

トウビシの生育と収量成立に関する研究

第 1 報 収量および収量構成要素と葉冠数の変化の関係*

有馬 進・田中典幸・原田二郎・松本和大**・
窪田文武***

(佐賀大学農学部・**佐賀県庁・***九州大学農学部)

1991 年 7 月 31 日受理

要 旨 : 移植時期と栽植密度を変えてトウビシ (*Trapa bispinosa* Roxb.) を水田栽培し、その収量成立過程を葉冠数の動態に着目して検討した。その場合、収量は生重が 10 g 以上の経済的価値をもつ精果実の単位面積当たり総生重と規定し、平均精果実重 (g/個) と精果実数 (個/m²) の積とした。また、精果実数は単位面積当たりの最終葉冠数と 1 葉冠精果実数の 2 要素に分けて分析した。

葉冠数は、移植後、分枝茎の発生にともなって増加し、最高葉冠期に達して最大数 (最高葉冠数) となり、その後やや減少して安定 (最終葉冠数) した。最終葉冠数は、早期移植あるいは密植栽培によって生育初期における葉冠数の増加が促進され、最高葉冠期が早まるほど増加する傾向を示した。

収量は、780 gm⁻²~1140 gm⁻² の範囲で変異し、早植あるいは密植するほど多くなった。平均精果実重は比較的変異が小さく、収量は精果実数の多少によって決定された。また、1 葉冠精果実数の変異は小さく、精果実数は最終葉冠数に伴って増減した。したがって、構成要素のなかでは最終冠数が最も収量との密接な正の相関関係を示した。

以上の結果、葉冠数を増す栽培管理がトウビシの多収に向けて重要であることが明らかとなった。

キーワード : 移植時期、栽植密度、収量、水田栽培、トウビシ、ヒシ。

Growth and Yield Performance of the Water Chestnut (*Trapa bispinosa* Roxb.) I. Relationship among yield, yield components and change of number of rosettes : Susumu ARIMA, Noriyuki TANAKA, Jirou HARADA, Kazuhiro MATUMOTO** and Fumitake KUBOTA*** (*Fac. Agric. Saga Univ., Honjou, Saga 840, Japan ; **Saga Pref. Office, Jounai, Saga 840, Japan ; ***Fac. Agric. Kyushu Univ., Hakozaki Fukuoka 812, Japan*)

Abstract : The yield performance of water chestnut plants cultivated in paddy fields under conditions of varying combinations of time and density of transplanting was investigated with reference to the change of number of rosettes. Yield was measured using the fresh weight of commercially valuable fruits, which weighed more than 10 g each, and was analyzed as the product of average weight per valuable fruit and their number per unit area. The latter, furthermore, was analyzed as the product of the number of productive rosettes per unit area and that of valuable fruits on a rosette.

After transplanting, the number of rosettes increased to the maximum rosette number stage with the emergence of the branch stem, and after that decreased slightly, and then approached the final number of productive rosettes. By early transplanting and high density of transplanting, the increase rate of rosettes per unit area was enhanced and the maximum rosette number stage was hastened. As a result, the final number of productive rosettes per unit area increased.

Yield varied from 780 gm⁻² to 1140 gm⁻² with treatment. High yield was obtained by early transplanting and high density of transplanting. Since the average fresh weight of valuable fruits did not vary by treatment, yield was mainly influenced by the number of valuable fruits per unit area. Judging from the small change seen in the number of valuable fruits on a rosette, the number of valuable fruits unit area varied in accordance with the number of productive rosettes per unit area. Therefore, the number of productive rosettes per unit area showed the closest correlation with yield among yield components.

Consequently, the increase rate in the number of rosettes before the maximum rosette number stage was regarded as the important factor in greatly effecting yields.

Key words : Paddy field cropping, Planting density, Transplanting time, *Trapa bispinosa* Roxb., Water chestnut, Yield.

ヒシは、浅淡水域で澱粉質の果実を産する有用な資源植物である。ヒシを植物学的に取り上げた研究はこれまでに数多くあるが^{4,5,6,8,10)}、その生産生態を

農学的に究明した報告は少ない^{1,2,3,7,13)}。一方、近年、水田転作の拡大にともなって、水田生態系の維持が可能な転作作物として北九州地域の一部ではトウビシの導入が検討されている⁹⁾。トウビシは果実が大粒であるため、水田栽培によって 10 a 当り 1,000 kg

* 一部は第187回講演会 (1989年4月) において発表。
本研究の一部は文部省科学研究費によった。

以上の多収を収めることができる。

本研究は、トウビシの生育と収量成立の過程を作物学的な観点から明らかにし、その栽培における安定多収の実現に役立てることを目的とする研究の一環として行った。すでに、著者らは窒素施肥量がトウビシの生育収量に及ぼす影響¹⁾について検討を行ったが、その際には収量の成立機構にまで立ち入った解析は行わなかった。そこで、本報では、栽植密度と移植時期を変えてトウビシを栽培し、その場合の生育反応と収量成立過程について、とくに葉冠数の変化に着目して検討した。

材料と方法

材料には、著者らが佐賀市金立町島崎池で採取し、佐賀大学農学部圃場において採種、5°C の冷水中で保存を続けているトウビシ (*Trapa bispinosa* Roxb.) の果実を供試した。

栽培は1988年に佐賀大学内本庄水田で行い、移植法を用いた。すなわち、育苗はガラス室内の水槽(70×540×40 cmH)の底部に厚さ約5 cmの水田土壌を敷き、水道水を約35 cmの深さに満したのち、1988年3月20日に、前年産の果実を60粒置床して開始した。果実は約10日後に発芽し、十数本の分枝茎を発生させ、それぞれの茎は水面に浮葉の葉冠(茎の頂部のロゼット状葉群を葉冠と呼ぶ。既報^{1,2)}では浮葉冠と呼んだ。)を形成した。分枝を茎頂から約60 cmの長さに切り揃えて苗とした。

本田は、予め耕うん細土し、4月24日に、代掻きを入念に行ない、湛水した。その後、雑草防除のためにMO-9粒剤を3 g/m²施用した。試験区は、4期の移植時期(5月2日、5月17日、6月1日、6月15日)と4段階の栽植密度(0.66, 0.33, 0.22, 0.16 本/m²)を組合せ、計16区とした。栽植密度は所定の密度となるように波板を用いて方形区画を設け、1区の面積をそれぞれ、1.5 m², 3.0 m², 4.5 m², 6.0 m²とし、各区画に苗1本を移植して調節した。また、各区の反復数は、0.66 本区が8, 0.33 本区が7, 0.22 本区が6, 0.16 本区が5とした。苗は、各方形区画の中心部に茎基部を約10 cm底土壌中に挿入した。7月1日にN:P:K=3:3.6:3 g/m²相当量の粒状化成肥料を施用した。なお、水深は地下水を灌漑することにより、栽培期間を通じて15 cmに保った。

茎葉部の発育は、葉冠数について定期的に観察した。11月15日に落水した後、11月18日に試験区ご

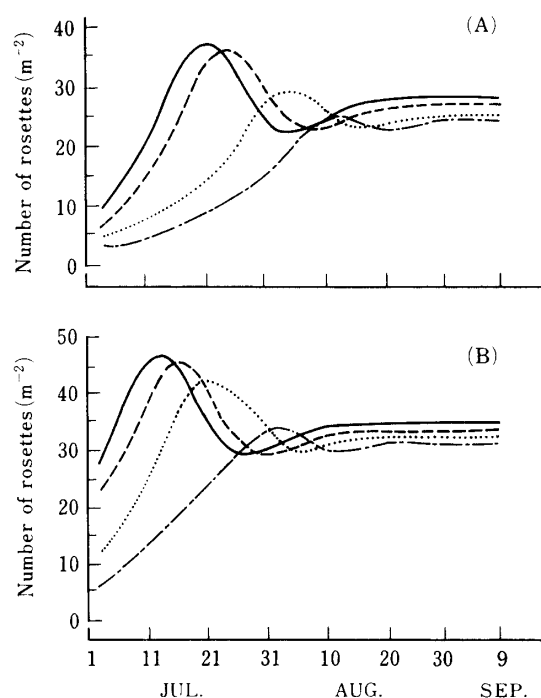


Fig. 1. Changes in the number of rosettes of low (A) and high (B) planting density plots.

Transplanting time: — May 2, --- May 17, June 1, - · - June 16.

Planting density: A; 0.16 per unit area (m⁻²), B; 0.66 per unit area (m⁻²).

とに全果実を手取りした。収穫した果実は、3週間水中に保存して外皮を腐敗・脱落させ、生重を測定した。収量は生重が10 g以上の経済的価値をもつ成熟果実(以下、精果実とする)の量を対象とし、(1)および(2)式に従って解析した。

収量 (g/m²) = 精果実数 (個/m²)

× 平均精果実重 (g/個) (1)

= 葉冠数 (個/m²) × 1 葉冠精果実数 (個/個)

× 平均精果実重 (g/個) (2)

結 果

1. 生育に伴う葉冠数の推移

苗は移植の約10日後には活着して分枝茎を旺盛に発生し、各分枝茎の頂部に浮葉の葉冠を形成した。葉冠数の推移は、高密度区の0.66本区と低密度区の0.16本区の2例について第1図に示したが、いずれの栽植密度あるいは移植時期の場合にも同様の推移を示した。すなわち、葉冠数は移植後から水面が浮葉によって覆いつくされるまで増加した後、弱小葉冠の枯死・脱落に伴って減少した。その後、葉冠数は、再びやや増加し、以後収穫期までほとんど変化しなかった。この場合、葉冠数が極大値に達した時

Table 1. Maximum number of rosettes and maximum rosette number stage.

Transplanting time	Planting density (m^{-2})			
	0.16	0.22	0.33	0.66
May 2	35.9 ± 3.4 (7/21)*	35.9 ± 3.7 (7/18)	39.6 ± 2.2 (7/15)	45.5 ± 4.9 (7/13)
May 17	35.0 ± 2.8 (7/23)	36.0 ± 1.9 (7/21)	37.6 ± 4.6 (7/19)	44.5 ± 4.4 (7/15)
June 1	25.4 ± 4.5 (8/5)	26.4 ± 4.3 (7/28)	30.9 ± 3.2 (7/23)	41.9 ± 4.5 (7/19)
June 16	24.3 ± 3.2 (8/15)	25.5 ± 1.9 (8/10)	23.9 ± 1.8 (8/5)	30.1 ± 1.3 (8/2)

1) Maximum number of rosettes: rosette number per unit area (m^{-2}).Each value is shown in mean \pm standard deviation.

2) *: Maximum stage of rosette number (month/day).

Table 2. Number of productive rosettes per unit area and percentage of productive rosettes.

Transplanting time	Planting density (m^{-2})			
	0.16	0.22	0.33	0.66
May 2	26.6 ± 1.1 (74.1)*	26.4 ± 1.2 (73.5)	28.7 ± 1.4 (72.5)	32.7 ± 1.9 (71.9)
May 17	25.7 ± 2.3 (73.4)	25.4 ± 1.2 (70.5)	27.9 ± 1.8 (74.2)	32.0 ± 1.3 (72.1)
June 1	24.6 ± 3.3 (96.9)	25.4 ± 3.1 (96.2)	25.9 ± 1.7 (80.5)	30.7 ± 1.6 (73.3)
June 16	24.2 ± 1.7 (99.5)	24.6 ± 1.5 (96.5)	25.5 ± 1.3 (88.2)	29.1 ± 1.7 (96.6)

1) Number of productive rosettes: rosettes number per unit area (m^{-2}), Mean \pm S. D.

2) *: Percentage of productive rosettes = (number of productive rosettes)

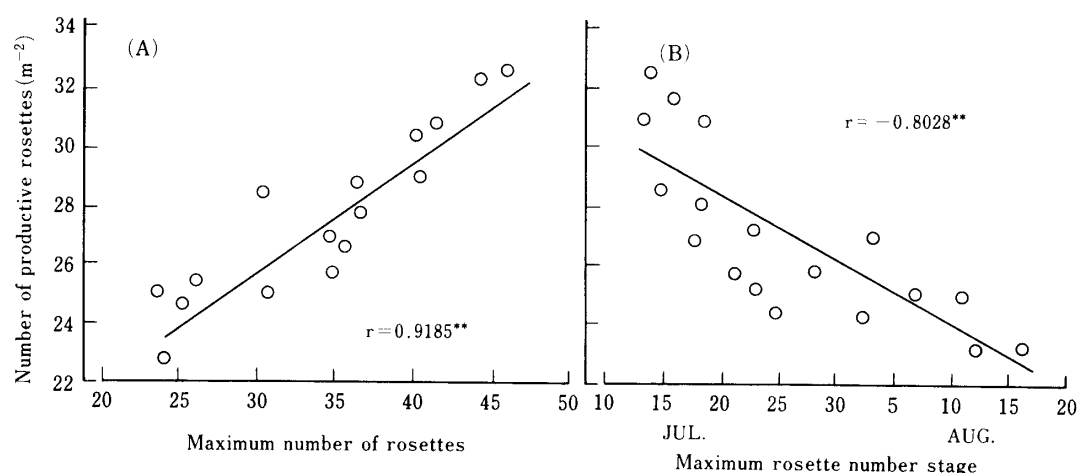
 \div (maximum number of rosettes) $\times 100$.

Fig. 2. Correlation of the number of productive rosettes per unit area with the maximum number of rosettes (A) and with the maximum rosette number stage (B).

期を最高葉冠期，その時期の葉冠数を最高葉冠数，収穫期の葉冠数を最終葉冠数と呼ぶことにする。最高葉冠期は早植あるいは密植の区においてより明確な極大値を示した。

区間差異に着目して葉冠数の推移をみると，移植時期が早まるほど最高葉冠期は早くなり，最高葉冠数も多くなった（第1表）。また，密植するほど最高葉冠期は早くなる傾向が認められた。最終葉冠数は早期に密植するほど多くなる傾向を示したが，その傾向は最高葉冠数の場合ほど顕著ではなかった（第

2表）。有効葉冠歩合（最終葉冠数/最高葉冠数 $\times 100$: %）は大半の試験区において70%以上となり，遅植えて疎植するほど高くなる傾向を示した。なお，全試験区を通じて最終葉冠数は最高葉冠数と高い正の相関関係を示し（第2図，A），最高葉冠数が多いほど増加した。また，最終葉冠数は個々の個体が最高葉冠期に達した時期が早いほど多くなった（第2図，B）。

2. 収量および収量構成要素

処理による収量の変化をみると（第3表），収量は

Table 3. Yield per unit area.

Transplanting time	Planting density (m^{-2})			
	0.16	0.22	0.33	0.66
May 2	924 \pm 32	931 \pm 58	984 \pm 55	1137 \pm 129
May 17	937 \pm 112	942 \pm 70	956 \pm 106	1132 \pm 138
June 1	813 \pm 73	849 \pm 124	881 \pm 51	983 \pm 84
June 16	774 \pm 38	782 \pm 67	830 \pm 75	886 \pm 56

Yield: total weight of valuable fruits (gm^{-2}).Each value is shown in Mean \pm S. D.

Table 4. Weight of a valuable fruit.

Transplanting time	Planting density (m^{-2})			
	0.16	0.22	0.33	0.66
May 2	20.4 \pm 0.4	20.3 \pm 0.8	20.4 \pm 1.0	19.6 \pm 0.8
May 17	20.4 \pm 0.7	20.1 \pm 0.7	20.3 \pm 0.9	20.5 \pm 0.7
June 1	19.6 \pm 0.2	19.9 \pm 0.9	19.5 \pm 1.0	19.5 \pm 0.6
June 16	20.1 \pm 0.4	19.8 \pm 0.6	19.5 \pm 0.6	19.3 \pm 0.4

Weight of a valuable fruit: average fresh weight of valuable fruits (g).

Each value is shown in Mean \pm S. D.

Table 5. Number of valuable fruits per unit area and per rosette.

Transplanting time	Planting density (m^{-2})			
	0.16	0.22	0.33	0.66
May 2	45.3 \pm 1.6(1.8)*	45.9 \pm 1.7(1.8)	48.3 \pm 3.5(1.7)	58.0 \pm 5.5(1.8)
May 17	46.0 \pm 3.3(1.7)	46.8 \pm 2.5(1.8)	47.1 \pm 4.1(1.7)	55.2 \pm 4.2(1.7)
June 1	41.5 \pm 4.3(1.7)	42.7 \pm 3.5(1.7)	45.2 \pm 3.9(1.7)	50.5 \pm 3.5(1.6)
June 16	38.5 \pm 1.8(1.7)	39.5 \pm 4.1(1.6)	42.5 \pm 3.8(1.7)	45.9 \pm 2.9(1.6)

1) Each value is shown in Mean \pm S. D.

2) *: Number of valuable fruits per rosette.

処理区間で約 780 gm^{-2} ～1140 gm^{-2} の範囲の変異を示し、平均が 920 gm^{-2} であった。移植時期の影響についてみると、収量はいずれの栽植密度の場合にも 5 月 2 日区と 5 月 17 日区での差異が小さかったが、6 月 1 日区、6 月 16 日区と移植時期が遅くなるほど低下した。また、栽植密度の影響についてみると、いずれの移植時期の場合においても収量は密植に伴って高くなる傾向が認められた。したがって、収量は本実験の範囲内では早植・密植するほど高く、遅植・疎植するほど低くなった。

収量構成要素についてみると、まず、平均精果実重 (第 4 表) は 19.3～20.5 g/個の範囲で変異し、その幅が比較的小さかった。したがって、上記の収量の差異は主として精果実数の多少によって生じたことが明らかとなった。精果実数 (第 5 表) は、38 個/ m^2 から 58 個/ m^2 の範囲で変異したが、移植時期が遅くなるに従って減少し、また、いずれの移植時期

においても栽植密度が高くなるほど多くなる傾向を示した。精果実数を葉冠数で除して算出した 1 葉冠精果実数は 1.6～1.8 個となり、区間の変動は僅かなものであった。

収量と収量構成要素の相互関係を検討した結果 (第 6 表)、収量は精果実数と極めて高い相関関係 ($r=0.963$) を示し、平均精果実重とは有意な相関関係を示さなかった。また、精果実数を決定する 2 つの構成要素のうち最終葉冠数とは高い正の相関関係を示したが、1 葉冠精果実数との間には有意な相関関係は認められなかった。したがって、本実験の場合、処理による収量の変動は最終葉冠数の変動によって大きく影響されていたことが明らかとなった。

考 察

ヒシは、今日まで野草的な取扱いがなされてきたために、いまだに“収量”を規定する概念がない。

Table 6. Correlation coefficients among yield components.

Yield component	Number of valuable fruits (m^{-2})	Number of productive rosette (m^{-2})	Number of valuable fruits per rosette	Fresh weight of valuable fruit
Coefficient of correlation	0.963**	0.897**	0.435 N. S.	0.305 N. S.

** : significant at the 1% level, N. S. : not significant at 5% level.

本報においては、トウビシの収量を基本的に精果実数(個/ m^2)と平均精果実重(g/個)の積とし、精果実を経済的な価値の有無で選別して示した。また、トウビシの個体群における果実生産の最小単位を数多くの分枝茎からなる個体としてではなく、個々の葉冠としてとらえ、精果実数を単位面積当りの最終葉冠数と1葉冠精果実数の積として示した。以上のような解析方法を採用することにより、既報¹⁾では必ずしも明白にし得なかった収量成立過程に関する立ち入った解析を行うことができたと考えられる。

そこで、トウビシの収量成立機構を本報の結果にもとづいて検討しておきたい。本報の場合、収量は、移植時期の早期化あるいは密植によって増加する傾向を示した。しかし、処理による平均精果実重の変動は小さく、一方、精果実数、とりわけ、その構成要素である最終葉冠数は収量と類似した変化を示した。このため、収量は収量構成要素のうち精果実数および最終葉冠数と高い相関関係を示したと考えられる。同様の傾向は既報¹⁾の窒素施肥量を変化させた場合にも推定されることであって、この場合には、窒素施肥量の増加に対応して、収量と分枝茎数とともに増加する傾向を示した。以上の事実からみると、最終葉冠数は、移植時期、栽植密度および窒素施肥量の変更といった比較的異なる条件下であってもトウビシの収量を変動させる共通した要因となると考えられる。一方、1葉冠精果実数は本報においては変動が小さかったが、既報においては水田栽培の場合には変動し、水槽栽培では変動が明らかでなく、栽培条件によってその影響の現れ方が変化することが考えられる。したがって、現段階においては、1葉冠精果実数が収量に及ぼす影響については必ずしも明らかとはいえない。1葉冠精果実数は、1葉冠に形成された花芽が開花結実することを通じて決定されることから葉冠における花芽形成、開花結実習性と密接に関連することが予想される。ただし、この点に関しては今後、より詳細に検討を加える必要があろう。

ヒシの個体群に関しては、植物生態学的に群落形成経過を解析した報告^{11,12,14)}が数例みられるのみで収量成立に関連して農学的な視点から取り上げた報告^{7,9)}は極めて少ない。本報では個体群の動態をとくに葉冠数の変動に着目して観察した。そこで、この点について最終葉冠数の決定機構と関連して以下に検討を加えた。すなわち、葉冠数の推移(第1図)からみると最終葉冠数は以下の3つの時期を順次経過して決定されるとみられた。移植後から葉冠数が増加して最高葉冠期に達するまでの期間(第1期)、最高葉冠期直後において葉冠数が減少する期間(第2期)、および葉冠の減少が停止して葉冠数がほとんど一定となって推移する期間(第3期)がその3時期である。最終葉冠数は、上述の第3期の葉冠数によって示されることになるが、この数の多少は第1期における葉冠数の増加の程度と第2期における葉冠数の減少程度の両者によって影響を受けるものと考えられる。ところで、本報の観察の結果、最終葉冠数は最高葉冠期の早晚と負の、最高葉冠数と正の高い相関関係にあたるということが認められた。このことは、第1期および第2期の葉冠数の変化のうち第1期における葉冠数の増加程度が最終葉冠数の決定に大きく影響していたことを示している。さらに、著者らは、本報において最高葉冠期が早まる場合には、収量も高くなる傾向を示すことを明らかにした。以上の事実は、トウビシにおいては茎葉の発育とくに最高葉冠期以前の初期発育の程度が収量の成立と密接に関連しつつ展開することを示すものと考えられる。したがって、本報の結果からみる限り、より多くの収量を得るためには、早期移植あるいは密植などの方法によって最高葉冠期を早め、最高葉冠数を多くし、最終葉冠数を確保することが必要条件と考えられる。

謝 辞：本研究を実施するにあたり、佐賀県農業試験場の中村大四郎生産技術部長からは有益な助言をいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

引用文献

1. 有馬 進・田中典幸・松本和大 1989. ヒシの発育形態と生産に関する研究. 第7報 窒素施肥がトウビシの生育収量に及ぼす影響. 日作九支報 56 : 92—96.
2. Arima, S., N. Tanaka and F. Kubota 1990. Growth of vegetative organs in water chestnut (*Trapa bispinosa* Roxb.). Bull. Fac. Agric. Saga Univ. 68 : 49—64.
3. Bharadwaj, K. and V. Chandra 1980. Water chestnut (*Trapa*): A supplement to cereals and a conserver of riverine waste lands. Biol. Mem. 5 (1) : 5—12.
4. Couillault, J. 1972. Organisation de l'appareil conducteur de *Trapa natans* L. Bull. Soc. Bot. Fr. 119 : 177—198.
5. Gibelli, G. and F. Ferrero 1895. Ricerche di anatomia e morfologia intorno allo sviluppo del fiore e del frutto della *Trapa natans* L. Malpighia 9 : 3—61.
6. Kadono, Y. 1987. A preliminary study on the variation of *Trapa* in Japan. Acta Phytotaxon. Geobot. 38 : 199—210.
7. Mazumdar, B.C. 1985. Water chestnut. Wld. Crps., 37, 2 : 42—44.
8. Miki, S. 1952. *Trapa* of Japan with special reference to its remains. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. D : 1—29.
9. 百島敏男・中村大四郎 1978. ヒシに関する研究. 佐賀県農業試験場研究報告 19 : 85—111.
10. Nakano, H. 1964. Further studies on *Trapa* from Japan and its adjacent countries. Bot. Mag. Tokyo 77 : 159—167.
11. Tsuchiya, T. and H. Iwaki 1983. Biomass and net primary production of a floating-leaved plant, *Trapa natans* L., community in lake Kasumigaura, Japan. Jpn. J. Ecol. 33 : 47—54.
12. ————— and ————— 1984. Seasonal changes in photosynthesis and primary production of a floating-leaved plant, *Trapa natans* L., community in lake Kasumigaura, Japan. Jpn. J. Ecol. 34 : 367—374.
13. Smith, R.H. 1955. Experimental control of water chestnut (*Trapa natans* L.) in New York State. New York Fish Game 2(2) : 173—193.
14. Unni, K.S. 1984. Seasonal changes in growth and organic matter production of *Trapa bispinosa* Roxb. Tropic. Ecol. 25(1) : 125—133.