Bull. Mar. Resour. Res. Inst.
Jeju Nat. Univ., 5:9~15, 1981.

濟州大 海資硏報, 5:9~15, 1981

重要 養殖 對象 貝類의 産卵誘發에 대한 紫外線照射海水의 効果

*李 定 宰·**李 廷 烈

(*增殖學科 **群山水專大·增殖學科)

The Effect of Irradiated Seawater with Ultraviolet Rays on Inducing Spawning of Some Cultivated Shells*

***Jung Jae Lee · ** JeongYeol Lee**

(*Dept. Fisheries Biology
**Dept. Aquaculture, Kun-san Fisheries Junior College)

Abstract

An induction of spawning by irradiated seawater with ultraviolet rays carried out in the laboratory to conduct fundamental studies on artificial spawning of some cultivated shells, *i. e. Haliotis discus, Haliotis diversicolor supertexta, Turbo cornutus, Tapes variegata, Cyclina sinensis.* The materials collected from Seongsan-po and Chuza-do during the spawning season of these species.

Stimulus methods for artificial spawning in this experiment were three methods; UV-rays irradiated seawater used only, the UV-rays irradiation after temperature treatment and UV-rays irradiation after exposure to air.

The rate of response and the time required for spawning on the amount of irradiation were observed.

In an attempt to artificial spawning by irradiated seawater with UV-rays on the 5 species of shells, the rate of response for spawning in *H. discus* and *H. diversicolor supertexta* were effective to induce spawning but weren't in *C. sinensis* and *T. variegata*. The most effective discharging time was 4 hours after UV-rays irradiation.

As for the amount of stimulus, it was obvious that the spawning rate increased with the amount of the irradiation and reduced the time required for initial spawning.

UV-rays irradiation after temperature treatment and UV-rays irradiation after exposure to air were more effective than stimulus by UV-rays irradiated seawater used only.

An ability of irradiated seawater caused spawning mediated by photochemical reactions in seawater depending on the enzyme catalyzing oxidative synthesis of prostaglandin.

In this experiment, the results suggest that the effect of irradiated seawater with UV-rays to induce artificial spawning is to be recognition.

緖 言

一般的으로 紫外線은 淡水나 海産 魚貝類의 飼育時 水質을 높이고 疾病을 豫防하기 위하여 原生動物의 殺菌用으로 흔히 쓰여지고 있다. 특히 集約的養殖에서 種苗生産의 경우 流入水에 紫外線을 照射하여 外部病原菌의 侵入을 防止함으로써 魚貝類의 發生 및 孵化率을 높이는데 必須的으로 使用하고 있던중, 紫外線照射

* 이 논문은 1979년도 문교부 학술연구 정책 과제에 의하여 연구 되었음.

海水가 전복類 및 一部 二枚貝의 産卵誘發에 有効하다는 것이 밝혀진 바 있다(菊地·淨, 1974a).

그 후 전복類의 人工産卵誘發方法으로 紫外線照射海水 流水法이 보편화 되면서 그 効果도 점차 認定되고(菊地·淨, 1974a; 平野·中西, 1975; 平野·中西·福田 1975; 中西·福田, 1978; 關, 1978), 機作도 推論된 바 있다(Morse *et al*, 1977).

筆者들은 몇種의 養殖對象貝類에 紫外線照射海水로서 人工産卵誘發을 試圖, 그 効果 有無를 確認하고 反應率 및 反應時間등을 紫外線照射量 세기에 따라 比較考察하였기에 報告하는 바 이다.

材料 및 方法

實驗에 使用한 材料는 전복(*Haliotis discus*), 오분자기(*Haliotis diversicolor supertexta*), 소라(*Turbo cornutus*), 바지락(*Tapes variegata*), 가무락(*Cyclina sinensis*)등으로, 各各 産卵期를 前後하여 濟州道沿岸 및 楸子島에서 海女 또는 潛水器船에 의해 採集된 것 중 傷處가 없고 活力이 좋은 것만 골라, 海洋資源硏究所內 飼育水槽(170×70×20cm)에 收容하여 飼料를 投餌하면서 數時로 産卵誘發을 試圖하였다.

産卵誘發方法으로는 紫外線照射海水 流水法과 水溫刺戟 또는 干出刺戟을 한후 紫外線照射海水로서 流水시켰다.

紫外線照射는 東芝製 紫外線燈(15W, 2537A°) 1~4本를 使用하였고, 照射海水의 紫外線照射量은 淨·菊地(1974)의 公式에 의하여 算出하였다.

그리고 紫外線照射海水가 母貝의 産卵에 미치는 物理·化學的要因을 調査하기 위하여 水溫, pH(Corning-5 pH Meter使用), 오존量(APHA, 1966) 및 呼吸量(Winkler法)등을 測定하였다. 또한 5/1000 M 過過酸化水素溶液을 添加하거나 Prostin $F_{2\alpha}$(Upjehn company, U.S.A) 0.2㎖를 母貝에 注射한 후 筋肉의 收縮狀態 및 生殖物質 放出狀態등을 比較함으로써 紫外線照射海水의 産卵誘發機作을 檢討하였다.

結 果

1. 産卵誘發에 대한 紫外線照射海水의 効果

2種의 養殖對象 貝類에 紫外線照射海水를 流水시켜 産卵誘發을 試圖한 結果는 Table 1, 2와 같다.

먼저 전복 및 오분자기의 結果를 Table 1에서 보면 전복의 경우 照射群이 非照射群보다 좋은 反應率을 보

Table 1. The rate of response and the time(hour and minute) required for initial spawning in genus *Haliotis*

Species	Treatment	Sex	Amount of irradiation(mWh/ℓ) 0	101.6	186.6	286.3	352.1
H. discus	UV-rays irradiation	F	50% (3.00)	—	50% (3.36)	100% (3.14)	50% (3.28)
		M	50% (3.54)	—	50% (3.28)	50% (3.00)	100% (4.00)
	UV-rays irradiatoin after exposure to air	F	50% (3.25)	—	50% (3.34)	100% (3.00)	100% (2.54)
		M	0%	—	25% (7.00)	100% (3.25)	100% (2.49)
	UV-rays irradiation after temperature treatment	F	25% (0.38)	—	50% (0.45)	50% (0.40)	75% (0.38)
		M	100% (1.05)	—	75% (0.31)	75% (0.25)	75% (0.45)
H. diversicolor supertexta	UV-rays irradiation after rexposure to air	F	16.7% (4.30)	16.7% (2.35)	16.7% (4.00)	50% (2.05)	—
		M	0%	20% (1.40)	20% (1.00)	20% (2.50)	—

Table 2. The rate of response and thetime(hour and minute) required for initial spawning in the topshell

Treatment	Amount[of irradiation (mWh/ℓ)	Number of animasl		Mean time required for spawning
		Tested	Spawned	
UV-rays irradiation	0	10	0	—
	186.6	10	0	—
	286.3	10	1F(10%)	8.20
	352.1	10	0	—
UV-rays irradiation after temperature treatment	0	15	1F(6.7%)	4.20
	186.6	15	0	—
	286.3	15	1M(6.7%)	2.40
	352.1	15	0	—
UV-rays irradiation after exposure toair	0	44	1M(2.3)	—
	186.6	45	3M(6.7%)	10.38
	286.3	51	4M(7.8%)	9.32
	352.1	50	4M, 1F(10%)	7.16

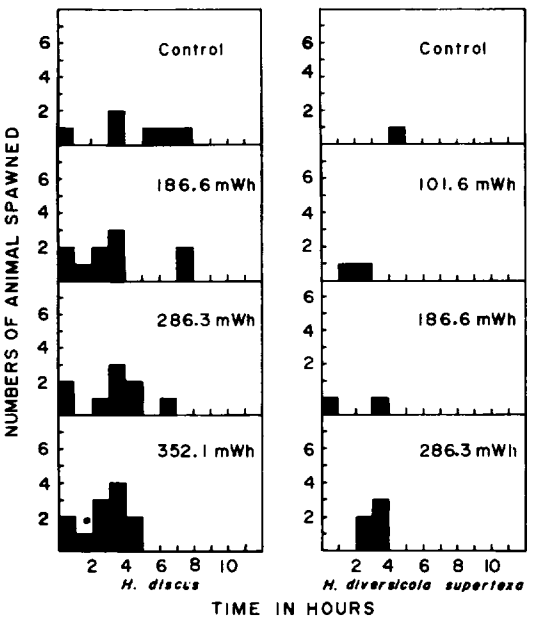

Fig. 1. Relationship between the amount of UV-rays irradiation and the time required for spawning in genus *Haliotis*.

였으며 오분자기에서도 비슷한 結果를 나타내었다. 照射量에 따른 反應率은 전복이 286.3㎷Wh/ℓ 以上의 照射量에서 50% 以上의 反應率을 보인 반면, 오분자기의 경우에는 286.3㎷Wh/ℓ에서만 다소 높은 反應率을 보였다.

한편, 産卵誘發方法으로 單純히 紫外線照射海水만을 流水시킨 경우와 干出刺戟 또는 溫度刺戟後 紫外線照射海水를 流水시킨 경우를 比較하여 보면, 照射海水만을 流水시킨 경우보다는 干出刺戟이나 干出刺戟을 한

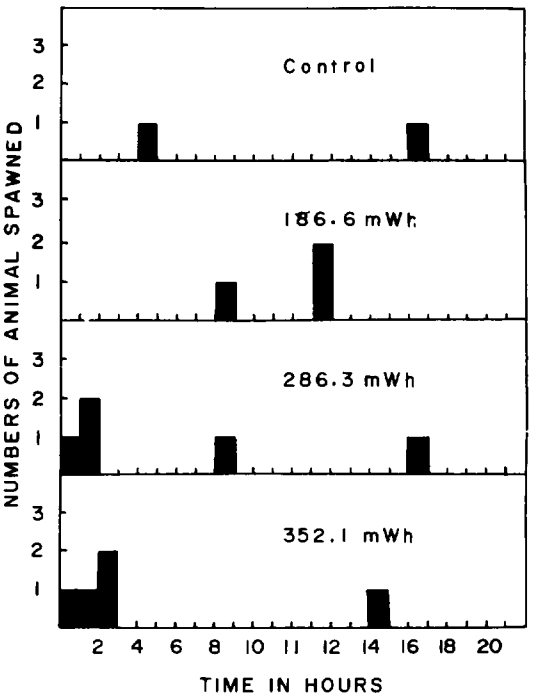

Fig. 2. Relationship between the amount of UV-rays irradiation and the time required for spawning in *Turbo cornutus*.

후 照射海水로서 産卵誘發을 試圖한 경우가 보다 좋은 反應率을 나타내었다. 이때 照射量에 따라서 放卵, 放精이 일어나기까지 所要된 時間은 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

대체로 照射量이 적은 경우보다 286.3 mWh/ℓ以上의 照射量에서 反應時間이 多少 短縮되는 경향을 보였는데, 전복 및 오분자기 모두가 刺戟後 3~4時間頃에 가장 높은 放出率을 나타내었다.

다음, 소라의 경우 전복에서와 같이 反應率이 높지는 않지만 干出刺戟後 照射海水로 流水시킨 경우에 照射量이 많을수록 反應率이 높게 나타났다(Table 2).

그리고 照射量에 따른 放卵·放精에 所要된 時間도 各 照射量間에 별 差異가 없지만 352.1 m Wh/ℓ에서 刺戟後 3時間 以內에 많은 放出이 일어나 反應時間이 다소 短縮됨을 보였다(Fig. 2).

한편 二枚貝로서 가무락 120마리와 바지락 240마리를 1時間 干出刺戟시킨 후 各各 産卵水槽에 收容하여 紫外線照射海水로서 流水시키면서 放卵·放精을 試圖하였다. 그러나 本 實驗에서는 가무락 및 바지락 모두 産卵行動은 볼 수 없었으나, 같은 材料에 암모니아 海水溶液을 生殖巢에 注射하여 放卵·放精을 시킬 수 있었다(Tadle. 3).

이때의 反應率은 가무락이 15%內外이고 바지락이 46%로서 높은 反應率을 보였다. 그러나 大部分의 放卵·放精物이 未熟한 狀態로서 正常發生이 不可能하다였.

Table 3. Inpuction of spawning in *Cyclina sinensis* and *Tapes variegata*

Species	Treatment	Number of animals	
		Tested	Spawned
C. sinensis	3/1000 N NH_4OH, 1$m\ell$	20	3(3M)
	1/1000 N NH_4OH, 2$m\ell$	17	3(2F, 1M)
T. variegata	3/1000N NH_4OH, 1$m\ell$	50	23(5F, 18M)

2. 産卵誘發에 對한 紫外線照射海水의 影響

紫外線照射海水가 貝類의 産卵誘發을 일으키는 原因을 硏究하기 위하여 몇가지 調査를 實施하였는데 그 結果는 Table 4, 5및 6에 表示한 바와 같다.

먼저 紫外線照射海水의 物理化學的 變化를보면, Table 4에서와 같이 非照射海水의 경우가 照射海水의 경우와 별다른 差異가 없었다. 그리고 照射海水의 溶存오존量은 352.1 mWh/ℓ에서 微量이 검출되었다.

한편, 紫外線을 海水에 照射함으로써 海水內에 光學的反應이 일어나 貝類의 産卵을 誘發시킨다고 報告된 바 있다(Morse *et. al*, 1977).

Table 4. Chemi-physical condition of irradiated seawater with UV-rays during the experimental period

Amount of irradiation (mWh/ℓ)	Water temperature (℃)	pH	Specific gravity	Amount of ozon (mg/ℓ)
0	20.7—27.1	8.00—8.10	1.0197—1.0210	—
186.6	20.5—27.1	8.05—8.14	1.0196—1.0217	*
286.3	20.6—27.3	7.95—8.15	1.0196—1.0224	*
352.1	20.8—27.5	7.99—8.15	1.0167—1.0224	0.01

* Ozon is non-dedected in this experiment.

本 實驗의 경우에는 紫外線照射와 效果가 類似한 過酸化水素溶液을 海水內에 添加하거나 産卵誘發의 直接的 要因인 Prostaglandin $F_{2\alpha}$를 直接 母貝에 注射함으로써 母貝의 筋肉收縮狀態 및 産卵誘發能力을 調査하였다. 過酸化水素溶液을 每時間마다 5/1000 M 濃度가 되게끔 産卵水槽에 添加시켜 産卵誘發 試圖한 結果放卵·放精은 없었은나 母貝들이 活潑하게 水槽바닥 또는 壁面을 匍匐하면서 多量의 粘液質을 分泌하였다. 그리고 P $F_{2\alpha}$를 10尾의 전복에 注射한 경우에는 注射後 2時間 以內에 2尾가 放精하였고 3尾는 筋肉收縮運動이

Table 5. The effects of prostaglandin $F_{2\alpha}$ and H_2O_2 on the abalone and the topshell

Species	Treatment	Number of animals	Results
H. discus	Prostaglandin $F_{2\alpha}$	10	2 males of abalone caused spawning within 2 hours after injection and adductor muscle of 3 animals were contracted considerably for 1.5 hours.
T. cornutus	plus H_2O_2	40	Most of the topshells were represented sensitive response with H_2O_2, creeping on the wall of aquarium and secreted mucous.

있었으나 放卵·放精은 없었다(Teble 5).

紫外線照射量에 . 母貝의 生理的 代謝의 指標로서 소라의 酸素消費量을 測定한 結果는 Table 6에 나타낸 바와 같다.

소라의 酸素消費量은 非照射群 보다 照射群이 훨씬 높게 나타남을 볼 수 있다. 또한 各 照射群間의 呼吸量의 差異는 286.3m Wh/ℓ에서 가장 높았고 185.6 mWh/ℓ와 352.1mWh/ℓ에서는 비슷한 酸素消費量을 나타내었다.

Table 6. Oxygen consumption of the topshell in irradiated seawater with UV-rays after addition of hydrogen peroxide

Amount of irradiation (mWh/ℓ)	Water temp. (℃)	pH	O_2 μg/mg dry wt./hr.
0	25.3—26.2	7.60—7.74	23.10—41.61
186.6	25.4—26.5	7.75—7.93	43.01—72.99
286.3	25.5—26.5	7.75—8.00	75.13—93.12
352.1	25.6—26.4	7.74—7.84	46.54—82.48

考 察

貝類養殖의 첫 段階로서 種苗生産이 매우 重要한데 計劃的인 種苗生産을 위하여는 무엇보다도 먼저 良好한 受精卵에 의한 採苗가 先行되어야 한다. 특히 近來에 와서 貝類의 人工種苗生産이 活發히 推進되면서 人工産卵誘發方法의 技術도 多樣하게 發展되었다.

最近 紫外線照射海水를 利用하여 전복類 및 一部 二枚貝를 産卵誘發시킨 경우(菊地·浮, 1974a; 1975; 浮菊地, 1974)와 過酸化水素溶液을 전복의 産卵水槽에 添加하여 生殖巢內 Prostaglandin endoperoxide 合成酵素를 活性化시켜 放卵·放精을 誘發시킨 例(Morse *et al.*, 1977)가 報告된 바 있다. 따라서 週年을 通하여 원하는 時期와 時刻에 産卵을 시킬 수 있는 可能性을 얻게되었고 採苗에 所要되는 時間도 상당히 短縮시킬 수 있게 되었다. 그러나 關(1978)이 지적한 바와 같이 母貝의 選定 및 飼育上의 問題와 大量의 良好한 受精卵을 얻을 수 있는 産卵誘發方法이 아직도 完全히 해결되지 못하고 있는 實情이다.

本 實驗에서 몇種의 貝類에 紫外線照射海水의 産卵誘發能力 有無를 確認한 結果를 보면, 전복 및 오분자기에서 照射群이 非照射群보다 比較的 좋은 反應率을 보임으로써 照射海水의 効果가 認定될 수 있으나 가무락 및 바지락에서는 전혀 反應이 없었다. 또한 소라에서도 뚜렷한 反應이 나타나지 않았다. 이러한 結果는 菊地·浮(174; 1975)및 浮·菊地(1974)의 報告와 比較하여 볼 때 많은 差異를 보이나 平野·中西(1975)의 報告와는 비슷한 結果를 보이고 있다. 특히, 照射群中에서도 單純히 照射海水를 流入시킨 경우 보다는

溫度刺戟이나 干出刺戟을 한후 照射海水로서 流水시킨 경우가 反應率이 훨씬 높았다는 報告(平野·中西, 1975)에 비추어 볼 때 本實驗의 경우에도 같은 傾向이 보였다.

한편, 가무락이나 바지락에서 照射海水로서 産卵誘發을 시키지 못한 것을 암모니아 海水溶液으로 一部 放卵·放精을 일으킬 수 있었다는 점은, 二枚貝의 産卵誘發에 미치는 紫外線照射海水의 種 選擇性이나 이들 母貝의 生殖巢 成熟狀態가 照射海水에 反應하기에는 未熟한데에 起因된 것이 아닌가 생각된다. 또한 腹足類中 소라의 경우, 生殖巢熟度를 肉眼으로 確因할 수 없고 많은 母貝를 使用하여야 하는 어려운점(李等, 1979)以外에 本 實驗에서와 같이 照射海水에 의한 産卵誘發率이 낮은 점은 전복類보다 産卵誘發에 必要한 光化學的 反應限界가 더 높은 것이 아닌가 思料된다.

一般的으로 生殖巢의 成熟程度가 肉眼的으로 完熟狀態에 있다고 하더라도 生殖巢의 質的인 狀態가 더 重要하여(菊地·浮, 1975) 産卵率에 많은 差異를 가져 올 수 있는데, 紫外線照射海水法을 利用한 경우라 하더라도 전복類나 소라의 産卵誘發率은 대체로 20~40% 內外가 많다(平野, 中西, 1975; 平野·中西·福田, 1975; 中西·福田, 1978; 李·李, 1979).

그러나 本 實驗에서 紫外線照射群이 非照射群에 比하여 反應率이 높은 것은 이들 貝類의 産卵誘發에 照射海水의 效果를 認定할 수 있다고 본다. 다만 照射量이 不足하여 높은 反應率을 나타내지는 못하였지만 照射量이 많을수록 反應率 및 反應時間이 좋았다는 報告(菊地·浮, 1974a; 浮·菊地, 1974)에 비추어 볼 때, 앞으로 照射量을 더욱 增加시킨다면 反應率은 좀더 높아질 것으로 思料된다.

한편, Wedemeyer *et al.* (1979)은 水槽內 過多한 오존은 오히려 對象生物의 아가미 組織에 異狀을 招來하여 斃死의 原이 된다고 지적하였다. 그러므로 種에 따라서 産卵誘發에 必要한 適正照射量을 定하는 것도 앞으로 남은 課題라 할 수 있다.

紫外線照射海水에 의한 産卵誘發機構를 Morse *et al.* (1977)은 生殖巢內에서 Prostaglandin endoperoxide가 活性化하여 Cyclooxygenase를 形成함으로써 産卵誘發을 일으키는 것으로 推論하고 있다. Prostaglandin은 一般的으로 哺乳動物의 生殖器管에서 널리 알려진 物質인데(代謝, 1975), 最近에는 魚類(Ogata *et al.*, 1979)等에서도 排卵시키는데 有效한 것으로 밝혀졌다

本實驗에서 母貝에서 P $F_{2\alpha}$를 直接注射함으로써 産卵을 시킬 수 있었다. 이점은 호르몬劑 注射後 生殖巢內 P $F_{2\alpha}$의 增加에 따라 産卵率이 높아진다는 報告(Ogata *et al.*, 1979)에 비추어 볼 때 當然한 結果라 하겠다. 또한 紫外線照射量이 많은 水槽內의 母貝가 對照群에 비하여 酸素消費量이 많은 것은 紫外線照射에 의한 Prostaglandin 活性에 母貝가 反應한다는 것을 認定해 주는 根據로서 생각된다.

要 約

몇種의 養殖對象貝類에 紫外線照射海水流水法에 의한 人工産卵誘發을 試圖, 그 效果有無를 確認하고 産卵에 대한 反應率 및 反應時間等을 紫外線照射量 세기에 따라 比較 調査하였다.

1. 전복, 오분자기, 소라, 가무락, 바지락에 紫外線照射海水를 利用 産卵誘發을 試圖한 結果 전복 및 오분자기에서는 反應率이 좋았으나 가무락, 바지락에서는 反應이 없었다.

2. 生殖物質 放出率이 가장 좋았던 時間은 紫外線照射後 3~4時間頃 이었다.

3. 照射量이 많을수록 反應率이 높았고 放卵·放精에 所要된 時間도 短縮되는 傾向을 보였다.

4. 紫外線照射海水만을 流水시킨 경우보다는 干出刺戟이나 溫度刺戟後 照射海水를 流水시킨 경우가 보다 좋은 反應率을 나타내었다.

5. 紫外線照射海水의 産卵誘發能力은 海水內에 光化學的인 反應에 의한 Prostaglandin endoperoxide 活性에 起因되는 結果로 그 效果를 認定할 수 있었다.

參 考 文 獻

阿井敏夫(1965): サザエの産卵と發生—Ⅱ 産卵と幼生の發達. 日水誌, 31(2), 105—112.

American Public Health Association (1960): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 11th ed., p. 629.

崔信錫(1975): 대합과 가무락의 初期發生 및 成長에 關한 比較 硏究. 韓水誌, 8(3), 185—195,

_____, 宋容圭(1973): 가무락의 人工受精 및 發生에 關한 硏究. 韓水誌, 6(1,2), 76—80.

_____, _____ (1974): 대합의 人工受精 및 發生에 關한 硏究. 韓水誌, 7 (1), 1—6.

中西廣義·福田愼作(1978): アワビの種苗生産. 育水增事業槪要, 7, 158—162.

猪野 峻(1952): 邦産アワビ屬の增殖に關する生物學的 硏究. 東海水研硏究報告, 5, 1—102.

菅野 尚(1962)：溫度の反復刺戟放による貝類の産卵誘發. 東北水研研究報告, 20, 114—120.

菊地省吾・浮 永久(1974, a)：アワビ屬の採卵技術に關する研究. 第2報 紫外線照射海水の産卵誘發効果. 東北水研 研究報告, 33, 79—86.

_____, _____ (1974, b)：アワビ屬の採卵技術に關する研究. 第4報 生殖巢の受精能力の持續時間と溫度との關係. 東北水研 研究報告, 34, 73—75.

_____, _____ (1947, c)：アワビ屬の採卵技術に關する研究. 第5報 クアワビ *Haliotis discus* REEVE の性成熟と溫度との關係. 東北水研研究報告, 34, 77—85.

_____, _____ (1975)：アワビ屬の採卵技術に關する研究. 第6報 マダカワビ *Haliotis gigantea* GMELINの性成熟について. 東北水研研究報告 35, 85—90.

李秉暾・李澤烈・陳平(1973)：전복의 增殖에 關한 研究. 釜山水大臨研報, 6, 39—52.

李定宰・李廷烈(1978)：소라의 酸素消費에 關하여 濟州大臨研報, 2, 25—30.

_____, _____ (1979)：소라의 種苗生産을 爲한 生物學的 研究. 濟州大臨研報, 3, 5—16.

代謝 (1975)：プロスタグランデイン. 12 (2), 中山書店.

Morse, D. E., H. Duncan, N. Hooker and A. Morse(1977) : Hydrogen peroxide induces spawning in mollusk, with activation of prost aglandin endoperoxide synthetase, Science, 196, 268—300.

大場俊雄(1964)：トコブシの增殖に關する基礎的研究—Ⅱ 發生について. 日水誌, 30 (10), 809—819.

Ogata, H., T. Nomura, and M. Hata(1979) : Prostaglandin $F_{2\alpha}$ changes induced by ovulatory stimuli in the pond loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. Bull. Japanese Soc. Sci. Fish., 5 (7), 929—931.

盧暹(1976)：소라의 增殖에 關한 研究(1) 소라, *Turbo cornutus* SOLANDER의 産卵과 初期發生. 韓水誌, 9 (1), 43—55.

_____, 朴春奎(1975)：전복의 增殖에 關한 研究(Ⅱ) 麗水近海産 한전복 *Haliotis discus hannai* INOの 産卵期. 韓水誌, 8 (4), 234—241.

盧龍吉(1976)：소라 *Turbo cornutus* SOLANDER의 種苗生産에 關한 研究. 水振研究報告, 15, 21—41.

相良順一郎(1958)：NHO_4H による二枚貝の産卵誘發. 日水誌, 23 (9), 505—510.

關 哲夫(1978)：アワビ種苗生産の考え方. 增殖技術の基礎と理論, 57—67.

平野 忠・中西廣義(1974)：アワビの種苗生産. 青水增事業概要 '3, 144—147.

_____, _____ (1975)：アワビの種苗生産. 青水增事業概要, 4, 93—100.

_____, _____, 福田憤作(1975)：アワビの種苗生産. 青水增事業概要, 6, 131—141.

浮 永久・菊地省吾 (1974)：紫外線照射海水のホタテガイ *Patinopecten yessoensis* (Jay)に對する産卵誘發効果. 東北水研研究報告, 34, 87—92.

Wedemeyer, G. A., N. C. Nelson, and W. T. Yasutake (1979) : Physiological and biological aspects of ozone toxicity to rainbow trout (*Salmogairdneri*). J. Fish. Res. Board Can., 36, 605—614.