

トウビシの生育と収量成立に関する研究

第4報 花芽の着節様式および分枝茎の果実生産力について*

有馬 進・原田 二郎・田中 典幸

(佐賀大学農学部)

1992年1月31日受理

要 旨 : 水田に栽培したトウビシ (*Trapa bispinosa* Roxb.) 個体について, 分枝茎構成が精果実の生産に及ぼす影響を明らかにするために, 茎軸上の花芽の着節様式, 各構成茎について花芽数, 開花開始日の早晚および精果実数を調査した。また, 栽植密度および時期を変えて遮光した場合の花芽の着節様式の変化についても検討した。

各茎軸においては, 花芽の着生した1~2節(有花節部)と花芽の着生しない4~10節(無花節部)が交互に連続した着節様式を示した。その場合, 無花節部の節数は上位節になるほど減少する傾向を示し, 低位の有花節部における開花前期に開花する果実の成熟条件が優れていることが推定された。

茎間の生産力を比較したところ, 低次位で母茎の低節位から早期に発生した茎ほど精果実数が多くなり, 高い生産力を示した。このような茎では開花前期に開花する果実数が相対的に多くなることによると考えられた。さらに, 栽植密度と遮光時期を変更した結果, 栽植密度が7.1本/m²より少ない時, あるいは6月に早期遮光を行った場合, 第1花芽の着生節位が高くなった。それは, 分枝茎構成において低次位, 低節位分枝の比率が減少したことによると考えられた。

したがって, 分枝茎構成の低次位化および早期に発生する分枝茎の増加は, 精果実数を確保し, 多収を得るために重要であることが明らかとなった。

キーワード : 花芽の着節様式, 分枝茎, 果実生産力, 栽植密度, 遮光, トウビシ, ヒシ。

Growth and Yield Performance of the Water Chestnut (*Trapa bispinosa* Roxb.) IV. Distributing pattern of flower buds and fruit productivity of branch : Susumu ARIMA, Jiro HARADA and Noriyuki TANAKA (Faculty of Agriculture, Saga University, Honjou, Saga 840, Japan)

Abstract : To clarify the influence of the composition of stems on valuable fruits production of a plant of *Trapa bispinosa* Roxb. cultivated in paddy fields, the distribution and the number of flower buds, the first flowering time and the number of valuable fruits on each stem were investigated. Their changes by planting density and the timing of shading were also examined.

A significant distributing pattern of flowers was observed in every stem where 1 to 2 nodes having flower buds (flower nodes : FN) and 4 to 10 nodes not having flower bud (non-flower nodes : NFN) succeeded alternately. In this pattern, the number of NFN per NFNG (non-flower node group) showed a tendency to decrease at higher parts of a stem. Therefore, the condition for fruit ripening conditions at lower FN, in which the flowers bloom at the early flowering stage, was assumed to be better than that at upper FN. When the fruit productivity of each stem was compared, the lower the nodes along the mother stem from which the stem emerged, the larger the number of valuable fruits produced on the stem, and the higher the productivity. Among these stems, the number of fruits which had started their ripening in the early flowering stage was considered to be larger. Moreover, as a result of low planting density (below 7.1/m²) and early shading in June, the first FN on every stem became higher. Therefore, the percentage of stems of lower branching order and from lower nodes would decrease in the plants.

In consequence, it was clarified that the lowering of branching order and the increasing of the stems emerging at an early stage in the stem composition are important factors for the production of a large number of valuable fruits and for the increase in the yield of a plant.

Key words : Branch, Distributing pattern of flower buds, Fruit productivity, Planting density, Shading, *Trapa bispinosa* Roxb., Water chestnut.

著者らは既に水田に栽培されたトウビシの収量成立機構について解析し^{2,3)}, 収量は精果実数と, 精果

実数は開花の開始時期と, 密接な関係のもとに変動することを示した。また, 前報⁴⁾において開花開始期が早まれば有効開花期間が延長され, 精果実生産係数の高い8月中に多くの花が確保できることとなり, その結果, 精果実数が増加することを指摘した。

* 大要は第189回講演会(1990年4月), 第191回講演会(1991年4月)において発表。本研究は文部省科学研究費によるものである。

しかし、前報でふれたようにトウビシの花芽は、1葉冠の茎軸上の全節に形成されるわけではないため、有効開花期間中に得られる各葉冠の開花数を予測するには、茎軸上に花芽がどのように分布するかを明らかにする必要がある。そこで本報では、茎軸上における花の着節様式について観察を行った。

また、トウビシの個体は分枝次位や発生時期の異なる多数の分枝茎によって構成されており、各分枝茎における花芽の形成数、開花開始日の早晚、および果実生産力は異なっていることが予想される。そこで、これらの点についても検討を進めた。さらに、栽植密度と遮光条件が各分枝茎の開花開始日の早晚に及ぼす影響を調査した。

以上の観察を通じて本研究では、個体の果実生産力がどのような要因によって影響を受けているのかについて検討を行なった。

材料と方法

材料には1989年および1990年に佐賀大学本庄水田において移植栽培したトウビシ (*T. bispinosa* Roxb.) を用いた。

1. 茎軸上における花芽の着節様式の観察

水田に2.25 m² (1.5 m×1.5 m) の区画を10区画設営し、茎長約60 cmの苗を5月20日に1区画に1本ずつ(栽植密度:0.44本/m²)移植し、常法³⁾によって栽培した。花芽の着節様式の調査は、8月15日前後に開花開始期に達した葉冠に印をつけておき9月10日に全区から無作為に220葉冠を採取して行った。その場合、1つの葉冠のすべての節を観察の対象とし、肉眼観察によって花芽、花および果実のいずれかが着生している節はすべて花芽の発生した節(有花節と呼ぶ)とみなし、また、それ以外の節を花芽の発生しなかった節(無花節と呼ぶ)として、それぞれの節位を各茎の最初に形成された花芽(第1花芽と呼ぶ)の発生節位を基準として記録した。

2. 茎間における開花開始日、花芽数、精果実数の比較

1) 1個体を構成する各茎の開花開始日の比較には、水田に3 m² (1.73 m×1.73 m) の区画を6区画設営し、茎長約60 cmの苗を6月15日に1区画1本ずつ(栽植密度:0.33本/m²)移植し、常法によって栽培した材料を用いた。調査は各茎の第1花芽の開花日を記録した後、すべての葉冠の第1花芽の開花終了後、茎が切れないように留意して全植物体を水田から引き上げ各分枝茎の次位と発生節位を観察

した。各茎の表示は、移植茎を主茎とし、主茎から発生した分枝を1次分枝茎、1次分枝茎から発生した分枝を2次分枝茎として、以下同様に3次分枝茎、4次分枝茎とした。各茎の開花開始日は、1個体中で最初に開花した茎を1とし、その他の茎では開花日の遅れを日数の増分として示して早晚を比較した。

2) 1個体を構成する各茎の花芽数、精果実数および精果実生産効率の比較には、水田に2.25 m² (1.5 m×1.5 m) の区画を5区画設営し、茎長約60 cmの苗を5月20日に1区画に1本ずつ(栽植密度:0.44本/m²)移植し、常法によって栽培した材料を用いた。調査は、10月20日に各葉冠を採取し、精果実数を調査すると共に、上記1.と同様にして茎軸に着生した花芽、花および果実または各着生痕によって花芽の形成数を推定した。葉冠を採取した後に各区画内に残された茎部は、上記2.1)と同様に水田から引き上げて各茎の発生節位を測定した。また、各茎の発生節位を花芽数と精果実数に対応させることにより、各茎の精果実生産効率(1茎当りの精果実数/花芽数×100:%)と発生節位の関係を示した。

なお、2.における各分枝茎の発生節位および第1花の着生節位は、主茎最下節位から各次位の分枝茎を経て母茎上の当該節位に至る総節数によって表示した。

3. 生育条件による第1花芽の着生節位の変化

生育条件としては開花開始期に影響を及ぼすとみられた^{2,3)}栽植密度と光量の減少時期を変化させた。

1) 栽植密度処理では、水田に2.25 m² (1.5 m×1.5 m) の区画を21区画、6.75 m² (1.5 m×4.5 m) の区画を3区画設け、栽植密度を8段階(0.13, 0.4, 0.8, 1.7, 3.6, 7.1, 14.3, 28.6本/m²;3反復)に変化させて5月20日に移植し、常法によって栽培した。調査は1.7本/m²区の約半数の葉冠の第1花芽が開花を開始した8月10日に各区から約90個の葉冠を採取し、各葉冠の茎軸上における第1花芽の着節節位を観察した。

2) 遮光時期を変化させた処理では、水田に6.75 m² (1.5 m×4.5 m) の区画を15区画設け、栽植密度を0.44本/m²として5月20日に移植した。処理は遮光率50%の寒冷紗を用いて、異なる4期間の遮光(全期間区:6/1~8/22, 6月区:6/1~6/25, 7月区:6/26~7/20, 8月区:7/26~8/20, 3反復)を行ない、また無処理区も設けた。調査は、6月遮光区の葉冠の約半数が開花を開始した8月22日に各区から約90個の葉冠を採取し、第1花芽の着節節位を観察した。

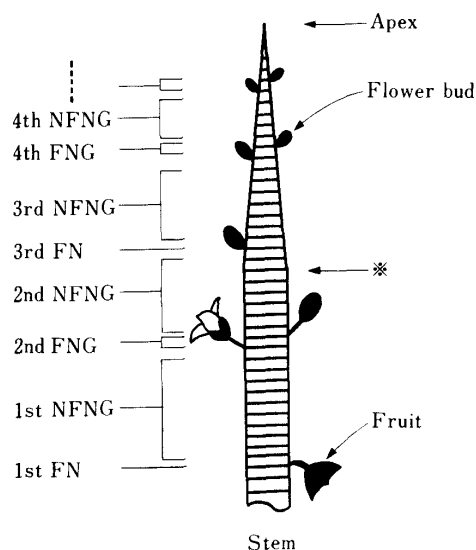


Fig. 1. Distributing pattern of flower buds and fruits along a stem.

FN: "Flower node", the node at which a flower bud was formed.

NFN: "Non-flower node", the node at which a flower bud was not formed.

FNG: "Flower node group" consisting of 1 or more flower nodes.

NFNG: "Non-flower node group" consisting of 1 or more non-flower nodes.

*: Node of lamina opening.

なお、3.における第1花芽の着節節位は、展開中の葉の節位を基準とし、前報⁴⁾に準じて表示した。

結 果

1. 茎軸上における花芽の着節様式

トウモロコシは、生育期間を通じて茎頂において絶えず新しい葉原基および節を形成し、各葉腋に1つの側芽を着生させた。生育前半に形成された側芽はすべて栄養芽であり、その一部は分枝となったが、生育中期以降に形成された節には数節毎に栄養芽に代わって1個ないし複数個の花芽が着生した。したがって、生育後期における茎軸においては、2節内外の有花節と個数の無花節が交互に現れる着節様式(第1図。以下、無花節の連続している部分を無花節部、無花節によって隔てられている1個ないし複数個の有花節を有花節部と呼ぶ)を示した。

開花開始期が8月15日前後であった葉冠の茎軸上には、有花節部は最多で6部あり、合計約10個の花芽が着生した。1つの有花節部に連続した有花節数(第2図、左)は、1ないし2節の場合が多く、平均すると1.6節であった。また、9月下旬に開花に達

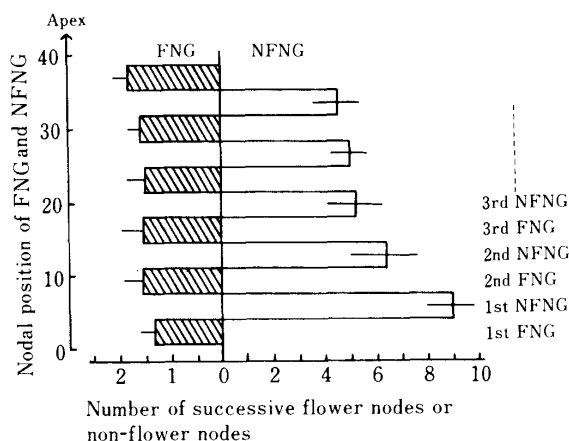


Fig. 2. The change of the number of successive flower nodes and non-flower nodes composing a FNG and a NFNG toward the shoot apex on a stem.

FNG, NFNG: See Fig. 1. Numbered acropetally from the node of the first flower along a stem. Bars indicate S.E.

するとみられる最上位の有花節部には有花節が3節連続する例が認められた。一方、1無花節部に連続する無花節数(第2図、右)は、節位の上昇にともなって漸減する傾向を示し、下位無花節部においては8ないし10であったが、第5無花節部では4から5節となった。したがって、単位節数当りの有花節数の割合は上位節になるほど増加した。なお、花芽の着節様式の観察は、主茎および各種の分枝茎を区別せずに行ったにもかかわらず、各部の構成節数の変異は比較的小さかった。

2. 茎の種類による開花開始日、花芽数および精果実数の変異

1) 発生節位による開花日の変化

1個体を構成する主茎および多数の分枝茎において開花開始日の早晩を比較してみると(第3図)、異なる茎(葉冠)間で相違が認められた。すなわち、第1に開花日が主茎および第1次分枝、第2次分枝、第3次分枝の順に遅くなる傾向を示した。

そこで、この点を詳細に検討するために、1個体を構成する全ての分枝茎の発生節位と開花日の関係を比較した結果(第4図)、開花は低次位の分枝茎ほど早く、また、いずれの次位の分枝茎においても、母茎の低節位から早期に発生した分枝茎において早く開花する傾向を示した。

2) 分枝茎の発生節位と茎別の精果実生産効率の関係を明らかにするため、分枝茎の1本当りに着生したすべての花芽数と精果実数を分枝茎の発生節位

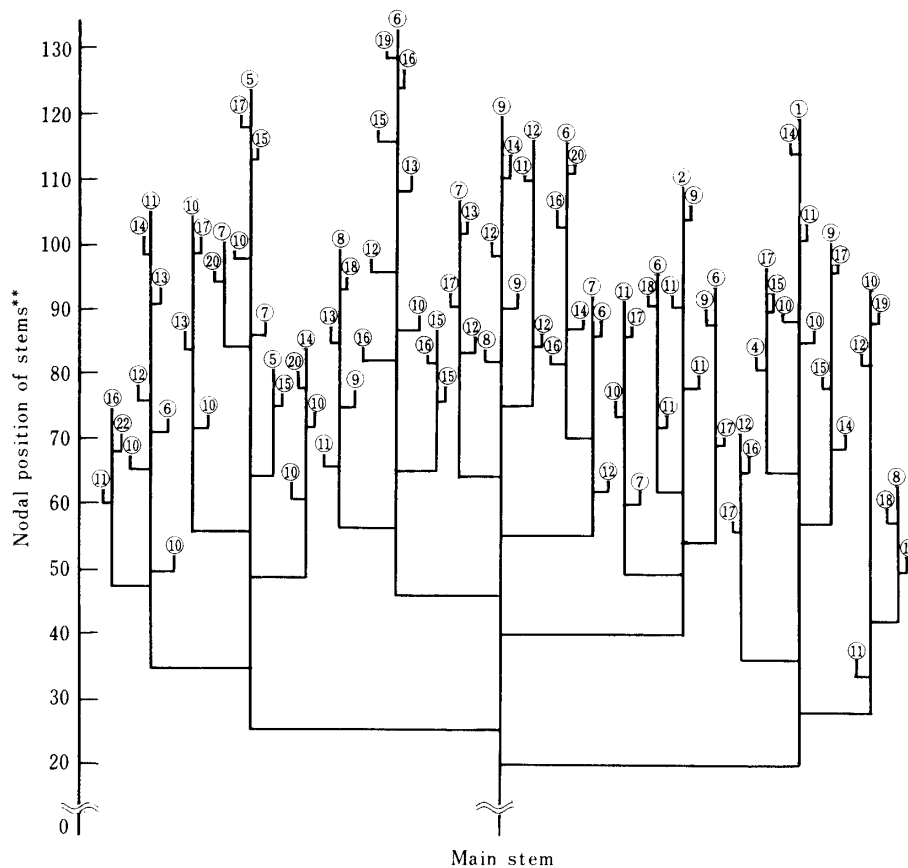


Fig. 3. Relationship between the date* of the first flowering and the nodal position** of stems in a plant (an example).

* : Expressed by the number of days from the first flowering of the plant to the first flowering of each stem and indicated as numerals in circles.

** : Expressed by cumulative number of nodes from the basal node of the main stem to the node at which the branch concerned developed. The branching point of each stem from the mother stem shows the cumulative nodal position of branch.

別にみた。その結果、花芽数は、低節位から早期に発生した分枝茎ほど多く、発生節位の上昇に伴って漸減した（第5図，A）。また、平均精果実数は低節位の分枝茎では3個以上であったが、発生節位が上昇するにしたがって顕著な減少を示した（第5図，B）。そこで、各分枝茎の精果実生産効率を発生節位別に比較したところ、主茎および低節位の分枝茎で高く、高節位から発生した分枝茎になるほど低下した（第5図，C）。したがって、分枝茎は母茎の低節位から発生したものほど花芽数が多く、しかもそれが精果実になる割合が高いため、高い果実生産力を示した。

3. 生育条件による第1花芽の着生節位の変化

1) 栽植密度の影響

異なる8段階の栽植密度間で、移植82日後（8月

10日）に観察した第1花芽の平均着生節位を比較した結果（第6図），第1花芽節は、7.1本/m²区まで栽植密度が増加するにしたがって順次低くなる傾向を示し、それより高密度になっても低下しなかった。すなわち、第1花芽の形成時期は、栽植密度を高めることによってある程度まで早められることが示された。

2) 遮光時期の影響

6月期、7月期、8月期および生育全期間の遮光処理と無処理区において、移植94日後（8月22日）に観察した第1花芽の平均着生節位を比較した結果（第7図），第1花芽節位は、全期間遮光区と6月遮光区で高まる傾向を示し、7月、8月遮光区では遮光の影響がほとんど認められなかった。すなわち、6月期に光量が減少することによって第1花芽の形成時

期はある程度遅れることが示された。また、全期間遮光区では第1花芽節位が高まっただけでなく、第1無花節部の節数が他区より約1節増加しており、

相対的に花芽数が減少する傾向が認められた(第1表)。

考 察

本報では、トウビシの果実の生産力に影響を及ぼすと考えられる2, 3の要因について検討した。

第1に花芽の着節様式についてみると、開花前期⁴⁾の8月15日前後に開花を開始した葉冠では茎軸上に10個前後の花芽がほぼ規則的な間隔で順次着節することが明らかとなった。その場合、第1有花節部から各無花節部と有花節部との節数を茎頂に向かって累積し、各時期における出葉速度(節位数の増加速度)¹⁾とあわせて考えると、ほぼ第1~第3有花節部は開花前期、第4及び第5有花節部は開花中期、第6有花節部は開花後期に開花に至る花芽であったと推定される。したがって、前報⁴⁾の結果と併せて考察すれば、本実験条件の範囲では、第5有花節部までが精果実を得られる節位と考えられる。また、各節部による構成節数の変異は有花節部では小さかったが、各無花節部間の変異は大きかった。したがって、無花節部の構成節数の増減によって生育後期の花の開花時期は著しく影響をうけ、これが増加した場合には有効開花期間内に開花する花の数は減少すると考えられる。

そこで、着生節位からみた果実の発育過程⁴⁾に基づき、各有花節部に着生した花が結実する際の果実のシンクとしての強さを考察すれば、以下の通りである。すなわち、開花前期に開花した果実は、展葉節から基部方向に向かって第18節に位置する時期から第26ないし27節に位置する時期までの8ないし10節分の生長期中に最も旺盛な生長を示し、果

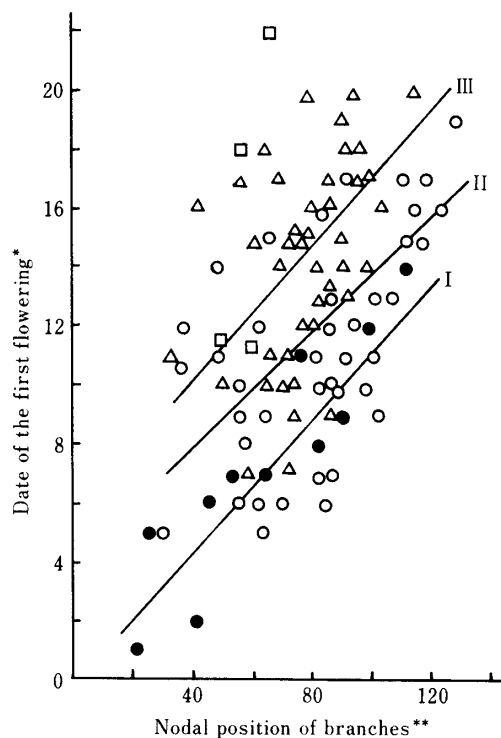


Fig. 4. Relationship between the date* of the first flowering and the nodal position** of primary, secondary, tertiary and fourthly branches (an example).

●: Primary branch, ○: Secondary branch, △: Tertiary branch, □: Fourthly branch. I: Primary branch ($y=0.46+0.11x$, $r=0.916^{**}$), II: Secondary branch ($y=4.4+0.09x$, $r=0.674^{**}$), III: Tertiary branch ($y=6.33+0.12x$, $r=0.581^{*}$). *, **: See the note for Fig. 3.

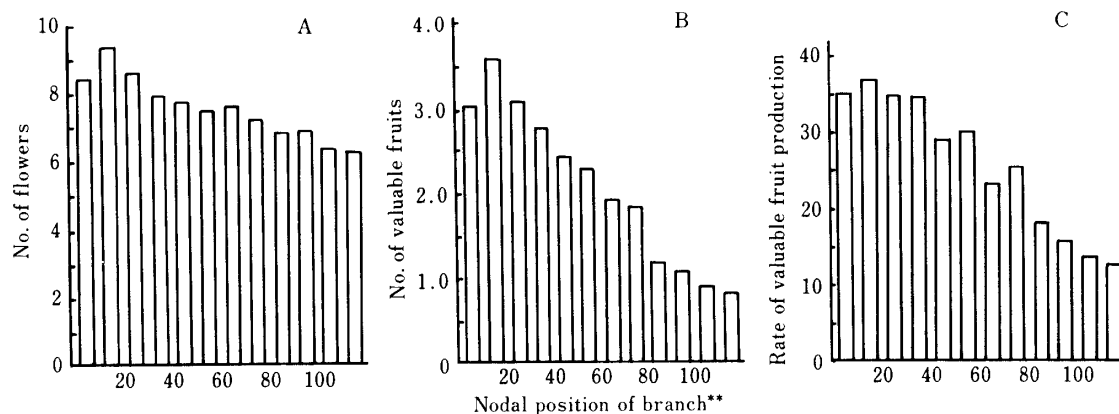


Fig. 5. The number of flowers (A) and valuable fruits (B) and the rate of valuable fruit production (C)*, as related with the nodal position** of branches.

*: $C=B/A \times 100$ (%). **: See the note* in Fig. 3.

実のシンク機能が高まると考えられた。ところで、開花前期に開花すると推察された第1から第3有花節部までの花芽は、約6から9個の無花節で隔てられて分布していた(第2図)。したがって、低位の有花節部の果実が展開葉節の基部方向約27節付近の位置に達してシンク機能が低下する段階に至る頃に、ほぼ、次の有花節部の果実が旺盛な生長を開始することになる。このような場合には、1本の茎軸上においてはシンク機能の高い果実は、基本的にはいずれか1つ、時に2つの有花節部に局在しているものと考えられ、1葉冠のほとんどの活動葉(ソウス)が主としてその果実の発育過程に寄与しているものと考えられる。

一方、開花中期あるいは後期となるほど有花節部間の無花節数が減少するために、1茎軸上には高い

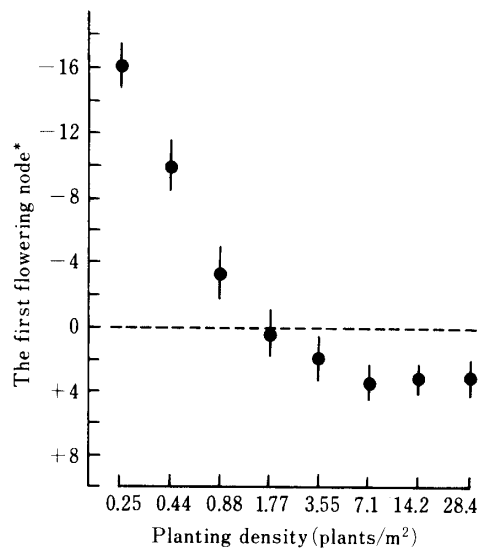


Fig. 6. Influence of planting density on the first flowering node*. *: Node was numbered from the node where the lamina was opening with + number acropetally and with - number basipitally. The node 0 is the node at which the lamina was opening. The observation was made on 10 th August, 83 days after transplanting.: The node of lamina opening. Vertical bars indicate S.E.

シンクとしての機能を果たす果実群が同時に2有花節部以上にわたって存在し、この時期に開花した果実はソウスからの転流物質をめぐって相対的に激しい競合関係下におかれることが予想される。また、9月以降には秋冷に伴って茎葉部の生育も遅延するために、1葉冠当りの葉数(ソウス)が減少する可能性が大きい。したがって、以上の諸関係の結果、9月以降の開花中期および後期に開花した果実では成熟の劣るものが次第に多く発生し、精果実数歩合⁴⁾が低下すると考えられる。第2に、本研究では異なる茎に着目して開花開始日の変化および精果実の生産効率について検討した。その結果についてみると、花芽の着節様式には茎間で大きな差異は認められなかったが、低次位で母茎の低節位から早期に発生した分枝茎ほど開花開始日が早く、また、花芽数、精果実数が多く、精果実生産効率が高くなり、高い生産力を示した。したがって、精果実数を確保するためには、低次位あるいは低節位から早期に発生した分枝茎がより重要であることが明らかとなり、個体の分枝茎構成が収量に大きく影響を及ぼしうること

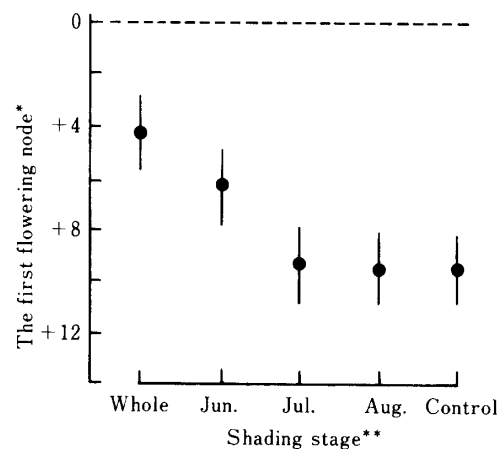


Fig. 7. Influence of the shading stage on the first flowering node. (22 th. Aug.; 95 days after transplanting)

*: See the note for Fig. 6. **: Whole; 6/1~8/22, June: 6/1~6/25, July: 6/26~7/20, August; 7/26~8/20. See Fig. 6. for the symbols.

Table 1. Relationship between number of nodes included in the 1st non-flowering node group and the shading stage.

| | Shading stage | | | | |
|-----------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Control | June | July | August | Whole |
| Number of nodes in 1st NFNG | 9.02±0.28 | 9.25±0.27 | 9.33±0.26 | 9.10±0.26 | 10.05±0.28 |

Mean±S.E.

が示唆された。

以上の点について、茎間の開花開始日と精果実数および精果実生産効率との関係を詳しくみると、低次・低節位の分枝茎と高次・高節位の分枝茎の間には、約20日間におよぼ開花開始日の差異が認められた(第3図)。このことから、高次・高節位の分枝茎ほど開花前期に開花する花数が減少し、相対的に開花中期以降に開花する花の比率が高まり、その結果、1茎当りの精果実数が減少し、精果実生産効率も低下したものと考えられる。

同様の関係は本研究で行った栽植密度処理と遮光処理の場合にも成立していたと考えられる。すなわち、両処理の結果、第1花芽の着生節位は、栽植密度処理においては最低密度区では、最高密度区に比して約20節、遮光処理においては6月に光量の低下する区で約4から6節高くなった。このことは節位の進行速度¹⁾を考慮すると栽植密度処理では開花前期が最長15日程度短くなり、1茎軸に形成される花芽数が約4個減少すること、また遮光処理では開花前期が約4日短縮し、1茎軸の花芽数が1ないし2個減少することを意味している。

既報²⁾で明らかにしたように、栽植密度を高めると、早期に被度が高まり、高次分枝の発生が抑えられるため、個体の分枝体系は、早期に低節位から発生した低次位の分枝茎で構成されることになり、栽植密度が低い場合には逆に高次・高節位分枝茎の比率が高い分枝構造となるはずである。また、生育初期の6月に遮光した場合には初期生育が抑制され6月中に発生する低節位の分枝茎が減少する上に、葉冠による被度の増加も遅れ、高節位の分枝茎が相対的に多くなると考えられる。本研究では栽植密度および遮光処理が第1花芽形成時期の早晩に及ぼす影

響を、茎の種類にかかわらず検討した。しかし、以上のように疎植区、6月遮光区で高次・高節位分枝茎の比率が高い構成になっていたことから、処理による第1花芽形成時期の変化は主として分枝構造の変化によるものと考えられる。

著者らは既に、ビニルハウスによる加温、遮光、栽植密度や施肥量など、栽培条件を変化させた場合に、個体全体としての茎葉の生育および開花開始期が変化し、精果実数の増減に基づいて収量の変動の認められることを明らかにした^{2,3)}。これらの事実を本研究の結果から取りまとめて推察してみると、いずれの処理の場合にも精果実数が増加する場合には、その前提として茎葉の生育が促進され、茎構成において低次位、低節位の分枝の比率が高まる方向に変化していたことが想定される。そのため、個体内で開花前期に開花する花芽数が増加し、このことを通じて精果実の生産力が高まるに至ったものではないかと考える。

引用文献

1. 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.
2. 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関係. 日作紀 61: 223-228.
3. 有馬 進・原田二郎・田中典幸 1992. 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. 日作紀 61: 229-234.
4. 有馬 進・原田二郎・田中典幸 1992. トウビシの生育と収量成立に関する研究. 第3報 果実の発育過程. 日作紀 61: 583-589.