂食に対する防御には、化学的防御と藻体の形態による物理的防御 (Littler et al. 1983a, b) があり、どの防御方法を選択するかは摂食圧の高さと関係する (Hay 1984; Lewis 1985; Paul and Hay 1986)。一般に植食動物の種数と個体数は温帯よりも熱帯で多いので、化学的防御は熱帯の海藻で発達し (Hay and Fenical 1988)、同属の海藻でも熱帯産の種の防御活性が高いと報告されている (Bolser and Hay 1996)。また、化学的防御活性が高い海藻と遭遇する機会が多い熱帯の植食動物は、温帯のそれらより海藻の化学的防御に対する抵抗性が高い (Cronin et al. 1997)。

化学的防御物質を生産する海藻を棲み場として選択し、高い抵抗性を獲得した端脚類や多毛類 (Hay et al. 1987, 1988)、それらの海藻を食物として化学物質を捕食者から回避するために利用する腹足類や端脚類、十脚類 (Hay et al. 1989, 1990a, b; Duffy and Hay 1994; Jormalainen et al. 2001) も知られている。

これらの研究は、海藻と植食動物とが化学物質を介して共進化したことを示している。

本研究では、日本産コナウミウチワ、ウスバウミウチワ、オキナウチワの軟体動物門腹足綱アワビ属3種、ニシキウズガイ科3種に対する摂食阻害活性の有無を調べ、活性物質の同定を試みた。その結果、ウミウチワ属3種は、数種の脂質を生産して腹足類の摂食を阻害するが、炭酸カルシウムを多量に沈着するオキナウチワは物理的防御を選択したためか、他の2種に比べて化学的な阻害活性が低いことが明らかになった。また、アワビ属は能動的に摂食する種ほど、ニシキウズガイ科はウミウチワ属褐藻と同所的な種ほど、それぞれ活性物質に反応し、食物の選択性を高めることも明らかになった。

材料と方法

摂食阻害物質の抽出

コナウミウチワは2001年4月に石川県能都町宇出津 (37°18'N, 137°9'E) で、ウスバウミウチワは同年5月に沖縄県具志川市宇堅 (26°18'N, 127°49'E) で、オキナウチワは同年7月に秋田県男鹿市鶴ノ崎 (39°51'N, 139°46'E) でそれぞれ採集し、-20°Cで冷凍保存した。解凍した藻体を約1ヶ月間アセトンに浸漬して抽出した。アセトン抽出液を減圧濃縮し、得られた抽出物をエーテルと水で分配した。エーテル可溶部に5%水酸化ナトリウム溶液を加え、次に1 M 塩酸を加えて分配し、中性部 (N) と酸性部 (A) を得た。水可溶部を活性炭カラムに吸着させた後、水、メタノール、メタノール/アンモニア/水 (8/1/1) で逐次溶出し、

Table 1. Yield (g/kg wet weight) of each fraction obtained from the acetone extracts of brown algae, *Padina crassa* (Pc), *P. australis* (Pa) and *P. japonica* (Pj)

Fraction*	Pc	Pa	Pj
N	1.04	0.18	0.31
A	1.72	0.21	0.75
WM	0.27	0.25	0.28
WMA	0.30	0.50	0.44

* N, neutral fraction; A, acidic fraction; WM, fraction eluted with methanol from the activated charcoal column applied the water soluble part and WMA, fraction eluted with methanol/ammonia from the activated charcoal column.

それぞれ水溶性活性炭通過部 (WP)、水溶性メタノール溶出部 (WM)、水溶性メタノール/アンモニア溶出部 (WMA) とした。WP は成分のほとんどが塩化ナトリウムであったので生物試験に供試しなかった。生物試験に用いた画分 N, A, WM, WMA の海藻 1 kg (湿重量) あたりの収量を Table 1 に示した。

コナウミウチワの4画分による生物試験の結果、植食動物に対して高い摂食阻害活性を示した画分を、アルミナ (Aluminium oxide 90, activity II-III, Merk) カラムクロマトグラフィー (Kieselgel 60, 70-230 mesh, Merck)、高速液体クロマトグラフィー (TRIROTAR-VI, Megatak-SIL-C₁₈, 日本分光)、分取薄層クロマトグラフィー (Kieselgel 60 F 254, Merk; benzene/methanol/acetic acid 8/1/1) によって分離精製し、物質の単離を試みた。

生物試験

生物試験には、植食動物の摂食選択性を明らかにするためのセルロースアルミ板法を用いた (Kurata et al. 1990; 谷口ら 1992, 1993)。生物試験に用いた植食動物は、腹足綱アワビ属エゾアワビ *Haliotis discus hannai*、クロアワビ *Haliotis discus discus*、メガイアワビ *Haliotis gigantea* とニシキウズガイ科クボガイ *Chlorostoma lischkei*、コシダカガンガラ *Omphalius rusticus*、オオコシダカガンガラ *Omphalius pfeifferi carpenteri* の6種である。

エゾアワビは2000年と2001年に福島県栽培漁業センターで生産された人工種苗、クロアワビとメガイアワビは2000年に静岡県栽培漁業センターで生産された人工種苗である。クボガイは2001年10月に宮城県志津川町 (141°28'N, 38°40'E)、コシダカガンガラは2002年8月に宮城県松島湾舟入島 (38°19'N, 141°7'E)、オオコシダカガンガラは2002年5月に秋田県男鹿市船川港椿 (39°51'N, 139°46'E) で採集した。試験に用いたこれらの個体数、平均殻長または殻径、絶食期間を Table 2 に示した。生物試験を行う前の絶食期間については、絶食1~5日後の予備的試験で安定した結果

Table 2. Number, size and starvation of six species of herbivorous gastropods used in the present bioassay

Species	Number examined	Size (Mean \pm SD, mm)	Starvation (day)
<i>Haliotis discus hannai</i>	5	21.4 \pm 1.0 ¹	4–5
<i>Haliotis discus discus</i>	10	21.7 \pm 1.1 ¹	4
<i>Haliotis gigantea</i>	5	21.5 \pm 1.3 ¹	2
<i>Chlorostoma lischkei</i>	10	19.7 \pm 1.2 ²	2–3
<i>Omphalius rusticus</i>	10	21.9 \pm 1.3 ²	2
<i>Omphalius pfeifferi carpenteri</i>	5	25.3 \pm 2.2 ²	2

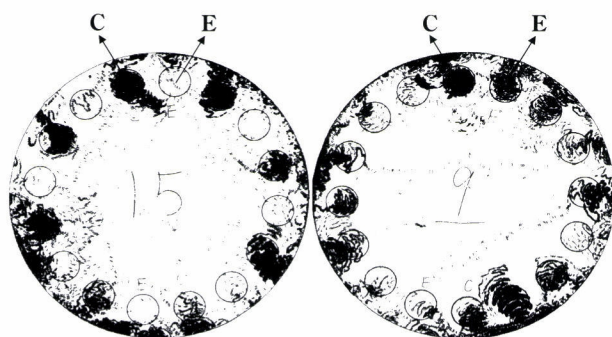
¹Shell length.²Shell diameter.

Fig. 1. Against the abalone, *Haliotis discus hannai*, typical figures of bioassay with feeding-deterrent (left) and without feeding-deterrent (right) from the acetone extract of the brown alga *Padina crassa*. E, 75 μ g of the fractionated sample + 7.5 μ g of phosphatidile choline (PC); C, control (7.5 μ g of PC).

が得られた最短の日数とした。

直径 20 cm のセルロースアルミ板 (DC-Alfolien Cellulose, Merk) の周縁部に鉄筆で直径 2 cm の円を等間隔で 16 区画描き, 交互に対照区と実験区を配した (Fig. 1)。対照区には摂食刺激物質であるホスファチジルコリン (PC, 和光純薬) (Sakata and Ina 1985) を区画あたり 7.5 μ g をエタノール 15 μ l に溶かして吸着させた。試験区には PC 7.5 μ g と抽出画分 75 μ g をエタノールに溶かして吸着させた。PC 吸着量は, 事前にエゾアワビを用いて安定した摂食量を維持できる量を試験して定めた。また, 抽出画分の吸着量は, エゾアワビに対する褐藻フクリンアミジの摂食選択性試験で, 有意な活性がみられた画分の収量にもとづいて定めた (谷口ら 1992)。

調製した試験板を 5 l の海水を満たした塩化ビニール製の円筒水槽 (直径 30 cm, 高さ 14 cm) に沈めた。Table 2 に示した所定の個体数の動物を水槽に収容し, 水温 20°C, 暗期 15 時間で試験した。

試験終了後, 試験板を水槽から取り出し, 真水で洗った後, 室内で乾燥させた。試験板をズームレンズ (VCL-707BXM, SONY) を用いて撮影し, 画像処理解析装置 (Quantiment 600, Leica) によって, 試験区と対照区に残された動物による食み跡面積を測定した。試験区と対照区の間積から, 摂食選択性指数を次式に

よって求めた。

$$Ei = (Pi - pi) / (Pi + pi)$$

ここで, Pi は対照区の食み跡面積, pi は試験区の食み跡面積を表す。 Ei 値が +1 の場合, 動物は抽出画分によって摂食が阻害されて試験区をまったく摂食せず, -1 の場合, 動物が抽出画分に摂食を誘引されて試験区のみを摂食したことを表す。 Ei 値が 0 の場合, 動物は抽出画分による摂食阻害も誘引も受けなかったことを表す。試験を 12 回繰り返し, 対照区と試験区の食み跡面積における有意差を t 検定によって求め, Ei 値が 0.50 以上の場合, 危険率 5%, 0.80 以上の場合, 危険率 1% の有意水準を表した。

得られた Ei 値の正規分布と等分散性を Kolmogorov-Smirnov test と Levene test によって確認してから, 海藻ごとに植食動物の種間および抽出画分間の Ei 値の有意差を Two-way ANOVA で検定した。有意差が認められた場合, Tukey test で多重比較を行った。

コナウミウチワから分離精製した物質を, エゾアワビ, クロアワビ, メガイアワビに対して試験したが, 収量が極めて少ない物質についてはエゾアワビのみで試験した。

結 果

ウミウチワ属 3 種の抽出画分によるエゾアワビ, クロアワビ, メガイアワビに対する摂食選択性指数 (Ei) を Fig. 2 に示した。海藻ごとに, アワビの種間および抽出画分間の Ei 値に有意な差が認められた (Table 3)。すべての海藻の水溶性 2 画分の Ei 値は, いずれのアワビにおいても 0.20 以下で, 摂食阻害活性が得られなかった。

コナウミウチワのエゾアワビに対する脂溶性画分の Ei は, N が 0.61, A が 0.73 と高い摂食阻害活性を示した。クロアワビに対しては N が 0.53, A が 0.52 で, エゾアワビに比べて統計的に有意差が認められなかったが ($P > 0.05$), やや低い値を示した。メガイアワビに対しては N, A ともにまったく摂食阻害活性を示さず, エゾアワビ, クロアワビとの間に有意差が認められた ($P < 0.05$)。

ウスバウミウチワのエゾアワビに対する Ei は, N が 0.50, A が 0.55 と摂食阻害活性を示した。クロア

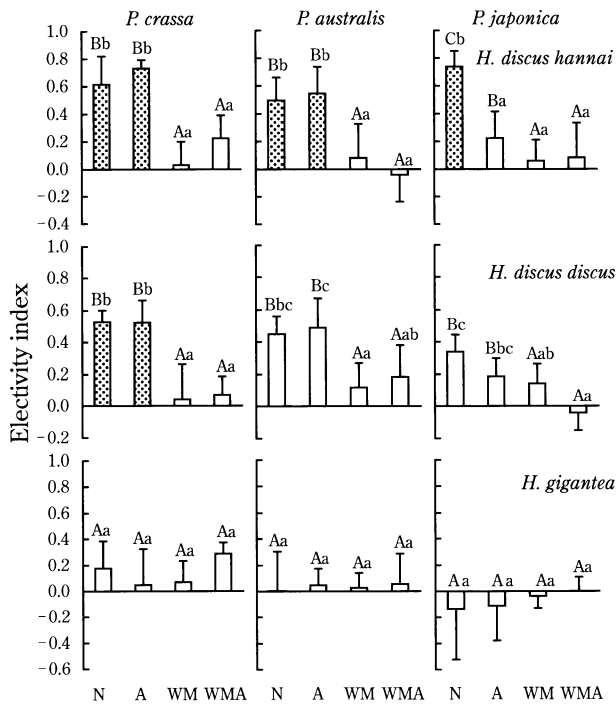


Fig. 2. Electivity indices of each fraction obtained from the acetone extracts of the brown algae *Padina crassa*, *P. australis* and *P. japonica* against the abalones *Haliotis discus hannai*, *H. discus discus* and *H. gigantea*. N, neutral fraction; A, acidic fraction; WM, fraction eluted with methanol from the activated charcoal column applied the water soluble part and WMA, fraction eluted with methanol/ammonia from the activated charcoal column. The dotted charts indicate significant feeding-deterrent by t -test ($P < 0.05$). Different small and capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) among fractions and abalone species, respectively. Vertical bars indicate standard deviations.

Table 3. Two-way ANOVA of electivity index of *Haliotis discus hannai*, *H. discus discus* and *H. gigantea* exposed to four fractions extracted from *Padina crassa*, *P. australis* and *P. japonica*.

Source of variation	df	MS	F	P
<i>P. crassa</i>				
Species	2	0.388	13.561	0.000
Fraction	3	0.641	22.393	0.000
Species \times fraction	6	0.245	8.550	0.000
Error	58	0.029		
<i>P. australis</i>				
Species	2	0.515	13.762	0.000
Fraction	3	0.409	10.929	0.000
Species \times fraction	6	0.145	3.878	0.003
Error	57	0.038		
<i>P. japonica</i>				
Species	2	0.741	20.491	0.000
Fraction	3	0.314	8.671	0.000
Species \times fraction	6	0.225	6.228	0.000
Error	58	0.036		

ワビに対しては N が 0.45, A が 0.49 で, 対照区との間に有意差はなく, エゾアワビとの有意差も認められなかった。メガイアワビに対しては N も A も 0.05 以下でまったく摂食阻害活性を示さず, エゾアワビ, クロアワビと有意差が認められた ($P < 0.05$)。

オキナウチワのエゾアワビに対する Ei は, N が 0.74 と高い摂食阻害活性を示したが, A は 0.20 以下で阻害活性はみられなかった。クロアワビに対しては N , A とも 0.35 以下で, エゾアワビとは有意差が認められ ($P < 0.05$), メガイアワビに対しては N , A とも負の値を取り, 摂食阻害活性をまったく示さず, クロアワビとは明らかに有意差が認められた ($P < 0.05$)。

ウミウチワ属 3 種の抽出画分によるクボガイ, コシダカガンガラ, オオコシダカガンガラに対する Ei 値を Fig. 3 に示した。海藻ごとに, ニシキウズガイ科の種間および抽出画分間の Ei 値に有意な差が認められた (Table 4)。アワビの場合と同様に水溶性 2 画分は摂食阻害活性を示さなかった。

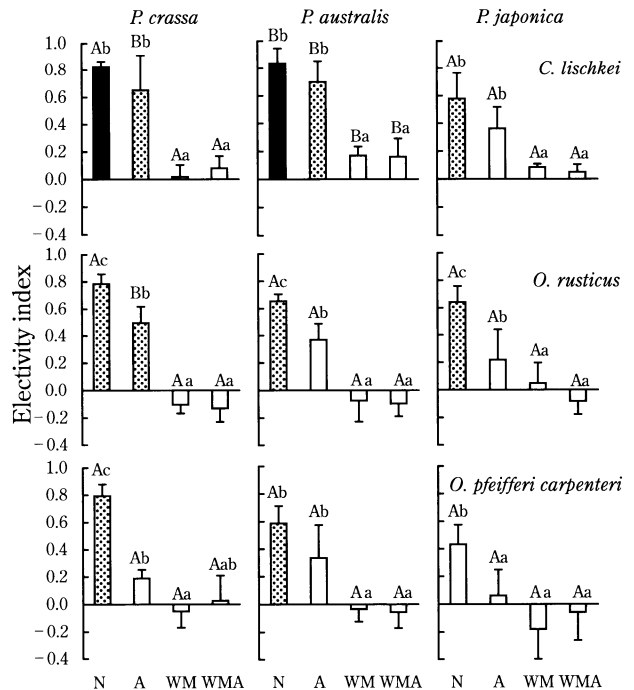


Fig. 3. Electivity indices of each fraction obtained from the acetone extracts of the brown algae *Padina crassa*, *P. australis* and *P. japonica* against the snail *Chlorostoma lischkei*, *Omphalius rusticus* and *Omphalius pfeifferi carpenteri*. N, neutral fraction; A, acidic fraction; WM, fraction eluted with methanol from the activated charcoal column applied the water soluble part and WMA, fraction eluted with methanol/ammonia from the activated charcoal column. The filled and dotted charts indicate significant feeding-deterrent by t -test at $P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively. Different small and capital letters indicate significant differences ($P < 0.05$) among fractions and snail species, respectively. Vertical bars indicate standard deviations.

Table 4. Two-way ANOVA of electivity index of *Chlorostoma lischkei*, *Omphalius rusticus* and *O. pfeifferi carpenteri* exposed to four fractions extracted from *Padina crassa*, *P. australis* and *P. japonica*.

Source of variation	df	MS	F	P
<i>P. crassa</i>				
Species	2	0.144	9.369	0.000
Fraction	3	2.722	177.630	0.000
Species × fraction	6	0.088	5.733	0.000
Error	56	0.015		
<i>P. australis</i>				
Species	2	0.420	24.795	0.000
Fraction	3	1.837	108.376	0.000
Species × fraction	6	0.011	0.642	0.696
Error	53	0.017		
<i>P. japonica</i>				
Species	2	0.231	8.645	0.001
Fraction	3	1.161	43.414	0.000
Species × fraction	6	0.030	1.120	0.363
Error	53	0.027		

コナウミウチワのクボガイに対する脂溶性画分の *Ei* は、N が 0.82, A が 0.64, コシダカガンガラに対しては N が 0.78, A が 0.50 と、ともに有意な摂食阻害活性を示した。両種の画分同士の *Ei* には有意差が認められなかった ($P > 0.05$)。オオコシダカガンガラに対しては N のみが 0.79 と、クボガイ、コシダカガンガラの N の *Ei* と同様に有意な摂食阻害活性を示した。

ウスバウミウチワのクボガイに対する *Ei* は、N が 0.84, A が 0.70 と有意に高い摂食阻害活性を示した。コシダカガンガラとオオコシダカガンガラに対してはともに N がそれぞれ 0.66 と 0.59 で摂食阻害活性を示したが、クボガイの N とは有意差が認められた ($P < 0.05$)。コシダカガンガラとオオコシダカガンガラに対して A は摂食阻害活性を示さず、クボガイの A とは有意差が認められた ($P < 0.05$)。

オキナウチワにおいては、クボガイとコシダカガンガラに対して N がそれぞれ 0.58 と 0.66 と摂食阻害活性を示したが、オオコシダカガンガラの N が 0.43 と低かった。しかし、これら 3 種に対する N の *Ei* に有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。

アワビとニシキウズガイに対して摂食阻害活性を示したコナウミウチワの脂溶性画分 N から、 β -carotene, phytol, phytol acetate, saringosterol, fucosterol を、また、A から高度不飽和脂肪酸と飽和度が低い不飽和脂肪酸を得た。これらの物質を用いてエゾアワビ、クロアワビ、メガアワビに対する摂食選択性試験を行い、その結果を Fig. 4 に示した。エゾアワビに対して phytol acetate, saringosterol, 飽和度の低い不飽和脂肪酸が *Ei* 0.70 以上の高い摂食阻害活性を、 β -carotene, phytol, fucosterol が 0.50 以上の摂食阻

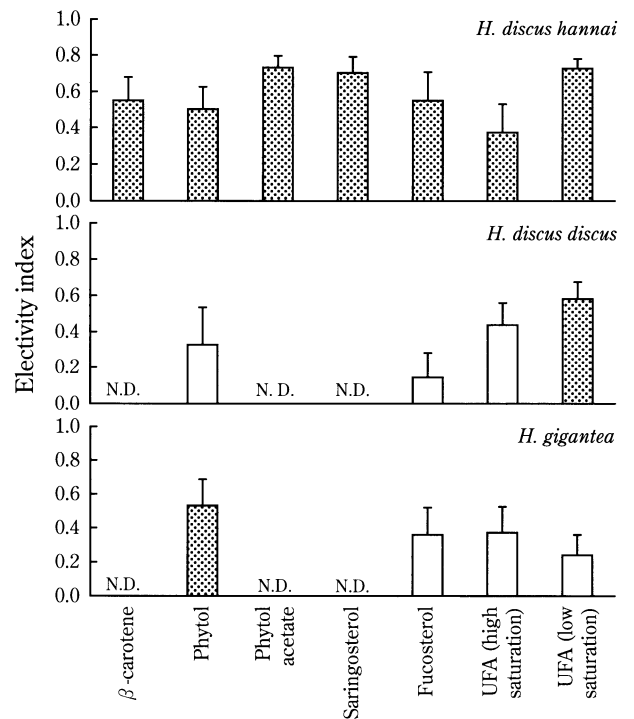


Fig. 4. Electivity indices of metabolites isolated from the brown alga *Padina crassa* for the abalone *Haliotis discus hannai*, *H. discus discus* and *H. gigantea*. The dotted charts indicate significant feeding-deterrent by *t*-test ($P < 0.05$). Vertical bars indicate standard deviations.

害活性を示した。クロアワビに対しては飽和度の低い不飽和脂肪酸 (0.58) が、メガアワビに対しては phytol (0.53) が摂食阻害活性を示した。

考 察

ウミウチワ属褐藻コナウミウチワ、ウスバウミウチワ、オキナウチワの 3 種は、アワビ属 3 種とニシキウズガイ科 3 種に対して、脂質画分によって摂食を阻害し、化学的に防御することが本研究で明らかになった (Figs. 2~4)。これまで、数種のアミジグサ目褐藻からテルペン類が腹足類、魚類、ウニなどに対する摂食阻害物質として報告されている (Hay et al. 1987; 白石ら 1991a, b, 1992; 谷口ら 1992, 1993; Cronin and Hay 1996; Cronin et al. 1997)。脂質が植食動物に対する摂食阻害物質として機能することは初めての知見である。

ウミウチワ属 3 種の摂食阻害活性を現す脂溶性画分の *Ei* 値は、アワビ属およびニシキウズガイ科のいずれもコナウミウチワがもっとも高く、ウスバウミウチワ、オキナウチワの順に低下した (Figs. 2, 3)。体横断面の細胞層はコナウミウチワが 4~8 層、ウスバウミウチワとオキナウチワが 2 層であり (吉田 1998)、オキナウチワはさらに炭酸カルシウムを多量に沈着する (Okazaki et al. 1986)。摂食阻害活性を示した脂

溶性画分の収量は、コナウミウチワが2.76 g, ウスバウミウチワが0.36 g, オキナウチワが1.06 gであった (Table 1)。コナウミウチワとウスバウミウチワにおいては、脂溶性画分収量は異なっているが、摂食阻害活性はともにオキナウチワより高い。オキナウチワにおいては、脂溶性画分収量がウスバウミウチワより多かったが、アワビ属に対する摂食阻害活性をもつ画分がNのみであり (Fig. 2), 摂食阻害活性は低い。以上の結果から、コナウミウチワとウスバウミウチワは、植食腹足類に対して化学的防御を選択し、オキナウチワは炭酸カルシウムの沈着による物理的防御を選択したと考えられる。

アワビ属3種に対する脂溶性画分の摂食阻害活性は、エゾアワビで最も高く、クロアワビ、メガイアワビの順に低下した (Fig. 2)。クロアワビとメガイアワビはウミウチワ属褐藻とは地理的に同所的であり、エゾアワビは異所的である (吉田 1998; 奥谷・長谷川 2000; 佐々木 2000)。一方、垂直分布からみれば、低潮線付近に生育するウミウチワ属褐藻と水深5 m以浅に生息するクロアワビは同所的であり、5 m以深に生息するメガイアワビとは同所性が低い (猪野 1952)。エゾアワビは、水深5 m以浅に生息し (猪野 1952), 定まった棲み場をもたず、能動的に食物を探索して摂食する (佐々木 2001)。クロアワビは、マダカアワビ *Haliotis madaka*, メガイアワビとともに南方3種とよばれるが、この中ではもっとも活発に食物を探索する (小島 1974)。宇野 (1967) は、クロアワビ、マダカアワビ、メガイアワビの順に匍匐活動が不活発になることを観察している。これら2種に対してメガイアワビは、岩石の下や亀裂などに定着し (野中ら 1969), 流れ藻を捕捉する受動的な摂食を行う (野中・岩崎 1969)。したがって、能動的な摂食を行うエゾアワビとクロアワビは、生育する海藻の代謝化合物に反応して食物の選択性を高め、定着性で受動的な摂食を行うメガイアワビは代謝化合物に対する抵抗性を高めたと考えられる。

ニシキウズガイ科3種に対する脂溶性画分の摂食阻害活性は、クボガイでもっとも高く、コシダカガンガラ、オオコシダカガンガラの順に低下した (Fig. 3)。これら3種とコナウミウチワおよびオキナウチワとは、地理的にほぼ同所的で、ウスバウミウチワとは異所性が高い。垂直的には、主に潮下帯に生息するコシダカガンガラ (Ishida et al. 2002) やオオコシダカガンガラ (伊藤・林 2001) よりも、潮間帯の転石域から潮下帯浅所に生息するクボガイ (Ishida et al. 2002) が同所的である。したがって、能動的な摂食行動を行うこれら3種においては、ウミウチワ属褐藻と遭遇する機会が高い種ほど代謝化合物に対する選択性

を高めたと考えられる。

要 約

ウミウチワ属褐藻コナウミウチワ, ウスバウミウチワ, オキナウチワのアセトン抽出物の軟体動物腹足綱アワビ属3種, ニシキウズガイ科3種に対する摂食阻害活性をセルロースアルミ板法で調べた。ウミウチワ属3種の中性部と酸性部は、これら腹足綱の摂食を阻害した。コナウミウチワの中性部と酸性部から摂食阻害物質としてはじめて脂質を同定した。オキナウチワは、炭酸カルシウムを多量に沈着して摂食を物理的に防御するので、化学的な摂食阻害活性が低かった。能動的な摂食を行うエゾアワビとクロアワビはウミウチワ属褐藻の代謝化合物に対する選択性を、受動的な摂食を行うメガイアワビは代謝化合物に対する抵抗性をそれぞれ高め、さらに、ニシキウズガイ科3種では、ウミウチワ属褐藻と同所的な種ほど代謝化合物への選択性を高めたと考えられた。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、コナウミウチワは石川県水産総合センターの元所長の田島迪夫博士に、ウスバウミウチワは長崎県総合水産試験場の元場長の四井敏雄博士と琉球大学理学部の立原一憲助教授に、オキナウチワとオオコシダカガンガラは秋田県水産振興センターの中林信康研究員に採集のご協力をいただいた。ここに記して著者らの深甚な謝意を表す。

文 献

- Bolser, R. C. and M. E. Hay (1996) Are tropical plants better defended? Palatability and defenses of temperate vs. tropical seaweed. *Ecology*, **77**, 2269-2286.
- Cronin, G. and M. E. Hay (1996) Susceptibility to herbivores depends on recent history of both the plant and animal. *Ecology*, **77**, 1531-1543.
- Cronin, G., V. J. Paul, M. E. Hay and W. Fenical (1997) Are tropical herbivores more resistant than temperate herbivores to seaweed chemical defenses? Diterpenoid metabolites from *Dictyota acutiloba* as feeding deterrents for tropical versus temperate fishes and urchins. *J. Chem. Ecol.*, **23**, 289-302.
- Duffy, J. E. and M. E. Hay (1994) Herbivore resistance to seaweed chemical defense: The roles of mobility and predation risk. *Ecology*, **75**, 1304-1319.
- Hay, M. E. (1984) Predictable spatial escapes from herbivory: How do these affect the evolution of herbivore resistance in tropical marine communities? *Oecologia*, **64**, 396-407.

- Hay, M. E. (1996) Marine chemical ecology: What's known and what's next? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **200**, 103-134.
- Hay, M. E. and W. Fenical (1988) Marine plant-herbivore interactions: the ecology of chemical defense. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **19**, 111-145.
- Hay, M. E. and W. Fenical (1996) Chemical ecology and marine biodiversity: insights and products from the sea. *Oceanogr.*, **9**, 10-20.
- Hay, M. E., J. E. Duffy, C. A. Pfister and W. Fenical (1987) Chemical defenses against different marine herbivores: Are amphipods insect equivalents? *Ecology*, **68**, 1567-1580.
- Hay, M. E., J. E. Duffy, V. J. Paul, P. E. Renaud and W. Fenical (1990a) Specialist herbivores reduce their susceptibility to predation by feeding on chemically defended seaweed *Avrainvillea longicaulis*. *Oceanogr.*, **35**, 1734-1743.
- Hay, M. E., J. E. Duffy and W. Fenical (1990b) Host-plant specialization decreased predation on a marine amphipod: An herbivore in plant's clothing. *Ecology*, **71**, 733-743.
- Hay, M. E., R. R. Lee, R. E. A. Guieb and M. M. Bennett (1986) Food preference and chemotaxis in the sea-urchin *Arbacia punctulata* (Lamarck) Philippi. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **96**, 147-154.
- Hay, M. E., J. R. Pawlik, J. E. Duffy and W. Fenical (1989) Seaweed-herbivore-predator interactions: Host-plant specialization reduces predation on small herbivores. *Oecologia*, **81**, 418-427.
- Hay, M. E., P. E. Renaud and W. Fenical (1988) Large mobile versus sedentary herbivores and their resistance to seaweed chemical defenses. *Oecologia*, **75**, 246-252.
- 猪野 峻 (1952) 邦産アワビ属の増殖に関する生物学的研究. 東海水産研報, **5**, 1-102.
- Ishida, A., K. Sasaki, M. Omori and K. Taniguchi (2002) Distribution patterns of the herbivorous gastropods *Chlorostoma lischkei* and *Omphalius pfeifferi pfeifferi* (Trochidae) in relation to the algal community on a rocky shore of the Oshika Peninsula, northeastern Japan. *Benthos Research*, **57**, 1-10.
- 伊藤祐子・林 育夫 (2001) 日本海の浅海岩礁域で優占する植食性巻貝3種の日周行動. 日水誌, **67**, 1089-1095.
- Jormalainen, V., T. Honkanen and N. Heikkilä (2001) Feeding preference and performance of a marine isopod on seaweed hosts: cost of habitat specialization. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **220**, 219-230.
- 小島 博 (1974) 徳島県海部郡におけるクロアワビ稚貝の“すみば”について. ミチューリン生物研究, **10**, 155-160.
- Kurata, K., K. Taniguchi., K. Shiraishi and M. Suzuki (1990) Feeding-deterrent diterpenes from the brown alga *Dilophus okamurai*. *Phytochemistry*, **29**, 3453-3455.
- Lewis, S. M. (1985) Herbivory on coral reefs: algal susceptibility to herbivorous fishes. *Oecologia*, **65**, 370-375.
- Littler, M. M., D. S. Littler and P. R. Taylor (1983a) Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: Functional-form groups of marine macroalgae. *J. Phycol.*, **19**, 229-237.
- Littler, M. M., P. R. Taylor and D. S. Littler (1983b) Algal resistance to herbivory on a Caribbean Reef. *Coral Reefs*, **2**, 111-118.
- 野中 忠・岩橋義人 (1969) 静岡県沿岸の磯根資源に関する研究 - IV カジメ・アラメ群落内でのアワビの餌料. 静岡水試研報, **2**, 37-39.
- 野中 忠・翠川忠康・佐々木正 (1969) 静岡県沿岸の磯根資源に関する研究 - III 住み場に関するアワビの行動. 静岡水試研報, **2**, 31-36.
- 岡村金太郎 (1936) 日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, pp. 181-185.
- Okazaki, M., A. Pentecost., Y. Tanaka and M. Miyata (1986) A study of calcium carbonate deposition in the genus *Padina* (Rhaeophyceae, Dictyotales). *Br. Phycol. J.*, **21**, 217-224.
- 奥谷喬司・長谷川和範 (2000) ミミガイ科. 日本近海産貝類図鑑 (奥谷喬司編). 東海大学出版会, 東京, pp. 41-43.
- Paul, V. H. and M. E. Hay (1986) Seaweed susceptibility to herbivory: chemical and morphological correlates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **33**, 255-264.
- Renaud, P. E., M. E. Hey and T. M. Schmitt (1990) Interactions of plant stress and herbivory: intraspecific variation in the susceptibility of a palatable versus an unpalatable seaweed to sea urchin grazing. *Oecologia*, **82**, 217-226.
- Sakata, K. and K. Ina (1985) Digaractosyldiacylglycerols and phosphatidylcholins isolated from a brown alga as effective phagostimulants for young abalone. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **51**, 659-665.
- 佐々木良 (2001) エゾアワビの加入機構に関する生態学的研究. 宮城水産研報, **1**, 1-86.
- 佐々木猛智 (2000) ニシキウズガイ科. 日本近海産貝類図鑑 (奥谷喬司編). 東海大学出版会, 東京, pp. 55-83.
- 白石一成・谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1991a) 褐藻エゾヤハズのメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌, **57**, 1945-1948.
- 白石一成・谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1991b) 褐藻フクリンアミジのメタノール抽出物によるキタムラサキウニの摂食に及ぼす影響. 日水誌, **57**, 1591-1595.
- 白石一成・谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1992) 褐藻エゾヤハズの植食動物2種に対する摂食阻害. 東北水産研報, **54**, 103-106.
- 谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔・白石一成 (1992) 褐藻フクリンアミジのジテルペン類によるエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌, **58**, 1931-1936.
- 谷口和也・山田潤一・蔵多一哉・鈴木 稔 (1993) 褐藻シワヤハズのエゾアワビに対する摂食阻害物質. 日水誌, **59**, 339-343.
- 宇野 寛 (1967) アワビ類の増殖に関する生態学的諸問題. うみ, **5**, 37-40.
- Wylie, C. Ft. and V. J. Paul (1988) Feeding preferences of the surgeonfish *Zebbrasoma flavescens* in relation to chemical defenses of tropical algae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **45**, 23-32.
- 吉田忠生 (1998) 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, pp. 224-228.