ヒユ (*Amaranthus tricolor* ssp. *mangostanus* Aellen) の
形状における一列植の密度効果

前中久行^{1,2}・石田 均¹・山本 聡^{1,2}

摘要: 植物を一行に列植した場合の植栽間隔が、植物の成長とその形状に及ぼす影響をみるために、ヒユ *Amaranthus tricolor* をもちいてモデル実験を行った。植栽間隔を 4, 8, 16, 32, 64 cm として、成長や形状への影響を調査した。その結果、草丈成長に対しては植栽間隔による差がみられなかった。一方、根元直径の成長速度は、植栽間隔に応じて小さくなり、根元直径の上限値があると思われた。葉張り成長も、植栽間隔に強く影響され、とくに列植方向には横断方向よりも強く抑制された。

キーワード: 一行植、植栽間隔、密度効果、相対成長、植物形状

Maenaka, Hisayuki, Ishida, Hitoshi and Yamamoto, Satoshi: **Effect of spacing in a straight line planting on the size and shape of *Amaranthus tricolor* ssp. *mangostanus***

Abstract: Spacings of 4,8,16,32 and 64cm in a straight line planting were investigated to examine the affects to size and shape on *Amaranthus tricolor* ssp. *mangostanus*. As a result, the difference by the spacing was not evident in the plant height growth. It was determined that as the plant spacings were decreased, the growth rate of the stem diameter at ground level also decreased. From this observation we may summing that the diameter of the stem is proportional to spacing. It was also observed that the width of the plant was also proportional to the spacing. The width of plant of the transverse direction, was seriously suppressed compared to the cross-sectional width of the plant. The proportional relation was established between stem diameter and width of plant.

Key words: line planting, spacing, density effect, allometry, plant shape

1. はじめに

本研究は、列植における植栽間隔の違いが植物の形状に差異をもたらすことを確認し、緑化植物を用いた植栽間隔設定のための実験へ展開するための、基本的な現象把握を目的としたものである。

単位面積あたりの植物個体密度によって、植栽された植物のその後の成長経過が異なることは良く知られている²⁾。植物を集団として取り扱う緑化植栽においては当然として、視覚的な評価や機能性が重要視される造園植栽においても、その植物群を目的に応じた状態に成長させ、維持管理するうえでの適正な植栽密度と管理密度が存在するはずである。

植栽は、二次元的な広がりをもつ土地だけを対象としているのではなく、街路樹や生け垣にみられる列植も主要な植栽形式である。この場合でも当然、植物個体の成長に、隣接個体が相互に影響しており植栽間隔が異なると太陽光の奪い合いが原因で、葉張り成長の方向性や上層葉と下層葉の被陰の程度が異なる結果として植物全体の形状に差異が生じるものと思われる。植栽設計や植栽管理の立場からみれば、たとえば

無秩序に徒長せず美しい形状に育つための適正な植栽間隔，あるいは刈り込みや剪定整枝の頻度を少なくできる植栽間隔が，存在すると思われる。また，園路沿いの草花の列植などにも，植物成長過程からみた適正な植栽間隔が存在すると思われる。

緑化や造園に用いられる植物は多種類で、当然それぞれの植物について、植栽間隔と植物形状の関係を明らかにすることが最終的には必要であるが、列植された植物の形状変化を計測によって把握し密植との関係によって捉えようとした研究例が極めて少ない。そのため、緑化植物を用いて行う本試験の前にまず、モデル実験によって、植栽間隔と植物形状変化の関係を基本的に把握することとした。

2. 方法

2.1 植物材料

ヒユ *Amaranthus tricolor* ssp. *mangostanus* (L.) Aellen を実験材料とした。ヒユを用いた理由は、主茎が直立し枝の区別が明瞭なため、根元直径、草丈、植物体の広がりなど形状に関する測定が容易であること

¹ 兵庫県立淡路景観園芸学校, Awaji Landscape Planning and Horticulture Academy

² 姫路工業大学自然環境科学研究所, Inst. of Natural and Environmental Sci., HIT.

と、短期間で比較的大きなサイズにまで成長し形状の変化が把握しやすいことによる。さらに、一年生植物で貯蔵器官を持たず成長の資源を光合成に依存していることや、C3植物のためきわめて好陽性であることから、相互被陰の影響が表れやすいと予測して、実験材料に選定した。

2.2 栽培条件と設定した植栽間隔

一列の列植として、植栽間隔を64cm, 32cm, 16cm, 8cm, 4cmの5段階とした。植栽容器としてプラスチックコンテナ（上面の長さ 64cm, 幅 40cm, 深さ 24cm）を用いた。植栽用土には粒径約 5mm の赤玉土を単用で用いた。各コンテナに 40 リットルの赤玉土を満たし、各コンテナあたり 86 グラムのコーティング肥料を施用した。肥料の成分は、N,P,K,Mg が 6,40,6,15% であった。

植物材料であるヒユは、7月18日にプラグトレイに播種し、7月29日にサイズの揃ったものを選択し、コンテナの中央線上に一列に定植した。同じ植栽間隔のコンテナを長辺方向に連続して列状に配置した。定植後は、土の表面が乾くことが無いように十分に灌水した。

2.3 測定項目と測定方法

定植後6日目の8月4日に第1回の測定を行い、以後9月23日まで計5回の形状測定を行った。測定日の間隔は最初は8日、その後は12日から15日であった。測定の繰り返し数として、各測定回毎に、コンテナとして3～5反復、各区内の測定個体として5～48個体を測定した。測定作業によってヒユの植群が変形し、測定以後の成長に影響するおそれがある。そこで測定回毎に異なるコンテナをサンプリングによって測定した。このため、形状測定の個体は毎回異なっている。なお、将来の研究に備え形状測定個体は、切り取り乾物重を測定している。測定項目は、草丈、根元直径、葉張り、枝下高とした。草丈は、生育高ではなく、主茎に沿って地表面から先端までの主茎長を測定した。根元直径は、主茎の地表1cmの位置で、直角に2方向をノギスで測定した。

葉張りは、列植方向とこれに90度をなす方向の2方向について、生育状態における植物体の幅を測定した。それぞれの方向を以後、「列植方向」、「横断方向」と表現する。枝下高は、地表面から最も下に位置する枝の基部までの長さである。枝が無い場合には、主茎の先端までの長さとした。ヒユでは主茎につくすべての葉の葉腋に側芽がある。この側芽が伸長して長さ1cmを越えた段階で枝として取り扱った。

3. 結果および考察

3.1 草丈成長

植栽されたヒユはすべて活着し実験終了時までに枯

図1 植栽間隔と草丈成長

Fig.1 Height growth at different spacing

図2 植栽間隔と根元直径の成長

Fig. 2 Growth curves of stem diameter

図3 各測定時における植栽間隔と根元直径の関係

Fig.3 Relation between spacing and stem diameter

死した個体は無かった。草丈成長については図1に示す。植栽間隔による大きな差は無かった。ただし、定植後26日目および41日目の測定では4cm区が他区

より草丈が大きくなった。4cm 区は、この段階で隣接個体と葉張りが重なり、主茎の成長点近くに他個体の茎葉が展開し被陰状態にある。隣接個体との相互作用の結果として草丈成長が早まったと考えられる。クサフヨウを用いた列植実験³⁾において、密度の高い区では早い時点で相互の競合の結果、草丈が高くなる「せぞろい現象」がみられたとしている。4cm 区では、この現象が生じたと思われる。しかし、8cm 区、16cm 区では、草丈の一時的伸長は明瞭ではない。4cm 区における「せぞろい」は、草丈 7cm ~ 27cm の段階で生じており、これは植栽間隔に対して約 2 ~ 7 倍の草丈である。8cm 区、16cm 区では、これに相当する段階でも、「せぞろい」は見られず、植栽間隔に対して草丈が一定の比率に達した時点で「せぞろい」が生じるとはいえない。

56 日目の測定において 4cm 区が他の区よりも草丈が小さかった。4cm 区では、個体によって草丈に差異があった。その他の区においては草丈が比較的揃っていた。小さな個体を含めた平均のため、4cm 区では草

図4 列植方向の葉張り成長

Fig.4 Growth of plant width to transverse direction

図5 横断方向の葉張り成長

Fig.5 Growth of plant width to cross-sectional direction

丈が小さくなった。群落高には差が無いことが観察されている。

3.2 根元直径成長

根元直径は、植栽間隔による差が大きい。日数と根元直径の関係を図2に示す。初期段階においては、4cm 区でも直径成長がみられたがやがて頭打ちとなった。8cm、16cm と植栽間隔が大きくなるにしたがって、根元直径が大きく、また成長の頭打ちが表れるのが、時間的に後へずれた。26 日目の測定までは 32cm 以上の区では根元直径の成長に差がなかった。

植栽間隔と根元直径の関係を図3に示す。同じサイズの苗を植栽したので、初期の測定時には、根元直径に差は無い。時間の経過とともに根元直径は大きくなるが、植栽間隔の大きい区でより増加量が大きかった。4cm 区では 26 日目の測定以後は、成長がみられず、

図6 植栽間隔と列植方向の葉張りの関係

Fig.6 Relation between spacing and plant width to transverse direction

図7 植栽間隔と横断方向の葉張りの関係

Fig.7 Relation between spacing and plant width to cross-sectional direction

上限値に到達したと思われる。8cm より植栽間隔が広い区ではその後 41 日目の測定時にかけて根元直径が増加し、植栽間隔が広い区ほど増加量が多い。また、すべての区で 56 日目にかけて、増加量が小さく、成長の上限に達したように見える。このことから、植栽間隔によって到達可能な根元直径に上限があり、これに近づくまで、本来の成長速度で根元直径は増加するが、植栽間隔に応じてある段階から抑制効果が表れると考えることができる。今回の実験では、植栽間隔と測定間隔の設定がやや粗く、抑制効果が表れ始める根元直径を植栽間隔との関係で数値として明瞭に示すことはできなかった。

3.3 葉張り

日数経過にともなう 2 方向の葉張り成長を図 4, 図 5 に示す。どちらの方向においても、植栽間隔の小さい区ほど葉張りが小さく、早い段階で成長速度が低下する。

植栽間隔と列植方向の葉張りの関係を図 6 に示す。根元直径の場合と基本的に同じで、時間経過によって葉張りは大きくなるが、植栽間隔の大きい区でより増加量が多く、植栽間隔の小さい植栽区では葉張りが小さく、上限値で成長が停止するとみることができる。実験終了時の葉張りは、植栽間隔に対してほぼ直線的に増加している傾向が明確である。列植方向には隣接個体が存在するからその影響によって葉張りが小さくなると考えられる。しかし、列植方向の葉張りの大きさは、隣接個体までの距離よりも大きく、個体間の枝葉が相互に入り交わった状態にあり、隣接個体に接した段階で葉張り成長が止まるといった単純なものではなかった。

植栽間隔と横断方向の葉張りの関係を図 7 に示す。植栽間隔 32cm 区と 64cm 区には、大差がなく、実験終了時点では、植栽間隔による葉張り上限値に達していな

い。16cm 以下の区では、植栽間隔に応じて葉張りが小さくなった。図 6 と図 7 を比較すると、両方向の葉張りの伸長過程には、大きな相異が確認できる。両方向の葉張りの関係を図 8 で検討した。64cm 区では、成長にともなう両方向の葉張りの関係は、ほぼ直線の軌跡を描く。すなわち両方向の葉張り成長は等速度であった。32cm 区、さらに 16cm 区では早い段階から列植方向の葉張り成長がより強く抑制され両者の関係を示す軌跡が折れ曲がる。

列植方向には、隣接する個体が存在するのでその影響で、葉張りが小さくなることは容易に予想されることである。しかし、物理的に遮るものが無い横断方向においても、植栽間隔によって葉張りに差が生じた。

これらの結果を、現象としてみれば、横断方向の葉張りも無制限ではない。図 6 から読みとれるように列

図 8 横断方向と列植方向の葉張りの関係

Fig.8 Relation between widths of cross-sectional and transverse direction

図 9 葉張り面積成長における列植方向、横断方向への成長速度の比較

Fig.9 Time course of growth rate of plant cover to cross-sectional and transverse direction

図10 成長にともなう枝下高の変化

Fig.10 Height of the lowest branch

図11 成長にともなう根元直径と草丈関係の変化

Fig.11 relation between stem diameter and plant height

図12 根元直径と葉張りの関係

Fig.12 Relation between stem diameter and plant width

植方向は植栽間隔によって決まり、横断方向は個体サイズに応じて決まっていると理解できる。この理由として、隣接個体の被陰によって光合成生産量が少なくなり、茎葉成長に振り向ける資源が不足し、成長を遮る物体は存在しないにもかかわらず、植栽間隔によって、横断方向の葉張りにも差異が生じるといったプロセスが考えられる。ヒユは、好陽性の植物であり、また一年生植物で物質貯蔵器官を持たないため、被陰の影響は短期間のうちに生じると考えられる。この仮説が妥当か否かは、別に行う予定である乾物生産の成長解析で検討したい。

ここでは、両方向の葉張り成長を、両方向の成分に分けて分析した。

いま、葉張り面積の指数として S を考え、これを横断方向の葉張り W_1 と列植方向の葉張り W_2 の積で与えることにする。葉張りの平面形を楕円とすれば、 $\pi S/4$ が現実の面積であるが、相対的な関係として取り扱うこととして、単に S を用いた。

$$S = W_1 W_2$$

S の時間 (t) あたりの成長速度 $\Delta (W_1 W_2) / \Delta t$ は、微分公式から、

$$\begin{aligned} \Delta (W_1 W_2) / \Delta t \\ = W_2 \cdot \Delta W_1 / \Delta t + W_1 \cdot \Delta W_2 / \Delta t \\ + \Delta W_1 \cdot \Delta W_2 \end{aligned}$$

と分解される。右辺第三項は相対的に小さいとして省略すれば、辺の第一項は、列植方向の葉張り成長と横断方向への葉張り成長量の積で、横断方向への葉張り面積成長速度である。第二項は列植方向への面積成長速度である。この式で、葉張り面積成長を方向別の成分に分けることができる。式にしたがい連続する2回の測定値の差分として求めた両方向の面積成長速度の変化を図9に示す。まず、葉張り面積の成長速度そのものは、植栽間隔によって異なり、全期間を通じて植栽間隔が大きな区ほど成長速度が大きい。既に述べたように植栽間隔によってサイズに上限値があることと対応している。日数経過にともなう変化は、いずれの区においても、始めと終わりにおいて小さく、中程で大きな山形のカーブを描く。植栽間隔が小さな区ほど早い時点で、成長速度のピークに達した。

横断方向への成長速度は、列植方向に等しいかあるいは大きく、列植方向の成長の方が大きくなることは無かった。早い時点においては、両方向の成長速度は等しい。16cm区や32cm区では時間が経過すると、列植方向の成長速度の方が小さくなった。隣接個体の影響が表れたと考えられる。64cm区では、実験期間を通じて、両方向の成長速度はほぼ等しく、隣接個体の影響が表れる段階には達しなかったと考えられる。16cm以上の区についてみると、両方向の成長速度に差が生じ始める時期が、植栽間隔が大きいほど時間的に後へずれた。この期間に個体サイズが大きくなるか

ら、植栽間隔が大きい場合は、大きな個体サイズに達した時点から隣接個体の影響が表れる図 8 の結果と対応している。

4cm, 8cm 区では、両方向の成長速度に差がみられなかった。一回目、二回目の測定における列植方向への成長速度は、16cm 以上の区と差が無かった。すなわち、横断方向の成長速度が増加しない結果として両方向に差が生じなかったことになる。このことから、早い時点で個体サイズの上限に達したために、横断方向にも成長しなかったと解釈できる。また、16cm 区と 32cm 区で、列植方向の成長速度が相対的に低下した直後において、その低下に見合う横断方向の代償的な成長速度の増加は、生じていない。このことは、横断方向の成長速度が基本的には、個体サイズによって決まることを示唆している。

3.4 枝下高

枝下高も植栽間隔によって差があった (図 10)。4cm 区で著しく枝下高が高い。つまり枝の成長が抑制された。その他の区については、地表に比較的近いところから枝が発生した。一般に、面積あたりの個体密度が高い森林においては、現存量に占める枝重の割合が小さくなる¹⁾、列植においても植栽間隔が小さい場合に枝の発生が抑制されるものと思われる。森林における枝下高の上昇は、枝の枯れ上がりによって生じる現象である。しかし、今回の実験中に枝の枯れ上がりはみられず、枝の成長が抑制された結果である。なお、時間の経過とともに、枝下高が低下しているが、これは、より下位の腋芽が徐々に成長し、枝としての判断基準の長さ 1cm を越えたためである。

3.5 根元直径と草丈の関係

植物の形状は高さや太さ、幅などの大きさとともに、これら項目間の相対的な関係としても把握される。本研究の展開としての適正な植栽間隔の検討は、項目間の相互関係の検討を通して行われることになる。そこで項目間の関係についてみた。

成長にともなう根元直径と草丈の関係を図 11 に示す。根元直径の成長に対する樹高成長の軌跡は、初期の段階においては、比較的似通っている。既に述べたように、草丈成長には植栽間隔による差がほとんど無い。いっぽう、根元直径には植栽間隔による上限値が存在するため、しだいに差が表れ、植栽間隔の小さい区から順次軌跡線が立ち上がる。

3.6 根元直径断面積と葉張面積の関係

各測定時別の各植栽間隔毎の根元直径と葉張りの関係をみた。葉張り測定値は二方向あるので、これを乗算して葉張り面積の相対値として表した。このため根元直径についても二乗した。すなわち主茎の根元における断面積と葉張り面積の相対的關係を表したのが図 12 である。両者は両対数でほぼ直線に近い関係となっ

た。直線の傾きは、1 よりも小さく、したがって単純な比例関係ではないと判断され、根元直径面積に対する葉張り面積の比率は、やや漸減的である。

4. まとめ

今回の実験によって、列植の植栽間隔を変えることで、外部形状に差異がでることが確かめられた。枝下高は植栽間隔が小さいときに着枝位置が高くなった。根元直径、葉張りはその成長経過、最終到達サイズともに植栽間隔に大きく影響された。横断方向の葉張りも、物理的には遮るものが無いにもかかわらず、植栽間隔に応じて小さくなった。一方、草丈は植栽間隔にほとんど影響されなかった。葉張り、根元直径、草丈の植栽間隔に対する反応はそれぞれに異なり、これらの組み合わせとしての形状も変化することが確かめられた。葉張りへの効果を確認したことは、とくに重要で、このような研究結果の応用として、列植する場合において、横断方向の葉張り幅を狭くしたい場合には植栽間隔を小さくするといった展開がありうる。ただし、本研究で得られた結果は、植栽間隔がサイズや形状に及ぼす変化の方向性を確認したという定性的な段階に留まっている。したがって、どの場合にどの程度の植栽間隔が良いかといった数量的基準を示すものではない。今後の展開の方向としては、具体的な緑化植物を用いて、植物種や立地条件毎の植栽間隔の効果や影響を把握するとともに、サイズや形状に関する定量的関係を明らかにするといったことが必要になる。今回の研究は様々な緑化植物を用いて適正な植栽間隔に関する研究を行う場合の参考にはなるとと思われる。たとえば今回設定した植栽間隔の幅は 4cm から 64cm の 16 倍であったが、なんらかの関数式で結果を表現するという定量的な関係を目的とする場合には、植栽間隔をさらに幅広く設定して実験する必要があると思われる。そのような実験データの積み重ねが、具体的な植栽基準の作成に結びつくことを期待したい。

引用文献

- 1) 安藤貴(1968) 同令単純林の密度管理に関する生態学的研究, 林試報 210:1-113
- 2) 吉良竜夫・依田恭二(1957) 立木密度と生産量, 北方林業 9:2-6
- 3) YODA, K., T. KIRA and K. HOZUMI (1963) Further analysis of the competitive interaction between adjacent individuals (Interspecific competition among higher plants 9) J. Inst. Polytech., Osaka City Univ. D8, 161-178

(2001.6.30 受理)