シダレヤナギの葉の生長とシュウ酸カルシウム結晶形成の様式

梅本光一郎, 穂積啓一郎

京都薬科大学¹⁾

Mode of Crystal Growth of Calcium Oxalate in Life Cycle of Willow Leaf

KOUICHIRO UMEMOTO and KEIICHIRO HOZUMI

Kyoto College of Pharmacy¹⁾

(Received November 4, 1972)

The present experiment was carried out to obtain some information regarding formation mechanism of crystalline inorganic components in plants, using the "low-temperature plasma ashing method for biological materials" originated with K. Umemoto. The crystal image in a leaf was followed through its life cycle and difference in the life cycle to various tissue cells in the same plant was examined. The sample material was a leaf (minus the petiole) from weeping willow (*Salix babylonica* LINN.), measuring about 6 to 128 mm in length, collected during March to June in Kyoto city. The crystal image of calcium oxalate that appears with growth of the leaves was followed. It was thereby found that the crystal form of calcium oxalate that appears first in the willow leaf is an aggregate, and that solitary crystals appear after a certain period. In addition, the pattern of crystal distribution in the costa, mesophyll, apex, and margin of the leaves at different periods of observation was found to change markedly. Examination must be made in future on the correlation, if any, between this change in the pattern and physiology of the plants.

著者の一人, 梅本によって考案された“高周波酸素プラズマの植物組織低温灰化法²⁻⁹⁾”によって得られる低温灰化像の一連の研究を著者らは行なっているが, 本研究は植物体中における結晶性無機成分⁹⁾の生成機序の手がかりを得るための実験の1つである。

植物体中の結晶性無機成分の生成機序については現在なお不明な点が多く推測の域を出ない。しかし著者らは植物組織中における結晶性無機成分の形状, 大きさ, 分布状態などを詳細に知ることによって, この問題に関する解決の何らかの糸ぐちを得ることができるのではないかと考えている。

著者らはこれまで報告してきたすべての植物がその植物特有の無機結晶像を有することを立証してきた。今回は葉の一生における結晶像の推移を詳細に観察し, その植物の各組織細胞における生活現象の相違の有無について検討した。試料植物としてシダレヤナギの葉を用い, 葉の生長にともなって現出してくるシュウ酸カルシウムの結晶像の変化を追跡した。

実験の部

実験試料 京都市左京区吉田下阿達町で生育した樹齢約30年のシダレヤナギの葉を1971年3月—6月の間において採取し, 各時期において採取した試料の葉の枚数は20枚以上である。

- 1) Location: Yamashina Misasagi, Higashiyama-ku, Kyoto.
- 2) K. Umemoto, *Chem. Pharm. Bull.* (Tokyo), **21**, 1391 (1973).
- 3) 梅本光一郎, 薬誌, 投稿中.
- 4) K. Umemoto and K. Hozumi, *Chem. Pharm. Bull.* (Tokyo), **19**, 217 (1971).
- 5) 梅本光一郎, 穂積啓一郎, 薬誌, **91**, 828 (1971); *idem, ibid.*, **91**, 845 (1971); *idem, ibid.*, **91**, 850 (1971); *idem, ibid.*, **91**, 890 (1971); *idem, ibid.*, **91**, 908 (1971); *idem, ibid.*, **91**, 1047 (1971).
- 6) K. Umemoto, M. Hutoh and K. Hozumi, *Mikro. Chim. Acta*, **1972**, 508; *idem, Microchem. J.*, **17**, 173 (1972).
- 7) K. Umemoto and K. Hozumi, *Mikrochim. Acta*, **1973**, 301.
- 8) K. Umemoto and K. Hozumi, *Microchem. J.*, **17**, 689 (1972).
- 9) 梅本光一郎, 穂積啓一郎, 薬誌, 投稿中.

(1) リン片葉 (芽リン) (3 月 10 日採取) 冬芽を包んでいるリン片状の器官全体を通じてすき間のないほどの高密度でシュウ酸カルシウムの集晶が分布し (Fig. 1—A,B,C,D), その分布度にはほとんど疎密がなく, 全般にほぼ均一である. しかし単晶は全く存在していない. 集晶の大きさはすべて 10μ 前後でほぼ均等な大きさを有するが, 出芽間もないきわめて若い葉に発現する集晶に比して約 $1/2$ の大きさでしかない. リン片葉全体に小さな結晶が高密度に分布するということは, 芽リン全体の機械的な構造を強固にするものであり, 冬芽を包み保護するという芽リンの本質によく適合する現象であると思われる.

Fig. 1. Calcium Oxalate Crystals in Ashed Tissue of Scaly Leaf of *Salix babylonica* LINN.

normal light; A: $\times 40$
crossed Nicols; B: $\times 40$, C: $\times 100$, D: $\times 400$

(2) 通常葉 (A) 葉長 (ただし葉柄を除く. 以下同様): 約 6 mm (3 月 10 日採取)——a) 主脈部: 主脈の位置を明確に判別することはできないが, 葉のほぼ中央部では主として 20μ 前後の集晶が葉肉部よりもやや高密度に分布する現象 (Fig. 2-A) から, その位置を僅かに推定することができる. しかし芽リンと同様, 単晶は全く存在しない. 低拡大視すると, 一見単晶のように認められる結晶は高拡大視すると形状は整ってはいないが, 小形の明白な集晶である (Fig. 2-B).

b) 葉肉部——主脈部と同様, 集晶のみが分布するが芽リン, 主脈部とは全く異なった結晶分布のパターンを示す. すなわち葉脈が走行している部分には全く集晶が存在せず, 直交ニコルの下で低拡大視すると葉肉の光輝部と脈部の暗視野部が明確にあらわれ, あたかも虎縞模様の観を呈する (Fig. 2-A). 集晶は主として 20μ 前後の大きさのものが分布するが, 低拡大視において一見単晶のように観察される 5μ 前後の小形の集晶も比較的多く存在する (Fig. 2-C). 葉縁に近い部分の結晶の大きさ, 分布度には変化は認められない.

c) 葉先端部: 主脈部, 葉肉部と同様, 大小の集晶が比較的高密度で分布するが, 葉肉部とは異なり分布状態に比較的低密のむらがなく, ほぼ均一である (Fig. 2-D). このうち特に先端部は高密度に集晶が分布する.

d) 葉縁部: 集晶のみが分布するが, 葉肉部と同様の結晶分布のパターンを示す. すなわち脈部には全く集晶が存在せず, 直交ニコルの下で低拡大視するとあたかも虎縞模様の観を呈する (Fig. 2-E). また葉縁にはほとんど結晶が存在しない.

Fig. 2. Calcium Oxalate Crystals in Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN. : Observation were carried out under Crossed Nicols

leaf length: about 6 mm (minus petiol)

A: costa and mesophyll, $\times 40$

B: costa, $\times 400$

C: mesophyll, $\times 400$

D: apex, $\times 40$

E: margin, $\times 40$

(B) 葉長：約 8 mm (3 月 22 日採取)——a) 主脈部：葉の中央部に位置する集晶の分布密度は、葉長約 6 mm の場合とほぼ同程度であるが、中央部の集晶が長軸方向にやや整列する傾向が観察され (Fig. 3-A,B), 葉肉部に認められるものとは比較的異なった結晶分布パターンを示しはじめた。この結果、主脈の位置が比較的判別しやすくなった。なお葉肉部に比して集晶の分布密度はやや高いが、葉肉部と同様にやはり単晶は全く存在しない。また集晶は主として 20μ 前後の大きさのものが分布する (Fig. 3-B,D)。

b) 葉肉部：単晶が全く存在せず集晶のみが分布し、かつ葉脈の走行する部分には全く結晶が存在しない状態は葉長 6 mm の場合と同様であるが (Fig. 3-C), 集晶は全般的に比較的均等な分布を示すようになってくる。しかしその分布密度は、主脈部や葉長 6 mm の葉肉部の場合に比してやや疎になる。この結果、直交ニコルの下で観察すると葉長 6 mm の場合に比して暗視野の部分が目立つようになるが、虎縞模様の結晶分布のパターンは比較的観察され難くなった。また葉長 6 mm の場合と同様、主として 20μ 前後の集晶の分布する中に、 5μ 前後のまだ形状の整っていない集晶が多く認められる。葉縁に近づくにしたがって集晶の大きさ、分布状態に変化が生じることはない。

c) 葉先端部：集晶のみが分布するが、葉長 6 mm の場合の葉先端部と同程度の高密を示す (Fig. 3-E)。しかし葉長 6 mm の場合には全く認められなかった現象、すなわち直交ニコルの下で観察すると、中央部において長軸方向に一条の黒い線の走行する状態が明確に認められた。

d) 葉縁部：葉肉部と同様の結晶分布のパターンを示すが (Fig. 3-F,G), 葉長 6 mm の場合とは少し異なり、葉縁においても集晶が比較的観察される。

Fig. 3. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

leaf length: about 8 mm
 costa; crossed Nicols, A: $\times 40$, B: $\times 100$, D: $\times 400$
 mesophyll; C: crossed Nicols, $\times 40$
 apex; E: crossed Nicols, 40
 margin; F: normal light, $\times 40$ G: crossed Nico's, $\times 40$

C) 葉長: 約 14 mm (3 月 29 日採取)——a) 主脈部: 主脈の走行する状態は長軸方向に配列する結晶の状態 (Fig. 4-A) から、葉長 8 mm の場合と同程度の容易さをもって判別できる。しかし葉長 6 mm, 8 mm の場合に比して集晶の分布密度はきわめて疎になり、かつ小形の集晶が多く認められるようになる。しかし詳細に観察すると、低拡大視において一見単晶に見える 5μ 前後の小形の集晶の数と、 20μ 前後の比較的大形の集晶 (Fig. 4-C) の数がほぼ等しくなっているのがわかる。また主脈上に発現する集晶の最大の大きさのものは、葉肉部に発現する最大の大きさのものよりも大きくなることはない。

Fig. 4. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

leaf length: about 14 mm
 costa; A: $\times 40$, B: $\times 100$, C: $\times 400$
 mesophyll; D: $\times 40$, E: $\times 400$
 apex; F: normal light, $\times 40$ G: crossed
 Nicols, $\times 40$
 margin; H: normal light, $\times 40$ I: crossed
 Nicols $\times 40$

Fig. 5. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

leaf length: about 20 mm

costa; normal light: A, $\times 40$ crossed Nicols: B, $\times 40$ C, $\times 400$

mesophyll; normal light: D, $\times 40$ crossed Nicols: E, $\times 40$ F, $\times 100$ G, $\times 400$

apex; crossed Nicols: H, $\times 40$

margin; normal light: I, $\times 40$ crossed Nicols: J, $\times 40$

b) 葉肉部：集晶のみがほぼ均等に分布するが、葉長 6 mm, 8 mm の場合に比してその分布度はきわめて疎となる。葉長 6 mm で明確に認められ、葉長 8 mm でやや不完全ながら認められた虎縞模様の結晶分布のパターンは、本試料においては全く認められなくなった (Fig. 4-D)。主脈部と同様、集晶には大小の差が目立つようになり、3 μ 前後のきわめて小形の集晶と 25 μ 前後の大形の集晶がほぼ均等に分布する (Fig. 4-E)。すなわち葉長 6 mm, 8 mm の場合に比して小形の集晶が目立って多く観察されるようになり、葉長 6 mm, 8 mm の場合とは全く異なった結晶分布のパターンを示すようになった。また葉縁に近づくにしながら小形の集晶の方が大形の集晶よりも多く分布する傾向を示す。小形の集晶が目立って多く観察されるようになってきた。

c) 葉先部：主脈部、葉肉部、葉縁部に比して集晶の分布密度は最も高いが、葉長 6 mm, 8 mm のものに比してかなり疎になる (Fig. 4-F,G)。集晶は葉長 6 mm, 8 mm の場合と同様、主として 20 μ 前後の大きさのものが分布し、小形の集晶は少ない。

d) 葉縁部：集晶のみが分布するが、主脈部、葉肉部、葉先部とは全く異なり、主として 3 μ 前後の小形の集晶が分布し (Fig. 4-H,I)、20—25 μ の大形の集晶の分布する割合はかなり少ない。また主脈を除いて、葉脈の走行する全部分には結晶が全く存在しない現象は葉長 6 mm, 8 mm の場合と全く同様である。

(D) 葉長：約 20 mm (4 月 3 日採取)——a) 主脈部：大小の集晶が分布するが、まだ単晶は存在しない。集晶の分布密度は葉長 14 mm のものとはほぼ等しい (Fig. 5-A,B)。しかし時々主脈上を集晶が長軸方向に数個連なって短い線列をなすのが明確に観察されるようになり、葉長 14 mm の場合とはやや異なったパターンを示す (Fig. 5-C)。主脈上に存在する集晶の大きさは最大 20 μ 前後のものであり、葉肉部に認められる最大の大きさ 30 μ 前後のものに比してやや小さい。

b) 葉肉部：集晶の分布密度は主脈部および葉長 14 mm の葉肉部に比して一般的にわずかに疎である (Fig. 5-D, E)。大小の集晶が分布するが、葉長 14 mm の場合に比して全般的に結晶が大きくなっている傾向があり、大きいものでは 30 μ 前後のもの (Fig. 5-F,G) が、比較的多く観察される。葉長 14 mm の場合に多数認められたようなきわめて微小な集晶はかなり少なくなっている。また小形の集晶においてもかなり形状が整っている (Fig. 5-F,G)。

c) 葉先部：集晶の分布状態は葉長 14 mm の場合とほとんど同様である (Fig. 5-H) が、その分布度は全般的に葉長 14 mm の場合に比してわずかに疎になる。

d) 葉縁部：葉長 14 mm の場合に比して集晶の分布度はわずかに疎になる。また小形の集晶は比較的少なくなり、20—30 μ の大きさの集晶が比較的目立つようになり (Fig. 5-I, J)、葉長 14 mm の場合とはやや異なった結晶分布のパターンを示す。

(E) 葉長：約 30 mm (4 月 12 日採取)——a) 主脈部：葉長 14 mm, 20 mm のものに比して集晶の分布度はより疎になるが (Fig. 6-A,B)、10 μ 前後のまだ形状の整っていない集晶が主脈上を長軸方向に数個連なって短い線列をなす状態が一段と明確に観察され (Fig. 6-C)、葉が生長し大きくなるにしたがって主脈上に分布する集晶

Fig. 6. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

leaf length: about 30 mm

costa; normal light: A, $\times 40$ crossed Nicols: B, $\times 40$ C, $\times 400$
 mesophyll; normal light: D, $\times 40$ crossed Nicols: E, $\times 40$ F, $\times 400$
 margin; normal light: G, $\times 40$ crossed Nicols: H, $\times 40$

が長軸方向に線列をなしていく様式が次第に明らかとなっていく。

b) 葉肉部：集晶の分布密度は葉長 20 mm の場合とほとんど差はないが、分布する集晶の大きさにおいてかなりの差が認められる。すなわち葉長 20 mm の場合には $20\text{--}30\ \mu$ の集晶にまじって数 μ 弱の微小な集晶がぎわめて多く観察され、結晶の大きさにおいてかなり不均一なパターンを示したのに反し、葉長 30 mm の場合には微小な結晶はほとんど観察されなくなり (Fig. 6-E), 主として $20\text{--}30\ \mu$ の集晶 (Fig. 6-F) が、ほぼ均等に分布する傾向を示す (Fig. 6-D,E)。また葉縁に近づくにしたがって結晶の大きさ、分布状態に変化が生じることはない。

c) 葉先端部：葉長 20 mm の場合とは全く異なって $20\ \mu$ 前後の集晶の分布度はかなり疎になり (Fig. 8-A,B), また葉長 20 mm までにおいて観察された現象、すなわち葉先端部に集晶が高密度で分布するという傾向は全く認められなくなった。しかし葉先から葉脚へ向って 10 mm 前後までの間の部分では Fig. 7 に示すように集晶の分布パターンにはきわめて大きな変化が認められた。すなわち葉先 (Fig. 7-a, Fig. 8-A, B) から葉脚へ向って 10 mm 前後の距離まで、集晶のきわめて疎な分布度を示すほぼひし (菱) 状の地帯があり (Fig. 7-1,b, Fig. 8-C), また葉先から葉脚へ向って 3 mm 前後の距離から 8 mm 前後の間の部分においては結晶が全く存在しないか、ほとんど存在しない半月状の 2 つの小地帯があり (Fig. 7-2, c, Fig. 8-D,E), さらにかなり高い集晶の分布度を示す地帯 (Fig. 7-3,d, Fig. 8-F, G) (葉肉部と全く同等の分布度を有す) が、葉先に向け逆クサビ形に突出している。これらの現象は葉の生長に伴って葉組織に著しい変化が生じつつあることを推定させる。

Fig. 7. Apex of Leaf of *Salix babylonica* LINN. leaf length: about 30 mm

d) 葉縁部：葉肉部と全く同様の結晶分布パターンを示す (Fig. 6-G,H)。

Fig. 8. Ashed Leaf *Salix babylonica* LINN. (apex)

leaf length; about 30 mm
normal light; A, E, F; $\times 40$
crossed Nicols; B, C, D, G; $\times 40$

(F) 葉長：約 50 mm (4 月 17 日採取)——a) 主脈部：主脈上には主として 20—30 μ 前後の集晶が長軸方向に連なって長短さまざまな幾列もの線列をなす様がよく観察されるようになり、葉長 30 mm までのものに観察された結晶分布パターンとは著しい差異を示す (Fig. 9-A,B,C). 特に葉先に近い主脈上にこれまでに全く認めることがなかった現象が新たに観察された。すなわち葉長約 50 mm に達したとき、葉組織にシュウ酸カルシウムの単晶がはじめて発現し、植物の代謝系にそれまでとは全く異なって著しい変化が生じたことを示す現象があらわれた。このことについては葉先部の項で説明する。

b) 葉肉部：葉先部とは異なり、葉脈の走行する部分には全く結晶がないこと、および集晶の分布状態などは葉長 30 mm の場合とほとんど同じである (Fig. 9-D,E). また葉長 30 mm の場合に比して一般的に集晶の大きさ

Fig. 9. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

が均等で、かつより大きくなる傾向にある。集晶以外の結晶体は全く存在せず、単晶は存在しない。しかし集晶に単晶が融合したような形状の集晶が時々認められる (Fig. 9-E,F)。このような形状の集晶は葉長 8 mm のきわめて若い葉などにも認められるものであるが、葉長 50 mm の場合ほど結晶の形状が明確でなく、かつその結晶の存在する数は葉長 50 mm の場合に比してきわめて少ない。

c) 葉先端部：葉長 30 mm の場合に観察された結晶分布のパターン (Fig. 7) は、葉長が約 50 mm 前後に達すると Fig. 10 に示すようなパターンに変化する。特に結晶のほとんど存在しない部分 (Fig. 7-2) の形状はかなり変化し、1/4 円形になっている (Fig. 10-2,b, Fig. 11-C,D)。

葉長 50 mm 前後に達すると、葉先 (Fig. 10-a, Fig. 11-A, B) から葉脚へ向って 7 mm 前後の距離の主脈上にきわめて微小ながら単晶がはじめて短い線列をなして発現した。すなわち葉長約 50 mm に達してはじめて組織の代謝系に大きな変化が生じ、まずそれが葉先端部にあらわれたのであると推定される。以後この単晶の発現する場所の順序は後述するように、まず葉先端部のある範囲内の葉脈上を高密度でとり囲んだ後、次第に葉の中央部へと発現部が移動している。しかしこの単晶は脈上以外の部分には全くあらわれない。いずれにしても集晶の発現後ある一定の期間を経た後でないと単晶が発現せず、かつその単晶の最初の発現部が葉先から 7 mm 前後の距離にある主脈上であるということはきわめて興味ある現象である。なおこの単晶を高拡大視すると、明瞭な稜線を有し、直交ニコルの下で強い光輝を与える。

d) 葉縁部：集晶の分布状態は葉肉部の場合とほとんど変わりなく、脈上においても単晶は全く存在しない (Fig. 9-H, I)。ただし、葉縁にかなり近い部分の集晶は葉肉部のものに比してやや小形である。

Fig. 10. Apex of Leaf of *Salix babylonica* LINN. leaf length: about 50 mm

Fig. 11. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN. (apex)

leaf length: about 50 mm

normal light; A, C: $\times 40$

crossed Nicols; B, D: $\times 40$

(G) 葉長：約 96 mm (5 月 14 日採取)——a) 主脈部：葉長 50 mm の場合に比し、主脈上には一層多くの集晶の幾列もの長い線列が認められ (Fig. 12-A,B), 同時に単晶の線列も観察されるようになり (Fig. 12-C), 葉長 50 mm の場合とはさらに異なったパターンを示す。主脈上の結晶分布のパターンは葉長が 96 mm 前後に達した後は、単晶の線列が増加する以外にほとんど大きな変化がなくなる。

b) 葉肉部：集晶の分布度は葉長 50 mm の場合とほとんど変わらない。葉脈の走行する部分には結晶は全く存在しない場合が多いが (Fig. 12-D,E), とくとき葉脈上に微少な単晶の短い線列が観察されるようになり (Fig.

Fig. 12. Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

leaf length: about 96 mm

costa; normal light: A, $\times 40$ crossed Nicols: B, $\times 40$ C, $\times 200$

mesophyll; normal light: D, $\times 40$ crossed Nicols: E, $\times 40$ F, $\times 200$

apex; normal light: G, $\times 40$ I, $\times 40$ crossed Nicols: H, $\times 40$ J, $\times 40$

margin; normal light: K, $\times 40$ crossed Nicols: L, $\times 40$

12-E,F), 葉長 50 mm の場合とは異なったパターンを示すようになった。単晶の大きさは葉先部のものに比してかなり小さく、また観察される数はすでに脈上をすき間のないほどの高密度に配列する葉先部のものに比べ比較にならないほど少ない。いずれにしても、葉先部の脈上にはすでに高密度で単晶が発現しているのに反し、葉の中央部の葉肉部では単晶が発現するところがまだきわめて少なく、たとえ発現しても微小な結晶が短い線列をなすに過ぎない。

c) 葉先部：葉先より葉脚へ向って 3 mm 前後の間の部分は単晶が全く存在せず、また分布する集晶の数もきわめて少ない (Fig. 12-G,H)。葉先から葉脚へ向って 3 mm から 15 mm 前後の間の部分に存在する脈は、主脈、支脈 (Fig. 12-I,J) に関係なく、単晶が葉組織中で最も高密度に分布し、葉先から葉脈へ向って 15 mm 以上にな

Fig. 13. Clustered and Solitary Crystals of Calcium Oxalate of Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN. (mesophyll)

leaf length: about 128 mm

A: $\times 100$ B: $\times 400$

ると、主脈、支脈に関係なく脈上の単晶は急に少なくなり、特に大部分の支脈上では Fig. 12-D,E. の葉肉部のように単晶がほとんど存在しないような現象が見られる。

d) 葉縁部：葉肉部とほとんど変わらない結晶分布のパターンを示す (Fig. 12-K,L).

(H) 葉長：約 128 mm (6 月 28 日採取)——a) 主脈部：主脈上に単晶列が増す以外、葉長 96 mm のパターンとほとんど変わらない。

b) 葉肉部：脈上にはこれを取り囲むようにいろいろな形状の単晶が高密度で配列する (Fig. 13-A,B). また一方集晶は主として 20—30 μ の大きさのものがほぼ均等に分布する (Fig. 13-A). 以後葉長約 128 mm 以上に達した試料においても葉肉部のこの結晶分布のパターンにはほとんど変化がなかった。

c) 葉先端部：葉先は虫害や老成による自然な枯れ現象などのためにもとの形状をとどめることがほとんどなかった。葉先端部の試料を得ることができず、本部分の灰化像は省略した。

d) 葉縁部：葉肉部と全く同様の結晶分布のパターンを示す。

結果および考察

以上の観察結果から、シダレヤナギの葉の生長過程において、主脈、葉肉、葉先、葉縁の各観察部にあらわれる結晶分布のパターンは、それぞれつぎのように概略的に分類することができる、ただしパターンの第 1 期、第 2 期の名称は葉の生育段階によって便宜的に設けた言葉であり、葉長が 50 mm までのものを第 1 期、50 mm を越すものを第 2 期とした。

1) 主脈部

第 1 期 集晶の分布密度は、葉長が約 30 mm に達するまでは葉長が伸びるとともに次第に疎になっていき、最も低密度な分布度を示す葉長約 30 mm の時期を境として、以後葉長の伸びとともに分布密度は次第に増していく。また葉長が 30 mm 前後に達すると同時に、長軸方向に数個連なった短かい線列の集晶列が出現しはじめ、この線列は以後葉長に比列してその長さ、数を増していく。

第 2 期 葉先に近い主脈上では葉長が約 50 mm、その他の部分における主脈上では葉長が 96 mm 前後に達すると多数の集晶列に混じって単晶列がはじめて出現し、以後葉長に比例して単晶列の長さ、数を増していく。

2) 葉肉部

第 1 期 葉長が約 20 mm に達するまでは 20—30 μ の集晶の分布密度は葉長の伸びに逆比例して次第に疎になっていき、葉長が 20 mm 前後に達すると最も疎になる。しかし数 μ 弱の微小な集晶は葉長約 20 mm になるまでは葉長に比例してその数を増し、葉長約 20 mm に達するとき最も高密になる。このときの分布密度は 20—30 μ 前後の大形の集晶の数とはほぼ等しい。以後、この微小な集晶の数は葉長の伸びとともに減少していく。一方、集晶そのものの大きさは、葉長に比例して全般的に増大し、かつ均等に分布する傾向を示す。この集晶の大きくなる速度は葉長が 30 mm 前後に達するまでの期間において最も著しく、それ以後は葉長の伸びに関係なく、あまり変化が目立たない。

第 2 期 葉長が約 96 mm に達すると、脈上に単晶の短かい線列が葉肉部においてはじめて出現し、以後葉の伸びに比例してその数を増し、葉長が 128 mm 前後に達すると葉長約 96 mm の葉先端部の脈上をすき間なくとり囲む単晶と同じく、単晶が高密度で脈を取り囲む。しかし葉長が約 128 mm 以上になると、それ以後は葉長に関係なく、結晶の分布パターンにはほとんど変化が認められない。また、葉長に関係なく集晶と単晶が融合したような形状の興味ある集晶が観察された。

2) 葉先端部

第 1 期 葉長が 30 mm 前後に達するまでは結晶は全般的に比較的高密で、かつほぼ均等な分布を示す。しかし葉長が約 30 mm に達すると、葉先から葉脚に向かって 10 mm 前後の間の部分において、集晶がきわめて疎に分布するややひし(菱)形状の地帯をはさんで結晶が全く、あるいはほとんど存在しない半月状の 2 つの地帯があらわれ、それぞれ集晶の高密度分布地帯に接する。このパターンは葉長が 50 mm 前後に達するまで徐々に変化していき、葉先から葉脚へ向って 5—15 mm 前後の間の部分では疎になり、葉脚へ向って約 15 mm 以上の部分では密になる。

第 2 期 葉長が約 50 mm に達すると、それまでの全葉組織中において全く存在することのなかった単晶がはじめて出現する。すなわち葉先から葉脚に向かって 7 mm 前後の主脈上において単晶の短かい線列があらわれ (Fig. 14-A,B,C), この単晶は以後一般に葉長に比例して脈上を高密でとり囲んでいくが、まず葉先から葉脚に

Fig. 14. Clustered and Solitary Crystals of Calcium Oxalate of Ashed Leaf of *Salix babylonica* LINN.

leaf length: about 50 mm
normal light; A: $\times 40$
crossed Nicols; B, $\times 40$, C: solitary crystals,
 $\times 400$

向って約 3—15 mm 前後の間の部分において走行する脈上を高密度で満たした後、次第に葉の中央部の脈上へと出現部を移動させていく。

4) 葉縁部 第 1 期, 第 2 期を通じて, 葉肉部において観察される結晶分布のパターンとはほとんど同じである。

以上シダレヤナギの葉の展開期から落葉期までにおける結晶パターンにおいて, 葉長が約 50 mm に達すると著明な, かつ根本的な変化が生じることが明らかとなった。すなわち, 葉長が約 50 mm に達するまでは集晶のみが分布し, 50 mm を越えると単晶があらわれ, 集晶と単晶が同時に分布することが判明した。

結 論

以上シダレヤナギの葉について, 冬芽から生長葉に到る過程で, 葉中のシュウ酸カルシウム結晶の発現, 形成がどのように進行するかを詳細に追跡観察した。この結果, 最初に発現する結晶形は集晶であり, ある期間を経てはじめて単晶が現れることが判明した。かつ集晶や単晶の形成の様式は主脈, 葉肉, 葉先, 葉縁各部位についてそれぞれ特徴的であることから, 結晶形成のパターンは植物葉の各部位の活動のありさまを推定させる手がかりになることが判明した。しかし具体的にいかなる生理的・化学活性が働いて結晶形や形成速度を決定しているのかは不明であり, 今後の解明を必要としている。