

アサリの成育に適した海砂代替材の検索と着底に及ぼす代替材の特性評価

Search for sea sand alternatives suitable for growth of *Ruditapes philippinarum*
and characterization of the factors affecting the larval settlement

金原想明¹・中井智司²・西嶋渉³・岡田光正⁴

Soumei KANAHARA, Satoshi NAKAI, Wataru NISHIJIMA and Mitsumasa OKADA

This research was carried out to search for sea sand alternatives suitable for larval settlement of the short-neck clam (*Ruditapes philippinarum*), as well as growth of its young shells. Among the tested alternatives, melting slag derived from municipal waste incineration (MSI-slag) showed the higher number of settlers than the mountain and real sea sands (MS, SS), whereas the number of settlers on the granulated ashes derived from industrial waste combustion (IWC-A) was comparable to that on MS and SS. The addition of MSI-slag to SS accelerated the larval settlement, indicating that MSI-slag attracts the short-necked clam larvae. In the growth test of young shells, MSI-slag and IWC-A were excellent livability than MS.

1. はじめに

瀬戸内海を含め、我が国沿岸域における底質環境の悪化や干潟の消失は、アサリ漁獲量減少の主要な原因の一つと考えられる。このため、アサリ資源の維持・回復のために覆砂や人工干潟の造成が行われてきた(上田・山下, 1997)。覆砂や人工干潟の造成を行うにあたり、基盤材の選択はアサリの生育環境を左右する重要な因子である。これまでは覆砂や造成砂として海砂が使用されることが多かったが、海砂の採取が瀬戸内海の各県を含め全国的に禁止されつつあることから、海砂代替材を視野に入れてアサリ漁場造成のための基盤材を考える必要がある。

アサリはその生活史において、受精卵から浮遊幼生、着底稚貝を経て成貝となることが知られる。フルグロウン期に達した浮遊幼生は着底基質を探索することが知られ(黒田, 2005)、時々遊泳を停止して足部の先端で海底に触れ、また遊泳を始める行動を繰り返す。これは着底基盤の探査活動と考えられている。実際、現場での調査等によって浮遊幼生の粒径選択性が確かめられている(柳橋, 1992; 岩男, 2003)。従って、アサリ資源回復のためには、まず浮遊幼生が着底しやすい場の創出が前提となる。さらに、着底後の稚貝が成育できる場も必要である。

これまでに、アサリ浮遊幼生の着底には粒径0.5~4 mmの粗粒砂が好適であることが報告されている(柳橋, 1992; 岩男, 2003)。また、小林・柿野(2007)は砂礫や

ガラスビーズ、海砂に礫や貝殻を混ぜたもの等を基盤材として評価を行い、基材の粒度組成が多様であると着底数が増加することを見出した。また、貝殻の混合は着底を促進しなかったとされる。しかし、海砂代替材を含めて、土壤の物理的、化学的特性の異なる材料によるアサリの着底性の違いは十分に評価されていない。

本研究では、アサリの生息基盤材としての廃棄物系海砂代替材の適用可能性を検討するため、海砂代替材へのアサリ浮遊幼生の着底、ならびに海砂代替材での稚貝の生残・成育を評価した。

2. 実験方法

(1) 基盤材

アサリ浮遊幼生の着底、ならびに稚貝の成育のための海砂代替材の候補として、鉄鋼スラグ(水砕スラグ)、一般廃棄物焼却灰の溶融スラグ(溶融スラグA, B, C, D)、産業廃棄物焼却灰の溶融スラグ(溶融スラグE)、産業廃棄物焼却炉のクリンカ(人工物F)、産業廃棄物焼却灰の造粒物(人工物G, H)を用いた。溶融スラグA, B, C, Dは全て水砕であり、異なる都道府県の一般廃棄物処理施設から供与された。各施設で処理される一般廃棄物の組成は全く同じではないことから、溶融スラグA, B, C, Dの組成が異なると予想された。後述するように、金属の溶出量で異なることを確認している。溶融スラグEは人工物Gの原料となった焼却灰を溶融し、水砕により得られたものであった。

基盤材からの金属溶出量測定は環境庁告示46号に従った。但し、溶媒として蒸留水ではなく、海水を用いた。また、比較のため、市販されている山砂、ならびにアサリが多く生息している広島県廿日市市地御前干潟土壤、アサリがほとんど生息していない同県竹原市の吉名干潟土壤を用いた。

1 非会員	修(工)	広島大学大学院 工学研究科
2 非会員	工博	広島大学准教授 大学院 工学研究科
3 正会員	工博	環境安全センター
4 正会員	工博	広島大学教授 大学院 工学研究科

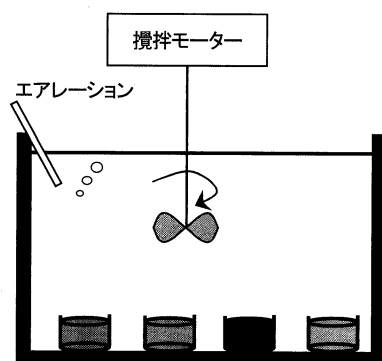


図-1 アサリ浮遊幼生の着底試験概念図

(2) 着底試験

着底試験の概要を図-1に示す。評価対象とする基盤材料をφ 28 mmのシャーレに1.5 cm充填し、10 Lパンライト水槽の底部に各3皿ずつ設置した。但し、全ての水槽に山砂を入れたシャーレも対照系として設置した。実験に使用した基盤材料は粒度非調整のものと、粒度の影響を排除するため、粒径を0.85~2 mmに揃えたものを使用した。シャーレを設置後、水槽をろ過海水で満たし、フルグロウン期に達した浮遊幼生(210 μm)を海水中に約0.4 個体/mlになるように入れて、基盤材に着底させた。着底実験の終了は、海水中的浮遊幼生の密度が導入時の9割減となった時とした。その後、シャーレを取り出して0.05%ローズベンガル液で染色・固定を行い、各基盤材に着底した幼生の計数を行った。なお、着底試験の結果の再現性は、試験を繰り返すことにより確認した。

(3) 成育試験

成育試験の概要を図-2に示す。アサリ浮遊幼生の着底試験において良好な着底性を示した熔融スラグ、人工物G、ならびに山砂と地御前干潟土壌を10 Lパンライト水

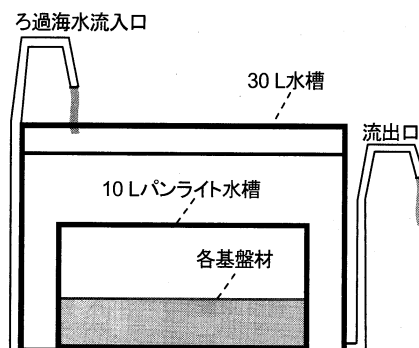


図-2 アサリ稚貝の成育試験概念図

槽底部に充填し、これを海水掛け流し用30 L水槽に設置した。そして、120 L/dにて24時間ろ過海水を掛け流した後、平均殻長約2 mmのアサリ稚貝30個体を投入し、同じ速度でろ過海水を掛け流し生残個体数、殻長の経月変化を測定した。

3. 結果及び考察

(1) 海砂代替材への着底

粒度調整/非調整の各海砂代替材を同一水槽内に入れ、着底数を比較した結果を図-3に示す。粒径調節の有無にかかわらず熔融スラグAが最も高い着底数を示した。なお、再現性を確認するための着底試験をさらに2度繰り返したが、いずれも熔融スラグAへの着底数は山砂の6~10倍程度であることを確認した。

また、粒径調節により、着底数が増加すると予想されたが、熔融スラグ以外は僅かな差しか認められなかった。この原因として各水槽において熔融スラグAが浮遊幼生の着底を著しく誘引したため、粒径調整の影響が現れなかったと考えられる。そこで、以後の試験では熔融スラ

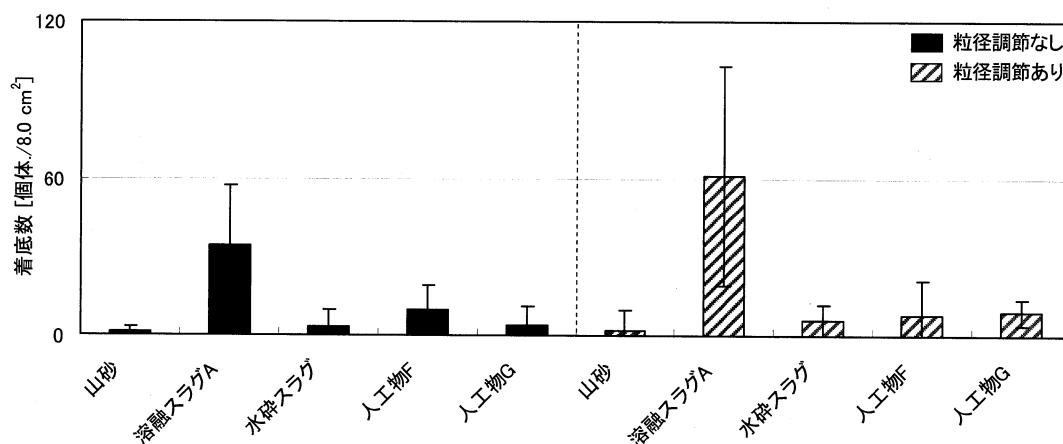


図-3 海砂代替材に着底したアサリ浮遊幼生の数 (バーは標準偏差, n=3)

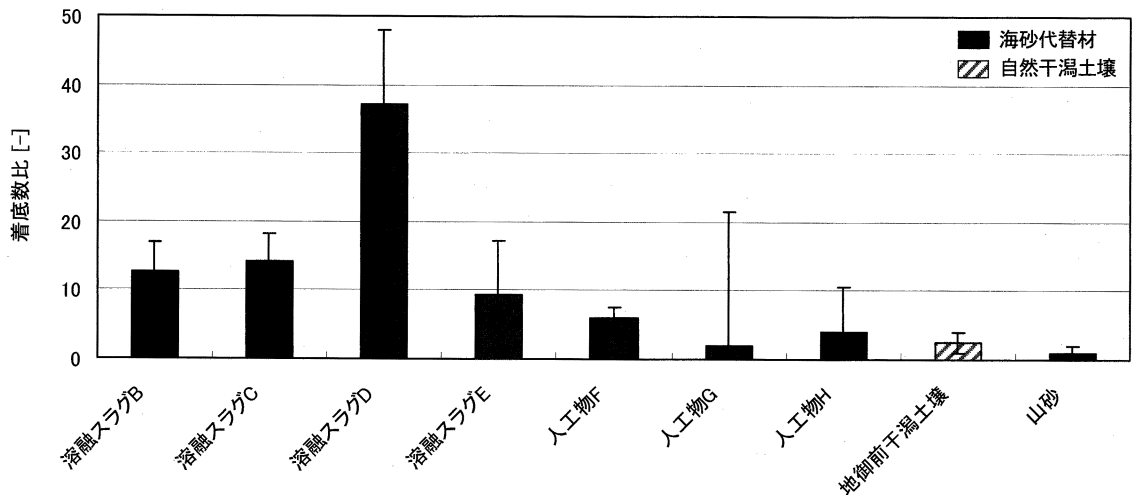


図-4 着底数比に基づく海砂代替材への着底性の比較 (バーは標準偏差, n=3)

グとそれ以外の海砂代替材を分けて水槽に入れ、熔融スラグによる他の基盤材への着底に対する影響が生じないようにして評価を行った。また、一般廃棄物焼却灰の熔融スラグの組成は焼却される廃棄物に影響を受ける可能性が考えられたため、先に使用した熔融スラグA以外の熔融スラグB, C, D, Eも評価対象とした。粒径を揃えて着底試験を行い、各海砂代替材への着底数を山砂の着底数で除した着底数比を算出して各海砂代替材への着底性を相対的に評価した。

図-4に示すように、熔融スラグ間で着底数に違いが見られるものの、熔融スラグB~E全てが地御前干潟土壌よりも優れた着底性を示した。このことから、アサリ浮遊幼生の着底を誘引するという特性は熔融スラグに共通していると考えられた。但し、熔融スラグ間でも着底数比に差が認められたことから、各熔融スラグの物理的、化学的特性の比較により、浮遊幼生の着底に影響する因子を解明できる可能性が見出された。なお、熔融スラグEは人工物Gの原料となった焼却灰を熔融したものであり、熔融によって着底性が変化すると考えられたが、人工物Gの着底数比のバラツキが大きく、差を論じることができなかった。

(2) 熔融スラグによる着底性の改善

これまでの着底試験によって、熔融スラグに高い着底性が認められ、熔融スラグがアサリ浮遊幼生の着底性を改善するための基盤改良材となることが期待できた。そこで、アサリ浮遊幼生の着底性に乏しい吉名干潟土壌に熔融スラグBを混合し、アサリ浮遊幼生の着底性の改善を試みた。その結果を図-5に示す。アサリ浮遊幼生の着底性に乏しい吉名干潟土壌に熔融スラグBを混合することにより、アサリ浮遊幼生の着底性が改善されることを確認した。熔融スラグを5wt%混合した場合、着底性は

僅かな向上しか示さず、着底数比は平均的に山砂程度となっていたが、50wt%混合すると着底性は大きく向上し、その値はアサリが多く生息する地御前干潟土壌と同レベルとなった。この結果から、熔融スラグはアサリ浮遊幼生の土壌への着底性を改善するための基盤改良材となることが示された。

(3) 着底を促す特性

浮遊幼生は着底前になると海底付近まで沈降し、足部を伸ばして着底に適した基盤を探すと考えられている。この行動から、浮遊幼生の着底を促す物理的特性の一つとして、基盤材の表面の形状が予想された。そこで、デジタル顕微鏡により基盤材表面の観察を行った。

例として熔融スラグB、山砂、人工物G、地御前干潟土

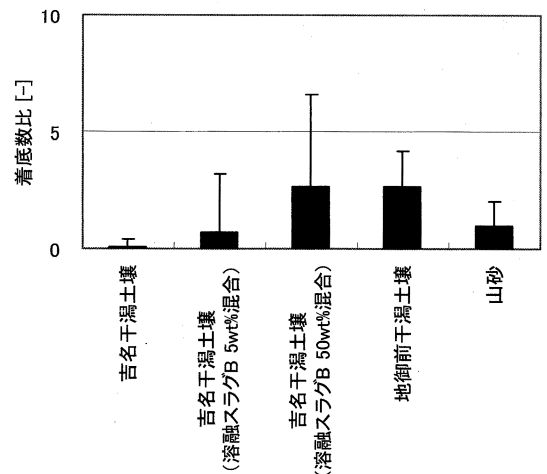


図-5 熔融スラグ添加による着底性の改善 (バーは標準偏差, n=3)

壤の表面の状態を図-6に示す。他の基盤材と比べ、溶融スラグBの表面が滑らかであることがわかった。また、他の溶融スラグも滑らかな形状を示しており、このような表面形状の差が着底を左右している可能性が考えられた。但し、図-4に示したように溶融スラグ間でも着底数比に大きな差が認められたことから、仮に表面粗さが着底に影響を及ぼす因子であったとしても、他に着底に影響を及ぼす因子があると考えられた。そこで、基盤材の物理的特性である表面形状に加え、化学的特性である基盤材からの溶出物に着目した。

既往の研究により、有機物である γ -アミノ酪酸やエピネフリンがアサリ浮遊幼生の着底と変態を促進すること (Montserratら, 2005)、Cu, Cr, Zn, Fe, Mn, Cdなどの金属溶出物がアサリの成育に影響を及ぼすこと (Jiら, 2006) が報告されている。一方、溶融スラグは無機物であることから、無機溶出物によって浮遊幼生の着底に影響を受けていると予想された。そこで、これらの基盤材からの金属溶出物 (Cu, Cr, Zn, Fe, Mn, Cd) を分析し、着底数比との関係性を評価した。

その結果を図-7に示す。但し、表面形状が浮遊幼生の着底に影響を及ぼすことが予想されたため、溶融スラグと他の基盤材とを区別して示した。Zn, Mn溶出量の上昇に伴い着底数比が増加し、Cr溶出量の上昇に伴い着底数比は減少した。この結果から、ZnやMnの溶出が浮遊幼生の着底を誘引し、Crの溶出は着底を阻害する可能性

が認められた。なお、Cu, Fe, Cd溶出量と着底数比の間に関係は認められなかった (データは示さない)。

(4) 稚貝の成育

稚貝の成育試験における生残率の変化を図-8に示す。アサリが成育する自然干潟の地御前土壌での3ヶ月後の生残率は20%に留まった。本成長試験は掛け流し水槽で行われたが、海水供給量が十分ではなく、海水中からのプランクトンの供給が不足した可能性と海水温の低下する秋～冬季にかけて行われたことが生残率低下の原因と考えられる。一方、溶融スラグや人工物Gでの生残率は

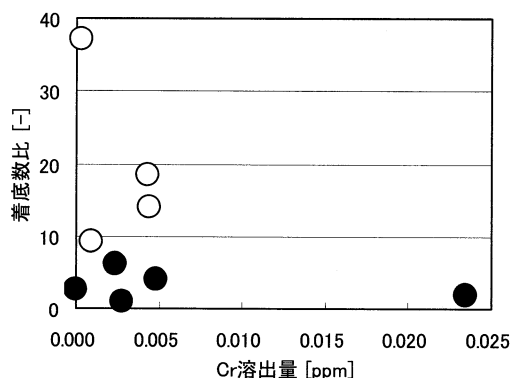
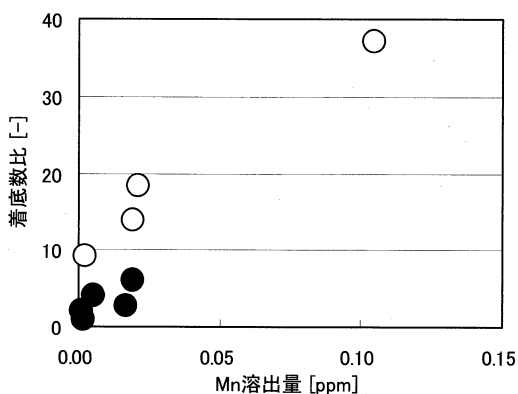
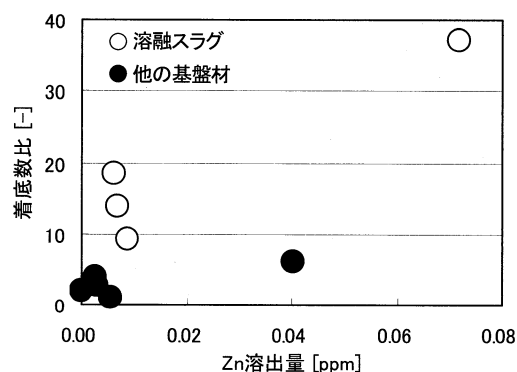


図-7 金属溶出量が着底に及ぼす影響

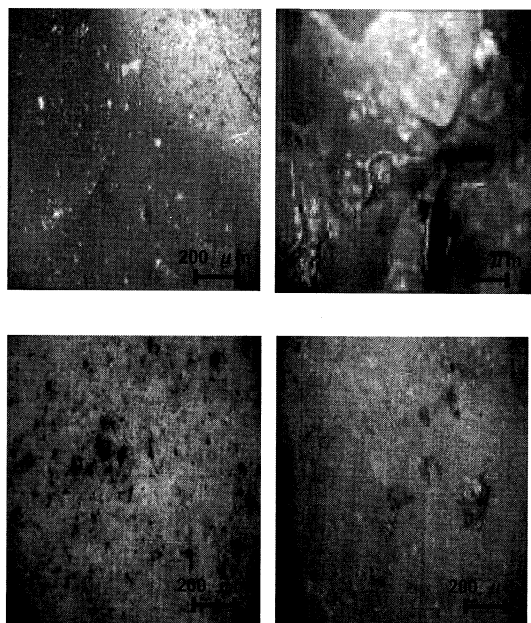


図-6 使用基盤材の表面形状 (左上: 溶融スラグB, 右上: 山砂, 左下: 人工物G, 右下: 地御前干潟土壌)

地御前干潟土壤には及ばないが、山砂よりは高かった。特に、人工物Gでは3ヶ月後も稚貝は生残していた。

次に、アサリの成長について1ヶ月毎の殻長成長率に基づいて比較した。ここで、殻長成長率とは、稚貝が生残していた期間の平均殻長の伸びを初期の殻長(2 mm)、ならびに生残期間で除した百分率である。その結果、図-9に示すように、アサリの成長においては特に差異は認められなかった。

このように、海水温が低下する時期での試験ではあるが、溶融スラグや人工物Gでの生残、ならびに成長性は山砂と遜色ないことが示された。

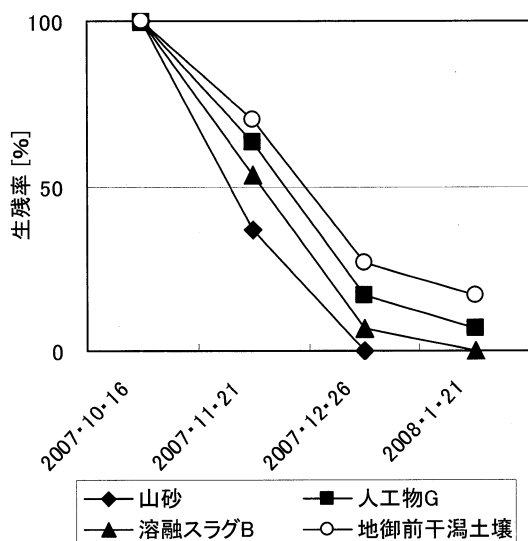


図-8 アサリ稚貝生残率の経時変化

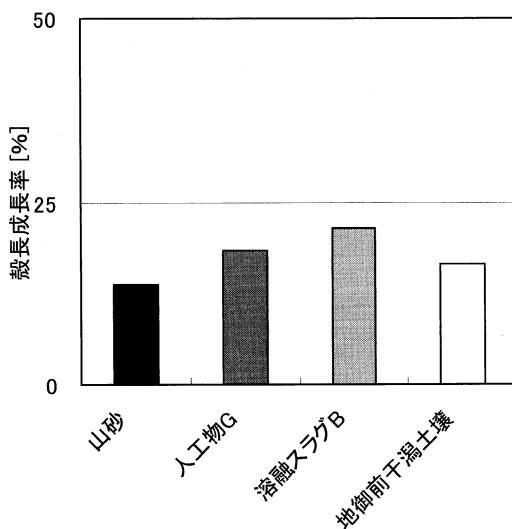


図-9 実験期間でのアサリ稚貝の成長率

4. まとめ

本研究では廃棄物系海砂代替材へのアサリ浮遊幼生の着底性、ならびに稚貝の成育性を評価すると共に、浮遊幼生の着底に好ましい代替材の物理的、化学的な特性の把握を試みた。

使用した海砂代替材の中では、溶融スラグが浮遊幼生に対して最も高い着底性を示し、この着底性はアサリが生息する地御前干潟土壤を大きく上回った。また、アサリ浮遊幼生に対する着底性に乏しい吉名干潟土壤に溶融スラグを添加することによって、着底性を向上させられることが明らかとなった。

基盤材の観察や分析結果から着底を左右する可能性がある物理的、化学的特性として表面粗さと金属 (Zn, Mn, Cr) の溶出が見出された。

水温が低下する時期であったため、地御前干潟土壤での稚貝の生残率は20%を下回った。このときの人工物Gや溶融スラグでの稚貝の生残率は地御前干潟土壤には及ばないものの、山砂以上であった。但し、殻長の成長率には差は認められなかった。

謝辞：アサリ浮遊幼生の着底試験、ならびに稚貝を用いた成育試験を行うにあたって、(独)水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所伯方島栽培技術開発センター島康洋氏、兼松正衛氏に多大なる御協力を頂いた。記して深甚の謝意を表す。

参考文献

- 岩男昂 (2003) : アサリ漁場の環境特性, 大分県海洋水産研究センター, Vol. 4, pp. 57-63.
- 上田拓・山下輝昌 (1997) : アサリ漁場の造成事例, 日本水産工学会講演論文集, Vol. 33, pp. 213-219.
- 黒田伸朗 (2005) : アサリ幼生の干潟への侵入機構, 水産総合研究センター研究報告, 別冊第3号, pp. 67-76.
- 小林豊・柿野純 (2007) : アサリ着底初期稚貝の基質選択性, 日本水産工学会講演論文集, Vol. 89, pp. 231-232.
- 柳橋茂昭 (1992) : アサリ幼生の着底場選択性と三河湾における分布量, 水産工学, Vol. 29, pp. 55-59.
- Ji, J., H.-J., Choi and I.-Y., Ahn (2006) : Evaluation of Manila clam *Ruditapes philippinarum* as a sentinel species for metal pollution monitoring in estuarine tidal flats of Korea ; Effects of size, sex, and spawning on baseline accumulation, Marine Pollution Bulletin, Vol. 52, pp. 447-468.
- Montserrat, G.-L., A., Silva, M., Abad, A., J.-Pazos, J. and L.-Sanchez (2005) : Effects of GABA and epinephrine on the settlement and metamorphosis of the larvae of four species of bivalve mollusks, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 316, pp. 149-156.