

トウビシの生育と収量成立に関する研究

第2報 立葉群落の形成、開花および精果実数の関係*

有馬 進・原田 二郎・田中 典幸

(佐賀大学農学部)

1991年7月31日受理

要 旨 : 水田に栽培したトウビシ (*Trapa bispinosa* Roxb.) の葉群落形成の遅速と収量成立の関係を解明するために、ビニールハウス、遮光および露地の栽培条件と施肥の有無を組み合わせた異なる6条件下で検討を行った。その結果、各条件で立葉群落の形成速度が異なり、最終葉冠数は最高葉冠期が早まるほど増加する傾向を示した。また、浮葉群落から立葉群落への移行および立葉群落の完成時期は、ハウス区、露地区、遮光区の順に早まり、同じ栽培条件では施肥によって早まった。一方、開花開始期にも最高葉冠期の遅速に対応した約20日の早晩を認めた。さらに、収量は、立葉群落の形成が早まるほど多くなる傾向を示し、506~1190 gm⁻² の範囲で変異した。

その場合、1葉冠当り積算開花数の増加は開花の早晩にかかわらずほぼ一定の時期に停止し、積算開花数は開花開始期の早晩と高い相関関係を示した。また、最高葉冠期と開花開始期、および積算開花数と1葉冠精果実数の間にそれぞれ高い相関関係が認められた。したがって、1葉冠精果実数の増加は、初期生育が旺盛で立葉群落の形成が早まり、開花開始期が早まった場合に開花期間が長期化して、1葉冠当りの積算開花数が増加することによって実現することが明らかとなった。

キーワード : 遮光栽培、収量、水温、水田栽培、トウビシ、ハウス栽培、ヒシ。

Growth and Yield Performance of the Water Chestnut (*Trapa bispinosa* Roxb.) II. Relationship among the canopy formation of emerged leaves, flowering and the number of valuable fruits : Susumu ARIMA, Jirou HARADA, Noriyuki TANAKA (*Fac. Agric. Saga Univ., Honjou, Saga 840, Japan*)

Abstract : The relationship between the canopy formation and yield performance of *Trapa bispinosa* Roxb. in paddy fields was investigated under the following six conditions : vinyl house culture (VH) ; shade culture (SC) ; and open field culture (OP) ; with and without fertilizer (F).

The speed of the canopy formation varied with treatments, and the formation of the complete canopy of emerged leaves was hastened in the following order : VH+F>VH>OP+F>OP>SC+F>SC. The number of productive rosettes tended to increase corresponding to the earliness of the maximum rosette number stage. Furthermore, the variation at about 20 days was observed during the first flowering time to correspond to that during the maximum rosette number stage. Yield varied from 506 to 1190 gm⁻² and increased under the condition of early canopy formation. The cumulative number of flowers per rosette ceased to increase at the same time, regardless of the timing of the first flowering, which showed a significant correlation with the timing of the first flowering. Also, high correlations were seen between the maximum rosette number stage and the first flowering, and between the cumulative number of flowers and the number of valuable fruits per rosette.

Therefore, it can be proved that the increase in number of valuable fruits per rosette depends on the increase in the cumulative number of flowers per rosette owing to a prolonged flowering period, which arises from the promotion in canopy formation and commencement of flowering.

Key words : Fertilization, Paddy field cropping, Shade culture, *Trapa bispinosa* Roxb., Vinyl house culture, Water chestnut, Water temperature, Yield.

著者らは、前報³⁾において栽植密度および移植時期を変えてトウビシを水田に栽培し、収量の成立と葉冠数の変化との関係について検討を行った。その結果、収量は精果実数、とくにその構成要素の1つである最終葉冠数と高い相関関係を示すことを明らかにした。また、最終葉冠数は最高葉冠数と関係が深く、収量は生育初期の葉冠数の増加程度と密接に

関連することを指摘した。しかし、前報では精果実数の構成要素である1葉冠精果実数についてはその変異が小さく十分な検討ができなかった。

そこで、本報では栽培条件と施肥量の組み合わせによって生育速度を異にして栽培した個体群において、精果実数、とくに1葉冠精果実数の決定機構について検討を行った。その場合、個体群の生育速度を葉冠数、被度の推移、抽水葉(立葉と呼ぶ)²⁾の発生によって解析し、また、開花結実を通じて1葉冠精果実数の決定と関係すると考えられる開花開始期

* 大要は第190回講演会(1990年10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。

と1葉冠当りの開花数の関係についても解析を行った。

材料と方法

トウビシ (*Trapa bispinosa* Roxb.) を供試し、1989年に佐賀大学農学部本庄水田において移植栽培を行った。育苗と移植方法は既報³⁾と同様とし、移植は5月26日に行った。

試験区には、露地栽培、ハウス栽培および遮光栽培の3条件、各条件下に施肥区と無施肥区の2条件を組み合わせた6試験区を設定した。施肥区には $N:P:K=4:4.6:4 \text{ gm}^{-2}$ 相当量の元肥を施した。各試験区には、代掻き後、波板を用いて 2.25 m^2 ($1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$) に区割りし、施肥区と無施肥区を露地栽培区では各30区画、ハウス栽培区では各32区、遮光栽培区では各30区ずつ設置した。ハウス栽培区は水田に組み立てた透明ビニール張りのパイプハウス(奥行 $28 \text{ m} \times$ 間口 9 m 、高さ 3 m) 内に設けた。ビニールハウスは5月25日から8月3日まで設置し、それ以降は撤去した。遮光栽培区は、 $20 \text{ m} \times 14 \text{ m}$ 、高さ 1.5 m の枠組みに、遮光率50%の寒冷紗を全生育期間を通して水面まで張り、その内部に設置した。各栽培区における温度は、試験区のほぼ中央において水面上 3 cm の気温と水面下 1 cm の水温を熱電対を用いて連続的に測定した。また、葉群生の形成速度をみるために、葉冠数、浮葉による水面の被度ならびに立葉による水面の被度(以下立葉被度とする)を定期的に測定した。

開花開始期(1個体の全花蕾のうち初めて開花が確認された日)と開花数の関係を見るために、8月上旬から10月上旬までの約2カ月間にわたり開花調査を実施した。調査は、毎日午前9時頃と午後4時頃における開花中の花芽の数を数えた。その際、各葉冠にビニール紐でマーキングして調査葉冠の重複を避けた。ただし、花芽は調査時以外の時間帯にも開花したため、得られた積算開花数は処理区間の相対的な開花の進行程度を示すものである。

収量は、11月2日から11月4日の間に全果実を手取りし、前報³⁾に準じて精果実重と精果実数を調査した。

結 果

1. 生育環境の推移

ハウス区では透明ビニールをかけた移植後から8月3日までは、最高気温・水温ともに露地区よりも

5°C 以上高くなり、早朝の最低水温においても $4\sim5^\circ\text{C}$ 高めに推移した(第1図)。一方、遮光区では生育期間を通じて最高気温・水温はともに露地区よりも $3\sim4^\circ\text{C}$ 低く推移したが、最低気温・水温はほとんど変わらなかった。なお、ハウス区では処理期間中照度が約15%低下した。

2. 立葉群生の形成

1) 葉冠数の推移: 葉冠数(第1表)は、いずれの区においても、移植後から最高葉冠期に達するまで増加し、その後わずかに減少した後、やや増加してほぼ安定した。最高葉冠期は、露地区が8月上旬であったが、ハウス区では露地区より約2週間早まり、遮光区では露地区より約1週間遅れた。また、各施肥区では同じ栽培条件の無施肥区よりも約1週間早まった。したがって、全試験区を通じて見ると、ハウス施肥区、ハウス無施肥区、露地施肥区、露地無施肥区、遮光施肥区、遮光無施肥区の順に最高葉冠

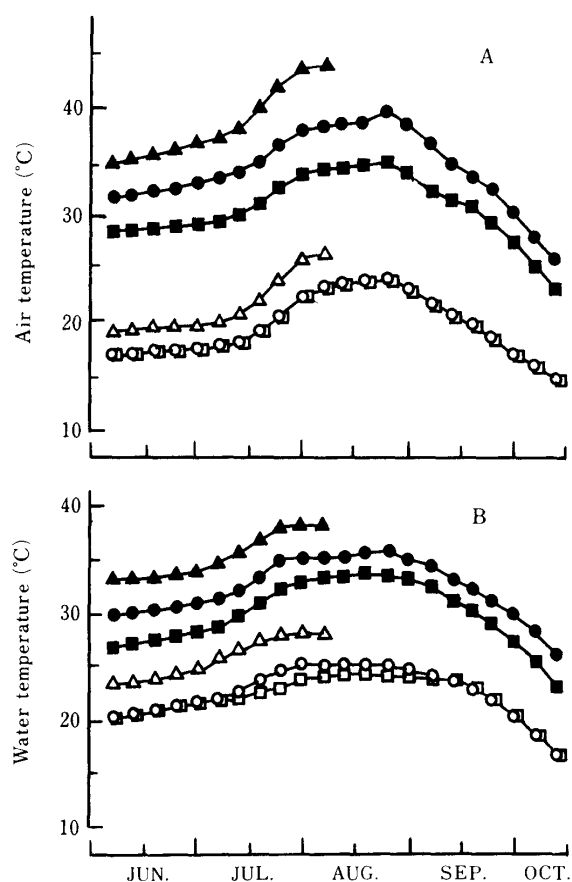


Fig. 1. Changes in air (A) and water (B) temperature.

△▲: vinyl house culture, ○●: open field culture, □■: shade culture.
▲●: maximum temperature, △○□: minimum temperature.

Table 1. Changes in the number of rosettes per unit area (m^{-2}).

Treatment*	June			July						Aug.						Sep.		Percentage of productive rosettes	
	13	20	27	4	11	18	21	25	29	1	4	8	11	17	24	29	4		10
VH +F	4	8	15	27	31	<u>36</u>	31	28	27	29	30	30	30	30	30	30	30	30	82.7
VH	1	2	5	9	14	23	28	<u>35</u>	33	30	27	28	30	29	29	29	29	29	83.3
OP +F	1	2	3	6	9	14	17	25	32	<u>36</u>	31	26	28	29	28	28	28	28	78.0
OP	1	1	2	3	6	8	10	13	18	20	25	<u>33</u>	30	29	28	28	28	28	91.3
SC +F	1	1	2	3	5	7	10	13	17	19	24	25	<u>26</u>	25	24	24	24	24	93.0
SC	1	1	1	2	3	4	7	9	11	13	16	19	20	<u>22</u>	21	20	20	20	95.7

1) *: VH; vinyl house culture, OP; open field culture, SC; shade culture, F; fertilization.

2) Underlined figures show the number of maximum rosettes in each maximum rosette number stage.

3) The values on 10 Sep. indicated the number of productive rosettes.

4) Percentage of productive rosettes = (the number of productive rosettes) ÷ (the maximum number of rosettes) × 100.

期に達した。

最高葉冠数は露地施肥区、ハウス施肥区およびハウス無施肥区がほぼ同数であったが、露地無施肥区、遮光施肥区、遮光無施肥区の順に、すなわち、最高葉冠期の遅れにともなって少なくなる傾向を示した。

最終葉冠数は、最高葉冠期を早く迎え最高葉冠数が多かった場合に多くなる傾向を示した。

2) 被度と立葉被度の推移: 被度 (第2図 A) は、移植後、次第に増加し、7月中下旬以降に100%に達した。その時期は、ハウス区で最も早く、露地区、遮光区の順に遅くなり、区間において約1カ月の遅速がみられた。また、いずれの栽培区においても施肥区が無施肥区より約1週間早かった。立葉被度 (第2図 B) はそれぞれの区で最高葉冠期に達した直後から増加し始め、約1カ月後に100%に達した。したがって、立葉の発生が早く始まった区ほど、立葉群落の完成時期も早くなった。また、立葉群落の完成時期は最高葉冠期と高い相関関係 ($r=0.926^{**}$) を示した。

3. 開花期間と開花数の関係

開花は立葉群落の形成期間中の8月上中旬に始まった。開花開始期は露地区に比較してハウス区では12~15日早く、遮光区では3~6日遅くなった (第2表)。また、同一栽培条件においては、無施肥区より施肥区が3~6日ほど早くなる傾向を示した。したがって、開花開始期は立葉群落の形成が速く進行した区において早まる傾向を示し、最高葉冠期の早晩とも相関関係 (第3表) を示した。

開花開始期の早晩と1葉冠当りの総開花数との関係を知るため、すべての区の中から開花開始期が10

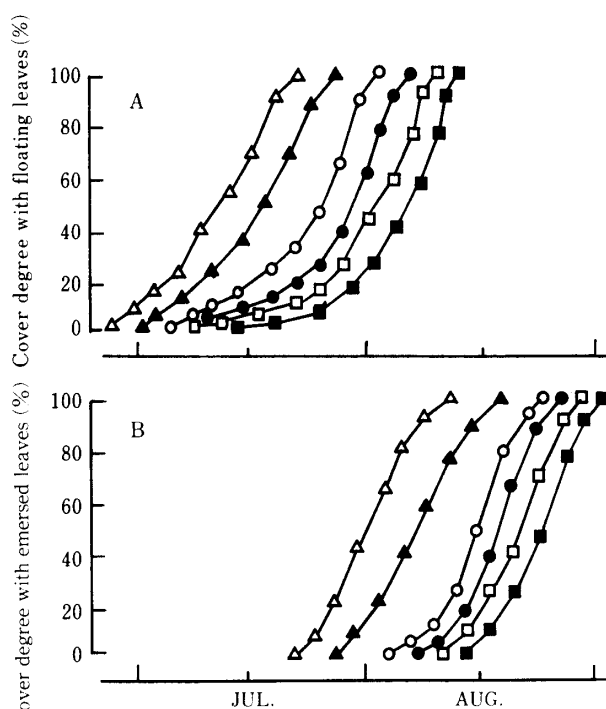


Fig. 2. Changes in cover degree with floating leaves (A) and emerged leaves (B).

△: vinyl house culture + fertilization, ▲: vinyl house culture, ○: open field culture + fertilization, ●: open field culture, □: shade culture + fertilization, ■: shade culture.

日ずつ異なる区を選び各開花開始期からの1葉冠当りの積算開花数の推移 (第3図) をみた。積算開花数はいずれの時期に開花を始めた場合においてもほぼ同じ速度で増加したが、最高気温が約25°C、最低気温が約15°Cを下回る10月上旬に至ってほぼ一斉に増加を停止した。このため、1葉冠当りの積算開花数は開花開始期の早晩と高い相関関係 (第3表) を示し、開花開始期が早まるほど多くなった。したが

Table 2. Changes in percentage of plots reached the first flowering time.

Treatment*	Aug.											Sep.
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	2
VH +F	0	15	43	75	100							
VH	0	10	30	52	82	100						
OP +F					0	10	32	88	100			
OP						0	5	35	70	94	100	
SC +F							0	20	65	85	100	
SC							0	14	60	82	93	100

*: VH; vinyl house culture, OP; open field culture, SC; shade culture, F; fertilization.

Table 3. Correlation coefficients among maximum rosette number stage and first flowering time.

	First flowering time	Cumulative number of flowers per rosette
Maximum rosette number stage	0.9124**	0.8805**
First flowering time	—	0.8795**

** : significant at the 1% level.

って、1葉冠当りの積算開花数は最高葉冠期とも高い相関関係（第3表）を示し、葉群形成の早い区において増加した。各試験区の積算開花数を露地無施肥区を100とした比率により比較した結果（第4図）、積算開花数は、ハウス区では約50～60%増加したが、遮光区においては15%以上減少した。また、露地区とハウス区の各施肥区で16～34%増加したが、遮光施肥区での増加はわずかであった。

4. 収量および収量構成要素

収量（第4表）は、506～1190 gm⁻²の変異を示した。露地無施肥区の収量を100として変異の様相をみると、ハウス区では30～40%高く、遮光区では30～60%低くなった。また、同一栽培条件下では施肥区が無施肥区を上回った。収量構成要素についてみると、平均精果実重は、18.6～20.9 gの範囲で必ずしも大きな変異を示さなかったが、精果実数は、収量と同様の変異を示した。また、1葉冠精果実数と最終葉冠数は、いずれも精果実数と同様の変異を示した。精果実数の変異は、精果実数の多かったハウス区と露地施肥区では主として1葉冠精果実数の顕著な増加によるものであり、精果実数の少なかった遮光区では主として最終葉冠数の減少によるものであった。

5. 立葉群落形成の遅速と開花および収量構成要素の関係

栽培条件の違いによって収量の変化させた場合

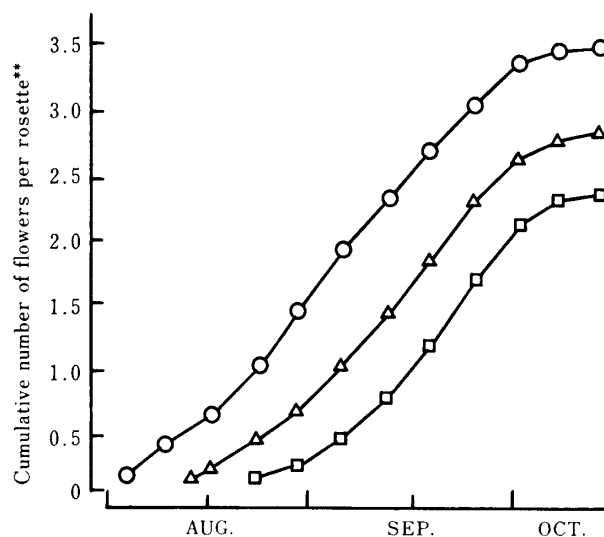


Fig. 3. Relationship between the first flowering time and the cumulative number of blooming flowers per rosette.

The first flowering time: ○; 3 Aug., △; 13 Aug., □; 23 Aug.

** : the cumulative number of flowers observed in the period from the first flowering time to 14 Oct. Values are means of three plots.

Table 4. Yield and yield components.

	Treatment*					
	VH+F	VH	OP+F	OP	SC+F	SC
Yield (gm^{-2})	1190 \pm 89 (173)	985 \pm 68 (143)	952 \pm 47 (139)	686 \pm 64 (100)	563 \pm 32 (82)	506 \pm 28 (74)
Total weight of all fruits (gm^{-2})	1296 \pm 86 (175)	1039 \pm 69 (140)	994 \pm 48 (134)	740 \pm 70 (100)	601 \pm 41 (81)	548 \pm 33 (74)
Percentage of valuable fruits weight (%)	92	95	95	93	94	92
Mean weight of valuable fruits (g/fruit)	20.9 \pm 0.7 (107)	18.6 \pm 0.9 (95)	19.8 \pm 0.4 (101)	19.6 \pm 0.4 (100)	18.8 \pm 0.7 (96)	18.8 \pm 0.9 (96)
Number of valuable fruits (m^{-2})	57 \pm 7 (163)	53 \pm 5 (151)	48 \pm 2 (137)	35 \pm 4 (100)	30 \pm 3 (85)	27 \pm 3 (77)
Total number of all fruits (m^{-2})	76 \pm 7 (162)	70 \pm 6 (148)	61 \pm 3 (130)	47 \pm 5 (100)	43 \pm 4 (91)	41 \pm 4 (87)
Percentage of valuable fruits number (%)	75	76	78	75	70	67
Number of valuable fruits per rosette	1.9 \pm 0.2 (146)	1.8 \pm 0.1 (138)	1.7 \pm 0.1 (131)	1.3 \pm 0.2 (100)	1.2 \pm 0.1 (92)	1.2 \pm 0.1 (92)
Number of productive rosettes (m^{-2})	29.8 \pm 1.6 (108)	28.9 \pm 2.9 (104)	28.0 \pm 2.4 (102)	27.6 \pm 1.5 (100)	24.0 \pm 2.4 (87)	20.0 \pm 1.6 (72)

1) *: VH; vinyl house culture, OP; open field culture, SC; shade culture, F; fertilization.

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

3) Number in parentheses are shown in percentage of compact to open field culture.

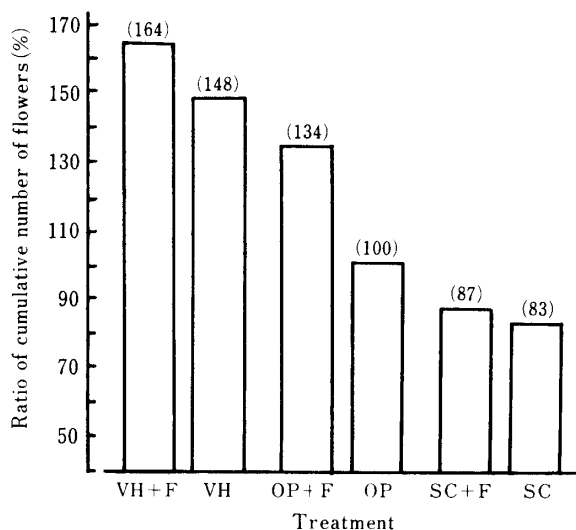


Fig. 4. Ratio of cumulative number of flowers. Numerals in parentheses indicate the percentage to the value of OP. VH; vinyl house culture, OP; open field culture, SC; shade culture, F; fertilization.

も、収量は、精果実数、1葉冠精果実数および最終葉冠数と高い正の相関関係を示し、平均精果実重とは明確な関係を示さなかった(第5表)。また、収量および精果実数は最高葉冠期および開花開始期と高い負の相関関係を示し、積算開花数ともきわめて高い

正の相関関係を示した。

考 察

トウビシの水田移植栽培⁴⁾をハウス栽培、遮光栽培および露地栽培で施肥の有無を組み合わせた6条件下で行った結果、既報^{1,3)}と同様に平均精果実重の変動は小さく、収量は主として精果実数によって変化した。このことは平均精果実重が収量成立に際して比較的安定した要素であることを示していると考えられる。一方、精果実数は、最終葉冠数および1葉冠精果実数のいずれとも相関関係を示した。この点は、最終葉冠数のみが精果実数と密接な関係を示した前報³⁾と異なる点である。このように1葉冠精果実数と精果実数の関係が栽培条件によって変化する原因については現在のところ必ずしも明らかでない。しかし、その原因の1つには本研究の場合には前報の場合に比較して1葉冠精果実数の変動が大きかったことが考えられる。そこで本研究においては最終葉冠数と1葉冠精果実数がともに変動する場合に、1葉冠精果実数が葉群の変化、開花開始時期および開花期間など植物体の生育とどのような関係のもとに変動するかという点について考察した。

まず、開花開始期についてみると、本研究の処理によって開花開始期には約20日の区間差異が生じ

Table 5. Correlation coefficients among yield components and growth indexes.

	Yield (gm^{-2})	Number of valuable fruits (m^{-2})	Number of valuable fruits per rosette	Number of productive rosettes (m^{-2})	Fresh weight of valuable fruit
Yield (gm^{-2})	—	0.9669**	0.8564**	0.8409**	0.1049 N. S.
Cumulative number of flowers per rosette	0.9623**	0.9809**	0.9617**	0.8057**	0.3061 N. S.
Maximum rosette number stage	-0.9094**	-0.8899**	-0.8031**	-0.7692**	-0.1339 N. S.
First flowering time	-0.8730**	-0.8437**	-0.7795**	-0.7056**	-0.0439 N. S.

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

た。一方、開花開始期の早晩と1葉冠当りの積算開花数の間には密接な関係が認められ(第3表),また、積算開花数は開花開始期の早晩にかかわらず、ほぼ一定の時期に達するとその増加を停止することが明らかになった(第3図)。これらのことは1葉冠精果実数が各葉冠の開花期間の長さ、また、開花期間の長さが開花開始期の早晩と密接に関係していることを示唆するものである。1葉冠精果実数は1葉冠積算開花数と結実率によって変化すると考えられるが、本研究では結実率については観察を行わなかった。また、1葉冠積算開花数はその測定方法上の制約から正確な数としては示し得なかった。しかし、1葉冠当りの積算開花数と精果実数の間に密接な相関関係(第5表)が認められたことは、上記の推察を裏付けるものと考えられる。

それでは、開花開始期の早晩はどのような要因と関連して変化するであろうか。開花開始期の早晩には催花時期の早晩の影響が大きいと考えられるが、この点の究明には花芽形成に関する生理学的な解析が必要になろう。ただし、この問題に関連して本研究では開花開始期と葉群形成の関係が注目された。すなわち、いずれの処理区においても開花開始期は被度の増加が早く葉冠が早期に密集した状態に達した場合に早まった。また、開花開始期は最高葉冠期の早晩とも高い相関関係を示した。一方、前報³⁾で明らかのように最高葉冠期の早晩は生育初期における葉冠の増加速度の影響を少なからず受けることが示されている。以上の事実から考えると、本研究で認められた開花の促進は、“込み合い効果”⁵⁾の結果として生じたのではないかと考えられる。すなわち、

生育の比較的早い時期における葉冠の密集、被度の増加が催花を促進し、このために開花が早まったのではないかと考える。ただし、この点は本研究の結果からは推察の域を出るものではなく、今後の詳細な検討が必要である。

以上のことから、1葉冠精果実数は、開花開始期を介して最高葉冠期の早晩と密接に関係していることが明らかとなった。また、最高葉冠期の早晩は最高葉冠数と密接な関係にあり³⁾、同様の傾向は本研究においても認められたことである。したがって、これらの事実は1葉冠精果実数が生育後半の開花結実期を経て決定されるのにもかかわらず、最高葉冠期以前の生育前半における生育の旺盛さによって大きな影響を受けていることを示していると考えられる。

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. 日作九州支部報 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. 有馬 進・田中典幸・原田二郎・松本和大・窪田文武 1992. 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. 日作紀 62(2): 223—228.
4. 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.
5. 山田常雄 1989. 生物学辞典第3版. 岩波書店. 東京. 437.