

## 低温処理による花木類の開花促進に関する研究

V コデマリ (*Spiraea cantoniensis* LOUR.) の開花特性

五井正憲, 川西玉夫, 庵原 遜

## I 緒 論

著者ら(3)は、コデマリの促成に関する実験において、自然条件下では花芽が花房分化直後に発達を中止し、その段階でかなり長時間の低温を受け、その後気温が15°C程度ないしそれ以上になった時、はじめて開花することを明らかにした。また人為的に与えられた低温も開花を促進するが、低温の効果は花芽が形成されているかどうか、あるいは花房分化後発達を中止してからどの程度の時間が経過しているかによって異なる可能性があることも示した。

これらのことは、コデマリの花芽がその発達段階によって明らかに異なる温度要求をもつことを示している。本報告は、1971年から1974年にわたって、主としてコデマリの開花と温度との関係を検討するために行った実験結果をまとめたものである。

## II 材料および方法

すべての実験において、“ミズホコデマリ”を材料とした。1971—1972年には、株分け後3年間畑で養成した大株を4月に箱植えて用い、1972年—1973年には、さし木後3年間畑で養成した苗を、また1973年—1974年には、前年に用いたのと同じ苗をさらに1年養成したものを、それぞれ3月上旬に21cm鉢に鉢上げして用いた。なお、いずれのばあいも、3月にすべての枝を地際で剪除し、戸外で養成した当年枝を用いた。それぞれの年度における実験方法の詳細は、つぎの通りであった。

1971年—1972年：開花に対する日長および温度の影響の概略を調べるため、ユキヤナギにおいて用いたのと同じ方法(4)で処理を行ない、10日ごとに茎頂に近い部分の腋芽を採取して、実体顕微鏡下で生長点を観察した。

1972年—1973年：前年度の結果から、コデマリの花芽始発（形成開始）のための限界温度が15°C前後であると考えられたので、その限界温度と花芽始発適温とを明らかにし、また花芽始発後、花芽完成までの発達と開花のための低温要求を検討するため、第1表に示す処理と調査を行なった。

第1表 1972年～1973年の実験計画

区 分	目 的	処理開始日	処 理 方 法	調 査
実 験 A	花芽始発のための限界温度の検討	8月10日	15°C, 20°C定温	花芽形成状態の観察(毎週)
実 験 B	花 芽 始 発 適 温 の 検 討	9月1日	10月31日まで日は戸外、夜は5°、 10°、15°および20°C。 11月1日以後は5°、10°、15°、20° °C定温暗黒条件 1月5日に15°C以上の温室へ入室	同上および入室後の開花調査
実 験 C	花芽完成および開花のために必要な低温期間の検討	11月3日	0°Cで、0、2、4および8週間 処理後、15°C以上の温室へ移す。	処理後、花芽発達状態と開花状態を調査

1973年—1974年：花芽発達のために必要な低温について、有効な温度範囲と適温を調べ、さらに、処理時における花芽形成状態と低温の効果との関係を明らかにするために、第2表のような処理と調査を行なった。

第2表 1973年～1974年における実験計画

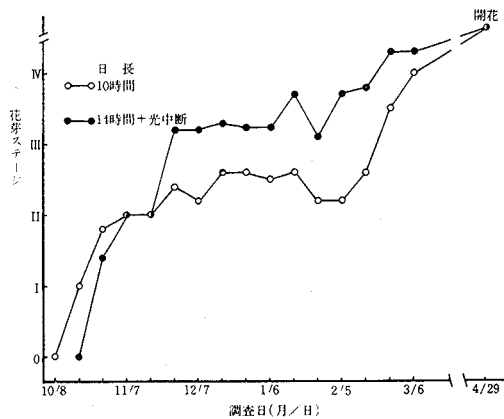
区分	目的	処理開始日	処理方法	調査方法
実験 D	低温処理の適温と有効な温度範囲の検討	11月12日	花芽が小苞形成ステージの株を、 -5°、0°、5°、10°、15°C定温 暗黒条件で6週間処理し、15°C以 上の温室におく。	処理後、発芽、 発蕾の調査
実験 E	低温の効果と花芽形成ステージとの関係の検討	10月2日 および 11月12日	花芽未分化期(10月2日)と小苞形成期(11月12日)に、0°C6週間、暗黒条件で処理し、15°C以上の温室におく。	同上および、処理前後における花芽の観察

なお、この研究を始めるに当っては、本学附属農場の伊藤芳一、森俊夫両技官の御助力を頂いた。記して感謝の意を表す。

### III 実験結果

コデマリの花芽は、ユキヤナギと同様に、当年枝の上部(約1/2～2/3程度)の葉腋に、また栄養芽は主として基部の葉腋にそれぞれ形成されたが、ユキヤナギでは、腋芽の生長点が葉を形成することなしに直接花芽を形成するのに対して、コデマリの花芽は、腋芽の生長点が先ず葉原基(約5～10枚)を分化した後、約20の小花からなる散房花序として茎頂に形成された。ただし、これら一連の形態形成はすべて腋芽のりんべん内で行なわれた。

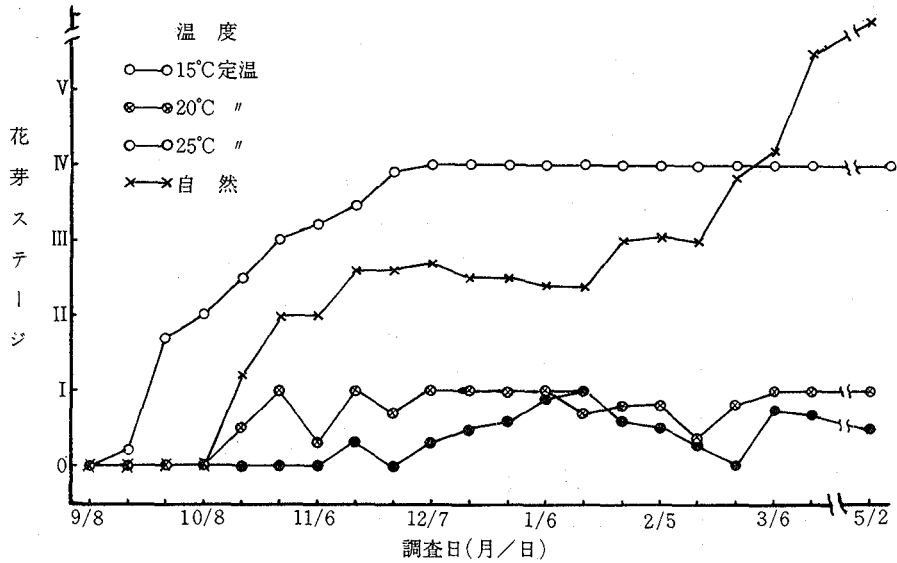
1971年—1972年に、自然温度下における日長反応を調べたところ、長日区において小苞形成期に達するのがやや早い傾向が認められた以外、花芽形成は自然条件下における形成過程とほぼ同様であった(第1、2図)。また同時に、自然



第1図. コデマリの花芽形成に対する日長の影響(1971～1972)

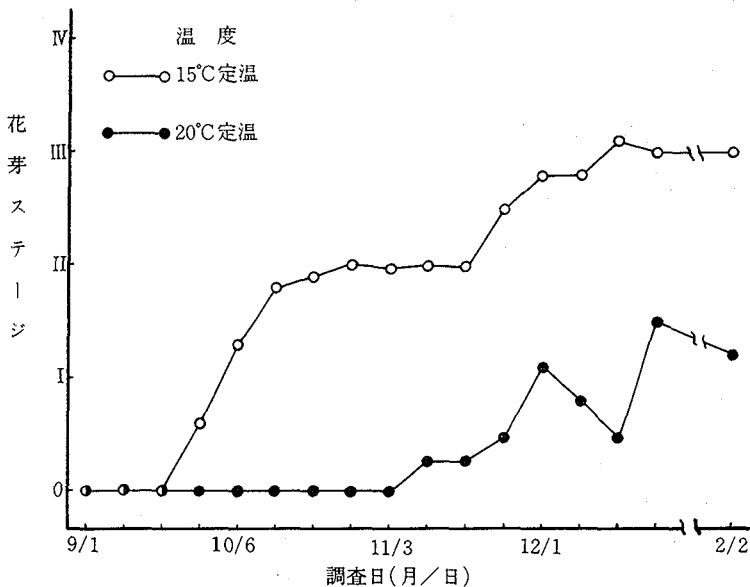
9月1日より自然温度下で処理、短日は自然日長、長日は自然日長+補光+光中断とした。

花芽ステージは、0：未分化、I：生長点肥大期、II：花房分化期、III：小苞形成期、IV：がく片形成期、V：花弁形成期、VI：雄ずい形成期、VII：雌ずい形成期、VIII：胚珠花粉形成期、IX：開花とした。

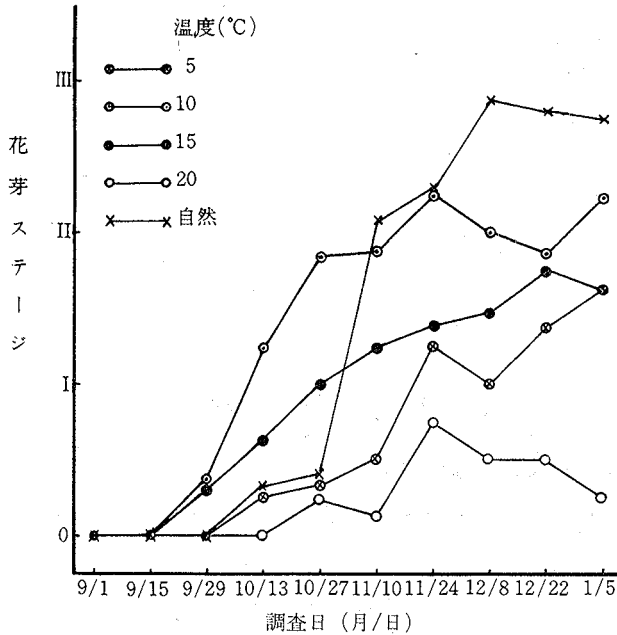


第2図 コデマリの花芽形成に対する温度の影響(1971~1972)  
 9月1日より自然日長下で所定の処理をおこなった。  
 花芽ステージは10芽の平均

日長下で種々の温度処理を行なった結果は第2図の通りであった。すなわち、15°C区では、処理開始後2~3週間で花芽形成が始まり、それより約1か月後に小苞、さらに1か月後にはがく片が形成され始めた。しかし、花芽形成はがく片形成初期の段階で中止され、5か月後においてもそのままであった。これに対して、20°Cおよび25°C区では、処理開始後8か月経過しても花芽形成は認められなかった。なお、自然条件下における花芽形成および開花の状態は、これまでの報告<sup>(3)</sup>とほとんど同じであった。これらとほぼ同じ結果は、1972年~1973年における実験でも得られた(第3図)。



第3図 コデマリの花芽形成に対する温度の影響(1972~1973)  
 9月1日よりファイトトン自然日長室で処理  
 花芽ステージは10芽の平均



第4図. コデマリの花芽始発に対する温度の影響(1972~1973)  
 9月1日から10月31日までは夜間のみ所定の温度とし昼(午前8時30分~午前5時30分)は戸外に置いた。11月1日以後は暗黒で各温度に連続して置いた。

第4図は、花芽始発のための適温に関する1972年度の実験結果を示したものである。この実験の範囲では、花芽始発と初期発達には10°C区で最も早く進み、ついで15°C区、5°C区の順となり、20°C区では花芽形成が観察されなかった。この実験は1973年1月5日に打ち切ったが、その際、各処理区の材料を最低夜温約15°Cの温室に移したところ、第3表に示す結果が得られた。すなわち、5°C区と10°C区、とくに5°C区の植物はよく発芽し、早くしかも齊一に開花したが、15°Cおよび20°C区の植物は発芽せず、したがって開花しなかった。

第3表 花芽発達に対する温度の影響 (1971~1972)

入室日までの処理温度 <sup>a</sup>	入室時の花芽ステージ	開花率 <sup>b</sup>	ブライント率 <sup>b</sup>
5°C	花房分化初期	53.7%	10.2
10°C	花房分化中期	44.2	18.4
15°C	花房分化初期	0	0
20°C	未分化	0	0

a. 第4図の処理方法参照

b. いずれも5本の枝の上部20節に対する割合

これらの結果およびこれまでに明らかにされた結果<sup>(3)</sup>から、コデマリの花芽完成と開花は、花芽始発後に低温が与えられることによって可能となると考えられ、その時低温として有効な温度範囲は、花芽始発のための温度よりも低いと考えられる。この点を明らかにするため、1973年度に行なった実験結果は第4表の通りで、0°Cおよび5°C区で最も早く発芽、発蕾し、その割合も高く、-5°Cおよび10°C区では、発芽率は比較的高かったがほとんど発蕾しなかった。15°C区では、発芽も発蕾も認められなかった。このように、発芽と発蕾のためには0°C~5°Cの低温が必要であることがわかった。そこで必要な低温量を調べてみると、第5図および第5表のようであった。すなわち、戸外で形成され始め

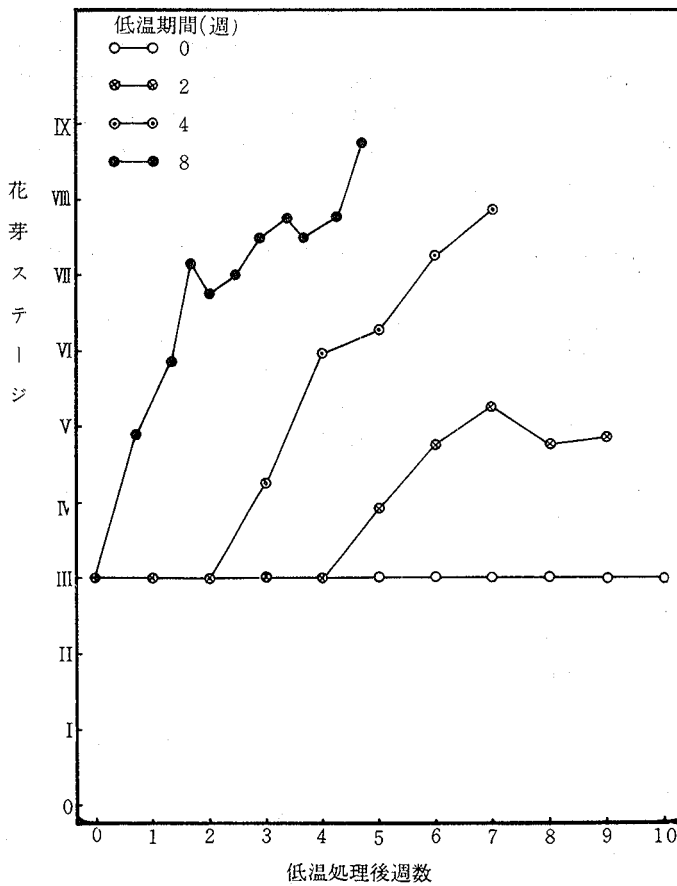
第4表 花芽発達に対する低温処理温度の影響 (1973-1974)

処理温度 ℃	発芽率 <sup>a</sup> %	発蕾率 <sup>b</sup> %	ブラインド率 <sup>b</sup> %
対 照	0	0	0
-5	31.0	9.5	21.5
0	54.0	40.0	14.0
5	53.5	39.0	17.5
10	20.0	4.0	16.0
15	0	0	0

a. 潜芽以外のすべての芽に対する割合

b. 5本の枝の上部20節に対する割合

低温処理は花芽が花房分化期で自然の低温をほとんど受けていない  
11月12日に開始した。



第5図 コデマリの花芽発達に対する低温期間の影響(1972-1973)

第5表 コデマリの開花に対する低温処理期間の影響 (1972~1973)

低温期間	到花日数 <sup>a</sup>	開花率 <sup>b</sup>
週		2月2日 2月20日
0	—	0% 0%
2	63	16.5 20.0
4	49	28.8 46.7
8	32	48.1 55.3

a. 処理終了後、開花までの日数

b. 各枝の上部20節に対する割合

低温処理は花芽が花房分化期で、自然の低温を受けていない  
11月3日に開始した。

た花芽が小苞形成期に達し、しかもまだ自然の低温をほとんど受けていない時期に、株を0°Cで0~8週間処理して温室に移した時、低温期間が長いほど入室後の花芽発達は早く、開花が早まり、しかも開花率が高くなった。

また前報<sup>(3)</sup>で示したように、花芽形成が始まっているかどうか、あるいは花芽がどの程度発達しているかによって低温の効果が異なると考えられるので、1973年度にこの点を検討した。0°C6週間の低温は、処理時の花芽の存在に関係なく発芽率を高めはしたが、花芽形成が始まっていない植物の花芽始発に対しては直接的にも間接的にも効果がなく、形成され始めた花芽の発達に対してのみ効果があった(第6表)。このばあい、10月2日低温処理6週間区の発芽して発蓄していない側枝の茎頂を観察したところ、ほとんどの生長点は座死状態で花芽を形成していなかった。なお低温処理中における花芽始発および発達は、全然認められなかった。

第6表 コデマリの開花に対する低温処理の効果と処理時における花芽形成状態との関係 (1973~1974)

処理開始日	花芽ステージ	処 理	発 芽 率 <sup>a</sup>	発 蓄 率 <sup>b</sup>
10月2日	未分化	対 照	6.3%	0%
		0°C6週間	49.2	8.2
11月12日	小苞形成期	対 照	0.8%	0.3%
		0°C6週間	54.0	40.0

低温処理後は15°C以上に保った。

a. 潜芽以外のすべての芽に対する割合

b. 各枝の上部20節に対する割合

#### IV 考 察

コデマリの花芽形成に対する日長の影響はほとんどなかった。詳細に検討してみると、花芽始発は短日で、初期発達は長日で、それぞれわずかに早められる傾向があったが、その差は小さく、しかも花芽始発から開花に至る全過程の進行状態は、どちらの日長においても、戸外におけるものと比較して差がなかったことから、問題とする必要はないと考えられる。

花木類で花芽形成に日長が関係しているものとしては、ツバキ<sup>(1,6)</sup>、ツツジ類<sup>(7)</sup>、ガーデニア<sup>(2)</sup>ほかいくつかの例が挙げられるが、秋に花芽を形成し始める落葉花木で明確な日長反応を示すものは、現在のところ知られていない。これ

は、日長感応部位である莖葉の活動停止期と花芽形成期とが一致していることにも一因があるのではないかと考えられる。

著者ら<sup>(3)</sup>は、促成実験において、コデマリの開花が温度の影響を強く受けている可能性があることを示したが、本実験の結果、花芽始発から開花までの全過程において温度が最も重要な要因として作用していることが明らかとなった。まず花芽始発と初期発達、数回にわたる実験結果(第2, 3, 5図)が示すように、20°C以上の温度ではほとんど完全に妨害され、15°C以下の温度の下でのみ正常に進んだ。花芽始発のための適温は10°C前後と考えられ、そのばあい花芽始発に必要な日数はおよそ20日であった。また花芽形成可能な温度範囲は5°C~15°Cと考えられた。これは自然における花芽形成開始期前後の温度条件とも一致する(第7表)。5°C以下の温度については、ここでは直接には検討してい

第7表 自然におけるコデマリの花芽形成前の気温  
(香川大学農学部気象月表 1972)

期 間	最高気温	最低気温
9月21日-9月30日	24.6	14.6
10月1日-10月10日	23.9	12.9
10月11日-10月20日	22.1	12.8
10月21日-10月31日	20.2	10.5

ないが、1970年~1972年の実験結果<sup>(3)</sup>、あるいは1973年度に行なった別の実験(第6表の10月2日6週間冷蔵区)が示すように、すくなくとも0°Cは花芽始発に対してはほとんど効果がなかったことから、5°C程度が限界であろうと考えられる。一般に、一定以下の温度で花芽を形成し始める植物では、限界内では比較的気温が高い条件、すなわち代謝活動が盛んで生長点の活性が高く、しかも花芽形成可能な温度条件の時、花芽形成は最も早く進み、気温が低くなるほど遅れるようになり、さらに気温が低下すると生長点の活動が停止して花芽は形成されなくなると考えられる。たとえば、花芽形成が速やかに進む温度は、ユキヤナギでは15°C前後<sup>(4)</sup>、ストックでは10°C前後<sup>(8)</sup>などとされている。

コデマリの花芽は5°C~15°Cの時に形成され始めるが、小苞形成期ないしがく片形成初期の段階に達すると、たとえ適温と考えられる10°Cにおいても、それ以上は発達しない。これと同じ現象は、花芽始発後の気温が次第に低下する自然条件下においても常に観察されることである<sup>(3)</sup>。したがって、上述の花芽発達中止は気温が高すぎたりあるいは低すぎたりするためではなく、花芽自体の内的要因によると考えられる。なお、花芽発達中止のステージが実験年度や気温によってわずかに異なることがあったが、この原因が材料の差によるものか、処理方法の差によるものか、あるいは他の原因によるものかについては、本実験の範囲では明らかでない。しかし、いずれにせよ、花芽ががく片形成初期以後のステージまで発達することはなかった。

自然条件下では、この花芽発達中止は小苞形成期、すなわち11月中旬ごろから2月中旬まで続く。2月下旬以後には、花芽は再び発達を開始し、4月下旬~5月上旬に開花する。これに対し、花芽始発後でしかも自然の低温を受けていない時期、すなわち11月上・中旬に株をそのまま温室に移しても発芽も開花も起らないが、0°C~5°Cで6週間冷蔵して入室すると開花に至った(前報<sup>(3)</sup>および第6表)。さらに第2図と第3図に示したように、15°C定温では、花芽は約半年後にもがく片初期のステージのままであった。花芽発達の再開のためには、低温を経過する必要があることが明らかである。本実験の範囲では、花芽発達に対する有効な温度範囲は-5°C~10°Cであるが、適温は0°C前後(すくなくとも5°C以下)であり、必要な期間は6~8週間であった。これは前報<sup>(3)</sup>で述べた結論と一致している。このように花芽始発のためにはほとんど効果のない低温が、小苞形成期ないしがく片形成初期以後の花芽ステージへの花芽発達および開花に対してきわめて有効であったことから、この段階でコデマリは、花芽始発と初期発達のためとは別の温度要求をもっていると考えられる。

花芽発達の再開と開花に対する低温の効果は直接的ではない。たとえば、最も効果的な温度と考えられる0°Cに長期間置かれても、その条件下にある限り、花芽はほとんど発達し得ない(第5図)。しかし、低温経過後に15°Cないしそれ以上の温度に置かれると、花芽は急速に発芽して開花に至る(第5図)。すなわち、低温は間接的に花芽発達の再開と開花を促進すると考えられる。これまで、植物、とくに花木類の開花を促進する低温の効果については十分な検討と整理がなされていないために、比較的低い温度の効果であれば、ややもすれば、すべて同じ低温効果(すなわち花芽の休眠

打破)と考えられ勝ちであったが、すくなくとも直接的効果と間接的効果とは区別する必要があると考えられる。たとえば、著者らがこれまでに得た結果では、ユキヤナギやコデマリは一定以下の温度で花芽を形成しはじめるが、レンギョウはむしろ一定以上の温度で花芽形成をはじめる。ところが、ユキヤナギでは雌ずい形成期、コデマリではがく片形成期以後の段階への花芽発達と開花のためには、それぞれ低温期を経過して一定以上の温度に移される必要があるのに対して、レンギョウでは花芽始発後 $15^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ で急速に花芽が完成・充実し、開花のためにのみ長期の低温を経過して $10^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ に保たれる必要がある。また、ハイドランジア<sup>(5)</sup>の開花特性はコデマリによく似ており、自然の平均気温で $18^{\circ}\text{C}\sim 19^{\circ}\text{C}$ 以下の直接作用の下で花芽が形成され始めるが、がく片形成期以後への花芽発達と開花のためには、コデマリとほぼ同様な条件を必要とする。このように、一見同様に見える低温の効果も、必ずしも同じであるとは限らない。ここでは、花芽形成過程の一部あるいは全部が直接的に促進される温度を、それらに対する適温(直接的効果)と考え、低温経過後一定以上の温度条件下ではじめて現われる低温の効果を間接的効果と考え、植物の反応という側からみて、これを低温要求と考える。

低温処理に関する実験において、低温の受け方が不十分であると花芽の発達速度は遅く、また再び発達が止まってブラインドになりやすいが、十分な低温を受けた花芽は急速に発達して開花した(第5表, 第4図)。ちょうど、Vernalizationにおける低温の持続期間と開花に対するその効果との関係と似た現象がある。これらのことから、また、コデマリにおいては、花芽発達の再開のために必要な低温期間が開花のために必要な期間よりも少なくてよいと考えることもできる。

ところで、上記のような低温効果は、低温期の前に花芽が存在しなければ、全く認められない。たとえば、前報<sup>(3)</sup>において、自然の花芽形成開始期のかなり前の10月上旬に、戸外で養成した株を $0^{\circ}\text{C}$ または $5^{\circ}\text{C}$ で6週間冷蔵して入室しても、全然開花しなかった。1973年度の実験(第4表)において、同様に10月2日から $0^{\circ}\text{C}$ で6週間処理すると、腋芽の発芽は多かったが、花芽形成は認められなかった。これに対し、花芽始発後の11月12日から同様の処理をすると、無処理区では発芽さえしないが、低温処理区ではよく発芽し、花芽発達も開花も早かった。これらの結果はまた、花芽はそれが形成されている腋芽が伸長しなければ開花しないが、温度が適切であれば本来その茎頂に花芽を形成する筈の腋芽は、たとえ花芽が存在しなくても伸長し得ることを示している。この点は、球根類や他の多くの草花と異なる点であると考えられる。

以上の結果から、コデマリの開花における低温の効果は、腋芽の伸長、形成され始めている花芽の発達の再開と開花促進に対する間接的効果であると考えられる。

上に述べたコデマリの開花過程と温度の関係を要約すると、以下のようになろう。

- 1) 新梢の腋芽形成(含葉原基) ----- 高温
- 2) 花芽始発と初期発達 -----  $5^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ でおこる。適温は $10^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 花芽発達中止(小苞, がく片形成期) ----- どんな温度の下でもおこる。
- 4) 低温要求 -----  $0^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ で6~8週間。
- 5) 花芽発達の再開, 側枝の伸長, 開花 ----- 低温後ほぼ $15^{\circ}\text{C}$ 以上。

## V 摘 要

コデマリ(*Spiraea cantoniensis* LOUR)の開花特性を明らかにするため、1971年から1974年にかけて実験を行なった。結果は以下のようであった。

- (1) 花芽は当年枝の上部 $1/2\sim 2/3$ の腋芽の茎頂に約20の小花をもつ散房花序として形成され、栄養芽は主に基部の葉腋に形成された。
- (2) 自然温度下においては、花芽形成に対する日長の影響はほとんどなかった。
- (3)  $5^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ の範囲では、花芽始発と初期発達は $15^{\circ}\text{C}$ 以下の温度でおこり、 $20^{\circ}\text{C}$ 以上ではおこらなかった。花芽始発のための適温は約 $10^{\circ}\text{C}$ であった。しかし、上記のどんな温度においても、花芽はがく片原基形成期以前の段階で発達を中止し、すくなくとも5か月の間そのままであった。
- (4) 花芽始発後、花芽が発達して開花に至るためには、低温期間を経過後、高温におかれる必要があった。すなわち、花芽始発後 $0^{\circ}\text{C}$ で6~8週間冷蔵後、 $15^{\circ}\text{C}$ 以上の温室に移した時にのみ開花した。
- (5) 花芽形成前の株を冷蔵して加温しても、低温は腋芽の発芽と伸長に対してのみ有効で、花芽形成に対しては何の効果もなかった。これに対し、花芽始発後の株を冷蔵して加温すると、低温は腋芽の伸長、花芽発達および開花に対して、(間接的に)きわめて効果的であった。



## 引用文献

- (1) BONNER, J.: Flower bud initiation and flower opening in camellia, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 50, 401-408 (1947).
- (2) CONOVER, C.A., SHEEHAN, T.J. and ROOLE R.T.: Flowering of gardenias as affected by photoperiod, Cycocel and B-9, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 81, 401-408 (1968).
- (3) 五井正憲, 長谷川暁, 国本厚: 低温処理による花木類の開花促進に関する研究 II コデマリの促成, 香川大農学報, 25, 35-42 (1973).
- (4) , 柏木祥亘: 低温処理による花木類の開花促進に関する研究 IV ユキヤナギ (*Spiraea thunbergii* Sieb.) の開花特性, 香川大農学報, 26, 1-6 (1974).
- (5) LINK, C. B. and SHANKS, J. B.: Studies of the factors involved in terminating the rest period of hydrangea, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 64, 519-525 (1954).
- (6) McELWEE, E. W.: The influence of photoperiod on the vegetative and reproductive growth of the common camellia, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 60, 473-478 (1952).
- (7) PETERSEN, H.: The effect of temperature and daylength on shoot growth and bud formation in azaleas, *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 97, 17-24 (1972).
- (8) POST, K. and BELL, R. S.: Effect of alternating temperature on the flowering of lavender column stocks, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 34, 630-634 (1936).

## STUDIES ON THE ACCELERATION OF FLOWERING IN WOODY ORNAMENTALS BY LOW TEMPERATURE TREATMENTS.

V On the Flowering Behavior of *Spiraea cantoniensis* LOUR.

Masanori GOI, Tamao KAWANISHI and Yuzuru IHARA

## Summary

The flowering behavior of *Spiraea cantoniensis* LOUR. had been studied from 1971 to 1974. The results were as follows:

- (1) The flower bud was formed as a corymb consisted of about 20 florets at the tip of axillary bud produced on the upper parts of current shoot, while the vegetative bud was formed in most axils at the basal parts of current shoot.
- (2) Under natural temperatures, flower formation was not affected by the photoperiods.
- (3) In the range of experimental temperature of 5°C-25°C, flower initiation and flower development in the early stages of flower formation were not observed at 20°C or above, but were observed normally at about 15°C or below. The optimum temperature for flower initiation was about 10°C. However, further development of the flower buds could not be observed, at least for 5 months under the temperatures mentioned above.
- (4) A certain period of low temperature followed by warm conditions was essential to further development of the flower bud and anthesis; the flower buds began to develop again and came into flower normally, only when the plant was treated at 0°C for 6 to 8 weeks after flower initiation and then was carried into the greenhouse maintained at 15°C or above. In this study, the range of low temperature effective for flowering process was about -5°C-10°C, and the optimum temperature was about 0°C.

(5) Before flower initiation, the low temperature treatment ( $0^{\circ}\text{C}$ , 6 weeks) on the plant promoted emergence and elongation of axillary buds indirectly, but had no effect on flower formation directly nor indirectly.

On the other hand, after flower initiation it stimulated indirectly flower development and anthesis, and emergence and elongation of axillary buds bearing the inflorescence.

(1974年11月30日受理)