



Title	トドマツおよびカラマツの生長と生長物質に関する研究
Author(s)	柴草, 良悦; SHIBAKUSA, Ryoetsu
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 31(3), 293-377
Issue Date	1974-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20942
Type	departmental bulletin paper
File Information	31(3)_P293-377.pdf



トドマツおよびカラマツの生長と 生長物質に関する研究

柴 草 良 悦*

Studies on Growth Substances of *Abies sachalinensis*
MASTERS and *Larix leptolepis* GORDON
in Relation to their Growth

By

Ryoetsu SHIBAKUSA*

目 次

緒 言	295
研 究 史	296
I. トドマツの生長と生長物質	303
1. 実験材料および方法	304
1) 実 験 材 料	304
2) 生長物質の抽出および精製	305
3) ペーパークロマトグラフィー (PPC), 薄層クロマトグラフィー (TLC), カラムクロマトグラフィーおよびガスクロマトグラフィー (GLC)	305
4) アベナ伸長試験	305
5) イネ苗試験	306
6) 紫外線照射による蛍光反応試験およびインドール化合物, フェノール 化合物, アミノ酸, 糖検出のための各試薬噴霧呈色試験	307
2. 開芽におけるトドマツの芽の生長物質	307
1) 実験材料および方法	307
2) 実験結果および考察	307
3) ま と め	311
3. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (1)	313
1) 実験材料および方法	314
2) 実験結果および考察	315
3) ま と め	315
4. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (2)	315
1) 実験材料および方法	315

1974年6月15日受理

* 北海道大学農学部林学科 造林学教室

* Laboratory of Silviculture, Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

2) 実験結果および考察	316
3) ま と め	321
5. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (3)	322
1) 実験材料および方法	322
2) 実験結果および考察	323
3) ま と め	327
6. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (4)	327
1) 実験材料および方法	327
2) 実験結果および考察	328
3) ま と め	332
7. モンターナマツ, シモニードロ, カラマツおよびクマイザサの 枝葉にある生長抑制物質	332
1) 実験材料および方法	332
2) 実験結果および考察	332
3) ま と め	333
II. カラマツの生長と生長物質	333
1. 実験材料および方法	333
1) 実験材料	333
2) 生長物質の抽出, 精製および PPC による分離	333
3) アベナ伸長試験およびエールリッヒ試薬, ミッチェル試薬 噴霧による呈色試験	334
2. カラマツの頂芽優勢と生長物質	334
1) 実験材料および方法	335
2) 実験結果および考察	337
3) ま と め	338
3. カラマツの伸長生長, 肥大生長とその当年生枝, 1年生枝および 葉の生長物質の季節的变化	338
1) 実験材料および方法	339
2) 実験結果および考察	342
3) ま と め	343
III. 生長物質等の散布によるトドマツの開芽および秋伸び抑制	343
1. 生長促進物質, 生長抑制物質, 呼吸阻害物質散布による トドマツ開芽抑制 (1)	343
1) 実験材料および方法	344
2) 実験結果および考察	345
3) ま と め	347
2. 生長促進物質, 生長抑制物質散布によるトドマツ開芽抑制 (2)	347
1) 実験材料および方法	347
2) 実験結果および考察	347
3) ま と め	348
3. 生長促進物質, 生長抑制物質散布によるトドマツ開芽抑制 (3)	348
1) 実験材料および方法	348
2) 実験結果および考察	348
3) ま と め	350

4. 生長抑制物質散布によるトドマツ開芽抑制 (4)	350
1) 実験材料および方法	350
2) 実験結果および考察	350
3) ま と め	352
5. 生長促進物質, 生長抑制物質, 呼吸阻害物質および光合成阻害物質 散布によるトドマツの秋伸び抑制 (1)	352
1) 実験材料および方法	352
2) 実験結果および考察	355
3) ま と め	355
6. 生長促進物質, 生長抑制物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (2)	355
1) 実験材料および方法	355
2) 実験結果および考察	357
3) ま と め	357
7. 生長促進物質, 生長抑制物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (3)	357
1) 実験材料および方法	357
2) 実験結果および考察	358
3) ま と め	359
8. 生長抑制物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (4)	359
1) 実験材料および方法	359
2) 実験結果および考察	359
3) ま と め	361
総括および結論	361
引用文献	365
Summary and conclusions	373

緒 言

生長物質は、樹木にも存在し、樹木の一連の生長現象たとえば開芽、形成層の活動、さし木の発根、開花結実、種子の発芽、落葉、休眠等に関与していると考えられている。

近年、落葉や休眠に関係するものとして生長抑制物質が注目されているが、樹木の休眠は、実用的な意味からも、生長抑制物質との関連のもとにさらに研究されねばならない問題である。

しかし一方、植物体内に存在する天然生長物質たとえば、IAA (以下生長物質等の大半は、略記号で表わす—296頁の表参照)、GA, cytokinins などと共に、合成生長物質である NAA, 2,4-D, MH などが開発されて実際に使用されている。

林業においては、種子の発芽促進、さし木の発根促進、除草剤などに用いられ、農業や園芸においては単為結果、落果防止、さし木の発根促進、除草剤として用いられている。

さて林業の分野では、北海道の主要造林樹種であるトドマツおよびカラマツの生長現象と生長物質の関連について調べられた例は非常に少ない。本論文では、実験材料にトドマツとカラマツを選び、それらの生長現象と生長物質の関連を調べ、一定の成果を得ることができた。

本研究を進めるにあたって、終始懇切なご指導を賜った北海道大学農学部教授武藤憲由博士ならびに前北海道大学教授齋藤雄一博士に厚くお礼申しあげる。また本論文の校閲を賜った北海道大学教授岡沢養三博士および同教授東三郎博士に深く感謝する。また実験を行なうにあたってご援助頂いた北海道大学農学部造林学教室の皆さんに深謝する。

なお、これまでの研究の大部分は、日本林学会誌、北海道大学農学部演習林研究報告、日本林学会大会講演集および日本林学会北海道支部講演集に発表しており、本論文はそれらをもとに取りまとめた北海道大学審査学位論文である。

研究史

1880年頃から屈性 (Tropism) は、現在のホルモンの作用の一例であるとの考えがあった。すなわち、DARWIN (1880)²⁶⁾ は、イネ科植物の子葉鞘を用い、その先端部が光に感ずるものであることを証明し、子葉鞘の先端の影響が上部から下部に伝わり、それが原因で下部が屈曲すると結論した。その後、BOYSEN JENSEN (1910)¹⁵⁾ は、エンバク子葉鞘の先端部を切り取り、この先端部を再びゼラチンでもとの位置につけて光をあてると屈曲することを見つけた。この事実から、氏は「刺激の伝達は子葉鞘の先端で濃度変化を起こすようなものである」と述べている。

PAÁL (1914)¹²⁶⁾、(1919)¹²⁷⁾ は、真っすぐに伸長している子葉鞘では、先端から下降する物質があり、先端に光があたるとこの物質の分布に変化が生じ、光に照らされなかった側が相対的にこの物質が多くなり、よりよく伸長して光のあたる方向に屈曲するのであるとした。

LOEB (1917)¹⁰²⁾、(1918)¹⁰³⁾ は、*Bryophyllum* の茎の屈性と発根に与える葉の影響を調べ、ホルモンの働きを仮定している。これらの仮定によって茎の屈曲、発根などの現象をひとつの考えで理解することができるようになった。

エンバクの子葉鞘から生長物質を得る試みは、WENT (1928)¹⁹³⁾ が成功した。これに基づきオーキシンの標準試験法であるアベナ屈曲試験法を提案し、オーキシンの定量的測定ができるようになった。これらの8年間 (1928~1936) に、オーキシンの研究は著しく進み、3種のオーキシンが分離された。

Abbreviations of growth substances and respiratory inhibitors used in this paper

Abbreviations	Growth substances and respiratory inhibitors
ABA	abscisic acid (Dormin, abscisin II)
BCA	2,4-dichloro- α -bromocinnamic acid
CCA	2,4-dichloro- α -cyanocinnamic acid
2,4-D	2,4-dichlorophenoxyacetic acid
DNP	2,4-dinitrophenol
GA	one or more of the known gibberellins
IAA	indoleacetic acid (indole-3-acetic acid)
IAN	indoleacetonitrile
IBA	indolebutyric acid
MH	maleic hydrazide
NAA	naphthaleneacetic acid
PHB	<i>p</i> -hydroxybenzoic acid
TIBA	2,3,5-triiodobenzoic acid

KÖGL と HAAGEN SMIT (1931)⁸²⁾ は、エンバクのアベナ試験において非常に活性の強い二つの物質を発見し、1931年に人尿からオーキシン a (Auxin a)⁸²⁾、1934年に同様の抽出法で麦芽とトウモロコシ油からオーキシン b (Auxin b) を得た⁸³⁾。また、彼ら⁸⁴⁾ は 1934年に人尿や酵母から第三の物質を抽出し、これがインドール-3-酢酸 (IAA) であることを突き止めた。

ジベレリンは、もともとイネ馬鹿苗病菌の一代謝産物であって、今から 40 年前に馬鹿苗現象を起こす物質として注目されたものである。藪田・住木 (1938)²⁰⁰⁾ は、イネ馬鹿苗病菌から植物を徒長させる作用のある物質のジベレリン A およびジベレリン B (Gibberellic acid A および Gibberellic acid B) の結晶を得た。その後、MILLER とその協同研究者 (1955)¹⁰⁷⁾ は、細胞分裂ホルモンであるカイネチン (Kinetin) を DNA の加水分解中に見出ししている。

これら一連の生長物質の発見は、植物の生長の解明に重要な手掛りを与え、植物生理学の発展に大きく寄与した^{5,14,38,79,85,86,90,98,108,120,122,142,155,157,163,169,174,182)}。

その後、植物体からの生長物質の抽出および分離、精製の方法も非常に進歩した。すなわち、当初は生長物質の抽出に寒天拡散法を用い、生長物質の定量はオーキシンを含んだ寒天を、先端を切り除いたエンバクの子葉鞘の上部に置き、それによって生ずる子葉鞘の屈曲測定法 (*Avena curvature test*) によって行なっていたが^{16,93,168,193)}、生長物質抽出の溶媒にエチルエーテル、メチルアルコール、エチルアルコールなどが用いられるようになり、多くの生長物質が抽出されるようになった^{17,42,46,95,170,172,177,179)}。

また、生長物質の定量に、エンバク子葉鞘の切片の伸長量による方法 (*Avena straight growth test*) が開発され、生長物質の測定範囲が拡大されるとともに^{12,99,114,193)}、多くの生長促進物質と生長抑制物質が検出された^{13,70,94,96,123,175)}。一方ペーパークロマトグラフィー (PPC) の発達によって生長物質の分離、精製が簡単にしかも正確に行なわれるようになり^{4,7,9,10,77,104,145)}、現在までに多くの生長促進物質^{3,34,37,47,69,70,84,97,104,130,135,162,166,168,189,198)} および生長抑制物質^{1,22,23,62,64,65,101,105,119,187,188,199)} が植物体内から検出されている。

また、生長物質の植物体内における存在形態 (遊離型、結合型、複合型など)^{113,144,181,196)} や移動^{21,44,178,202)} および植物に対する作用機構^{3,41,156,167,176)} も次第に解明された。

一方、NAA, IBA, 2,4-D, TIBA, MH などの生長物質が合成され、IAA, GA, Kinetin と共に実際に使用されている。林業においては、種子の発芽促進、さし木の発根促進、除草剤などに用いられている。

樹木における生長物質の研究は、かなり早くから行なわれてきた。次にその主な研究を述べる。

〔樹木における生長物質の研究〕

CZAJA (1934)²⁵⁾ が、*Populus nigra* var. *pyramidalis*, *Salix viminalis*, *Fagus silvatica*, *Quercus rubra*, *Syringa vulgaris*, *Forsythia suspensa*, *Sambucus nigra*, *Viburnum pulus*, *Tilia platyphyllos*, *Aesculus hippocastanum*, *Spiraea prunifolia*, *Pinus silvestris*, *Pinus*

heldreichii, *Picea pungens* var. *glauca* で生長物質の存在することを証明していらい, ZIMMERMANN (1936)²⁰³ は, *Fagus sylvatica*, *Picea excelsa*, *Carpinus betulus*, *Acer pseudoplatanus*, *Tilia tomentosa*, *Quercus rubra*, *Quercus sessiliflora* の芽と主軸に生長物質が存在することを報告し, AVERY 等 (1937)⁶ が, *Aesculus hippocastanum*, *Malus malus* の芽において生長物質の存在を報告している。

MIROV (1941)¹⁰⁹ は, *Pinus ponderosa* と *Pinus torreyana* の枝で生長物質の存在と分布について研究し, 枝では当年生枝の基部付近, 幹では形成層に生長物質が多いとしている。

FRANSSON (1953)³⁹ は, *Pinus silvestris* のオーキシンを調べこれと IAA を比較した。その結果, このオーキシンは, 物理的および生理的性質において IAA とは異なることを示している。

そのほか多くの研究者によって, 樹木の IAA やそのほかの生長物質について調べられている^{33,34,78,141,195}。

〔形成層の活動と生長物質〕

樹幹の形成層の活動を生長物質が促すことは多くの研究者によって確かめられている。

SÖDING (1937)¹⁵⁹ は, *Aesculus hippocastanum*, *Acer trautvetteri*, *Populus tremula* の肥大生長と生長物質の関係について生長期を通じて実験し, 生長の盛んな時に生長物質が多く, 生長の衰える時に生長物質の少ないことを報告している。また, 尾中 (1942)¹²⁴, (1950)¹²⁵ は, クロマツにおいて生長物質の分布, 消長と肥大生長の関係を調べ, 栄養供給その他の条件が同一ならば, 肥大生長の大小は生長物質の量と相関すると述べている。また, WAREING (1951)¹⁹¹ は, 環孔材の形成層活動を調べる中で, 形成層活動と生長物質の関連深いことを述べている。FRASER (1952)⁴⁰ も, *Pinus strobus* の形成層活動は, 頂部から基部に続くが形成層の活動の刺激は, 生長物質によると述べている。

WODZICKI (1964)¹⁹⁷ は, *Larix decidua* を短日処理あるいは12時間の日長処理した場合, 前者では樹皮組織の水可溶の抑制物質と厚膜仮導管の形成とが密接な関連を有するが, 後者では厚膜仮導管は起こらないし, 樹皮組織の抑制物質の蓄積もないことを報告している。

DIGBY と WAREING (1966 a)²⁸ は, *Robinia pseudoacacia* に, IAA と GA を散布した場合の木部と師部の形成状態を詳しく調べ, 高濃度 IAA/高濃度 GA は, 師部形成に有利であることを示し, また同氏等 (1966 b)²⁹ は, 環孔材 (*Ulmus glabra*) と散孔材 (*Populus trichocarpa*) の形成層活動と樹体内の生長物質について論じている。

〔さし木の発根と生長物質〕

さし木の発根において, 生長物質は植物組織中の有機物質とくに炭水化物と窒素化合物との相互関係の上に重要な役割を有している。

斎藤・小笠原 (1960)¹³⁵ は, ネコヤナギのさし穂からエチルエーテルで抽出した生長物質を PPC で分離し, アベナ伸長試験, GORDON and WEBER 氏試薬, MITCHELL 氏試薬反応試験に

よって IAA を確認した。そして氏等は、ヤナギの発根に IAA が大きな関係を持っていると推察している。

小笠原 (1960)¹¹⁵⁾ は、アカマツさし穂の不定根形成に関して生長物質と樹齢の関係を研究し、樹齢が高まるにつれてさし木が困難になる原因として、さし穂中の生長物質が関係するのではないかと述べている。また同氏 (1961 a)¹¹⁶⁾ は、1 月中旬に 15 年生アカマツのさし穂に用いられた枝から得たエチルエーテル抽出物には、酸性、中性両区分ともに発根阻害作用のあることを認め、このことからアカマツさし穂に発根を阻害する物質が存在しており、おそらくそれは生長抑制物質とも関係あると考えている。また同氏 (1962)¹¹⁸⁾ は、クロマツのさし穂においても同様の結果を得ている。

KAWASE (1964)⁷⁶⁾ は、*Salix alba* の当年生枝の先端から 10 cm の長さの部分を遠心分離器にかけたところ、その切り口から遠心力によって拡散される抽出物は発根促進作用を有していた。この抽出物は、水によく溶けクロロホルムあるいはエチルエーテルに不溶で、80% のイソプロピルアルコールを展開溶媒とする PPC で Rf 0.1 であった。氏は、この発根促進物質はリゾカリンに似た物質であると述べている。

VIEITEZ 等 (1966)¹⁸⁷⁾ は、*Ribes rubrum* のさし穂の生長物質を研究し、さし穂からメチルアルコールで抽出した生長物質のうちでエチルエーテル可溶区分に、PHB の結晶を得た。PHB はアベナ伸長試験において 100~200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ では生長促進に働き、200 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 以上では生長抑制に働く。また同氏等 (1967)¹⁸⁸⁾ は、*Salix atrocinerea* のさし穂中から、酸性区分で IAA と PHB を分離検出した。水溶性区分のアルカリ加水分解によって、PHB, vanillic acid, *p*-coumaric acid を得た。

FADL 等 (1967)³⁶⁾ は、発根困難とされているナシの Bartlett でさし穂を遠心分離にかけると基部から発根抑制物質が取り除かれて発根が促進したと報告している。また同氏等 (1967)³⁷⁾ は、ナシのさし木において、IBA 処理したさし穂中に内生の発根促進物質が見られるが、これは IBA とフェノール化合物との縮合生成物であろうと述べている。

他に発根に及ぼす生長物質の影響について研究した例には、BASU 等 (1969)⁹⁾ がいる。彼等は、*Eranthemum tricolor* の葉ざしで生長物質の作用を調べ、PHB は IAA あるいは NAA とは発根促進に相助作用を有するが、IBA とは相助作用を有していない。サリチル酸は、IAA, IBA, NAA との組合わせで非常に発根を促進したと述べている。

〔開花と生長物質〕

葉においてある物質が作られ、それが芽に移動して開花を起こさせることが明らかとなっている。この生長物質は、寒天中に拡散させて抽出できないので、オーキシンとは性質の違った物質とされている。この開花ホルモンは、フロリゲンとして推察されており、まだ植物体から物質として抽出されていない。

オーキシンは開花を促進する場合も、認められない場合もある。オーキシンによる開花促

進の最も著しい例は、パイナップルで報告されている。VAN OVERBEEK (1946)¹⁸⁰⁾は、NAA、2,4-Dによってパイナップルの開花促進を認めている。

樹木においては、スギ⁷⁴⁾、ヒノキ⁴⁸⁾、*Cupressus arizonica*¹²⁸⁾、*Metasequoia glyptostroboides*¹⁵³⁾等に、GAを散布することによって花芽分化が促進されることがよく知られている。

GAと開花ホルモン(フロリゲン)との関係は明確でないが、GAとフロリゲンは同一でないとされている。

橋詰(1960)⁴⁹⁾は、GAは花芽分化促進作用のほかに花性の分化を調節する働きがあることを報告している。すなわち、スギの自然着花後の雄花に10~100 ppmのGAで処理したところ、雌性化花を生じたと述べている。なお、斎藤(1957)¹³⁴⁾はアカマツ、クロマツでNAAの散布が、側生花の雌性化を誘起することを報告している。

また、橋詰(1961 a)⁵⁰⁾は、スギにおいてGAで着花を促進した後、雄花着生部から上方の新条を摘除し、再びGAで処理して側生の雌性化花を誘起することができ、GAと尿素あるいはオーキシンを併用散布すると尿素、IAAおよびNAAは雌性化花の誘起に対するGAの効果を増大したと報告している。更に同氏(1961 b)⁵¹⁾は、GAによる花芽分化誘起に関連しておこる新条内の生長物質、炭水化物および窒素の消長について研究している。

〔種子の発芽と生長物質〕

種子の中で主に胚乳には、種々の形のオーキシンが貯蔵されている。そして発芽と共に結合型オーキシンが活性化され、胚の生長を促すものと考えられる。また、種子中には生長抑制物質があり、種子の休眠に重要な役割を持っていると考えられる。

KRUGMAN (1965)⁹¹⁾は、*Pinus lambertiana* 種子の成熟過程において種子中の生長物質を調べ、IAAとIANを検出したが、受精前は胚珠にIANがあるが、受精後はIANが減少することを報告している。

畑野(1967 a)⁵²⁾、(1967 b)⁵³⁾は、アカマツ、クロマツ、パルストリスマツ、ヨーロッパアカマツおよびコウヤマキの種子皮中からクマリン、*o*-クマール酸を検出し、これらフェノール性物質は種子の休眠になんらかの関係を持つと考えている。

SONDHEIMER等(1968)¹⁶⁰⁾は、*Fraxinus americana*の種子を層積法によって低温処理するとABAが減少することを知り、ABAが種子の休眠と関係すると述べている。

そのほか多くの植物の種子について、発芽と生長物質の関係が詳細に調べられている^{24,35,81,87,101,105,111,173,190)}。

〔頂芽優勢と生長物質〕

多くの植物では、若枝の先で頂芽が盛んに生長している間は、枝の下部の芽は活動しないか活動してもその生長は頂芽よりも少ない。このような現象を「頂芽優勢」といっている。

ソラマメの頂芽を切り取ってもその切り口にオーキシンを与えると側芽の伸長生長は阻止

されること¹⁷¹⁾から、頂芽のオーキシンが側芽の生長を抑制すると考えられている。その後、SACHS等(1967)¹³³⁾は、peaで頂芽によって生長が抑制されている側芽にカイネチンを局部的に与えるとその抑制が除かれることを発見した。また、側芽の発育におけるカイネチンとIAAの拮抗作用を調べた例もある¹⁸⁴⁾。これらの事実から、側芽の生長とその阻害には2つの生長物質、すなわち頂芽から移動してくるオーキシンとおそらく根系から移動してくるサイトカイニンの拮抗的な作用が関係していると考えられている。

樹木の頂芽優勢に関する研究には次のようなものがある。

GUNCKEL等(1949)⁴⁵⁾は、イチョウの長枝と短枝における開芽において芽のオーキシン量を測定した。短枝の開芽においては、枝の上部にある芽のオーキシンは、枝の下部の芽より多い。そして枝のオーキシンは葉や頂部の分裂組織で作られるのではなく、葉が不活性のオーキシン前駆物質を供給し、幹で作られると述べている。

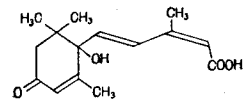
WAREING等(1961)¹⁹²⁾は、せん定された樹木の樹形は、各器官へのオーキシンの再分布と関係すると述べている。

斎藤と柴草(1962)¹³⁶⁾は、カラマツの頂芽優勢と生長物質の関係を調べ、開芽開始と共に長枝になる芽には短枝になる芽より生長促進物質が多くなり、開芽の過程を通じて長枝になる芽の生長抑制物質は短枝になる芽よりその量は少ないと述べている。

〔落葉と生長物質〕

落葉は、葉柄の基部かあるいはその近くで離層と呼ばれる特殊化した細胞の層が形成されると起こる。落葉の生ずる原因として、光周性等の環境からの信号に反応して葉身に生ずるオーキシン¹⁵⁴⁾、エチレンが関与していると考えられている。すなわち、オーキシンは落葉を抑制し(しかし一度老化が始まるとオーキシンは落葉を促進する)、エチレンは落葉を促進すると考えられている。

近年植物の離層形成には、特殊な生長抑制物質が関与することが唱えられ、1963年に大熊等(1963)¹¹⁹⁾は、ワタの果実からこの物質を抽出し構造の研究を行ない、これにAbscisin IIと命名し次の化学構造式を提案した。



この物質は、*Acer pseudoplatanus* から抽出した休眠を促進する物質、Dorminと同一物質であることが分かった²²⁾。その定量方法についてはMILBORROW(1967)¹⁰⁶⁾が報告している。またその中でAbscisin IIは多くの植物に存在し、生長抑制物質として働いており、Abscisin II(後にabscisic acidと命名された)はいわゆるinhibitor-β*の最も重要な構成成分のひとつであろうと述べている。

樹木の落葉と生長物質の関連を調べた例に次のようなものがある。

BRIAN等(1959a)¹⁹⁾は、落葉直前にGAの0.005%水溶液を樹木に散布すると離層形成が

* イソプロピルアルコール:アンモニア:水、(10:1:1 v/v)の展開溶媒によるPPCでRf 0.6~0.8付近にある生長抑制物質。

遅れ、枝が再生長し、いわゆる長日条件の特徴を示すことを観察した。とくに効果の強い樹木は *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium*, *Acer pseudoplatanus* であった。また同氏等 (1959 b)²⁰⁾ は、50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ の GA 水溶液を8月下旬と9月下旬に *Acer pseudoplatanus*, *Betula verrucosa*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Sorbus aucuparia* に散布すると1~3週間開芽が遅れたと述べている。

JACOBS 等 (1964)⁶⁸⁾ は、オーキシンの葉面散布が *Coleus blumei* の離層形成を防ぐことを様々の方法で確かめた。また同氏 (1968)⁶⁷⁾ は、葉柄の老化要因として Abscisin が関係していると述べている。

delafuENTE と LEOPOLD (1968)²⁷⁾ は、エチレンが離層形成を促進するのは、葉柄組織のエチレンによるエチレン刺激生産物に関連すると述べている。

〔芽の休眠と生長物質〕

休眠とは、きわめて便宜的ではあるが「生育が一時的に停止した状態」であると定義できる。そのうち、温度や光等の外的要因が生育に不適當な場合にのみひきおこされるものは、強制休眠 (imposed or enforced dormancy) と呼ばれる。また、多くの場合冬芽はまだ温度や光等の外的要因が生育に好適である夏に作られ、その後、たとえ生育に好適な条件が与えられても発芽しない。このような場合は、自発的休眠 (innate or spontaneous dormancy) と呼ばれる。温帯地方の樹木では、その自発的休眠は低温によって解除されることが多く、この現象と芽や葉の生長物質との関連についてよく研究されている。

近年バレイシヨの塊茎¹⁸⁾ や果樹^{30, 129)} の休眠覚醒に GA が効果を持つことが分かっている。樹木の芽の休眠と生長物質の関係を研究した例を以下年代順に述べる。

BENNETT 等 (1938)¹¹⁾ は、pear と cherry の休眠が暖かい冬に長びき、寒い冬は開芽が早くなる原因を調べ、寒い冬は芽にオーキシン前駆物質が蓄積するために開芽が早くなるとしている。

DONOHU 等 (1957)³⁰⁾ は、45°F 以下で不十分に低温処理した休眠中の Elberta peach に、GA の 0~4,000 ppm を2月23日に散布したが、3月29日の調査までに GA 1,000~4,000 ppm を散布した peach は活発に生長した。しかし 200 ppm と 500 ppm を散布した peach はごくわずかししか生長せず、50 ppm と 100 ppm を散布した peach は全く生長しなかった。また、層積法によって、普通の処理期間の1/4の低温処理した peach の種子を一昼夜 GA で処理し、発芽試験を行なった。その結果、対照区の30%の発芽率に対して 20 ppm は50%、100 ppm は80%、200 ppm は70%、500 ppm は40%、1,000 ppm は30%であったことを報告している。

HENDERSHOTT 等 (1959)⁶²⁾ は、休眠中の peach の花芽から生長抑制物質を抽出し、その物質の赤外線および紫外線吸収スペクトルから、この物質は naringenin であることを突き止めた。この物質は、peach の休眠となんらかの関連を有していると考えている。

PHILLIPS (1962)¹²⁹⁾ は、peach の芽の休眠に対する GA の働きを調べ、GA が休眠打破の

作用を有しており, naringenin と coumarin はそれに対して拮抗作用を有していると報告している。

EAGLES 等 (1963)³¹⁾, (1964)³²⁾ は, 樹木の休眠について研究し, *Betula pubescens* から抽出された生長抑制物質は, *Betula* の苗木に休眠芽の形成を誘起する。また休眠打破は, 内生の生長抑制物質と GA の相互作用によることを *Acer pseudoplatanus* で確かめ報告している。

斎藤・柴草 (1964 a)¹³⁸⁾, (1964 b)¹³⁹⁾ は, 開芽期のトドマツの芽の生長物質を調べ, 開芽と共に生長促進物質とジベレリン様物質が増加し, また, 開芽直前のトドマツの芽に生長物質を散布して開芽の抑制試験を行なったところ, Na・NAA 250~100 ppm, MH 2,500~1,000 ppm に効果があったことを報告している。

KAWASE (1961)⁷⁵⁾ は, *Betula pubescens* で, HEMBERG (1949 b)⁵⁶⁾, (1958 b)⁶¹⁾ は, *Fraxinus excelsior* f. *pendula* の芽で研究しているほか, 多くの研究者が樹木の芽の休眠と生長抑制物質について研究し, 休眠中の樹木に生長抑制物質が多く, 休眠が破られた後は, 生長抑制物質が減少することから, 芽の休眠と生長抑制物質が密接な関係を有することを報告している^{2,63,117,158)}。

上記の生長抑制物質の中でも, ABA が重要な役割を持っていることはすでに述べた。

そのほか休眠に関連して, 休眠期の樹木や生長開始期の樹木の生長抑制物質について研究された例は多い^{34,43,71,72,147,149,150,151)}。

著者は, 本論文の中で, 大別して以下3つのことを調べた。

1. トドマツの生長と生長物質
2. カラマツの生長と生長物質
3. 生長物質等の散布によるトドマツの開芽および秋伸び抑制

以上の試験のうち, 3. の試験目的は次のような理由による。

北海道ではトドマツは, 苗畑や山出し後, 造林地で晩霜害を受けやすい。もし最適な生長物質が得られると, その生長物質の散布によってトドマツの開芽を抑制させることができ, 晩霜害を避けることができる。また, N 施肥過剰な苗畑では, トドマツが秋伸びすることが知られている。秋伸びをした苗木は形質が悪く, 造林地で凍霜害を受けることがあるが, もし最適な生長物質が得られると, その生長物質の散布によってトドマツの秋伸びを抑制させ, 容易に健全な苗木を得ることができる。

本研究の 1. および 2. では, ある一定の成果を得た。また, トドマツおよびカラマツの生長と生長物質との具体的な関連についてはいまだ不明確なことが多いが, 3. に関しては, 生長物質による chemical regulation の実用化の可能性を示し得た。

I. トドマツの生長と生長物質

トドマツの生長と生長物質に関する実験は, 主にトドマツの開芽と芽の生長物質との関連についての実験と生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質についての実験からなる。

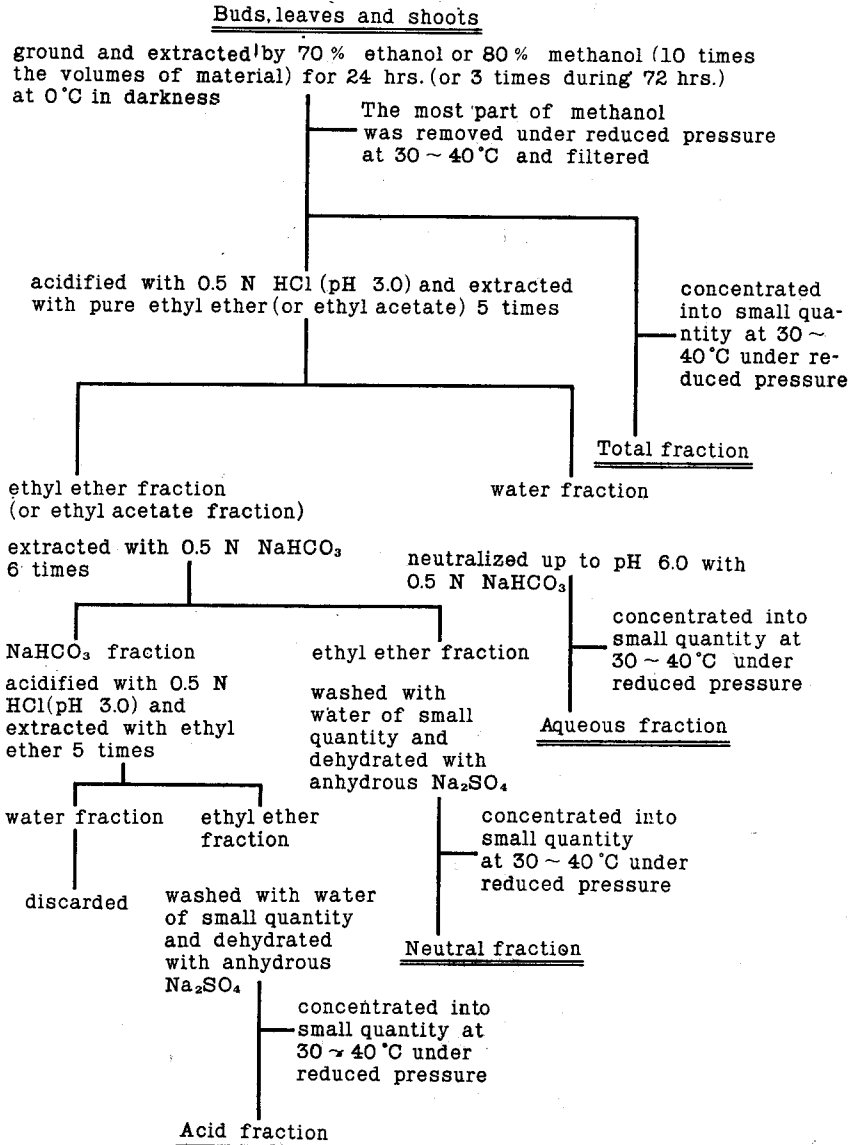
1. 実験材料および方法

1) 実験材料

トドマツの開芽と芽の生長物質に関する実験で主として用いた材料は、北海道大学中川地方演習林および岩見沢林務署産の種子で、北海道大学演習林(苗畑)札幌で育苗した2年生および5年生のトドマツ (*Abies sachalinensis* MASTERS) 苗木である。

生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質についての実験で主として用いた材料は、

Table 1. Extraction and purification of endogenous growth substances containing in buds, leaves and shoots of *Abies sachalinensis* MASTERS



北海道大学苫小牧地方演習林山の神事業区 138 林班に植栽された 22~24 年生トドマツの葉である。

2) 生長物質の抽出および精製

生長物質の抽出とその精製過程を詳細に示すと Table 1 となる。

トドマツの芽および枝葉を乳鉢あるいはホモジナイザーで粹碎して試料の約 10 倍量 (v/g) の 70% エチルアルコールあるいは 80% メチルアルコールを加え、0°C で 24 時間あるいは 72 時間の間に 3 度液をとりかえて暗所で抽出した。抽出液を水流ポンプの減圧下で、30~40°C とし、大半のエチルアルコールあるいはメチルアルコールを除去した。この水溶液の一部を 30~40°C で濃縮して全区分とした。残りの水溶液を 0.5 N の HCl で pH 3.0 とし、精製エチルエーテルあるいは酢酸エチルで 5 回抽出した。水層は、0.5 N の NaHCO₃ で pH 6.0 とし、減圧、30~40°C で濃縮して水溶性区分とした。

エチルエーテル層あるいは酢酸エチル層は、0.5 N の NaHCO₃ で 6 回抽出し、そのエチルエーテル層は少量の純水で洗い、Na₂SO₄ で脱水したのち、減圧、30~40°C で濃縮して中性区分とした。

NaHCO₃ 層は、0.5 N の HCl で pH 3.0 とし、精製エチルエーテルで 5 回抽出し、エチルエーテル層は少量の純水で洗い、Na₂SO₄ で脱水したのち、減圧、30~40°C で濃縮して酸性区分とした。

3) ペーパークロマトグラフィー (PPC), 薄層クロマトグラフィー (TLC), カラムクロマトグラフィーおよびガスクロマトグラフィー (GLC)

得られた全区分、水溶性区分、中性区分、酸性区分を PPC で分離した。主として用いた展開溶媒は、イソプロピルアルコール:アンモニア:水、(10:1:1 v/v)* で上昇法により原点から約 20 cm の高さまで展開して物質を分離した。使用したろ紙は、東洋ろ紙 No. 51 であった。

TLC で用いた吸着剤は、シリカゲル GF₂₅₄ (Merck) であった。

カラムクロマトグラフィーで用いた吸着剤は、シリカゲル (100 メッシュ以上) と活性炭であり、用いた量はそれぞれ試料の 20~30 倍と 10 倍であった。

GLC に用いた器機は、日立ガスクロマトグラフ K-53 と柳本ガスクロマトグラフ GCG-550FP で共に FID 検出器である。前者には、5% SE-30 (クロモソルブ W, 60~80 メッシュ) の充填剤を用い、後者には 1.5% OV-17 (クロモソルブ W, 60~80 メッシュ) の充填剤を用いた。

4) アベナ伸長試験

オーキシンの定量を目的として行なった試験である。

エンバク (*Avena sativa* L.) の純系種 (Victory 1 号) の粒の大きくそろった種子を必要数の 2~3 割増し選び、もみ殻をむき、水に 2~4 時間浸した。吸水した種子を湿ったろ紙を敷い

* 以下 IPrAW (10:1:1) と略す。

たベトリシャーレ中に一定方向に胚を上にして並べた。シャーレはふたをして、中胚軸の生長を抑制するために赤ランプによって赤色の弱光をあて 25°C の恒温器中で発芽させた。24 時間経過すると約 2 mm 程度発芽し幼根が 2~3 mm 伸長した。この状態の時に、大型シャーレ (直径 25 cm, 高さ 7 cm) に詰めた石英砂にエンバクを植え付け、石英砂をかけ 25°C で暗所に置いた。

48 時間経過すると子葉鞘が 2.5~3.0 cm に伸長するので、この子葉鞘の先端 3.0 mm を切り除いてそのすぐ下から 3.60 mm の切片を作り試験に用いた。

PPC で展開したろ紙の原点と溶媒のフロントの間を 10 等分したのち、それぞれ 2% しょ糖を含むクエン酸-リン酸第二カリウム緩衝液 (pH 5.0) 1 cc で抽出し、上述の方法で得たエンバク子葉鞘の切片を各抽出液に 10 個浮かべ 24 時間後にその伸びを測定した。対照区としてろ紙の原点より下の部分からの抽出液を用いた。

5) イネ苗試験

ジベレリン様物質を定量することを目的として行なった試験である。

アベナ伸長試験の場合と同様に展開したろ紙を区分し、それぞれに 1 cc の純水を加え、そこへ 1~2 mm の芽が出たイネ (*Oryza sativa* L.) (農林 22 号) の種子を 10 個ずつ植えた。その後毎日 0.5 cc の純水を与えて育て、7 日後に取り出して第二葉鞘の長さを測定した。この試験を 20°C のガラス室で行なった。

Table 2. Reagents and methods for detecting indole compounds, phenolic compounds, amino acids and sugars

Reagents	Main colour reaction substances	Composition of reagents	Heating temperature (°C)
EHRlich reagent	indole compounds	to dissolve 2 g of <i>p</i> -dimethylaminobenzaldehyde in 20 cc of HCl+80 cc of abs. ethyl alcohol.	60~70
SALKOWSKII reagent	"	0.05 M FeCl ₃ in 5% HClO ₄ solution.	"
MITCHELL reagent	"	to dissolve 1 g of KNO ₂ in 200 cc of HNO ₃ .	"
Indophenol reagent	phenolic compounds	to spray with an ethyl alcohol containing 0.1% 2,6-dichloroquinon-chlorimid, then spray with an aqueous solution saturated with Ba(OH) ₂ .	room temperature
PAULY reagent	"	to spray with 50% ethyl alcohol containing 0.5% (g:v) diazotized sulfanilic acid, then exposure with NH ₃ -vapour.	"
ninhydrin reagent	amino acids	0.2% ninhydrin-acetone solution containing about 2% pyridine.	80~90
BACON-EDELMAN reagent	reducing sugars	to dissolve 0.5 g of benzidine in 10 cc of glacial acetic acid+10 cc of 40% trichloroacetic acid+80 cc of 95% ethyl alcohol.	105

6) 紫外線照射による蛍光反応試験およびインドール化合物, フェノール化合物^{99,100,164}), アミノ酸, 糖検出のための各試薬噴霧呈色試験

生長物質を展開し終えたる紙あるいは薄層に波長 360 m μ あるいは 253.6 m μ の紫外線を暗室で照射し, 蛍光を発する物質と紫外線を吸収する物質を調べた。また, ろ紙に各試薬を噴霧し, 所定の温度にして呈色する物質を調べた。各試薬による主な呈色物質, 試薬の組成, 加熱温度を表にして示すと Table 2 となる。

2. 開芽におけるトドマツの芽の生長物質¹³⁸)

生長を休止している樹木が, 開芽を開始する段階で, 生長物質が深く関連すると考えられている。本実験は, 開芽におけるトドマツの芽のオーキシンとジベレリン様物質の変化を調べたものである。本実験は, 1964年4月23日から5月15日にかけて行なった。

1) 実験材料および方法

実験材料は, 北海道大学中川地方演習林産種子で, 北海道大学演習林苗畑(札幌)で育苗した5年生トドマツの芽である。試料採取月日とその時のトドマツの芽の形態は Table 3 のごとくである。

Table 3. Form of buds of *A. sachalinensis* MASTERS in dates in collecting materials

Dates in collecting materials (1964)	Form of buds
4/23	Buds are more swelling than buds in the dormant period, but leaves are not visible.
5/7	Scales of buds are beginning to open 30~40% and leaves are visible in buds.
5/15	Buds are elongating about 1~2 cm and scales of buds are come off entirely.

実験には, 開芽状態が同程度の芽を多数そろえる必要があるため, 主に側芽を用いた。

芽からの生長物質の抽出は, 一試料につき全区分, 水溶性区分, 中性区分, 酸性区分の4区分を得た。これらを PPC で分離し, オーキシンをアベナ伸長試験, ジベレリン様物質をイネ苗試験^{80,132})で調べた。ろ紙にぬりつけた試料の量は, アベナ伸長試験は 1g, イネ苗試験は 2g, 他の試験は約 0.5g 生重量相当であった。

2) 実験結果および考察

実験の結果をヒストグラム方式で図示すると Fig. 1 と Fig. 2 となる。

アベナ伸長試験では, 各区の伸びを対照区のそれに対する % で, イネ苗試験ではイネの第二葉鞘の長さをそのままの長さで表わした。また, 開芽に伴い芽の生長物質の量がどのように変化するかを具体的に知るために Fig. 1 と Fig. 2 から便宜上 Table 4 の数値を算出した。すなわち, 各ヒストグラムごとに, 対照区平均値の標準偏差を取ってその範囲より上に出た長

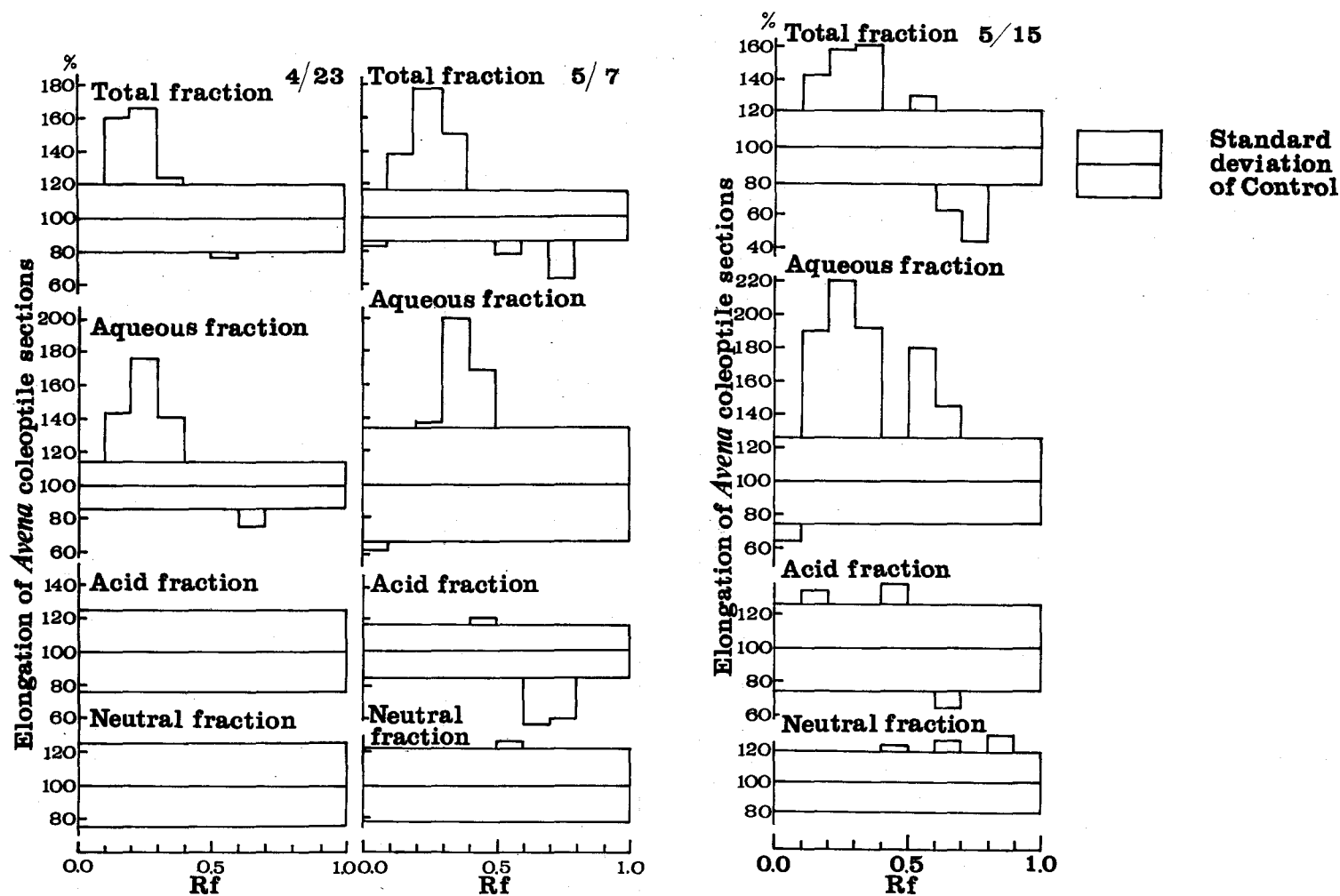


Fig. 1. Change of auxins in buds of *A. sachalinensis* MASTERS in the period of bud break (solvent; isopropyl alcohol: ammonia: water, (10:1:1 v/v) by PPC. This solvent is abbreviated as IPrAW (10:1:1) in the following figs. and tables.)

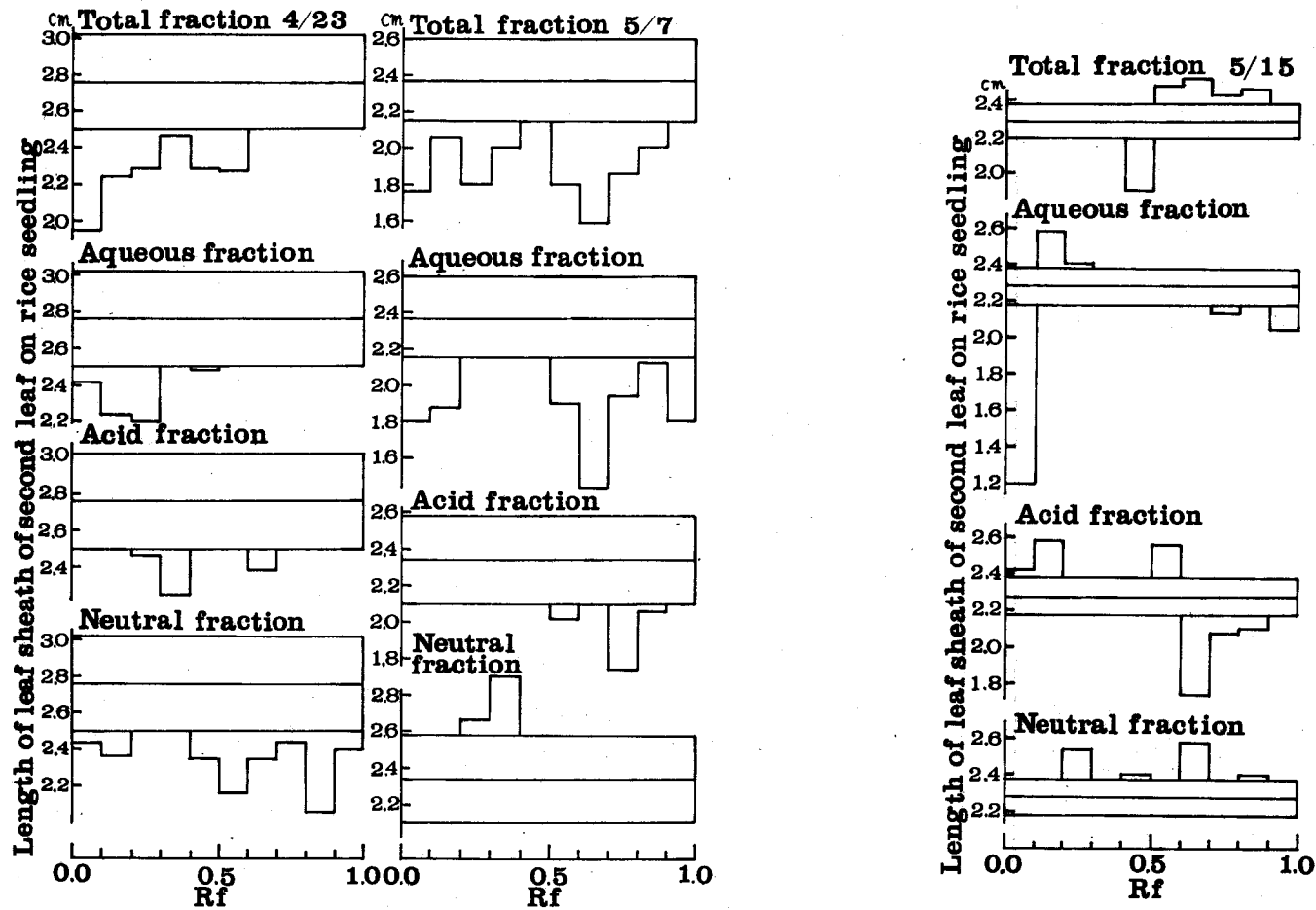


Fig. 2. Change of gibberellin-like substances in buds of *A. sachalinensis* MASTERS in the period of bud break (solvent; IPrAW (10:1:1) by PPC).

Table 4. Values calculated from Fig. 1 and Fig. 2 in growth promoting action and growth inhibiting action separately

Dates in collecting materials		4/23 in 1964				5/7				5/15			
Fractions		T	Aq	A	N	T	Aq	A	N	T	Aq	A	N
Avena straight growth test	Growth promoting action	88	118	0	0	127	164	3	2	109	296	11	15
	Growth inhibiting action	4	10	0	0	20	9	48	0	65	8	9	0
Rice seedling test	Growth promoting action	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0.32	0.25	0.42	0.36
	Growth inhibiting action	1.35	0.55	0.30	1.02	1.50	1.68	0.43	0	0.24	0.24	0.55	0

Abbreviations

T: Total fraction Aq: Aqueous fraction A: Acid fraction N: Neutral fraction

さを促進作用によるもの、逆にそれに至らない分の長さを抑制作用によるものとし、それぞれ合計した数値である。

アベナ伸長試験の結果を見ると開芽の進行と共に、全区分では Rf 0.10~0.40, 0.50~0.60 に促進作用が増すのが認められた。抑制作用はやや増加の傾向があった。

水溶性区分では、Rf 0.10~0.50, 0.50~0.70 に急激な促進作用の増加があり、全区分で見られる促進作用のほとんどが水溶性区分の物質に由来していた。抑制作用は、Rf 0.00~0.10, 0.60~0.70 でわずかに見られるにすぎなかった。

酸性区分では、開芽の進行と共に促進作用は、Rf 0.10~0.20, 0.40~0.50 に増加し、抑制作用は5月7日に Rf 0.60~0.80 に見られるが、開芽の終了する5月15日に Rf 0.60~0.70 にわずかに見られるにすぎなかった。

中性区分では、開芽の進行に伴い Rf 0.40~0.70, 0.80~0.90 に促進作用の増加が認められた。抑制作用は全く見られなかった。

従来から酸性区分、中性区分のオーキシンについては研究されてきたが、水溶性区分のオーキシンは最近注目され研究されている。

SRIVASTAVA (1963)¹⁶¹⁾ は、トウモロコシの未熟種子の水溶性区分のオーキシンは、不活性の貯蔵態や複合態のオーキシンではなく、活性を有する IAA と糖の複合態を示すあるグループのひとつであると述べている。本実験で認められる水溶性区分の Rf 0.10~0.50 のオーキシンは、前報告者のそれと類似のオーキシンであると推定される。Rf 0.10~0.50 帯の物質は、ニンヒドリン呈色帯と一致することもあるが、アベナ伸長試験の結果から考えて、オーキシンであると考えられる。

吉田 (1960)²⁰¹⁾ は、トドマツ種子の低温湿層処理の過程で種子のオーキシンを調べたが、低温湿層処理後展開培媒 IPrAW (10:1:1) で、Rf 0.09~0.10 のオーキシンが増加すると報告している。氏はこの物質は IAA とは異なる物質であると述べている。本実験で見られる低い Rf

のオーキシンが、これと同一の物質であるかどうか不明である。

イネ苗試験の結果は、4月23日と5月7日において促進作用は、中性区分の Rf 0.20~0.40 に見られる以外に、全区分、水溶性区分、酸性区分共に全く見られなかった。抑制作用は非常に多く見られ、すなわち、4月23日では全区分に Rf 0.00~0.60、水溶性区分に Rf 0.00~0.30、0.40~0.50、酸性区分に Rf 0.20~0.40、0.60~0.70、中性区分に Rf 0.00~0.20、0.40~1.00 に見られた。5月7日では、全区分に Rf 0.00~0.40、0.50~0.90、水溶性区分に Rf 0.00~0.20、0.50~1.00、酸性区分に Rf 0.50~0.60、0.70~0.90 に見られた。5月15日では、促進作用は急激に増加し、全区分では Rf 0.50~0.90、水溶性区分では Rf 0.10~0.30、酸性区分では Rf 0.00~0.20、0.50~0.60、中性区分では Rf 0.20~0.30、0.40~0.50、0.60~0.70、0.80~0.90 に見られた。

ジベレリン様物質は、オーキシンの場合と異なり、酸性区分と中性区分に多く見られた。

トドマツの開芽過程である4月23日、5月7日、5月15日に芽を採取し、そのオーキシンとジベレリン様物質を調べたが、開芽の進行と共にオーキシンは次第に増加し、ジベレリン様物質は開芽後の芽の伸長期に増加した。このことから、開芽においてはオーキシンが重要な役割を有し、ジベレリン様物質はむしろ伸長生長に関係するように思える。生長抑制物質は、開芽の進行と共に増加の傾向があり、これは伸長生長のバランスに関係するのかもしれない。

生長物質定性のために、紫外線照射による蛍光反応試験および種々の試薬噴霧による呈色試験を行なったが、その結果とアベナ伸長試験およびイネ苗試験の促進帯、抑制帯とをあわせて一覧表にすると Table 5 のごとくである。

アベナ伸長試験とイネ苗試験とで見られる水溶性区分、酸性区分、中性区分の Rf 0.50~0.90 の生長抑制物質については、いわゆる inhibitor- β に類似の物質と考えられるが、この物質については I. の 4., 5., 6. 項で詳しく考察する。

3) ま と め

トドマツの開芽過程である4月23日、5月7日、5月15日に芽を採取し、そのオーキシンとジベレリン様物質を調べた。

開芽の進行と共に、水溶性のオーキシンは、展開溶媒、IPrAW (10:1:1) による PPC の Rf 0.10~0.50、0.50~0.70 に急激に増加する。生長抑制物質は、Rf 0.00~0.10、0.60~0.70 に見られるがその量は少なかった。

また、酸性のオーキシンは Rf 0.10~0.20、0.40~0.50 に増加し、生長抑制物質は Rf 0.60~0.80 に見られた。中性のオーキシンも、Rf 0.40~0.70、0.80~0.90 に増加した。生長抑制物質は全く見られなかった。

ジベレリン様物質は、4月23日と5月7日にはわずかに見られるにすぎないが、5月15日には急激に増加し、水溶性のジベレリン様物質は、Rf 0.10~0.30、酸性のジベレリン様物質は Rf 0.00~0.20、0.50~0.60、中性のジベレリン様物質は、Rf 0.20~0.30、0.40~0.50、0.60~0.70、0.80~0.90 に見られた。中性の生長抑制物質は、開芽の過程を通じて非常に多く見られた。

Table 5. Rf values of substances of colour reaction by irradiation of UV light and spraying of reagents (solvent; IPrAW (10:1:1))

Dates in collecting materials		4/23 in 1964				5/7				5/15			
Fractions*		T	Aq	A	N	T	Aq	A	N	T	Aq	A	N
Avena straight growth test	Growth promoting zone	0.10~0.40	0.10~0.40	—	—	0.10~0.40	0.20~0.50	0.40~0.50	0.50~0.60	0.10~0.40 0.50~0.60	0.10~0.40 0.50~0.70	0.10~0.20 0.40~0.50	0.40~0.50 0.60~0.70 0.80~0.90
	Growth inhibiting zone	0.50~0.60	0.60~0.70	—	—	0.00~0.10 0.50~0.60 0.70~0.80	0.00~0.10	0.60~0.80	—	0.60~1.00	0.00~0.10	0.60~0.70	—
Rice seedling test	Growth promoting zone	—	—	—	—	—	—	—	0.20~0.40	0.50~0.90	0.10~0.30	0.00~0.20 0.50~0.60	0.20~0.30 0.40~0.50 0.60~0.70 0.80~0.90
	Growth inhibiting zone	0.00~0.60	0.00~0.30 0.40~0.50	0.20~0.40 0.60~0.70	0.00~0.20 0.40~1.00	0.00~0.40 0.50~0.90	0.00~0.20 0.50~1.00	0.50~0.60 0.70~0.90	—	0.40~0.50	0.00~0.10 0.70~0.80 0.90~1.00	0.60~0.90	—
Fluorescence by irradiation of UV light		—	0.00~0.10 0.17~0.26 0.29~0.30 0.85~0.89	0.07~0.11	—	—	0.00~0.05 0.31~0.43	—	—	0.00~0.47	0.00~0.03 0.04~0.08 0.33~0.38 0.92~0.94	0.05~0.10 0.16~0.20 0.48~0.51	—
SALKOWSKII reagent		—	—	—	—	—	0.00~0.10	—	—	—	0.00~0.05 0.05~0.40	0.08~0.15 0.22~0.28 0.50~0.53	—
MITCHELL reagent		—	0.00~0.07 0.10~0.30	—	—	—	0.00~0.34 0.43~0.76	0.00~0.15 0.25~0.29	—	0.00~0.10 0.10~0.47	0.00~0.32	0.20~0.30	—
ninhydrin reagent		0.00~0.15 0.25~0.45	0.00~0.10 0.30~0.52	—	—	0.00~0.08 0.08~0.23 0.27~0.36 0.40~0.48	0.00~0.19 0.20~0.60	—	—	0.00~0.49 0.09~0.28 0.38~0.62	0.00~0.15 0.30~0.63	—	—
BACON-EDELMAN reagent		—	—	—	—	—	—	—	—	0.03~0.14	0.03~0.14	—	—

Notes: 1. Negative colour reaction to EHRlich reagent was observed.
 2. Rf value of IAA is 0.40~0.50.
 3. Rf value of GA₃ is 0.40~0.60.

* Abbreviations are shown in Table 4.

開芽の進行と共に、芽のオーキシンは次第に増加し、ジベレリン様物質は開芽後の伸長期に増加した。このことから、開芽においてはオーキシンが重要な役割を有し、ジベレリン様物質はむしろ伸長生長に関係するよう思える。今後外部からオーキシンやGAを与えて開芽や伸長生長に与える影響を調べていきたい。生長抑制物質は、開芽の進行と共に増加の傾向があり、これは伸長生長のバランスに関係するのかもしれない。

また、開芽過程において、トドマツの芽に多量の水溶性オーキシン (Rf 0.10~0.50) が見られる (SRIVASTAVA (1963)¹⁶¹) の述べるごとく、この物質は IAA と糖の複合態で活性を有するあるグループのひとつであると推定される。

3. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (1)¹⁴⁷

HEMBERG が、ジャガイモの休眠や樹木の休眠における生長抑制物質の役割を研究し報告して以来^{54~61}) 植物の一時的な生長休止や冬期の休眠の誘因として、生長抑制物質が考えられるようになった。この生長抑制物質の存在は、現在ジャガイモの塊茎^{121,165}) や多くの植物の芽、葉、根、果実、種子、花粉などで認められている。

最近の生長抑制物質の研究の方向は、inhibitor- β に向けられている。

VARGA (1957)¹⁸³), (1957 a)¹⁸⁴), (1957 b)¹⁸⁵), (1957 c)¹⁸⁶), Köves 等 (1958)⁸⁸), (1959)⁸⁹) は inhibitor- β は、クマリンと幾つかのフェノール酸、すなわち、*o*-クマール酸、*p*-クマール酸、サリチル酸、ケイヒ酸、フェルラ酸、*m*-オキシ安息香酸の混合物であると報告している。

ROBINSON 等 (1964)¹³¹) は、*Acer pseudoplatanus* における inhibitor- β は、幾つかの物質を含み、そのうちのひとつは、脂肪酸か脂環化合物である。また、化学試験によって β -hydroxy acid の存在を確かめたことを報告している。

VIEITEZ 等 (1967)¹⁸⁸) は、*Salix atrocinerea* のさし穂から生長抑制物質を抽出し、IPrAW (10:1:1) の展開溶媒により、酸性区分の Rf 0.50~0.90 の強い生長抑制作用を有する物質は、フェノールのエステル混合物で、アルカリ加水分解により PHB を得た。他に酸性区分の Rf 0.19 から PHB、フェノール区分の Rf 0.23 から *p*-クマール酸を得たと報告している。

HOUSLEY 等 (1958)⁶⁴) は、inhibitor- β は少なくとも 6 つの化合物の混合物によって生ずる毒性を有する物質で、そのうちのひとつに脂肪酸のアゼライン酸があると報告している。

綿の果実から離層形成を促進する物質として見つけられた ABA は、inhibitor- β の最も有力な構成物質であるだろうと考えられている。

休眠期のトドマツの樹体内の生長物質について調べられた実験には、斎藤・武藤 (1965)¹⁴⁰) がある。著者等は、高い耐凍性を示す 2 月上旬のトドマツおよびカラマツの枝には、トドマツ苗木の土用芽を抑制し、アカエゾマツの木化の時期を早める物質が含まれており、またトドマツ苗木の耐凍性を高める物質も含まれていると述べている。

本実験では、生長休止期のトドマツ葉から水、エチルアルコールおよびエチルエーテルで生長抑制物質を抽出し、生長抑制物質のエゾマツ種子とトドマツ種子の発芽に対する影響を調

べた。実験は、1965年1月14日から3月10日にかけて行なった。

1) 実験材料および方法

実験に用いた材料は、北海道大学中川地方演習林産の種子を、札幌の苗畑（北海道大学演習林）で育苗した5年生トドマツの葉である。

1月14日に材料を採取し、ホモジナイザーで碎き、10 cc/g（生重量）の溶媒すなわち、水、エチルアルコール、エチルエーテルで24時間、5°Cの冷蔵庫で抽出した。これらの抽出液を35~40°Cに加熱して真空乾燥器で溶媒を完全に蒸発させたのち、1 cc/1 g（生重量）になるように純水を加えた。これらの溶液をろ過して沈澱物を取り除いたのち、この液に6時間ウスプルン消毒（1,000倍液）したエゾマツ種子、トドマツ種子（北海道大学中川地方演習林産）を6時間浸せきし、ろ紙を敷いたシャーレに100粒並べ、25°Cの恒温器で発芽せしめた。

発芽試験締め切りは、エゾマツ種子は30日、トドマツ種子は45日である。用いた種子の粒数は、1区分につき300粒である。対照区の種子は純水のみで処理した。

Table 6. Influence of extracts* from leaves and bark of shoots of trees and *Sasa paniculata* MAKINO in the dormant period on the germination of seeds of *Picea jezoensis* CARR. and *A. sachalinensis* MASTERS

Materials	Solvents of extraction	Seeds used in experiment			
		Seeds of <i>P. jezoensis</i> CARR.		Seeds of <i>A. sachalinensis</i> MASTERS	
		Average germination percent (%)	Days of the most numerous germination (Energy period) (days)	Average germination percent (%)	Days of the most numerous germination (Energy period) (days)
	Control	78	7	31	16
<i>A. sachalinensis</i> MASTERS	Water	47	14	9	30
	Ethyl alcohol	74	10	16	16
	Ethyl ether	75	7	26	10
<i>Larix leptolepis</i> GORDON	Water	50	8	11	15
	Ethyl alcohol	68	10	12	31
	Ethyl ether	76	8	27	11
<i>Pinus montana</i> MILL.	Water	52	9	12	25
	Ethyl alcohol	61	10	9	21
	Ethyl ether	80	8	35	12
<i>Populus simonii</i> CARR.	Water	69	10	23	16
	Ethyl alcohol	47	12	13	10
	Ethyl ether	81	8	26	10
<i>Sasa paniculata</i> MAKINO	Water	28	23	5	26
	Ethyl alcohol	2	21	21	11
	Ethyl ether	59	10	25	15

* Growth inhibitors extracted from 1 g of materials (f.w.) were dissolved with 1 cc water.

2) 実験結果および考察

生長休止期のトドマツ葉から抽出した物質の水溶液が、エゾマツ種子およびトドマツ種子の発芽に与える影響を平均発芽率、発芽最多日で示すと Table 6 となる。

エゾマツ種子での平均発芽率を見ると対照区の 78% に対して、水区分では 47% と発芽抑制している。発芽最多日は、対照区より 7 日間遅れている。

トドマツ種子での平均発芽率を見ると対照区の 31% に対して、水区分では、9% と発芽抑制している。発芽最多日は、対照区より 14 日間遅れている。

3) ま と め

以上の結果から、生長休止期のトドマツ葉には多量の生長抑制物質があり、この生長抑制物質は、水、エチルアルコールによく溶けることが分かった。

4. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (2)¹⁴⁹⁾

本実験は、1970年1月19日から3月10日と、1971年3月5日から5月6日の2度行なった。

1) 実験材料および方法

本実験で用いた実験材料は、北海道大学苫小牧地方演習林山の神事業区 138 林班植栽の 22~23 年生トドマツの葉である。

[生長抑制物質の抽出と精製]

生長休止期の 1970 年 1 月 19 日に 22 年生トドマツの葉 500 g からメチルアルコール抽出を行ない、分離、精製を加え、生長抑制物質の検出を行なった。この方法は、Table 1 に示したとおりである。

本実験中、水溶性区分、酸性区分、中性区分のみで全区分は実験に用いていない。

23 年生トドマツの葉 500 g から、1971 年 3 月 5 日に生長抑制物質をメチルアルコールで抽出し、上記の実験と全く同じ方法で行なった。この実験においては、水溶性区分には生長抑制物質が少ないので、酸性区分と中性区分のみで実験を行なった。

[PPC, TLC およびカラムクロマトグラフィー]

得られた水溶性区分、中性区分および酸性区分を PPC により、IPrAW (10:1:1) の展開溶媒で展開した。

TLC に用いた吸着剤は、シリカゲル GF₂₅₄ (Merck) であり、用いた展開溶媒は、クロロフォルム:エチルアルコール、(20:1 v/v) であった。

カラムクロマトグラフィーで用いた溶媒も、上記の溶媒であった。

[紫外線照射による蛍光反応試験とフェノール化合物検出のための呈色反応試験]

PPC あるいは TLC によって展開したクロマトグラムに、波長 360 m μ の紫外線を照射した。

フェノール化合物検出のための呈色反応試験にはインドフェノール試薬とポーリィ試薬を

用いた (Table 2)。

〔発芽試験〕

I. の 3. で行なった方法とほとんど同じであった。ただ、幾つかの濃度に薄めた薬品あるいは抽出物の溶液を少量毎日種子に与えた。

〔秋伸び抑制試験〕

用いた苗木は、播種据置き2年生トドマツである。据置き床で一様に成立している所を選んで (30×30) cm² の方形区をとり各区にそれを3個とした。苗木には、秋伸びを開始する直前の1971年6月16日、6月21日、6月29日の3回、抽出液を苗木から液がしたたり落ちるまで散布した。

2) 実験結果および考察

生長休止期のトドマツの葉から、生長抑制物質を検出するために実験を行なったが、そのアベナ伸長試験の結果を図で示すと Fig. 3 となる。また、紫外線照射による蛍光反応試験およびフェノール化合物の検出のための呈色試験の結果を表で示すと Table 7 となる。なお、アベナ伸長試験に用いた試料は、酸性区分、中性区分がトドマツの葉 12.5 g (生重量相当)、水溶性区分が 0.25 g (生重量相当) である。なお、アベナ伸長試験の結果は、各区の伸びを対照区の全長に対する割合で図示した。

酸性区分においては、非常に多量の生長抑制物質が見られる。

Rf 0.00~0.29 の生長抑制物質は、インドフェノール試薬に青茶色を示し、ポーリィ試薬には陰性であるが、Rf 値もほぼ一致することから、バニリン酸であるらしい。

Rf 0.12~0.39 の生長抑制物質は、インドフェノール試薬に陰性であるがポーリィ試薬に黄色の呈色がある。Rf 値は、一致するので *p*-オキシ安息香酸 (PHB) であるらしい。

Rf 0.58~0.70 の生長抑制物質は、紫外線照射に青色の蛍光反応を示し、インドフェノール試薬に黄茶色、ポーリィ試薬に茶色→紅色の反応を示すので、サリチル酸であると推定される。

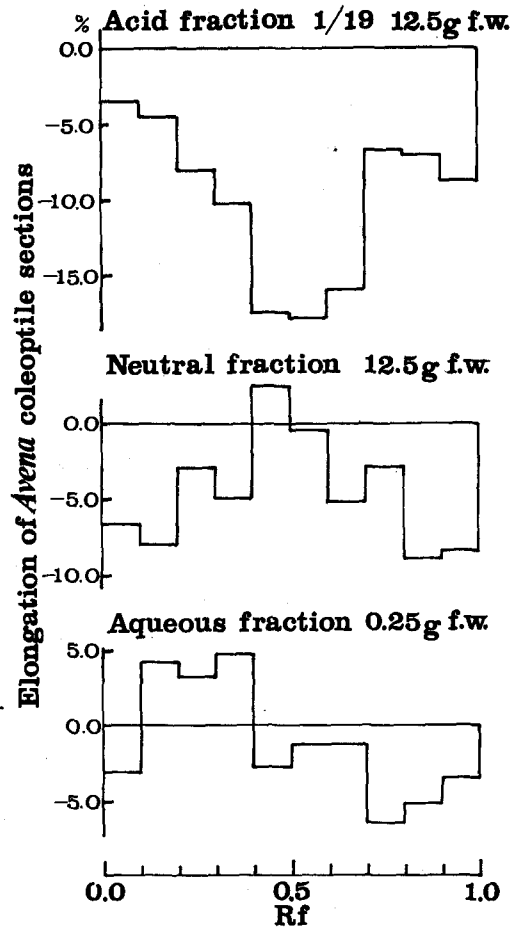


Fig. 3. *Avena* straight growth test of extracts from leaves of *A. sachalinensis* MASTERS with the solvent of IPrAW (10:1:1) by PPC

Table 7. Tests of fluorescence by irradiation of UV light and colour reaction for detecting phenolic compounds in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS collected on January 19th of 1970

Growth substances	Tests of fluorescence and colour reaction		
	Irradiation of UV light	Indophenol reagent	PAULY reagent
Acid fraction			
Rf 0.00~0.29	—	blue-brown	—
0.12~0.39	—	—	yellow
0.58~0.70	blue	yellow-brown	brown to red
0.89~0.93	—	—	red-purple
Neutral fraction			
Rf 0.13~0.39	—	—	yellow
0.54~0.70	blue	yellow-brown	brown to red
Aqueous fraction			
Rf 0.04~0.06	blue	—	yellow
0.91~0.96	blue	—	—
Vanillic acid			
Rf 0.06~0.22	—	blue-brown	orange
PHB			
Rf 0.12~0.39	—	yellow-brown	yellow
Salicylic acid			
Rf 0.57~0.67	blue	yellow-brown	brown to red

Solvent; IPrAW (10:1:1)

Rf 0.89~0.93 に、ポーリィ試薬に赤紫色の呈色物質があるが、本実験では明らかにすることができなかった。このほか、アベナ伸長試験において Rf 0.40~0.60 に強い生長抑制作用が見られるが、これがどのような物質に由来するのか明らかではない。

中性区分においては、Rf 0.13~0.39 の生長抑制物質は、ポーリィ試薬に黄色の反応を示し、インドフェノール試薬には陰性であるが、PHB であるらしい。

Rf 0.54~0.70 の生長抑制物質は、紫外線照射に青色の呈色反応を示し、インドフェノール試薬に黄茶色、ポーリィ試薬に茶色→紅色を示すのでサリチル酸であると推定される。

水溶性区分においては、Rf 0.04~0.06 に紫外線照射により青色の蛍光反応があり、ポーリィ試薬に黄色の呈色反応を示す物質があるが本体は明らかでない。また、Rf 0.91~0.96 に紫外線照射により青色の蛍光反応を示す物質があるが本体は不明である。

PHB, バニリン酸とサリチル酸の濃度とアベナ子葉鞘の伸長との関係を調べた結果を示すと Fig. 4 となる。PHB とバニリン酸は、濃度 1~100 ppm で促進作用を示し、その促進作用は PHB の方がやや強い。500 ppm では両者共に、抑制作用を示す。一方サリチル酸は、濃度 1~500 ppm で抑制作用を示す。

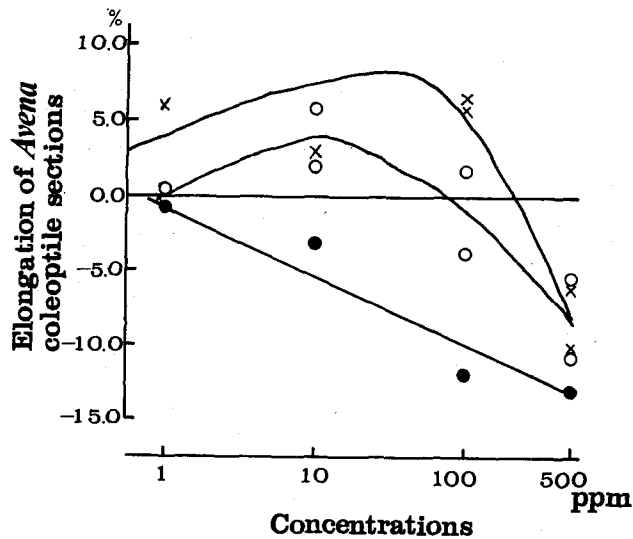


Fig. 4. Biological activity of *Avena* growth in serial concentrations PHB (x), vanillic acid (o) and salicylic acid (●)

サリチル酸のトドマツに対する作用を見ると、トドマツの開芽に対しては、濃度 100~500 ppm で抑制に働き (Table 17, Table 18, Table 19), トドマツの秋伸びに対しては、濃度 500~1,000 ppm で抑制に働いた (Table 24, Table 25)。

次にエゾマツ種子およびトドマツ種子の発芽に与えるサリチル酸、ケイヒ酸、クマリンの影響を調べたが、その結果を表で示すと Table 8 となる。その結果をみるとサリチル酸は、濃度 100~500 ppm でわずかに発芽抑制作用を示している。

Table 8. Influence of salicylic acid, cinnamic acid and coumarin on the germination of seeds of *P. jezoensis* CARR. and *A. sachalinensis* MASTERS

Growth inhibitors and their concentrations (ppm)	Seeds of <i>P. jezoensis</i> CARR.		Seeds of <i>A. sachalinensis</i> MASTERS	
	Average germination percent (%)	Days of the most numerous germination (Energy period) (days)	Average germination percent (%)	Days of the most numerous germination (Energy period) (days)
Control 0	76	6	27	16
Salicylic acid	500	73	21	12
	100	79	22	20
Cinnamic acid	500	80	20	9
	100	81	22	13
Coumarin	500	69	27	13
	100	81	30	17

以上の実験とは別に、1971年3月5日に前実験に用いたのと同じトドマツの葉から生長抑制物質を抽出して同様の実験を行なった。しかし、酸性区分、中性区分共に、前実験で見られたフェノール化合物の呈色反応は見られなかった (Fig. 5)。紫外線照射による蛍光反応試験およびフェノール化合物の検出のための呈色試験の結果を表示すると Table 9 となる。

これが試料の採取月日と関係するものとなれば、生長休止期の生長抑制物質は、質的にも変化していることが予想される。

本実験において、フェノール化合物以外の生長抑制物質が存在することが明らかとなったが、この生長抑制物質について実験を行なった。その結果を示すと Fig. 6 となる。

すなわち、Fig. 5 の酸性区分の Rf 0.10~1.00 あるいは 0.50~1.00、0.10~0.50 をエチルエーテルで再抽出し、蒸発乾固して純水に溶解せしめて4段階の濃度を作成した。

Rf 0.10~1.00 の生長抑制物質は、濃度を増すにつれて直線的に抑制作用が強くなる。しかし、Rf 0.10~1.00 を 0.50~1.00、0.10~

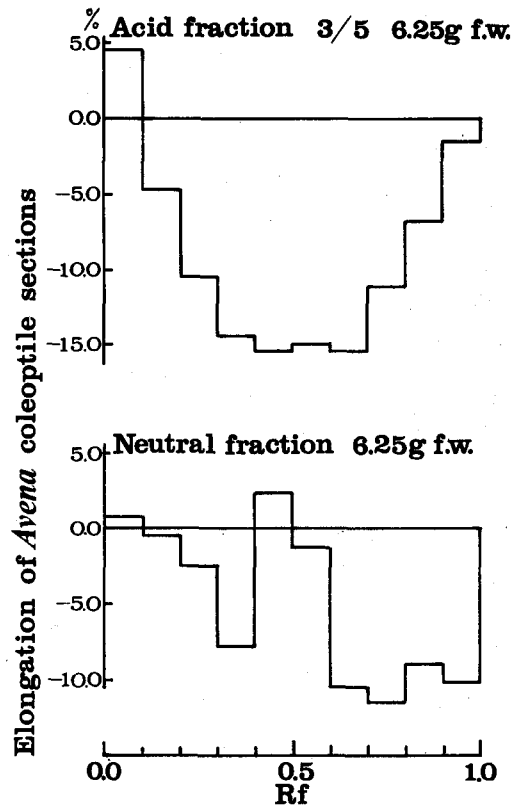


Fig. 5. *Avena* straight growth test of extracts from leaves of *A. sachalinensis* MASTERS with the solvent of IPrAW (10:1:1) by PPC

Table 9. Tests of fluorescence by irradiation of UV light and colour reaction for detecting phenolic compounds in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS collected on March 5th of 1971

Growth substances	Tests of fluorescence and colour reaction		
	Irradiation of UV light	Indophenol reagent	PAULY reagent
Acid fraction Rf 0.36~0.44	blue	—	—
Neutral fraction Rf 0.32~0.47	—	blue	—
0.41~0.62	—	—	yellow-brown
0.53~0.67	blue	—	—
0.62~0.78	—	—	orange
0.72~0.87	—	blue-purple	—

Solvent; IPrAW (10:1:1)

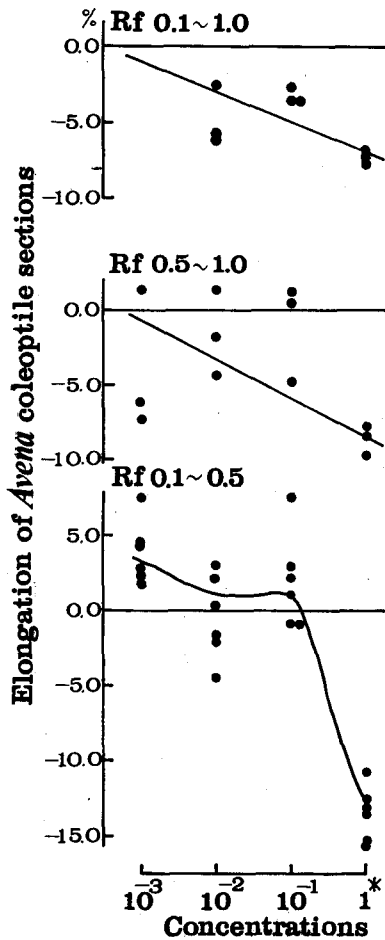


Fig. 6. Biological activity of *Avena* growth in serial concentrations of Rf 0.10~1.00 from the acid fraction, 0.50~1.00 and 0.10~0.50 from the acid fraction shown in Fig. 5

* Growth inhibitors extracted from 2 g of leaves (f. w.) were dissolved with 1 cc buffer solution.

Table 10. Influence of serial concentrations of inhibitors (Rf 0.10~1.00) from the acid fraction of Fig. 5 on germination of seeds of *P. jezoensis* CARR.

Concentrations		Material used in experiment	
		Seeds of <i>P. jezoensis</i> CARR.	
		Average germination percent (%)	Days of the most numerous germination (Energy period) (days)
Control	1	35	9
	2	47	10
	3	15	10
	Average	32.3	10
10 ⁻²	1	22	10
	2	16	12
	3	45	10
	Average	27.7	11
10 ⁻¹	1	35	9
	2	31	11
	3	38	11
	Average	34.7	10
1*	1	14	9
	2	22	9
	3	23	12
	Average	19.7	10

* Growth inhibitors extracted from 2 g of leaves (f. w.) were dissolved with 1 cc buffer solution.

0.50 に分けてその作用を見ると Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質は、濃度を増すにつれて直線的に抑制作用が強くなるが、Rf 0.10~0.50 の生長抑制物質は、低濃度ではやや生長促進作用を示し、高濃度では生長抑制作用を示す。

また、酸性区分の Rf 0.10~1.00 の生長抑制物質のエゾマツ種子の発芽に対する影響を調べた結果を示すと Table 10 である。対照区の 32.3% に対して、濃度 10⁻² では 27.7%、濃度 10⁻¹ では 34.7% と発芽促進の結果となったが、濃度 1 (生重量 2 g の葉から生長抑制物質を抽出し、1 cc の緩衝液に溶かしたもの) では 19.7% とかなりの発芽抑制作用を示している。

また、Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質のトドマツ秋伸び抑制に対する影響を調べた結果を示すと Table 11 である。対照区の 55.6% に対して inhibitors (Rf 0.50~1.00) は、26.7% と秋伸びを抑制している。

Table 11. Experiment of inhibiting lammas shoot growth of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of inhibitors (Rf 0.50~1.00) from *A. sachalinensis* MASTERS

Experimental lots in 1971	Seedlings with lammas shoots (%)	Withered seedlings (Number)
Control	55.6	0
Inhibitors*	26.7	0

* Inhibitors extracted from 2 g of leaves (f.w.) were dissolved with 1 cc buffer solution.

酸性区分の Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質と IAA の相互作用をアベナ伸長試験で調べた結果を示すと Fig. 7 である。この結果を見ると inhibitors (Rf 0.50~1.00) によって引き起こされる強い抑制作用を IAA がそれほど回復することはできない。この事実に基づいてトドマツの休眠を考えてみると休眠を破ったり、生長を開始するのは IAA の増加よりは、生長抑制物質の減少が主に関係するように考えられる。

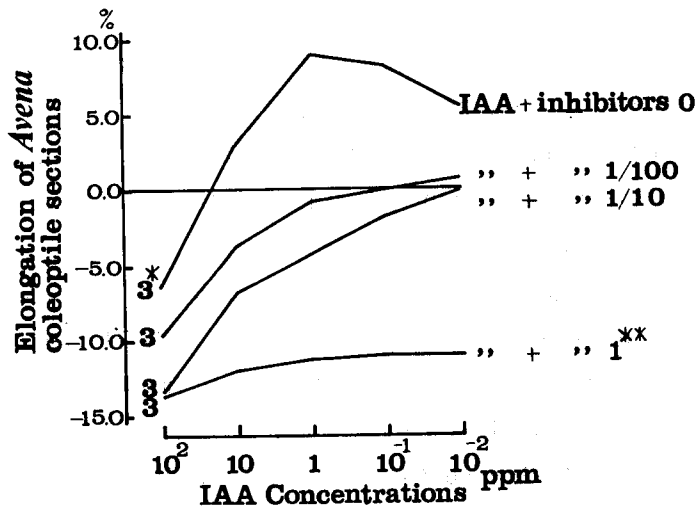


Fig. 7. Biological activity of *Avena* growth in serial concentrations of IAA with inhibitors (Rf 0.50~1.00) of *A. sachalinensis* MASTERS

* Number of bioassay tests is indicated.

** Inhibitors extracted from 2 g of leaves (f.w.) were dissolved with 1 cc buffer solution.

3) ま と め

1970年1月19日の生長休止期に、トドマツの葉からメチルアルコールによって生長抑制物質の抽出を行なった。

酸性区分においては、非常に多量の生長抑制物質が見られ、そのうち、Rf 0.58~0.70 の生長抑制物質は、紫外線照射によって青色の蛍光反応を示し、インドフェノール試薬に黄茶色、ポーリイ試薬に茶色→紅色の反応を示すので、サリチル酸であると推定される。

また、Rf 0.00~0.29 の生長抑制物質は、ポーリイ試薬に陰性であるが、インドフェノール試薬に青茶色を示し、Rf 値がほぼ一致することからバニリン酸であるらしい。Rf 0.12~0.39 の生長抑制物質は、インドフェノール試薬に陰性であるが、ポーリイ試薬に黄色の呈色があり、Rf 値が一致することから、PHB であるらしい。

このほか、アベナ伸長試験において、Rf 0.40~0.60 に、強い生長抑制作用があるが、この物質がなんであるかは明らかにすることができなかった。

中性区分において、サリチル酸と PHB らしい物質が見られたが、実験の際、酸性区分に全部移行せず、一部残存したものと考えられる。

水溶性区分においては、Rf 0.04~0.06 および Rf 0.91~0.96 に、紫外線照射による蛍光反応試験および試薬噴霧による呈色試験で反応が見られるが本体は明らかではない。

1971年3月5日の生長休止期に、前実験に用いたと同じトドマツの葉から生長抑制物質を抽出して実験を行なった。しかし、前実験とは異なり、フェノール化合物を検出できなかった。これが試料採取月日と関係あるものとするれば、生長休止期の生長抑制物質は質的にも変化していると考えられる。

本実験において、フェノール化合物以外の生長抑制物質が存在することが明らかとなったが、この生長抑制物質について若干実験を行なった。

酸性区分の Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質は、アベナ伸長試験において、濃度を増すにつれて直線的に抑制作用を増すが、Rf 0.10~0.50 の生長抑制物質は、低濃度では促進作用を示し、高濃度では抑制作用を示す。

Rf 0.10~1.00 の生長抑制物質は、エゾマツ種子の発芽試験で強い発芽抑制作用を有している。また、Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質は、トドマツ秋伸びに抑制作用を有している。

次に Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質と IAA の関係をアベナ伸長試験で調べたが、前記の生長抑制物質による強い抑制作用を IAA がそれほど回復することはできない。この事実に基づいてトドマツの休眠を考えてみると休眠を破ったり、生長を開始するのは IAA の増加よりは、生長抑制物質の減少が主に関係するように考えられる。

5. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (3)¹⁵⁰⁾

本実験は、1971年11月13日から1972年4月30日にかけて行なった。

11月13日に採取したトドマツ葉において、展開溶媒 IPrAW (10:1:1) による PPC の Rf 0.00~0.18 には、フェノール化合物が存在するが、本実験ではこの物質を追求した。

1) 実験材料および方法

本実験で用いた実験材料は、北海道大学苫小牧地方演習林山の神事業区 138 林班植栽の 23

年生トドマツの葉である。

〔生長抑制物質の抽出および精製〕

用いたトドマツの葉は、1.5 kg であり、生長抑制物質の抽出と精製の方法は、Table 1 で示したとおりである。しかし、本実験においては、酸性区分を得る場合エチルエーテル層を水で洗い、 Na_2SO_4 で脱水することは行なっていない。

最終的に得られた酸性区分は、1.03 g であった。

〔PPC, TLC およびカラムクロマトグラフィー〕

PPC, TLC, およびカラムクロマトグラフィーに関する実験方法は、I. の 4. の 1) と同じである。ただカラムクロマトグラフィーの溶媒には、主としてベンゼン:アセトン, (5:1 v/v) を用いた。

〔紫外線 (UV), 質量分析 (MS) および核磁気共鳴 (NMR) スペクトルの測定〕

UV, MS および NMR のスペクトルは、日立 333 spectrophotometer, 日立 RMS-4 spectrophotometer および日立 R-20B spectrophotometer をそれぞれ使用して測定された。

NMR の際、internal standard として TMS を用いた。

〔紫外線照射試験およびフェノール化合物検出のための呈色試験〕

紫外線照射試験のために、波長 $253.6 \text{ m}\mu$ の UV ランプを用いた。

フェノール化合物検出のための呈色試験には、PAULY 試薬を用いた (Table 2)。

〔発芽試験〕

実験に用いたトドマツの種子は、1970 年に道有林留萌経営区で採取されたものである。

発芽試験に際しては、フェノール化合物を 10~500 ppm に薄めた少量の水溶液を、置床の日から 10 日間種子に与えた。用いた種子は、1 試験区につき 300 粒であった。

発芽試験の締め切りは、60 日であった。

2) 実験結果および考察

1971 年 11 月 13 日に採取したトドマツ葉の酸性区分におけるアvena 伸長試験の結果を示すと Fig. 8 となる。

そこでは多量の生長抑制物質が見られるが、Rf. 0.00~0.18 の生長抑制物質はポーリィ試薬に茶色の呈色反応を示し、紫外線を吸収するフェノール化合物であった。本実験では、このフェノール化合物を調べた。

酸性区分で得られた物質 (1.03 g) を、TLC でその Rf 値を確かめつつ、カラムクロ

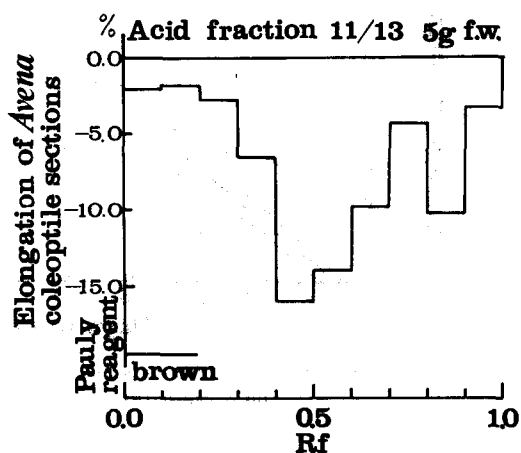


Fig. 8. *Avena* straight growth test (and colour reaction of the phenolic compound) of extracts from leaves of *A. sachalinensis* MASTERS with the solvent of IPrAW (10:1:1) by PPC

マトグラフィーで何回も分離、精製した。その結果白色の粉末 (161.8 mg) を得た。

この物質の生長抑制物質としての作用を知るために、この物質についてアベナ伸長試験とトドマツ種子による発芽試験を行なった。濃度 1~500 ppm におけるアベナ伸長試験の結果を図示すると Fig. 9 となる。

フェノール化合物は、1~100 ppm で生長促進に働き、100 ppm 以上で生長抑制作用を示す。

発芽試験の結果を図示すると Fig. 10 となる。対照区の平均発芽率は、15.7%、フェノール化合物 10 ppm 処理区は、13.3%、100 ppm 処理区は、10.8%、500 ppm 処理区は、8.3% であった。

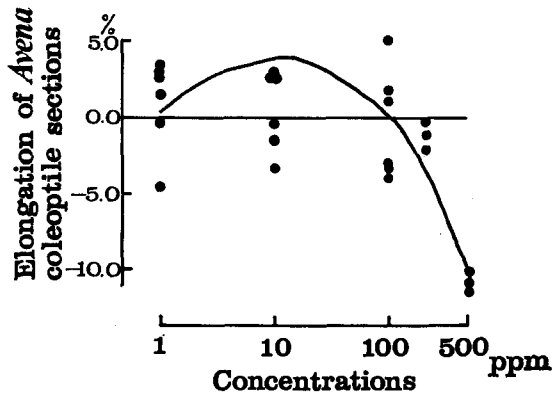


Fig. 9. Biological activity of *Avena* growth in serial concentrations of the phenolic compound

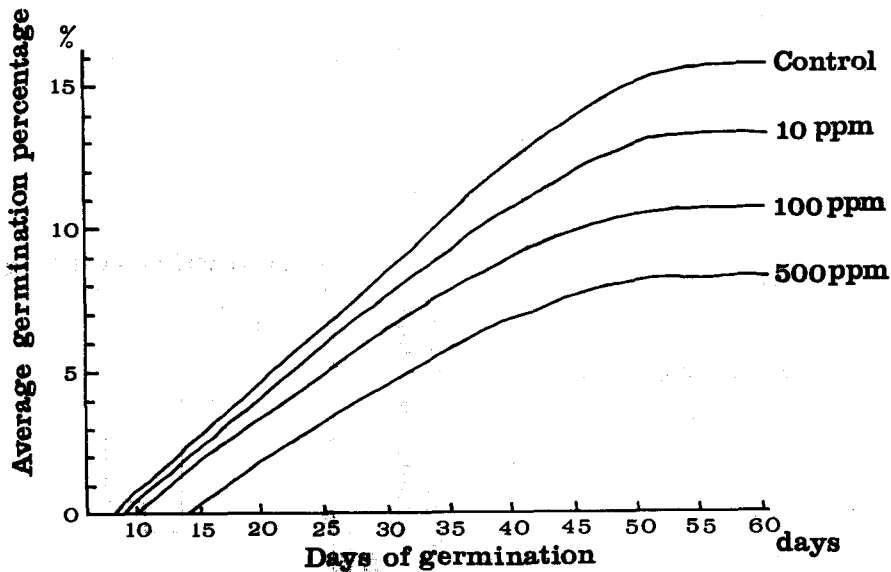


Fig. 10. Influence of serial concentrations of the phenolic compound on germination of seeds of *A. sachalinensis* MASTERS

フェノール化合物は、濃度を増すにつれて、よりトドマツ種子の発芽を抑制した。各試験区の発芽率を t 検定によって検定した。その結果、対照区と 500 ppm 処理区 ($t_4=4.57$) とではその差は 1~2% のレベルで有意であったが、対照区と 100 ppm 処理区 ($t_4=4.21$) とでは有意でなかった。

さらに、溶媒 n-ヘキサン:エチルアルコール, (5:1 v/v) の TLC により分離, 精製し, エチルエーテル-ベンゼンで再結晶させた。

フェノール化合物は, 融点 175°C で, MS スペクトル測定によって, 分子量は 290 を有していた。元素分析によって分子式は, $C_{15}H_{14}O_6$ であった (元素分析値: C, 61.18; H, 5.53, 理論値: C, 62.07; H, 4.83)。

このフェノール化合物の UV スペクトルを示すと Fig. 11 となる。スペクトルは, カテキン型を示した⁷³⁾。

次にこの化合物のアセチル化を行なった。この化合物を 20 mg とって無水酢酸とピリジン, (1:1 v/v) に溶解し, 一晚室温で放置した。そこへ氷を入れた水を注ぐと白色の沈澱物が得られた。これをろ過しメチルアルコール-水で再結晶させた。

アセチル化したフェノール化合物は, MS のスペクトルの結果から 5 個の acetoxy groups を有していた。アセチル化したフェノール化合物の NMR のスペクトルは (Fig. 12), 1 個の脂肪族の acetoxy group と 4 個のフェノールの acetoxy groups を示す singlet を示した。1 個の脂肪族の acetoxy group は, $\delta=1.95$ (3H, S) に現われ, 4 個のフェノールの acetoxy groups は, $\delta=2.22$ (12H, S) に現われた。

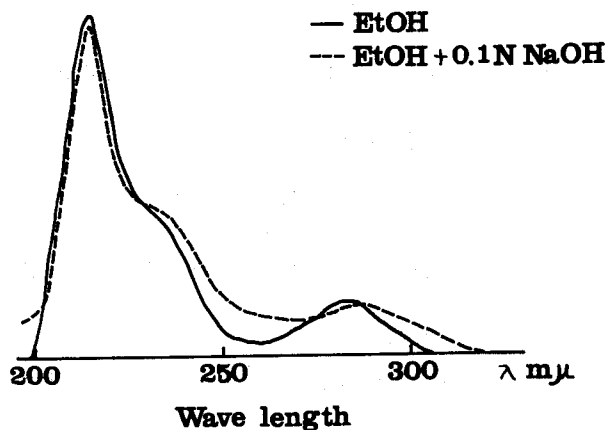


Fig. 11. Ultra-violet spectra of the phenolic compound

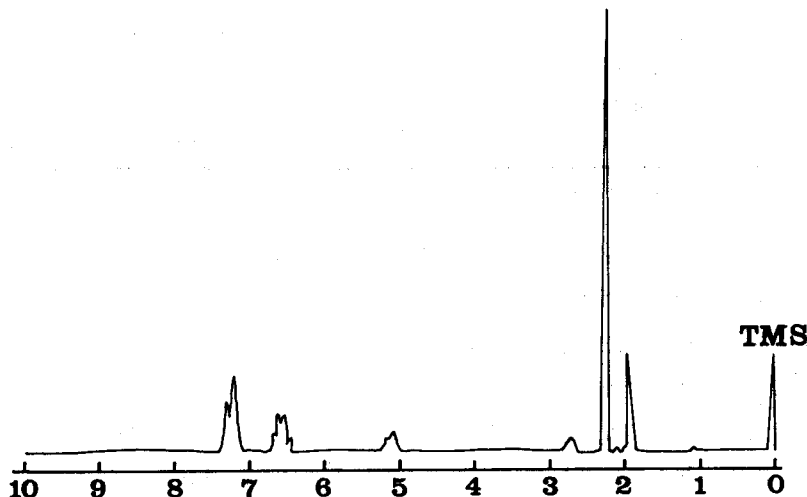
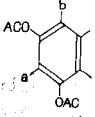
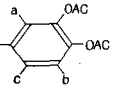



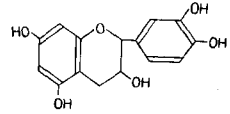
Fig. 12. NMR spectrum of the phenolic compound acetate.

さらに二つの multiplets は、5個の芳香族プロトンを示し、2個のプロトンは $\delta=6.57$ に現われ、3個のプロトンは $\delta=7.16$ に現われた。J=2 cps を有する $\delta=6.57$ の2個のプロトンは、A環すなわち  における a, b であると考えられた。

$\delta=7.16$ に現われた3個のプロトンは、multiplet でB環すなわち、 における a, b, c であると考えられた。

$\delta=2.70$ と 5.12 の multiplets は4個のプロトンを示し、互いにカップリングしているが、カップリング定数は測定できなかった。それらは、C環すなわち、 における a, b, c, d であると考えられた。

以上の実験結果から、フェノール化合物の構造式は、次のように考えられた。



この化合物は、合成の D-カテキンの UV, MS および NMR スペクトルから、D-カテキン (3, 5, 7, 3', 4'-ペンタヒドロキシフラバン) と同定された。

フェノール化合物と合成の D-カテキンの諸性質について調べた結果を表示すると Table 12 となる。

Table 12. Properties of the phenolic compound and authentic D-catechin

Substances	The phenolic compound	Authentic D-catechin
Molecular formula	$C_{15}H_{14}O_6$	$C_{15}H_{14}O_6$
mp	175°C	174~175°C
UV absorption (λ max)	280 m μ	280 m μ
Colour reaction to reagents of 1% FeCl ₃ in ethyl alcohol	green	green
35% HCl 100 cc + 30% formalin 200 cc + H ₂ O 50 cc	white precipitate	white precipitate
Rf value* (by TLC)	0.86	0.86

* solvent; n-BuOH: AcOH: H₂O, (5:2:6 v/v)

本実験で見られた D-カテキンは、化合水が脱水されていた。

D-カテキンは、長い間空気にさらされたり、強いアルカリにふれると変色し活性を減じた物質に容易に変化するので注意を要する。

植物体内では、D-カテキンは、縮合してタンニンとなったりあるいは酸化されてアントシアニジンと変化することが古くから知られているが、MIYAMOTO 等 (1961)¹¹⁰⁾ は、小麦の種皮にある休眠に影響を与える物質を調べ、その中のひとつに catechin-tannin fraction があつたと報告している。

本実験中の休眠期のトドマツ葉における D-カテキンは、かなり多量に見られる。そして D-カテキンのアベナ伸長試験およびトドマツ種子発芽試験に対する反応から判断して、D-カテキンは樹体内においては生長抑制物質として、休眠をはじめ生長の諸現象に重要な役割を有していると考えられる。

3) ま と め

生長休止期である 1971 年 11 月 13 日に採取した 23 年生トドマツ葉の中には、多量の生長抑制物質が存在するが、その中で IPrAW (10:1:1) の展開溶媒の Rf 0.00~0.18 には、フェノール化合物が存在する。本実験において、このフェノール化合物について調べ、次の結果が得られた。

i. アベナ伸長試験において、このフェノール化合物は、濃度 1~100 ppm でわずかに生長促進作用を示し、100 ppm 以上で生長抑制作用を示す。

このフェノール化合物は、濃度 100~500 ppm でトドマツ種子発芽を抑制した。

ii. 質量分析、元素分析、核磁気共鳴分析等の結果から、このフェノール化合物は、D-カテキン (3,5,7,3',4'-ペンタヒドロキシフラバン) と同定された。

6. 生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質 (4)¹⁵⁾

生長休止期のトドマツの芽や葉には、多量の生長抑制物質が存在し、これがトドマツの芽の休眠に深く関連していると考えられる。

いままでの実験結果から、この生長抑制物質のひとつは ABA である可能性が強いので、今回は主として生長休止期のトドマツ葉にある ABA について調べた。

1) 実験材料および方法

実験材料として、北海道大学苫小牧地方演習林山の神事業区の 138 林班に植栽されている 24 年生トドマツ葉を用いた。葉は、1972 年 12 月 12 日に採取した。

〔生長抑制物質の抽出と精製〕

葉 (1.5 kg) からの生長抑制物質抽出には、80% メチルアルコール (v/v) を用い、72 時間の間に液を 3 度取り替え、0°C 暗所で抽出した。以下 Table 1 に示した要領で実験を進めた。本実験では酸性区分のみを用いた。

〔PPC, TLC, カラムクロマトグラフィーおよび GLC〕

PPC, TLC に関する実験方法は、I. の 4. の 1) と同様である。

カラムクロマトグラフィーには試料の 10 倍量の活性炭を吸着剤として用いた。

GLC による分析のために、まず ABA 様物質と合成 ABA を、0~5°C で 1 時間ジアゾメタンでメチル化した。これらの物質をメチルアルコールに溶かし、160°, 182° および 200°C に調整したカラムに、1~2 μ l ずつ注入した。注入温度は、それぞれ 260°, 265° および 280°C であった。

キャリアーガスとして用いられた N₂ の流速は、25~40 ml/min. であった。また、ステン

レススチールカラム (1.5 m×3 mm i.d.) に、5% SE-30 (クロモソルブ W, 60~80 メッシュ) あるいは 1.5% OV-17 (クロモソルブ W, 60~80 メッシュ) の充填剤を詰めた。昇温クロマトグラフィーとして、4 分間 160°C に維持した後、160°C から 200°C まで 2°C/min. の割合でカラムの温度を上げた。

〔ABA 呈色反応試験〕

TLC によって展開したクロマトグラム上で、ABA は UV 光 (波長 253.6 m μ) を吸収する。また、同様にして展開したクロマトグラムに、5% H₂SO₄ を噴霧し 120°C で 10 分間加熱すると ABA は UV ランプ下で黄色の蛍光を発する。

2) 実験結果および考察

生長休止期のトドマツ葉から抽出した酸性区分のアベナ伸長試験の結果を図示すると Fig. 13 となる。この結果を見ると、多量の生長抑制物質があり、その作用の最も強い部分と合成 ABA の位置が一致する。

上記の酸性区分 (0.777 g) をアセトン-水の溶媒で、活性炭によるカラムクロマトグラフィーを行なった。最初に 100 cc の水、続いて 100 cc の 10% アセトン、最後に 200 cc の 60% アセトンで溶出した。ABA は、60% のアセトン区分に溶出した。

この区分を蒸発乾固し、上記の展開溶媒で展開したもののアベナ伸長試験と ABA 呈色反応試験の結果が Fig. 14 の I である。最も強い抑制作用のある部分に ABA 様物質がある。

この該当部分をけずり取りメチルアルコールで抽出し、それを蒸発乾固して、クロロフォルム中 5% の酢酸とベンゼン:酢酸:水 = 8:3:5 (v/v) 上層の展開溶媒で展開し同様にして調べた。

前者によるものが Fig. 14 の II, 後者によるものが Fig. 14 の III である。これらの結果でも、最も強い抑制作用のある部分に ABA 様物質がある。しかし、Fig. 14 の II には、ABA より Rf 上位に強い生長抑制物質がある。

Fig. 14 の II, III にある ABA 様物質をけずり取りメチルアルコールで抽出して、さらに以下の実験で調べた。

エチルアルコール中における ABA 様物質と、合成 ABA の UV 吸収スペクトルを示すと Fig. 15 である。これらは、245~310 m μ の波長では互いに一致するが、245 m μ 以下では一致

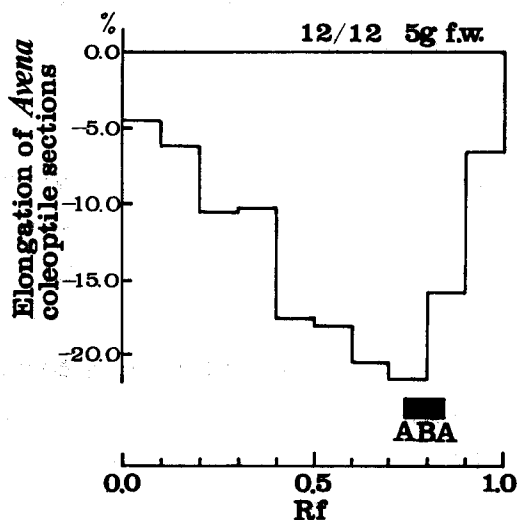


Fig. 13. *Avena* straight growth test of acid growth inhibitors in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS and position of authentic ABA (solvent; IPrAW (10:1:1) by PPC)

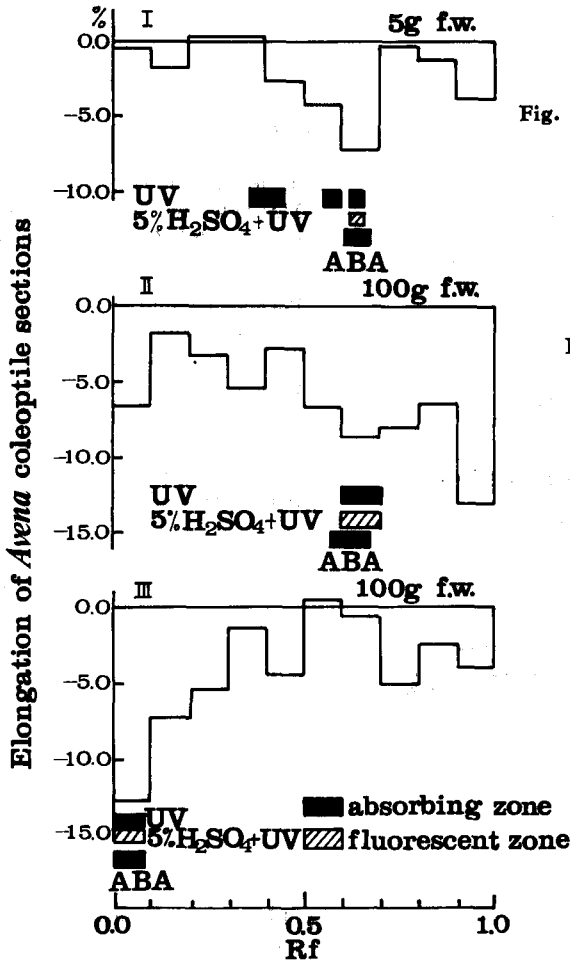


Fig. 14. *Avena* straight growth test, UV absorbing zone and fluorescent (yellow) zone of acid growth inhibitors in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS

I: developed with the solvent of IPrAW (10:1:1) by TLC

II: developed with the solvent of 5% acetic acid in chloroform by TLC

III: developed with the solvent of the upper part of benzene:acetic acid:water=8:3:5 (v/v) by TLC

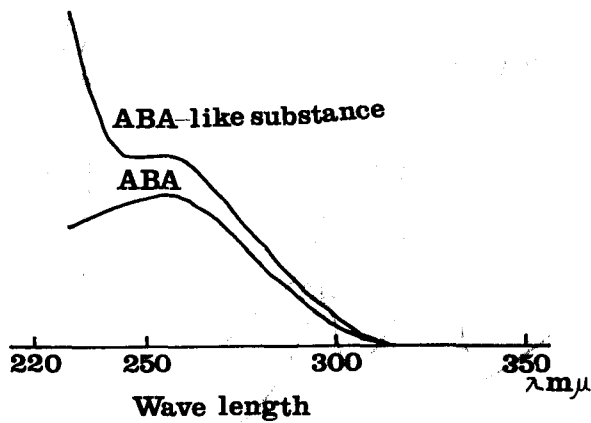


Fig. 15. Comparison between the UV spectra of ABA-like substance in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS and authentic ABA in EtOH

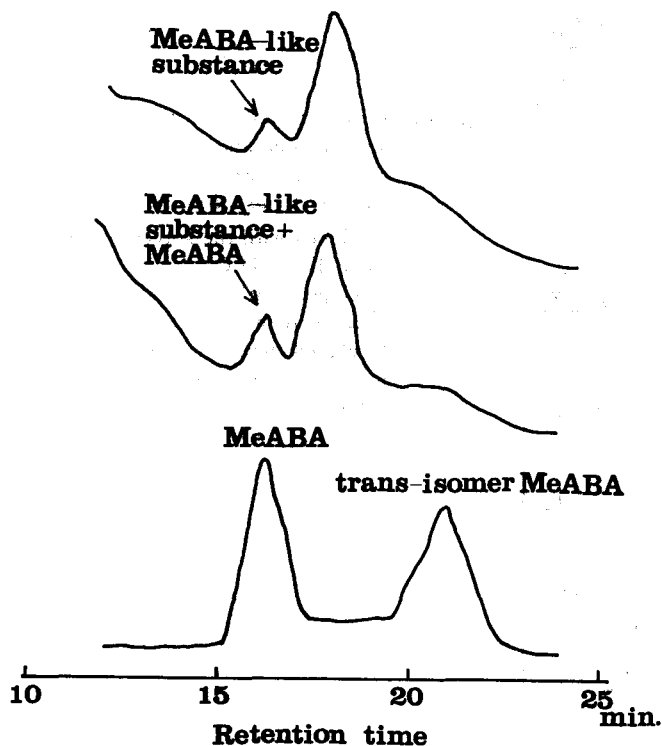


Fig. 16. Gas chromatograms of methylated ABA-like substance in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS and methylated authentic ABA and trans-isomer ABA

Packed column: 5% SE-30 coated on chromosorb W (1.5 m × 3 mm i.d.)

Column temperature: 200°C

Injection temperature: 230°C

Carrier gas: N₂ 25 ml/min.

H₂ gas: 25 ml/min.

Air: 70 ml/min.

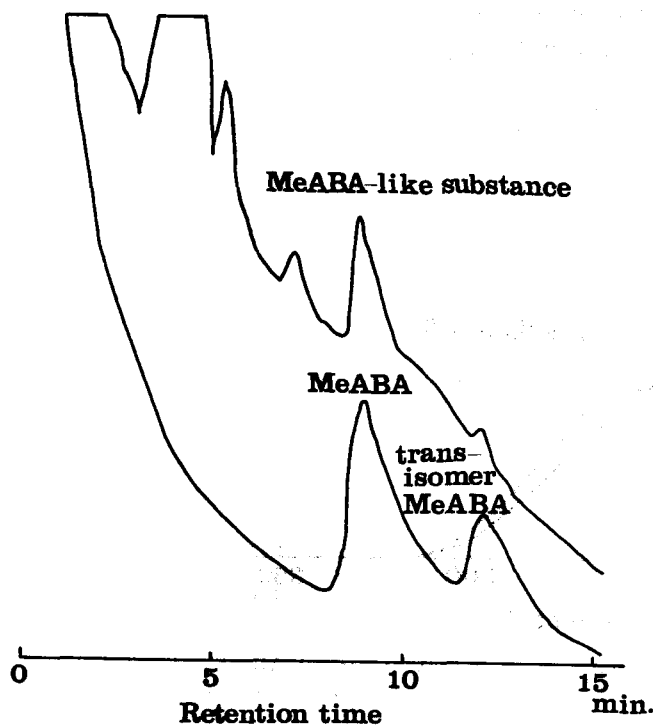


Fig. 17. Gas chromatograms of methylated ABA-like substance in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS and methylated authentic ABA and trans-isomer ABA

Packed column: 1.5% OV-17 coated on chromosorb W (1.5 m × 3 mm i.d.)

Column temperature: 182°C

Injection temperature: 265°C

Carrier gas: N₂ 38 ml/min.

H₂ gas: 22 ml/min.

Air: 0.84 l/min.

しなかった。ABA 様物質はまだ他の物質を含んでいるためと考えられた。

メチル化した ABA 様物質と合成 ABA, トランス異性体の ABA のガスクロマトグラム
の結果を示すと Figs. 16, 17, 18 となる。

Fig. 16 では, トドマツの ABA 様物質のピークは, 合成 ABA のピークと保持時間 16'15''
で一致する。また, 両者を混合するとそのピークが大きくなった。

さらに条件を変えた Fig. 17 では, トドマツの ABA 様物質のピークは, 合成 ABA のピー
クと保持時間 9'00'' で一致する。また, ABA 様物質中に, トランス異性体 ABA らしきピーク
がわずかに見られた。

昇温クロマトグラフィーの Fig. 18 では, トドマツの ABA 様物質のピークは, 保持温度
185.5°C, 保持時間 16'15'' を示し, 合成 ABA はそれぞれ 185.0°C, 16'00'' を示し, 実験誤差範
囲内で一致する。

ABA 様物質と合成 ABA の TLC, UV 吸収スペクトルおよび GLC の結果から, トドマ
ツ葉にある ABA 様物質は, ABA であると確認された。

合成 ABA のアベナ伸長試験の結果を示すと Fig. 19 となる。ABA は少量の 0.5 N
の NaHCO₃ で溶かしてナトリウム塩として用いた。

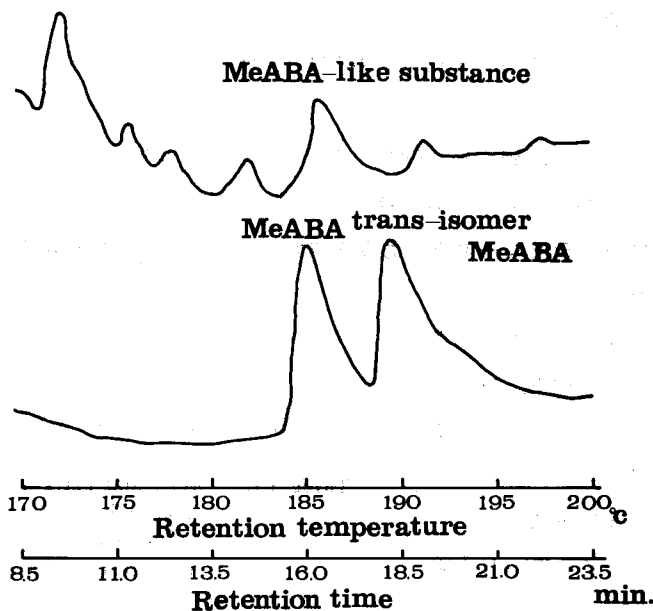


Fig. 18. Gas chromatograms of methylated ABA-like substance in leaves
of *A. sachalinensis* MASTERS and methylated authentic ABA
and trans-isomer ABA

Packed column: 1.5% OV-17 coated on chromosorb W (1.5 m
×3 mm i.d.)

Column temperature: 160°C (Program rate, 2°C/min.)

Injection temperature: 260°C Carrier gas: N₂ 40 ml/min.

H₂ gas: 23 ml/min. Air: 0.83 l/min.

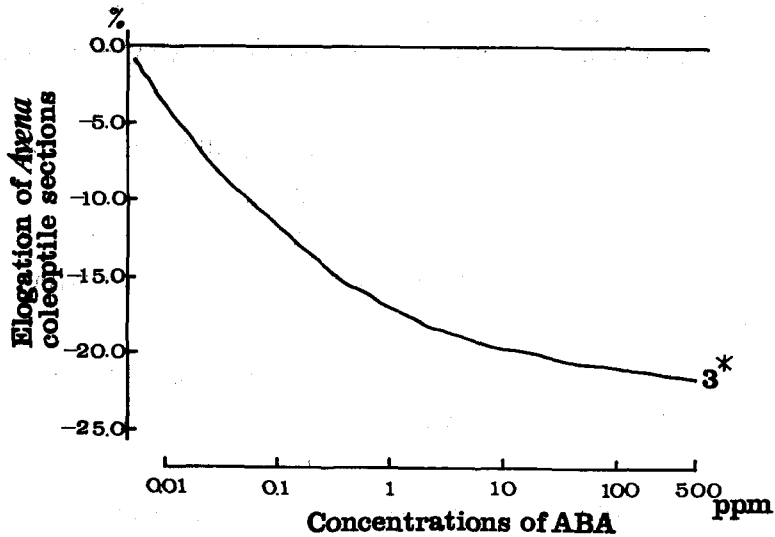


Fig. 19. Biological activity of *Avena* growth in serial concentrations of authentic ABA

* Number of bioassay tests is indicated.

3) ま と め

生長休止期である1972年12月12日に採取した24年生トドマツ葉の生長抑制物質を調べた。

その結果、アベナ伸長試験で強い抑制作用を有する生長抑制物質のひとつは、TLC、UV吸収スペクトルおよびGLCによって、ABAであると確認された。

7. モンターナマツ、シモニードロ、カラマツおよびクマイザサの枝葉にある生長抑制物質¹⁴⁷⁾

本実験では、生長休止期のモンターナマツ、シモニードロ、カラマツおよびクマイザサの枝葉にある生長抑制物質を水、エチルアルコールおよびエチルエーテルで抽出し、そのエゾマツ種子とトドマツ種子の発芽に対する影響を調べた。実験は、1965年1月14日から3月10日にかけて行なった。

1) 実験材料および方法

本実験は、I.の3.で行なった実験と一緒に行なったもので、実験方法はI.の3.の実験方法と全く同じである。

実験材料を表で示すと Table 13 となる。

2) 実験結果および考察

生長休止期のモンターナマツ、シ

Table 13. Species and parts used for extracting growth inhibitors (planted in the nursery of College Experiment Forests Hokkaido University at Sapporo)

Years	Species	Parts used for extracting growth inhibitors
17	<i>Pinus montana</i> MILL.	leaves
2	<i>Populus simonii</i> CARR.	bark of shoots
10	<i>Larix leptolepis</i> GORDON	bark of shoots
	<i>Sasa paniculata</i> MAKINO	leaves

モニードロ、カラマツおよびクマイザサの枝葉から抽出した物質の水溶液が、エゾマツ種子およびトドマツ種子の発芽に与える影響を平均発芽率、発芽最多日で示すと Table 6 のとおりである。

エゾマツ種子での平均発芽率を見ると対照区の 78% に対して、最も発芽抑制しているのは、クマイザサ-エチルアルコールの 2%、次いでクマイザサ-水の 28%、シモニードロ-エチルアルコールの 47%、カラマツ-水の 50%、モンターナマツ-水の 52% の順で効果があった。発芽最多日は、平均発芽率の小さいものほど遅れる傾向があった。

トドマツ種子での平均発芽率を見ると対照区の 31% に対して、最も発芽抑制しているのは、クマイザサ-水の 5% で、次いでモンターナマツ-エチルアルコールの 9%、カラマツ-水の 11%、カラマツ-エチルアルコールの 12%、モンターナマツ-水の 12%、シモニードロ-エチルアルコールの 13% の順で発芽が抑制されている。発芽最多日は、平均発芽率の小さいものほど遅れる傾向にあった。

3) ま と め

生長休止期のモンターナマツ、シモニードロ、カラマツおよびクマイザサの葉や枝皮には多量の生長抑制物質があり、とくにクマイザサ、カラマツに多い。

また、この生長抑制物質は、水およびエチルアルコールによく溶けることが分かった。

II. カラマツの生長と生長物質

カラマツの生長と生長物質に関する研究では、カラマツの頂芽優勢と生長物質に関する実験とカラマツの伸長生長・肥大生長とその当年生枝、1年生枝および葉の生長物質の季節的変化について実験を行なった。

1. 実験材料および方法

1) 実験材料

実験材料として、北海道大学苫小牧地方演習林幌内事業区 30 林班に 1957 年植栽された 8 年生カラマツ (*Larix leptolepis* GORDON) を使用した。

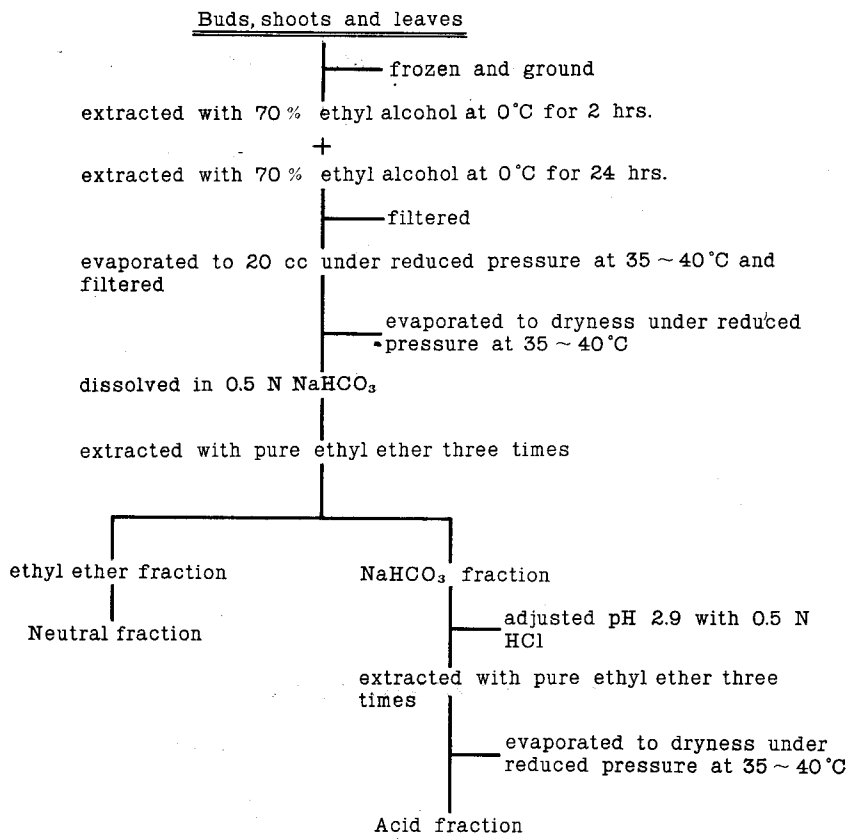
2) 生長物質の抽出、精製および PPC による分離

生長物質の抽出とその精製過程を詳細に表で示すと Table 14 となる。

採取した試料を一時冷蔵庫中 (-10°C) で貯蔵した。取り出した試料をただちに乳鉢ですりつぶし、試料の約 10 倍 (v/g) の 70% エチルアルコールで、 0°C 暗所で初め 2 時間抽出し、引続き抽出液を取り替えて 24 時間抽出した。エチルアルコール抽出液は、20 cc まで減圧濃縮して残渣を取り除き、15~20 cc の 0.5 N の NaHCO_3 溶液に溶かしたのち、これにエチルエーテルを加えて中性区分を取り除いた。

NaHCO_3 層は、0.5 N の HCl で pH 2.9 に調整し、エチルエーテルで抽出して $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ で減圧濃縮して酸性区分とした。本実験では、酸性区分のみを使用した。

Table 14. Extraction and purification of growth substances from the buds, current shoots, last year's shoots and leaves of *Larix leptolepis* GORDON



精製の終わった物質を0.5 ccの酢酸エチルに溶かし、その0.1 cc(生重量1 g相当)をろ紙の一端から3 cmの所に带状にぬりつけ、上昇法により約20 cmの高さまで展開した。使用したろ紙は、東洋ろ紙 No. 51である。展開溶媒には、IPrAW (10:1:1)を用いた。

3) アベナ伸長試験およびエールリッヒ試薬、ミッチェル試薬噴霧による呈色試験

展開したろ紙を風乾後、原点からフロントの間を10等分し各々を小型のガラス容器に入れ、2%しょ糖溶液2 ccをそれぞれ加えて0°Cで8~9時間抽出した。この抽出液に常法で育てたアベナ子葉鞘の先端3.0 mmを切り捨て、その下部3.1 mmの切片を10個ずつ浮かべ、22°Cに調節した恒温器に24時間保ち、その長さを測定した。展開したろ紙の下端より2 cmを切り取ったものを対照区として用いた。

これとは別に展開したろ紙にインドール化合物検出のためのエールリッヒ試薬、ミッチェル試薬を噴霧した (Table 2)。

2. カラマツの頂芽優勢と生長物質¹³⁶⁾

植物の頂芽優勢には、頂芽のオーキシンが関係していることが分かっている。このことは

本論文の研究史の〔頂芽優勢と生長物質〕の項で詳しく述べたのでここでは省略する。

樹木の頂芽優勢に関する実験には次のような例がある。

GUNCKEL 等 (1949)⁴⁵⁾ は、イチョウの長枝と短枝で、芽から枝までの発育過程でのオーキシンの消長を寒天拡散法で調べたが、その結果を次のように報告している。芽には開芽と共にかなりのオーキシンの増加がある。しかし、短枝となる芽ではそれが見られずむしろオーキシンは減少する。

本実験では、カラマツの開芽より伸長までの芽の発育段階を外観的に0~6段階に区分し、段階ごとに長枝になる芽と短枝になる芽とに分け、その生長物質を調べ頂芽優勢と生長物質との関連を調べた。本実験は、1962年3月20日から6月1日にかけて行なった。

1) 実験材料および方法

実験には、カラマツの1年生枝条の芽を用いた。1年生枝条においては、上から7~8個の芽が長枝となるので、そのうち上から5個の芽を長枝となる芽としてまた枝の下部で確実に短枝となると思われる芽を短枝となる芽として共に生重量5gを使用した。

また、樹冠の位置によって開芽過程が異なることがあるので、実験材料はすべて樹冠の下部の枝条から採取するように留意した。

開芽より伸長までの芽の発育段階を外観的に0~6段階に区分し、各段階ごとに試料を採取した。各段階における芽の状態を表示すると Table 15 となる。

Table 15. External appearance of buds which become long shoots and short shoots in bud break of *L. leptolepis* GORDON in Tomakomai

Stages	Dates in 1962	External appearance of buds
0	March 20th	dormant buds.
1	April 20th	Buds are still tight but swelling. Buds of short shoots are larger than buds of long shoots.
2	April 25th	Buds are more swelling, showing yellow-green and scales of buds of short shoots are beginning to open.
3	April 30th	Leaf blades of buds of short shoots are expanding with several scales of buds. Buds of long shoots have still scales of buds.
4	May 5th	Buds of long shoots and short shoots are opened entirely.
5	May 21st	New shoots in buds of long shoots are elongating about 2~3 mm in an average length. It is beginning time of apical dominance.
6	June 1st	New shoots in buds of long shoots are elongating about 5~20 mm in an average length.

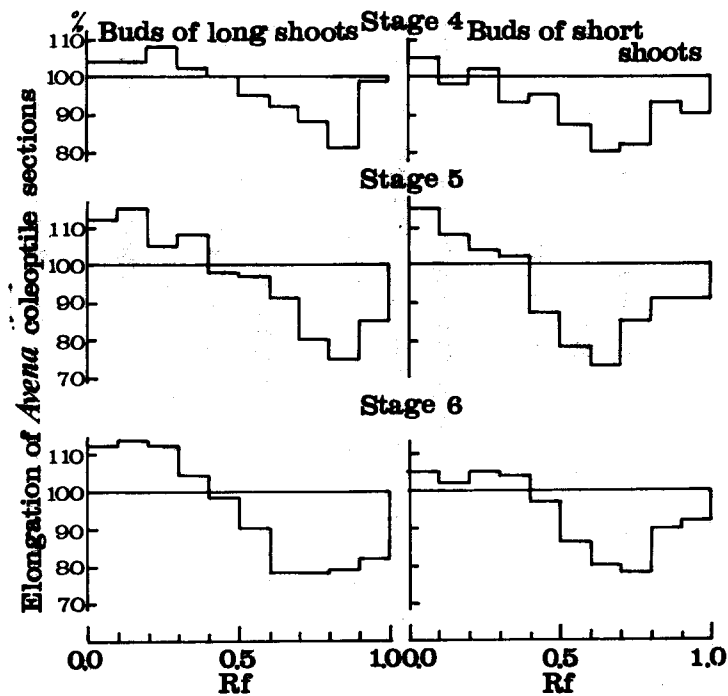
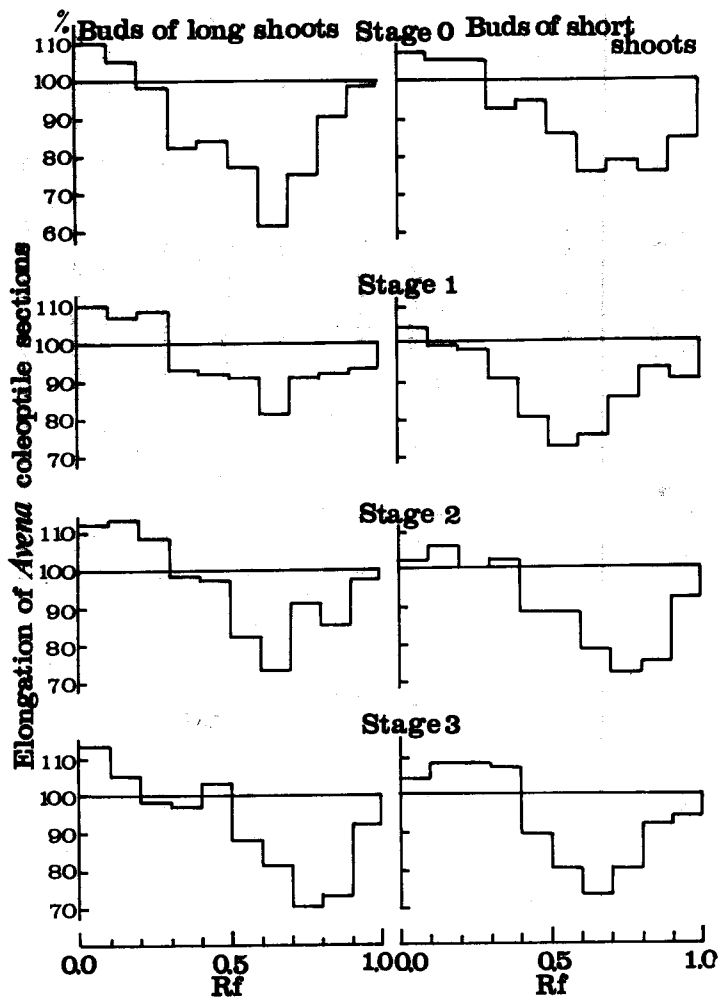


Fig. 20. Change of auxins in buds of 8-year-old *L. leptolepis* GORDON which become long shoots and short shoots, in stages 0~6 in the course of bud break (Solvent: IPrAW (10:1:1) by PPC)

2) 実験結果および考察

カラマツ1年生枝条における開芽より伸長までの0~6段階の長枝および短枝となる芽に存在する生長物質の変化をアベナ伸長試験で調べた。

対照区のアベナ子葉鞘切片の長さを100として、他の区の切片の長さの割合をヒストグラムで表わすと Fig. 20 となる。

段階 0

長枝となる芽では、生長促進物質はほとんど見られず、他の Rf 0.20~1.00 の広範に生長抑制物質があり、特に Rf 0.60~0.70 に最も多かった。短枝となる芽では、Rf 0.00~0.30 に生長促進物質、Rf 0.30~1.00 に生長抑制物質が見られた。休眠状態での長枝および短枝となる芽には、その量において生長物質に大きな差は認められなかった。

段階 1

長枝となる芽では、段階0より生長促進物質は Rf 0.00~0.30 にわずかに見られ、Rf 0.30~1.00 に見られる生長抑制物質は多少減少の傾向を示した。長枝となる芽に比べて短枝となる芽は、Rf 0.00~0.10 に生長促進物質があるが非常に少なかった。Rf 0.10~1.00 に生長抑制物質が多く見られた。

段階 2

長枝となる芽は、Rf 0.00~0.30 にかかなり多くの生長促進物質が見られるようになり、生長抑制物質は段階1より Rf 0.30~1.00 にやや減少していた。短枝となる芽は Rf 0.00~0.20, 0.30~0.40 に生長促進物質があるが、長枝となる芽に比べるとその量は非常に少なかった。生長抑制物質は Rf 0.40~1.00 に見られとくに Rf 0.60~0.90 に多かった。

段階 3

長枝となる芽の生長促進物質は、段階2より減少し、Rf 0.00~0.20, 0.40~0.50 に見られた。生長抑制物質は Rf 0.20~0.40, 0.50~1.00 にかかなり多く見られた。短枝となる芽では Rf 0.00~0.40 に生長促進物質があり、長枝となる芽に比べてわずかに多かった。生長抑制物質は長枝となる芽とほぼ同程度に Rf 0.40~1.00 に見られた。

段階 4

長枝となる芽、短枝となる芽共に生長促進物質、生長抑制物質が少なくなり、両者ほとんど同じような結果を示した。

段階 5

長枝となる芽では、Rf 0.00~0.40 に多量の生長促進物質が現われた。Rf 0.40~1.00 に生長抑制物質があるが、段階3に比べるとやや減少した。短枝となる芽では、長枝となる芽に比べると生長促進物質は少なく、生長抑制物質はやや多かった。

段階 6

長枝となる芽では、Rf 0.00~0.40 に生長促進物質が非常に多量に見られ、Rf 0.40~1.00 に

生長抑制物質があった。段階5に比較してみると生長促進物質は増加し、生長抑制物質はあまりその量に変化はなかった。短枝となる芽では Rf 0.00~0.40 に生長促進物質があり、Rf 0.40~1.00 に生長抑制物質があった。これを長枝となる芽に比べると生長促進物質は非常に少なく生長抑制物質はやや多かった。

開芽過程での長枝となる芽および短枝となる芽の生長物質の変化をまとめてみると、開芽の進行と共に両者で生長促進物質は増加の傾向があり、生長抑制物質は減少の傾向があった。開芽過程を通じて長枝となる芽および短枝となる芽の生長物質を比較してみると、長枝となる芽の生長促進物質は、短枝となる芽よりたえず多かった。生長抑制物質は、両者で差はないようであった。

近年、pea で頂芽によって生長が抑制されている側芽にカイネチンを局部的に与えると、その抑制が除かれることが発見されて以来¹³⁹⁾、頂芽優勢は、頂芽から移動してくるオーキシンとおそらく根系から移動してくるサイトカイニンの拮抗的な作用が関係しているとの考え方が強い。

樹木の頂芽優勢については、上記の観点から研究された例を知らないので未だ不明の点が多い。

本実験で Rf 0.40~1.00 の広範囲に見られる生長抑制物質は、HEMBERG (1958 b)⁶¹⁾ の *Fraxinus excelsior* の休眠芽に関する研究の acid inhibitor とよく一致した。このカラマツの生長抑制物質は、生長休止期のトドマツ葉で Rf 0.60~1.00 に見られる生長抑制物質と同一の物質であるかどうか本実験では明らかにすることはできなかった。

3) ま と め

8年生カラマツの開芽過程での長枝となる芽および短枝となる芽の生長物質の変化を調べた。実験の結果は、次のようにまとめられる。

開芽の進行と共に両者で、生長促進物質は増加の傾向があり、生長抑制物質は減少の傾向があった。開芽過程を通じて長枝となる芽および短枝となる芽の生長物質を比較してみると、長枝となる芽の生長促進物質は、短枝となる芽よりたえず多かった。生長抑制物質の量は、両者で差はなかった。

3. カラマツの伸長生長、肥大生長とその当年生枝、1年生枝および葉の生長物質の季節的変化¹³⁷⁾

本実験は、8年生カラマツの生長期を通じて伸長生長および肥大生長との関連のもとに、カラマツ各部位にある生長物質がどのように変化するかを調べたものである。

伸長生長と生長物質の消長との関係を知るために当年生枝を、肥大生長と生長物質の消長との関係を知るために1年生枝を、生長促進物質と生長抑制物質の生成における葉の役割を知るために葉をそれぞれ実験材料として使用した。本実験は、1962年5月5日から12月21日の間に行なったものである。

カラマツ樹体内の生長物質の季節的消長については、齋藤・武藤・桑島 (1964)¹⁴¹⁾ が調べ報

告している。すなわち、氏等は1年生カラマツ主軸の先端2 cm (上部)、その下2 cm (中部)、主軸の基部2 cm (下部)を6月中旬から12月初旬にわたって採取し、生長物質を抽出して精製し、アベナ伸長試験で調べた。その結果、7月31日までは生長促進物質が増加するが、9月10日以後は漸次減少する。また、7月31日までは主軸の上部ほど促進作用が強いが、8月19日には中部が最も強く、10月1日以後は下部ほど強い傾向が見られるとしている。

1) 実験材料および方法

〔カラマツの生長物質の抽出および精製〕

実験材料の当年生枝、1年生枝および葉は、カラマツの樹冠の下部から採取するように留意した。当年生枝は、1962年に伸長した枝で葉を取り除いた先端から3 cmの部分、1年生枝は、1961年に伸長した枝の形成層から外側で葉を取り除いた部分、葉は当年生枝に着生するものとし、それぞれ生重量30 gを実験に供した。実験材料の採取は、約20日おきに行なった。当年生枝、1年生枝および葉はそれぞれ冷蔵庫で凍結したのち、ただちにホモジナイザーで粉碎した。

本実験では、生長物質の定量および定性は酸性区分のみを対象とした。PPCで生長物質を分離・精製するとき、塗りつける量を生重量10 gに相当するよう調整した。

〔カラマツの伸長生長および肥大生長の測定〕

実験材料を採取したカラマツの林分から、樹高3 mの標準木を数本選定し、樹木の形成層の活動は開芽と前後して起こるとされているので⁶⁶⁾、それらの主幹、枝の伸長生長および肥大生長を5月5日から10月11日まで約10日置きに主幹と樹冠下部の枝について計4カ所測定

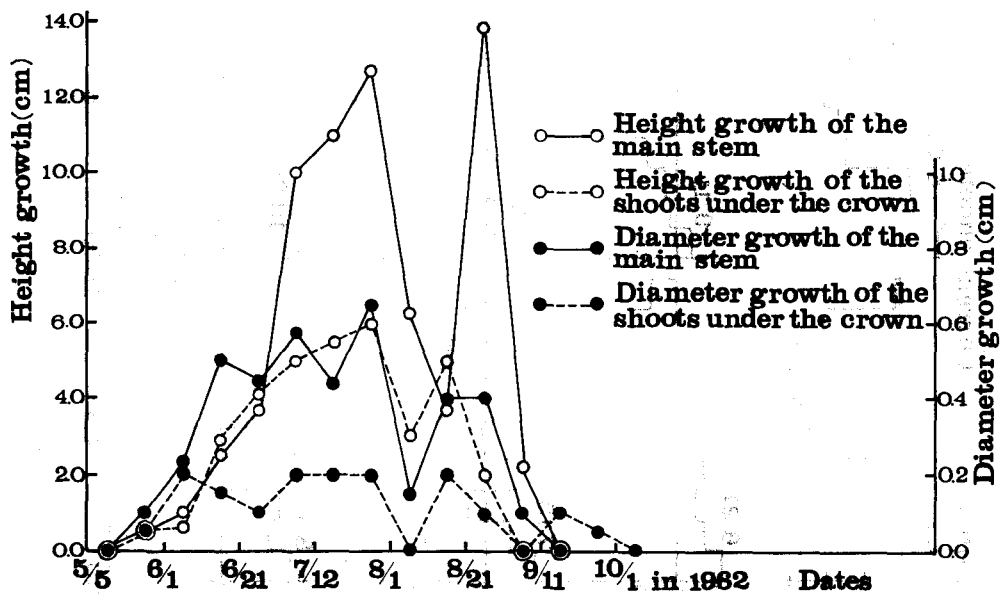
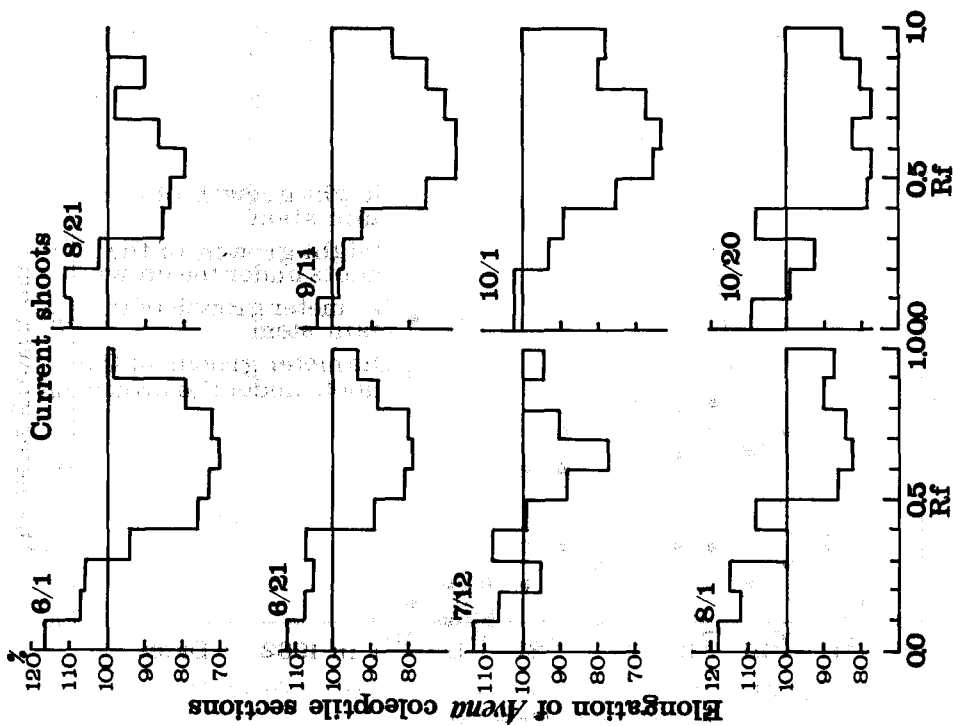
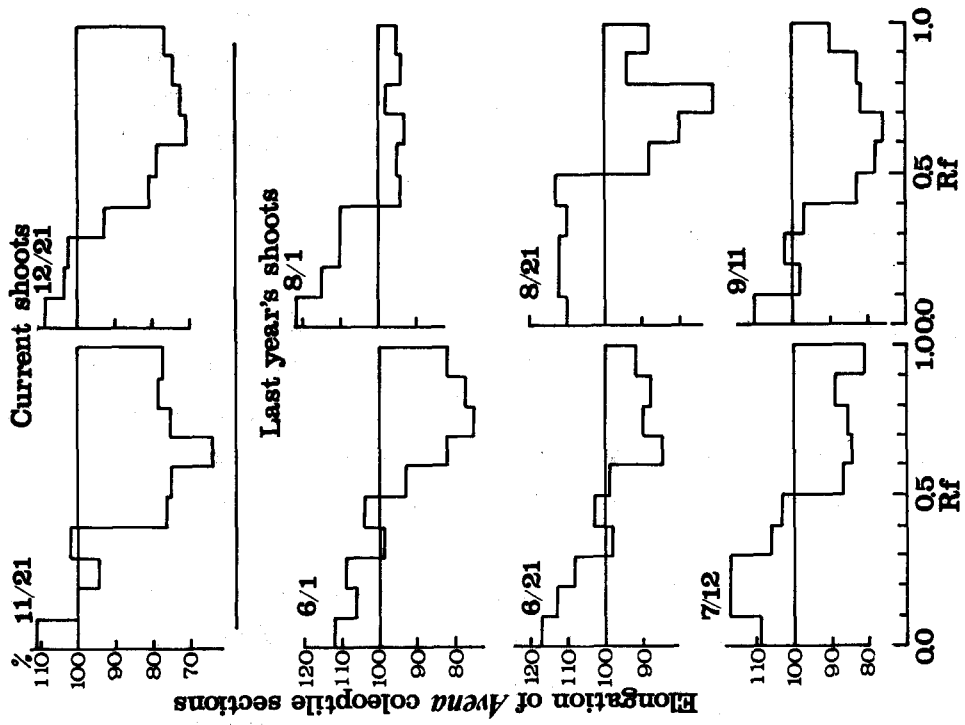


Fig. 21. Height growth and diameter growth of 8-year-old *L. leptolepis* GORDON tree



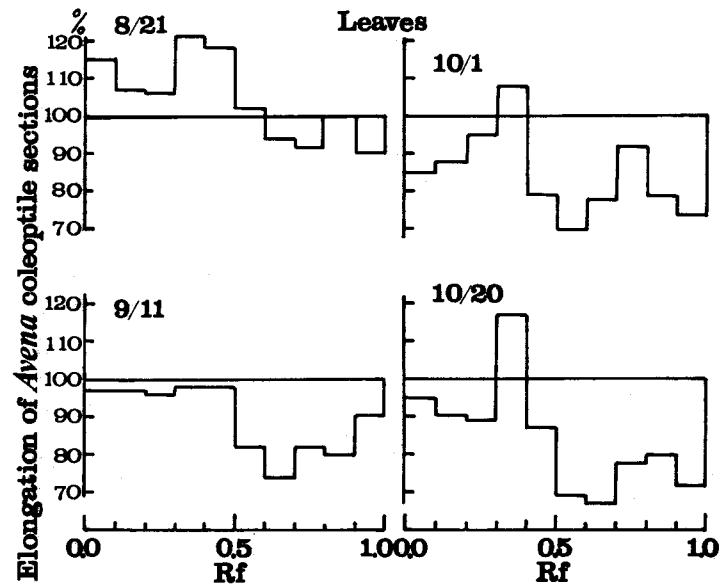
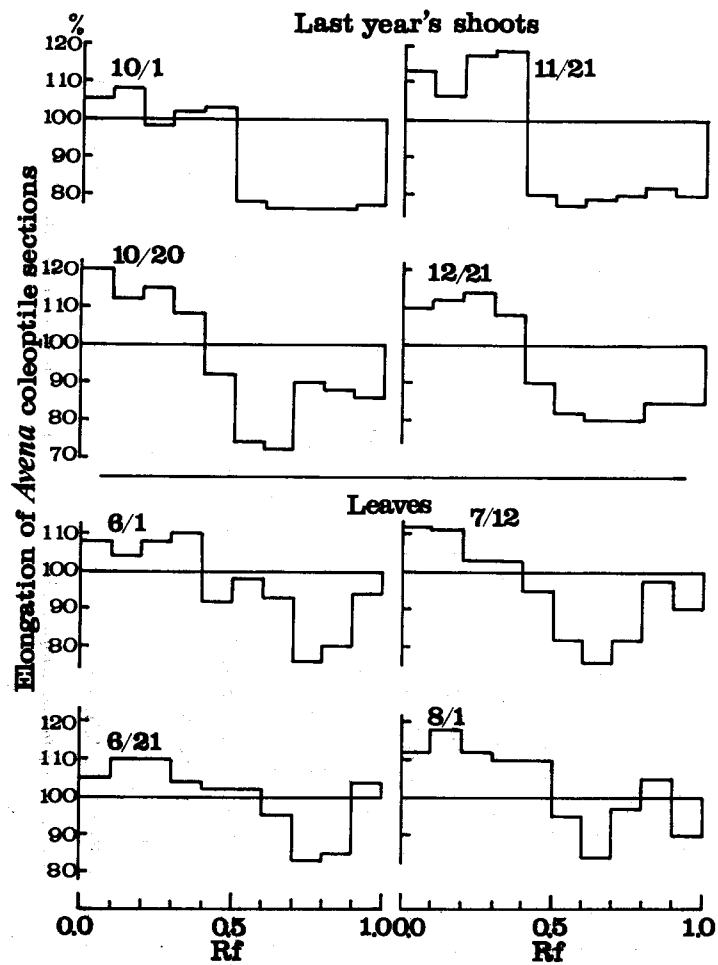


Fig. 22. Change of auxins in current shoots, last year's shoots and leaves of 8-year-old *L. leptolepis* GORDON (Solvent; IPrAW (10:1:1) by PPC)

した。伸長生長は、1962年に伸長した長さとして、肥大生長は測定部にモメン糸をまきつけてその周囲を測定した。なお、肥大生長は、前年に伸長した主幹あるいは枝の基部で測定したものである。その結果を各部位の10日置きの期間生長量として図示すると Fig. 21 となる。

2) 実験結果および考察

カラマツの伸長生長および肥大生長は、大体5月中旬から始まり、7月下旬ないし8月上旬と8月下旬に、2回生長の旺盛な時期がある。8月中旬に生長が衰える理由は、造林地の気温の上昇および乾燥などが考えられるが明らかではない。

カラマツの当年生枝、1年生枝および葉から最終的に得られる抽出物を PPC で分離し、10等分した Rf ごとに生長物質の量をアベナ伸長試験によって決定した。

各 Rf におけるアベナ子葉鞘の全長を、対照区のアベナ子葉鞘の全長に対する割合で表わし、その結果をヒストグラムで示すと Fig. 22 のごとくである。

以上の結果をまとめると次のようになる。

カラマツの伸長生長が開始し、生長が次第に盛んになるにつれて当年生枝で見られる生長促進物質は増加し、8月1日にその量は最多となり、逆に生長抑制物質は減少し8月1日にその量は最小となった。この生長物質の促進的ピークの時期は、伸長生長の最も盛んな時期にほぼ一致した。その後伸長生長の衰えと共に生長促進物質は減少し、生長抑制物質は増加し、10月1日以後の当年生枝では、生長促進物質の量はごくわずかとなり、生長抑制物質は多量に見られるようになった。

カラマツの肥大生長が見られる期間、1年生枝の生長物質の消長は、当年生枝のそれと大体同様の傾向が認められるが、しかし、10月20日以後の1年生枝では、生長抑制物質の量は、非常に多い一方、多量の生長促進物質が見られるようになった。これに似た現象は、斎藤・武藤・桑島 (1964)¹⁴⁾ も認めている。

葉においては、当年生枝や1年生枝と同様に生長最盛期において促進的ピークが認められ、8月1日と8月21日の葉の生長促進物質の量は、他の部位の同時期のものより多かった。また、9月11日以後の葉では、多量の生長抑制物質が見られ、同時期の他の部位のそれよりはるかに多かった。このことから、葉は生長物質の生成に重要な役割を持つと考えられる。

インドール化合物同定のため抽出物を展開したろ紙にエールリッヒ試薬、ミッチェル試薬を噴霧した。そのうち、前試薬のみに8月1日以後の1年生枝、葉において Rf 0.60~0.80 に赤色の反応が見られ、特に落葉直前の葉に最も強いようである。しかし、ミッチェル試薬に陰性なので、この赤色反応物質はインドール系の物質かどうか、また生長物質とどのような関係にあるものか不明である。

古くから樹木の肥大生長とオーキシンとの関係は研究されているが、SÖDING (1937)¹⁵⁾ は、1年間の *Aesculus hippocastanum*, *Acer trautvetteri*, *Populus tremula* の肥大生長と生長促進物質の量との関係を枝で調べているが、その結果を次のように示している。すなわち、A.

hippocastanum の肥大生長は、5月中旬から6月中旬に盛んで、その時期の生長促進物質は非常に多い。この傾向は、*A. trautvetteri*, *P. tremula* においても同様に見られる。

実験方法や樹種は異なるけれども、この結果は本実験で得られた結果とよく一致する。

3) ま と め

8年生カラマツの伸長生長、肥大生長とその当年生枝、1年生枝および葉の生長物質の季節的变化の実験結果をまとめると次のようになる。

i. カラマツの伸長生長が開始し、生長が盛んとなるにつれて当年生枝で見られる生長促進物質は増加し、8月1日にその量は最多となり、逆に生長抑制物質は減少し、同時期に最少となった。この生長物質の促進的ピークの時期は、伸長生長の最も盛んな時期にほぼ一致した。その後伸長生長の衰えと共に生長促進物質は減少し、生長抑制物質は増加し、10月1日以後の当年生枝では、生長促進物質の量はごくわずかとなり、生長抑制物質は多量に見られるようになった。

ii. 1年生枝の生長物質の消長は、肥大生長が見られる期間、当年生枝と大体同様の傾向が認められた。しかし、10月20日以後の1年生枝では、生長抑制物質の量は、非常に多い一方、多量の生長促進物質が見られた。

iii. 葉においては、当年生枝や1年生枝と同様に生長最盛期において促進的ピークが認められ、8月1日と8月21日の葉の生長促進物質の量は、他の部位の同時期のものより多かった。また、9月11日以後の葉では、多量の生長抑制物質が見られ、同時期の他の部位よりはるかに多かった。このことから、葉は生長物質の生成に重要な役割を持つと考えられる。

III. 生長物質等の散布によるトドマツの開芽および秋伸び抑制

生長を休止しているトドマツが、開芽を開始する段階で、生長物質が深く関連すると考えられる。

本実験では、トドマツの開芽および秋伸びに与える生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質および光合成阻害物質の影響を調べた。生長物質等の散布によってトドマツの開芽および秋伸びを抑制することができれば、晩霜害防除や容易に多くの健全苗が得られる点で実用的に大きな価値がある。

造林地でトドマツ苗木を雪中埋蔵して15~21日開芽を抑制することができたとの報告があるが¹¹²⁾、これは低温により生長休止を長びかせることによって、体内の生長抑制物質の減少を抑制したものと考えられる。

1. 生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質散布によるトドマツ開芽抑制 (1)¹³⁹⁾

いままでの実験により、トドマツの開芽の進行と共にオーキシンとジベレリン様物質が増加し、トドマツの開芽にオーキシンとジベレリン様物質が密接に関与することが分かった。また、生長抑制物質も、開芽になんらかの役割を持っていると考えられる。

本実験では、前実験と同時期にトドマツの芽に生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質を散布し、トドマツの開芽抑制試験を行なった。

トドマツの開芽を、生長物質の散布によって抑制することができれば、苗木が晩霜害にさらされる期間が短くなり、晩霜害による被害が軽減される。

1) 実験材料および方法

北海道大学中川地方演習林産種子で北海道大学演習林苗畑（札幌）で育苗した5年生のトドマツを4月中旬に鉢に上げ、ガラス室に持ち込み実験に用いた。試験期間中のガラス室内の10時の気温、最高気温および最低気温を表で示すと Table 16 となる。

Table 16. Temperature (10 a.m.), maximum and minimum temperatures in the glass-house

	April in 1964					May							
	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8
Temp. (10 a.m.)	12.9	17.4	14.2	17.8	14.7	19.0	12.0	12.0	21.2	19.6	19.3	17.2	16.9
Temp. (Max.)	20.0	20.0	25.1	21.8	22.8	29.0	20.5	21.9	23.9	30.9	32.3	28.8	25.6
Temp. (Min.)	9.9	10.5	5.8	7.9	3.3	8.5	8.9	8.9	7.5	8.4	6.4	6.4	8.1

	May													
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Temp. (10 a.m.)	20.7	22.2	16.8	19.9	19.3	20.8	20.6	21.8	15.2	20.9	20.9	21.3	24.0	16.1
Temp. (Max.)	31.3	30.6	23.2	22.0	27.0	32.9	33.0	33.9	23.0	31.8	31.8	27.7	29.5	29.4
Temp. (Min.)	10.0	9.6	8.8	5.7	11.5	8.7	8.2	6.9	7.3	9.9	8.2	4.2	6.5	6.5

	May										June		
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	
Temp. (10 a.m.)	15.1	15.3	15.7	13.8	16.5	17.4	20.6	18.7	20.5	18.6	18.6	16.3	
Temp. (Max.)	19.8	22.5	22.5	19.5	20.0	24.0	25.8	26.5	32.5	32.7	26.2	23.5	
Temp. (Min.)	10.3	9.2	8.5	8.0	13.0	7.0	10.3	10.9	8.4	11.5	10.9	14.2	

試験区は、薬品の種類とその濃度により以下の18区、無処理の対照区を含めて計19区を設定した。

A. 生長促進物質

- | | |
|-----------|-----------|
| a. Na・NAA | 250 ppm 区 |
| b. " | 100 " |
| c. " | 10 " |
| d. IAA | 100 " |
| e. " | 10 " |

B. 生長抑制物質

f. サリチル酸+ケイヒ酸	100 ppm 区*
g. サリチル酸+ケイヒ酸	10 "
h. クマリン	100 "
i. "	10 "
j. MH	2,500 "
k. "	1,000 "
l. BCA	10 "
m. "	1 "
n. CCA	100 "
o. "	10 "

C. 呼吸阻害物質

p. ウレタン	10 ppm 区
q. DNP	100 "
r. "	10 "

各試験液には、展着剤ニューコール 564 (polyoxyethylene-nonylphenyl ether) を 0.05% 加えた。各区に用いたトドマツの苗木は 10 本である。

薬品の散布期間は、1964 年 4 月 28 日から 5 月 4 日まで毎日午後に苗木全体に、液がしたり落ちるまで噴霧器で散布した。しかし、Na・NAA 250 ppm, 100 ppm と IAA 100 ppm は、高濃度による薬害を考慮して、散布を 4 月 28 日と 5 月 4 日の 2 度に制限した。

MH は、MH-30 を用い、有効成分が所定の濃度になるよう薄めて用いた。

薬品による効果判定は、主軸の頂芽とそれ以外の芽とでは開芽期が異なるのでそれぞれ分けて調べた。1/2 以上の芽りんが取れた芽を開芽したものと考えた。

2) 実験結果および考察

各試験区のトドマツの開芽期間とその中間開芽月日を主軸の頂芽とこれ以外の芽とに分けて調査した結果を表示すると Table 17 となる。

対照区：主軸の頂芽は、5 月 8 日から 5 月 17 日にすべて開芽し、その中間開芽月日は、5 月 12.5 日である。主軸の頂芽以外の芽は、数日早く 5 月 4 日から 5 月 10 日に開芽し、その中間開芽月日は 5 月 7.0 日である。

生長促進物質区：主軸の頂芽の中間開芽月日は、対照区に比較して、Na・NAA 250 ppm 区、100 ppm 区で 5.5 日、9.0 日抑制され、主軸の頂芽以外の芽でも 2.5 日、1.0 日開芽が抑制されている。他の試験区では、その開芽期間および中間開芽月日は、対照区と比べて大きな差は見られない。

* サリチル酸とケイヒ酸をそれぞれ 100 ppm とした。

Table 17. Experiment of inhibiting bud break of 5-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of growth promoters, growth inhibitors and respiratory inhibitors

Experimental lots in 1964 (ppm)	Terminal buds in the main stem		Buds except terminal buds in the main stem	
	Period of bud break	Middle date in period of bud break	Period of bud break	Middle date in period of bud break
Control 0	5/ 8~5/17	5/12.5	5/4~5/10	5/ 7.0
Na·NAA 250	5/11~5/25	18.0	5/6~5/13	9.5
100	5/11~6/ 1	21.5	5/6~5/10	8.0
10	5/10~5/18	14.0	5/5~5/ 9	7.0
IAA 100	5/11~5/18	14.5	5/6~5/ 9	7.5
10	5/11~5/22	16.5	5/3~5/10	6.5
Salicylic acid+ Cinnamic acid 100	5/10~5/21	15.5	5/5~5/ 9	7.0
10	5/ 8~5/17	12.5	5/4~5/ 9	6.5
Coumarin 100	5/ 9~5/19	14.0	5/4~5/11	7.5
10	5/ 8~5/18	13.0	5/3~5/13	8.0
MH 2,500	5/16~6/ 3	25.0	5/7~5/15	11.0
1,000	5/15~5/25	20.0	5/5~5/16	10.5
CCA 100	5/10~5/28	19.0	5/6~5/10	8.0
10	5/ 9~5/24	16.5	5/6~5/12	9.0
BCA 10	5/10~5/22	16.0	5/5~5/11	8.0
1	5/11~5/22	16.5	5/2~5/11	6.5
Urethane 10	5/11~5/22	16.5	5/6~5/10	8.0
DNP 100	5/14~5/22	18.0	5/6~5/12	9.0
10	5/10~5/22	16.0	5/5~5/12	8.5

開芽が抑制された試験区では、開芽期間が長い傾向が認められた。しかし、これらの区の苗木について、生長終了後当年伸長量を測定したところ、これらの区の伸長量および根の伸長量は、対照区のそれより劣ってはならず、薬品による生長阻害は全く見られなかった。

生長抑制物質区：主軸の頂芽の中間開芽月日は、対照区に比較して、MH 2,500 ppm 区は、12.5 日、1,000 ppm 区で 7.5 日抑制され、主軸の頂芽以外の芽でも対照区に比較して、2,500 ppm 区で 4.0 日、1,000 ppm 区で 3.5 日抑制され、本試験中最大の開芽抑制効果があった。しかし、生長終了後の当年伸長量測定結果では、他の試験区の 20~25% の伸長量しか見られず、MH がトドマツ体内に蓄積したものと考えられる。

サリチル酸+ケイヒ酸 100 ppm 区は、主軸の頂芽の中間開芽月日において対照区に比較して、3.0 日抑制されている。

BCA, CCA の試験区は、わずかに開芽抑制効果があるが、今後濃度を増して検討する必要がある。

呼吸阻害物質区： DNP 100 ppm 区がわずかに効果があり、主軸の頂芽の中間開芽月日は、対照区に比較して5.5日、主軸の頂芽以外の芽では2.0日対照区より抑制されている。

3) ま と め

トドマツ苗木の開芽抑制のために、開芽直前の4月下旬から5月上旬まで、生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質を散布した。

そのうち、効果のあった物質は、順に述べるとMH, Na・NAA, サリチル酸+ケイヒ酸, DNP であった。効果のあった濃度は、MH 2,500~1,000 ppm, Na・NAA 250~100 ppm, サリチル酸+ケイヒ酸 100 ppm, DNP 100 ppm であったが、MH については葉害が生じているので検討を要する。

2. 生長促進物質、生長抑制物質散布によるトドマツ開芽抑制 (2)¹⁴⁸⁾

本実験は、(1)の実験の追試として行なったものである。実験の期間は、1971年4月23日から5月18日である。

1) 実験材料および方法

実験に用いた苗木は、北海道大学雨竜地方演習林産種子で、同大学演習林苗畑(札幌)で育苗した5年生トドマツ苗木である。実験はガラス室内で行なった。

実験には、今までの実験で効果のあった1種類の生長促進物質と6種類の生長抑制物質を用いた。薬品の散布は、1971年4月23日、4月25日、4月27日、5月1日の4回である。濃度は前実験より低くして用いた。

実験結果の測定は、主軸の頂芽とそれ以外の芽について行なう予定であったが、ガラス室の高温により、被害が出たので主軸の頂芽以外の芽の開芽測定で実験を打ち切った。

2) 実験結果および考察

各試験区の主軸の頂芽以外の芽の開芽期間とその中間開芽月日を示すとTable 18となる。

Table 18. Experiment of inhibiting bud break of 5-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of growth promoter and growth inhibitors

Experimental lots in 1971 (ppm)	Buds except terminal buds in the main stem	
	Period of bud break	Middle date in period of bud break
Control 0	4/30~5/14	5/7.0
Na・NAA 250	5/ 1~5/14	7.5
	100 5/ 4~5/14	9.0
MH 250	5/ 4~5/13	8.5
	100 5/ 1~5/17	9.0
Salicylic acid 500	5/ 4~5/13	8.5
	100 4/30~5/12	6.0
Caffeic acid 500	5/ 1~5/15	8.0
	100 4/29~5/12	5.5
Ferulic acid 500	4/26~5/10	3.0
	100 4/30~5/ 7	3.5
Cinnamic acid 500	4/27~5/13	5.0
	100 5/ 2~5/15	8.5
Naringenin 500	5/ 3~5/12	7.5
	100 5/ 2~5/13	7.5

対照区：4月30日から5月14日にすべて開芽し、その中間開芽月日は5月7.0日であった。

生長促進物質区：Na・NAA 250 ppm は、対照区とほとんど差が見られないが、Na・NAA 100 ppm は、開芽開始日では4日、中間開芽月日では2.0日対照区より遅れている。

生長抑制物質区：MH 250 ppm, 100 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm に抑制効果があった。すなわち、MH 250 ppm は、開芽開始日が対照区より4日抑制された。また、中間開芽月日も、1.5日抑制された。MH 100 ppm は、中間開芽月日が、2.0日抑制された。サリチル酸 500 ppm は、開芽開始日が対照区より4日抑制されており、中間開芽月日も1.5日抑制された。ナリンゲニン 500 ppm は、開芽開始日が対照区より3日抑制された。

3) ま と め

本実験で効果のあった物質は、順に述べると MH, Na・NAA, サリチル酸, ナリンゲニンであった。効果のあった濃度は、MH 250, 100 ppm, Na・NAA 250, 100 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm であった。

3. 生長促進物質, 生長抑制物質散布によるトドマツ開芽抑制 (3)¹⁵²⁾

本実験は、(1), (2)の実験の追試として行なったものである。実験の期間は、1972年4月23日から9月23日である。

1) 実験材料および方法

実験に用いた苗木は、北海道大学中川地方演習林産の種子で同大学演習林苗畑（札幌）で育苗した3年生トドマツ苗木である。実験には、今までの実験で効果のあった物質の中から1種類の生長促進物質と3種類の生長抑制物質を選んで用いた。薬品の散布は、1972年4月23日、4月25日、4月27日、5月1日の4回である。

実験には、播種据置き床のトドマツ苗木を用いたが、各区に(20×20)cm²の方形区3個を設定した。生長物質散布後約5カ月の9月23日に、苗木の生長調査を行なった。1試験区から、60本すなわち各方形区から任意に20本抽出して測定した。

2) 実験結果および考察

各試験区のトドマツの開芽期間と開芽本数の最頻値を示した月日を主軸の頂芽とこれ以外の芽とに分けて調査した結果を表示すると Table 19 となる。

対照区：主軸の頂芽は、5月1日から5月10日にすべて開芽し、開芽本数の最頻値を示した月日は、5月5日である。主軸の頂芽以外の芽は、4月30日から5月6日に開芽し、開芽本数の最頻値を示した月日は、5月4日である。

生長促進物質区：Na・NAA 100 ppm, 50 ppm は、開芽本数の最頻値を示した月日が、主軸の頂芽において1日抑制されている。

生長抑制物質区：MH 100 ppm, 50 ppm, 10 ppm, サリチル酸 500 ppm, 100 ppm, ナリンゲニン 500 ppm は、主軸の頂芽では、開芽本数の最頻値を示した月日において1日抑制されている。

主軸の頂芽以外の芽では、MH 100 ppm, 50 ppm, 10 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリ
ンゲニン 500 ppm, 100 ppm が、開芽本数の最頻値を示した月日において 2~1 日抑制されて
いる。

Table 19. Experiment of inhibiting bud break of 3-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoter and growth inhibitors

Experimental lots in 1972 (ppm)	Terminal buds in the main stem		Buds except terminal buds in the main stem	
	Period of bud break	Date shown the mode of number of bud break	Period of bud break	Date shown the mode of number of bud break
Control 0	5/ 1~5/10	5/5	4/30~5/6	5/4
Na·NAA 100	5/ 1~5/ 7	6	4/30~5/ 5	4
50	4/30~5/ 8	6	4/30~5/ 6	4
MH 100	5/ 1~5/10	6	5/ 1~5/5	5
50	5/ 2~5/ 8	6	4/30~5/6	5
10	5/ 2~5/ 7	6	5/ 1~5/5	5
Salicylic acid 500	5/ 2~5/ 8	6	5/ 1~5/7	6
100	5/ 1~5/ 7	6	4/30~5/5	4
Naringenin 500	5/ 1~5/ 8	6	5/ 1~5/6	5
100	5/ 2~5/ 8	5	5/ 1~5/5	5

Table 20. Growth of seedlings in experiment of inhibiting bud break of 3-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoter and growth inhibitors

in 1972 (ppm)	Length of stem (cm)	Length of root (cm)	Diameter at base (mm)	Fresh weight of top (g)	Fresh weight of root (g)	Top: root ratio	Number* of seedlings	Number of withered seedlings
Control 0	12.2	14.0	2.5	2.07	0.92	2.25	207	2
Na·NAA 100	12.3	15.1	2.7	2.25	1.00	2.25	135	2
50	11.5	12.8	2.4	1.69	0.68	2.49	163	1
MH 100	10.2	14.7	2.8	1.95	1.10	1.77	71	0
50	10.8	14.8	2.9	2.25	1.14	1.97	72	0
10	11.7	15.8	2.8	2.40	1.25	1.92	109	2
Salicylic acid 500	9.8	13.9	2.7	1.84	0.99	1.86	101	0
100	11.2	13.9	2.8	2.28	1.14	2.00	114	1
Naringenin 500	9.2	14.4	2.7	1.76	1.00	1.76	88	0
100	10.5	16.1	2.9	2.15	1.11	1.94	91	1

* This number does not contain withered seedlings.

生長物質散布後約5カ月の9月23日に、苗木を掘り取って地上部の長さ、重さ、地下部の長さ、重さ、直径、T/R率を測定したが、その結果を表示するとTable 20となる。

対照区と比較して、MH 100 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm において、地上部の長さ、重さが対照区より若干劣る以外、大きな差は見られない。

3) ま と め

本実験においては、開芽の抑制効果が、あまり認められなかったけれども、効果のあった物質とその濃度を示すと次のようになる。Na・NAA 100 ppm, 50 ppm, MH 100 ppm, 50 ppm, 10 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm。

生長物質散布後約5カ月に苗木の生長調査を行なったが、MH 100 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm において地上部の生長がわずかに抑制された。

4. 生長抑制物質散布によるトドマツ開芽抑制 (4)

植物体内では、ABAが生長抑制物質として働いていることは分かっており、著者の実験から、生長休止期のトドマツ葉にはABAと確認される物質があった。また、生長休止期のトドマツ葉には、D-catechinがあった。本実験では、この2つの生長抑制物質と市販されているエスレル(植物体に吸収されてからエチレンガスを発生する)を主に用いてトドマツの開芽抑制試験を行なった。

実験の期間は、1973年4月5日から9月29日である。

1) 実験材料および方法

実験に用いた苗木は、北海道大学中川地方演習林産の種子で同大学演習林苗畑(札幌)で育苗した2年生トドマツ苗木である。

実験に用いた薬品とその濃度は、D-カテキン 500 ppm, 100 ppm, ABA 500 ppm, 100 ppm, ABA 500 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm, ABA 100 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm, エスレル 500 ppm, 100 ppmであった。上記薬品の水溶液には、展着剤ニューコール564を0.01%加えた。

薬品の散布は、1973年4月5日、4月13日、4月19日および4月27日の4回であった。

実験には、播種据置き床のトドマツ苗木を用いたが、各区に(20×20)cm²の方形区3個を設定した。生長物質散布後約5カ月の9月29日に苗木の生長調査を行なった。1試験区から、60本すなわち各方形区から任意に20本抽出して測定した。

2) 実験結果および考察

各試験区のトドマツの開芽開始月日と開芽本数の最頻値を示した月日を主軸の頂芽とこれ以外の芽とに分けて調査した結果を表示するとTable 21となる。

対照区：主軸の頂芽は、5月5日から開芽を開始し、開芽本数の最頻値を示した月日は5月7日であった。主軸の頂芽以外の芽は、5月4日から開芽を開始し、開芽本数の最頻値を示した月日は5月7日であった。

Table 21. Experiment of inhibiting bud break of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of growth inhibitors

in 1973 (ppm)	Terminal buds in the main stem			Buds except terminal buds in the main stem		
	Beginning date of bud break	Date shown the mode of number of bud break	Number** of seedlings without bud break	Beginning date of bud break	Date shown the mode of number of bud break	Number** of seedlings without bud break
Control 0	5/ 5	5/ 7	14	5/4	5/ 7	4
D-catechin 500	5/ 6	5/10	15	5/4	5/ 9	0
100	4/30	5/ 7	21	5/5	5/ 7	5
ABA 500	5/ 5	5/11	60	5/2	5/10	0
100	5/ 5	5/ 7	65	5/1	5/10	0
A+S+C* (500+250+500)	5/ 6	5/12	41	5/5	5/10	4
(100+250+500)	5/ 5	5/10	23	5/5	5/10	6
Ethrel 500	5/ 3	5/ 8	46	5/2	5/ 7	0
100	5/ 5	5/ 8	24	5/1	5/ 7	0

* ABA+Salicylic acid+D-catechin

** Investigated on May 29th.

Table 22. Growth of seedlings in experiment of inhibiting bud break of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth inhibitors

in 1973 (ppm)	Length of stem (cm)	Length of root (cm)	Diameter at base (mm)	Fresh weight of top (g)	Fresh weight of root (g)	Top: root ratio	Number* of seedlings	Number of withered seedlings
Control 0	5.2	9.6	1.8	0.44	0.35	1.26	154	20
D-catechin 500	5.3	10.6	2.1	0.51	0.45	1.14	120	31
100	5.6	11.6	2.0	0.46	0.34	1.36	144	16
ABA 500	5.6	11.0	2.2	0.48	0.39	1.23	132	36
100	5.4	10.4	2.3	0.50	0.51	0.98	138	29
A+S+C (500+250+500)	5.2	10.9	2.0	0.46	0.42	1.10	95	39
(100+250+500)	5.8	15.4	1.9	0.51	0.55	0.93	108	30
Ethrel 500	5.4	11.8	2.1	0.51	0.37	1.38	160	20
100	5.5	11.2	1.7	0.55	0.44	1.25	97	16

* This number does not contain withered seedlings.

各試験区の中で、主軸の頂芽の開芽が最も抑制されたのは、ABA 500 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm 区で開芽本数の最頻値を示した月日において5日抑制されている。次いでABA 500 ppmの4日、ABA 100 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppmの3日、D-カテキン 500 ppmの3日であった。

主軸の頂芽以外の芽では、開芽本数の最頻値を示した月日において、ABA 500 ppm, 100 ppm, ABA 500 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm, ABA 100 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm で3日開芽が抑制された。

生長物質散布後約5カ月に、苗木を掘り取って地上部の長さ、重さ、地下部の長さ、重さ、直径、T/R率を測定したが、その結果を表示するとTable 22となる。

D-カテキン 500 ppm, ABA 500 ppm および ABA 500 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm で対照区よりやや多く枯死木があった以外、対照区と試験区との間に大きな差は見られない。

3) ま と め

4種類の生長抑制物質散布によって、2年生トドマツ苗木の開芽抑制試験を行なった。

その結果、主軸の頂芽の開芽が最も抑制されたのは、ABA 500 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm で、開芽本数の最頻値を示した月日において5日抑制された。次いでABA 500 ppmの4日であった。しかし、5カ月後の生長調査の結果、上記の生長物質散布区では若干の枯死木があった。ABAの濃度については、検討を要する。

5. 生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質および光合成阻害物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (1)¹⁴⁶⁾

本実験は、7月初旬に見られるトドマツ苗木の秋伸び抑制を目的として、市販されている19種類の生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質および光合成阻害物質を使用して行なったものである。

生長物質散布によって、秋伸びを抑制したとの報告がある。佐藤・太田・庄司 (1955)¹⁴³⁾ は、スギの秋伸び抑制にMH-30を用いて、その結果を次のように報告している。MH-30の葉面散布は、スギ苗木の秋伸び抑制にきわめて有効であり、0.12%の濃度では根切りによると同じ程度の効果があり、特に根切りとの併用はきわめて効果が大きかった。また、生長抑制を行なった苗木は、初霜の被害が少なかったとしている。

1) 実験材料および方法

本実験は、北海道大学演習林苗畑(札幌)で、1964年6月19日から8月26日にかけて行なった。

実験材料は、1963年春にまき付け、そのまま据置いた2年生トドマツである。

据置き床のトドマツ本数は、500~1,000本/m²であるが、その中で一様に成立している所を選んで(30×30)cm²の方形区をとり各区にそれを1個とした。無処理の対照区を4個とし

てその平均をとった。

トドマツの秋伸びは、N 肥料の多い場合に盛んであるといわれているが、1964 年のこの苗畑での秋伸び状態は、平年並みであった。

次にトドマツ秋伸び抑制試験に用いた生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質および光合成阻害物質を表で示すと Table 23 となる。

Table 23. Growth promoters, growth inhibitors, respiratory inhibitors and photosynthetic inhibitors used for inhibiting lammas shoot growth of *A. sachalinensis* MASTERS

	Solvents	Growth substances
Growth promoters	Water	Na·NAA
	"	K·IAA
	"	Na·2,4-D
Growth inhibitors	Water	Salicylic acid
	"	Cinnamic acid
	"	Coumarin
	"	MH
	Acetone*	Caffeic acid
	"	Naringenin
	"	Ferulic acid
	"	TIBA
	"	BCA
	"	CCA
	Ethyl ether*	Azelaic acid
Respiratory and photosynthetic inhibitors	Water	Urethane
	"	DNP
	"	Monoiodoacetic acid
	Acetone*	Sankyo Chloro IPC=Isopropyl N-(3-chlorophenyl) carbamate

* Growth substances were dissolved in small quantity of acetone or ethyl ether and then diluted with water.

本実験で用いた生長抑制物質の中で、サリチル酸、ケイヒ酸、クマリン、フェルラ酸は、いわゆる inhibitor- β を構成する物質と考えられている⁹²⁾。ナリンゲニン⁹²⁾は、Peach の花芽から抽出され⁶²⁾、アゼライン酸はジャガイモの塊茎皮から抽出された⁶⁴⁾。カフェイン酸も生長抑制物質のひとつと考えられている⁹²⁾。

アセトンまたはエチルエーテル可溶の薬品は、少量のアセトンまたはエチルエーテルに溶かし、水を静かにそそいで所定の濃度とした。その後、試験液を 10~15 分煮沸して、アセトンまたはエチルエーテルを除去し、煮沸の際失われた分の水を補った。散布の際は、展着剤ニューコール 564 を 0.1% 加えた。

対照区は、水に展着剤ニューコール564を0.1%加えた区とアセトンまたはエチルエーテルを少量加え、煮沸して水を補った区をそれぞれ4区作成し、秋伸び苗木数を求めた。

試験液は、秋伸び開始直前の6月19日、6月22日、6月27日の3回液がしたたり落ちるまで苗木全体に噴霧した。

Table 24. Experiment of inhibiting lammass shoot growth of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoters, growth inhibitors, respiratory inhibitors and photosynthetic inhibitors

Experimental lots in 1964	Concentrations (ppm)	Seedlings with lammass shoots (%)	Withered seedlings (Number)
Control	0	62	0
Na·NAA	500	33	0
	250	44	0
	100	47	0
K·IAA	500	68	0
	100	56	0
Na·2,4-D	100	63	4
	50	62	0
Salicylic acid	1,000	46	0
	500	47	0
Cinnamic acid	1,000	50	0
	500	50	0
Coumarin	1,000	55	0
	500	50	0
MH	500	45	0
	100	46	0
Caffeic acid	800	29	0
	400	59	0
Naringenin	800	37	0
	400	60	0
Ferulic acid	1,000	45	0
	500	48	0
TIBA	100	59	0
	50	57	0
BCA	1,000	41	0
	500	58	0
CCA	1,000	55	0
	500	70	0
Azelaic acid	1,000	60	0
	500	57	0
Urethane	1,000	65	1
	500	69	2
DNP	500	60	0
	100	64	0
Monoiodoacetic acid	1,000	70	0
	500	71	0
Sankyo Chloro IPC	500	44	13
	100	69	0

2) 実験結果および考察

秋伸びが開始した直後の7月4日と引続き7月9日, 7月14日, 7月24日, 8月26日の計5回秋伸びした苗木数を数えた。主軸の側芽が伸長することが多いが, ひとつの芽でも伸長した苗木は, その数に加えた。

8月26日における各区の秋伸び苗木数を総苗木数に対する%で表わし, その結果を表示するとTable 24となる。枯死した苗木数も記録した。

トドマツ苗木の秋伸びを抑制したのは, 生長促進物質では, Na・NAAである。すなわち, 対照区の62%に対して, Na・NAA 500 ppmの33%, 250 ppmの44%, 100 ppmの47%で濃度が高いほど効果があった。

生長抑制物質では, カフェイン酸, ナリンゲニン, BCA, フェルラ酸, MH, サリチル酸に効果があった。すなわち, 対照区の62%に対して, カフェイン酸800 ppm 29%, ナリンゲニン800 ppm 37%, BCA 1,000 ppm 41%, フェルラ酸1,000 ppm 45%, 500 ppm 48%, MH 500 ppm 45%, 100 ppm 46%, サリチル酸1,000 ppm 46%, 500 ppm 47%である。

呼吸阻害物質および光合成阻害物質では, 三共クロロ IPC 500 ppmが, 対照区の62%に対して44%と秋伸びを抑制した。しかし, 三共クロロ IPCとウレタンは, わずかではあるが苗木に葉害が生じて枯死した。

3) ま と め

トドマツ苗木の秋伸びを抑制したのは, 生長促進物質では Na・NAAである。すなわち, 対照区の62%に対して, Na・NAA 500 ppm 33%, 250 ppm 44%, 100 ppm 47%であった。

生長抑制物質では, 対照区の62%に対して, カフェイン酸800 ppm 29%, ナリンゲニン800 ppm 37%, BCA 1,000 ppm 41%, MH 500 ppm 45%, 100 ppm 46%, サリチル酸1,000 ppm 46%, 500 ppm 47%であった。

呼吸阻害物質および光合成阻害物質では, 三共クロロ IPC 500 ppmが, 対照区の62%に対して44%と抑制した。しかし, この物質ではわずかではあるが苗木に葉害が生じて枯死した。

6. 生長促進物質, 生長抑制物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (2)¹⁴⁸⁾

本実験は, (1)の実験の追試として行なったものである。実験の期間は, 1971年6月16日から7月17日である。

1) 実験材料および方法

実験に用いた苗木は, 北海道大学中川地方演習林産の種子で同大学演習林苗畑(札幌)で育苗した2年生トドマツ苗木である。実験には, 今までの実験で効果のあった1種類の生長促進物質と6種類の生長抑制物質を用いた。薬品の散布は, 1971年6月16日, 6月21日および6月29日の3回である。濃度は, 前実験より低くして行なった。なお, 薬品の溶解は, ナリンゲニンを最初少量のエチルアルコールで行なった以外, 他の薬品はすべて熱水で溶解して水

Table 25. Experiment of inhibiting lammas shoot growth of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoter and growth inhibitors

Experimental lots in 1971 (ppm)	Seedlings with lammas shoots (%)	Experimental lots in 1971 (ppm)	Seedlings with lammas shoots (%)
Control 0	55.6	Caffeic acid 500 100	52.7 47.5
Na·NAA 250 100	5.1 23.3	Ferulic acid 500 100	40.5 49.2
MH 250 100	0.0 0.0	Cinnamic acid 500 100	37.5 41.6
Salicylic acid 500 100	30.9 64.2	Naringenin 500 100	31.1 34.9

Table 26. Growth of seedlings in experiment of inhibiting lammas shoot growth of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoter and growth inhibitors

in 1972 (ppm)	Length of stem (cm)	Length of root (cm)	Diameter at base (mm)	Fresh weight of top (g)	Fresh weight of root (g)	Top: root ratio	Number* of seedlings	Number of withered seedlings
Control 0	5.0	9.5	1.7	0.45	0.43	1.05	138	0
Na·NAA 250 100	4.2 4.5	7.5 9.4	1.2 1.2	0.24 0.31	0.20 0.29	1.20 1.07	252 288	15 8
MH 250 100	4.1 4.3	7.5 8.3	1.1 1.0	0.20 0.24	0.15 0.21	1.33 1.14	176 233	62 30
Salicylic acid 500 100	4.7 5.2	9.4 9.2	1.2 1.4	0.31 0.44	0.24 0.41	1.29 1.07	259 264	0 8
Caffeic acid 500 100	5.1 4.8	10.7 8.8	1.5 1.3	0.41 0.39	0.39 0.35	1.05 1.11	165 231	1 7
Ferulic acid 500 100	5.1 5.0	9.8 9.1	1.3 1.3	0.38 0.43	0.36 0.36	1.06 1.19	178 187	4 1
Cinnamic acid 500 100	4.7 5.0	7.7 8.2	1.3 1.5	0.40 0.43	0.32 0.33	1.25 1.30	210 132	3 4
Naringenin 500 100	4.9 4.6	9.2 9.2	1.4 1.4	0.43 0.46	0.39 0.42	1.10 1.10	176 190	4 1

* This number does not contain withered seedlings.

溶液とした。

実験には、播種据置き床のトドマツ苗木を用いたが、各区に $(30 \times 30) \text{ cm}^2$ の方形区 3 個を設定した。

生長物質等の散布後約 10 カ月の 1972 年 4 月 25 日に、苗木の生長調査を行なった。1 試験区から、60 本すなわち各方形区から任意に 20 本抽出して測定した。

2) 実験結果および考察

生長促進物質および生長抑制物質散布によるトドマツ苗木の秋伸び抑制試験の結果を表示すると Table 25 となる。

秋伸び抑制に効果があったのは、生長促進物質の Na・NAA, 生長抑制物質の MH, サリチル酸, ナリンゲニン, ケイヒ酸, フェルラ酸であった。すなわち、対照区の 55.6% に対して、Na・NAA 250 ppm 5.1%, 100 ppm 23.3%, MH 250 ppm 0.0%, 100 ppm 0.0%, サリチル酸 500 ppm 30.9%, ナリンゲニン 500 ppm 31.1%, 100 ppm 34.9%, ケイヒ酸 500 ppm 37.5%, 100 ppm 41.6%, フェルラ酸 500 ppm 40.5% であった。

生長物質等の散布後約 10 カ月に苗木の生長調査を行なった。地上部の長さ、重さ、直径、地下部の長さ、重さ、T/R 率を測定したが、その結果を表示すると Table 26 となる。

MH 250 ppm, 100 ppm で、かなりの枯死木を生じた。全試験区において、若干枯死木が見られるが、自然枯死木が大半であろうと推定される。また、MH 250 ppm, 100 ppm, Na・NAA 250 ppm, 100 ppm, サリチル酸 500 ppm では、地上部、地下部共にやや生育が悪かった。

3) ま と め

秋伸び抑制に効果があった物質は、MH, Na・NAA, サリチル酸, ナリンゲニン, ケイヒ酸, フェルラ酸であったが、薬害の生ずることを考え合わせると秋伸び抑制に使用できる物質の濃度は、Na・NAA 100 ppm, MH 100 ppm, サリチル酸 500~100 ppm, ナリンゲニン 500~100 ppm である。

7. 生長促進物質、生長抑制物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (3)¹⁵²⁾

本実験は、(1), (2) の実験の追試として行なったものである。実験の期間は、1972 年 6 月 2 日から 9 月 24 日である。

1) 実験材料および方法

実験に用いた苗木は、北海道大学中川地方演習林産の種子で同大学演習林苗畑 (札幌) で育苗した 3 年生トドマツ苗木である。実験には、今までの実験で効果のあった 1 種類の生長促進物質と 3 種類の生長抑制物質を用いた。薬品の散布は、1972 年 6 月 2 日, 6 月 14 日, 6 月 20 日, 6 月 24 日の 4 回である。

実験には、播種据置き床のトドマツ苗木を用いたが、各区に $(20 \times 20) \text{ cm}^2$ の方形区 3 個を設定した。

生長物質の散布後約 3 カ月の 1972 年 9 月 24 日に、苗木の生長調査を行なった。1 試験区

から、60本すなわち各方形区から任意に20本抽出して測定した。

2) 実験結果および考察

生長促進物質および生長抑制物質散布によるトドマツ苗木の秋伸び抑制試験の結果を表示すると Table 27 となる。

秋伸び抑制に効果があったのは、生長促進物質の Na・NAA、生長抑制物質の MH であった。すなわち、対照区の 67.0% に対して、Na・NAA 100 ppm の 29.8%、MH 100 ppm の 40.7% であった。

生長物質の散布後約3カ月に苗木の生長調査を行なった。地上部の長さ、重さ、直径、地下部の長さ、重さ、T/R 率を測定したが、その結果を表示すると Table 28 となる。

Table 27. Experiment of inhibiting lammass shoot growth of 3-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoter and growth inhibitors

Experimental lots in 1972 (ppm)		Seedlings with lammass shoots (%)
Control	0	67.0
Na・NAA	100	29.8
	50	57.2
MH	100	40.7
	50	63.4
	10	61.1
Salicylic acid	500	68.0
	100	58.5
Naringenin	500	67.7
	100	70.7

Table 28. Growth of seedlings in experiment of inhibiting lammass shoot growth of 3-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS sowed and still retained in bed by spraying of growth promoter and growth inhibitors

in 1972 (ppm)		Length of stem (cm)	Length of root (cm)	Diameter at base (mm)	Fresh weight of top (g)	Fresh weight of root (g)	Top: root ratio	Number* of seedlings	Number of withered seedlings
Control	0	9.6	17.0	2.9	2.24	1.23	1.82	85	1
Na・NAA	100	10.4	16.0	3.3	2.38	1.28	1.86	90	0
	50	9.2	14.9	2.8	1.91	1.13	1.69	82	1
MH	100	11.5	17.3	3.2	2.94	1.51	1.95	88	0
	50	10.3	14.7	2.8	1.97	1.03	1.91	109	1
	10	11.1	16.9	3.1	2.50	1.36	1.84	88	0
Salicylic acid	500	10.3	16.0	3.0	2.18	1.08	2.02	88	0
	100	10.6	16.1	2.8	2.23	1.20	1.86	100	1
Naringenin	500	10.3	15.9	2.6	1.80	0.98	1.84	93	2
	100	10.7	16.5	2.9	2.15	1.14	1.89	95	0

* This number does not contain withered seedlings.

対照区に比較して、Na・NAA 100 ppm, MH 100 ppm 共に、地上部、地下部において生長は劣っていない。

3) ま と め

トドマツ苗木の秋伸び抑制に効果のあった物質は、Na・NAA 100 ppm, MH 100 ppm であった。また、葉害も生じていない。

8. 生長抑制物質散布によるトドマツの秋伸び抑制 (4)

本論文のI.の4, 5. および6.の実験から、生長休止期のトドマツ葉には、D-カテキンがあり、ABA およびサリチル酸と推定される物質があることが分かった。

本実験は、上記の物質およびそれらの組合わせが、トドマツ苗木の秋伸び抑制に効果があるかどうか調べたものである。

本実験は、1973年6月7日から9月15日にかけて行なった。

1) 実験材料および方法

実験に用いた苗木は、帯広営林局足寄営林署産の種子で農林省北海道林木育種場苗畑(江別市西野幌)で育苗した2年生トドマツ苗木である。薬品の散布は、1973年6月7日、6月15日、6月21日および6月28日の4回である。

試験液の作成は、次のようにして行なった。すなわち、ABAは最初少量の0.5NのNaHCO₃に溶解してのち、所定の濃度の水溶液とした。D-カテキンとサリチル酸は、少々加温して溶解した。なお試験液には、展着剤ニューコール564を0.01%加えた。

実験には、播種据置き床のトドマツ苗木を用いたが、各区に(20×20)cm²の方形区3個を任意に設定した。

生長物質の散布後約3カ月の1973年9月15日に、苗木を掘り取り、生長調査を行なった。1試験区から、60本すなわち各方形区から任意に20本抽出して測定した。

2) 実験結果および考察

生長抑制物質散布によるトドマツ苗木の秋伸び抑制試験の結果を表示するとTable 29となる。

秋伸び抑制に効果があったのは、ABA 250 ppmで、対照区の69.9%に対して43.7% ($t_4=4.951$)であり、 t 検定の結果危険率0.1~1%で有意であった。

なお総苗木数に対する頂芽の秋伸び苗木数の百分率を調べたところ、対照区の11.5%に対してD-カテキン250 ppm区は38.7% ($t_4=3.874$)で、危険率1~2%で有意であった。D-カテキンが、何故このような作用を有するのかは不明である。

生長物質の散布後約3カ月の1973年9月15日に苗木の生長調査を行なった。地上部の長さ、重さ、直径、地下部の長さ、重さ、T/R率を測定したが、その結果を表示するとTable 30となる。

対照区に比較して、ABA 250 ppm区およびD-カテキン250 ppm区の苗木の生長状況は、

Table 29. Experiment of inhibiting lammas shoot growth of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of growth inhibitors

Experimental lots in 1973 (ppm)		Number of seedlings with lammas shoots		Percent of seedlings with lammas shoots (%)	Percent of lammas growth among terminal buds (%)
		Terminal buds + Lateral buds	Lateral buds		
Control	1	3	35	71.7	5.7
	2	11	36	71.2	16.7
	3	9	41	66.7	12.0
	Average			69.9	11.5
ABA 250	1	5	17	53.7	12.2
	2	4	19	37.7	6.6
	3	4	15	39.6	8.3
	Average			43.7**	9.0
ABA 100	1	13	23	66.7	24.1
	2	6	36	56.8	8.1
	3	7	21	56.0	14.0
	Average			59.8	15.4
A+S+C* (100+100+100)	1	6	24	52.6	10.1
	2	10	28	55.9	14.7
	3	16	26	71.2	27.1
	Average			59.9	17.3
A+S+C (50+50+50)	1	11	39	68.4	15.1
	2	11	23	68.0	22.0
	3	12	47	75.6	15.4
	Average			70.7	17.5
D-catechin 250	1	22	21	81.1	41.2
	2	24	15	78.0	48.0
	3	15	29	78.6	26.8
	Average			79.2	38.7***
D-catechin 100	1	11	26	67.3	20.0
	2	7	28	70.0	14.0
	3	19	29	84.2	33.3
	Average			73.8	22.4

* ABA+Salicylic acid+D-catechin

** $t_4=4.951$ Significant at 0.1~1% level.

*** $t_4=3.874$ Significant at 1~2% level.

Table 30. Growth of seedlings in experiment of lammas shoot growth of 2-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of growth inhibitors

in 1973 (ppm)	Length of stem (cm)	Length of root (cm)	Diameter at base (mm)	Fresh weight of top (g)	Fresh weight of root (g)	Top: root ratio	Number* of seedlings	Number of withered seedlings
Control 0	10.8	15.2	2.4	1.49	0.47	3.17	194	0
ABA 250	11.2	15.3	2.6	1.68	0.45	3.73	150	1
100	11.9	15.7	2.6	1.68	0.53	3.17	178	1
A+S+C (100+100+100)	11.2	14.5	2.4	1.57	0.47	3.34	184	0
(50+50+50)	11.0	15.7	2.5	1.57	0.53	2.97	201	2
D-catechin 250	12.8	15.2	2.6	1.82	0.50	3.64	159	0
100	12.6	16.5	2.6	1.88	0.61	3.09	162	0

* This number does not contain withered seedlings.

ほとんど差はなかった。

3) ま と め

ABA, D-カテキンおよびサリチル酸とこれらの組合わせが、トドマツ苗木の秋伸び抑制に効果があるかどうかを調べた。

その結果、ABA 250 ppm に抑制効果があり、対照区の秋伸び率 69.9% にして、ABA 250 ppm は 43.7% であった。

総括および結論

I. トドマツの生長と生長物質

本実験では、トドマツの開芽と芽の生長物質との関連と生長休止期のトドマツ葉にある生長抑制物質について調べた。その結果は、次のとおりである。

1. 開芽期である 4 月 23 日, 5 月 7 日および 5 月 15 日に, 5 年生トドマツから主に側芽を採取しその生長物質の変化を調べた。

開芽の進行と共に, 芽のオーキシンは次第に増加し, ジベレリン様物質は開芽後の伸長期に増加した。このことから, 開芽においてはオーキシンが重要な役割を有し, ジベレリン様物質はむしろ伸長生長に関係するように思える。一方, 生長抑制物質は, 開芽の進行と共に若干増加の傾向があった。この理由は不明である。

開芽過程において, トドマツの芽に多量の水溶性オーキシンが展開溶媒 IPrAW (10:1:1)* によるペーパークロマトグラフィー (PPC) の Rf 0.10~0.50 に主に見られるが, 本実験では,

* イソプロピルアルコール:アンモニア:水, (10:1:1 v/v)

この物質が何であるか明らかにすることができなかった。

2. 生長休止期の主としてトドマツ葉にある生長抑制物質に関する実験結果は、次のようにまとめられる。

1) 生長休止期の5年生トドマツの葉、10年生カラマツの枝皮、17年生モンターナマツの葉、2年生シモニードロの枝皮およびクマイザサの葉には、エゾマツおよびトドマツ種子の発芽を抑制する物質があり、とくにクマイザサ、トドマツおよびカラマツに多かった。また、この生長抑制物質は、水およびエチルアルコールによく溶けることが分かった。

2) 生長休止期の22~23年生トドマツの葉を1970年1月19日と1971年3月5日の2回採取し、その中にある生長抑制物質を調べた。

1970年1月19日のトドマツの葉においては、酸性区分にサリチル酸と推定される物質が存在した。また、酸性区分に*p*-オキシ安息香酸 (PHB)、バニリン酸と推定される物質が存在した。

1971年3月5日のトドマツ葉においては、酸性区分、中性区分に多量の生長抑制物質が認められるが、前実験で見られたフェノール化合物はなかった。生長休止期の生長抑制物質は、質的にも変化していることが予想された。本実験の酸性区分の生長抑制物質について幾つかの実験を行ない、以下のことが分かった。

展開溶媒が IPrAW (10:1:1) による PPC で、Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質は、アベナ伸長試験において、濃度を増すにつれて直線的に抑制作用が強くなった。しかし、Rf 0.10~0.50 の生長抑制物質は、低濃度では生長促進作用を示し、高濃度では生長抑制作用を示した。

Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質は、トドマツ苗木の秋伸びを抑制する作用があった。また、Rf 0.10~1.00 の生長抑制物質も、エゾマツ種子の発芽を抑制する作用を有していた。

Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質と IAA の相互作用をアベナ伸長試験で調べた。IAA が、Rf 0.50~1.00 の生長抑制物質の強い抑制作用を回復することはあまりできなかった。この事実から、植物の休眠を破ったり生長を開始することは、IAA の増加より生長抑制物質の減少が関係するように考えられた。

3) 生長休止期である1971年11月13日に採取した23年生トドマツ葉の中には、多量の生長抑制物質が存在するが、展開溶媒が IPrAW (10:1:1) による PPC の Rf 0.00~0.18 には、フェノール化合物が存在した。本実験においてこのフェノール化合物について調べ、次の結果が得られた。

アベナ伸長試験において、フェノール化合物は、濃度 1~100 ppm で生長促進作用を示した。また、この物質は、濃度 10~500 ppm でトドマツ種子の発芽を抑制した。

質量分析、元素分析および核磁気共鳴分析等の結果から、フェノール化合物は、D-カテキン (3,5,7,3',4'-ペンタヒドロキシフラバン) と同定された。

4) 生長休止期である1972年12月12日に採取した24年生トドマツ葉の生長抑制物質を

調べた。

その結果、アベナ伸長試験で強い抑制作用を有する生長抑制物質のひとつは、TLC、UV 吸収スペクトルおよび GLC によって、アブサイシン酸 (ABA) であると確認された。

II. カラマツの生長と生長物質

本実験では、カラマツの頂芽優勢と生長物質、カラマツの伸長生長・肥大生長とその当年生枝、1年生枝および葉の生長物質の季節的变化について調べた。

1. 芽の外観から6段階に分けた8年生カラマツの開芽過程での長枝となる芽および短枝となる芽の生長物質の変化を調べた。実験の結果は、次のようにまとめられる。

開芽の進行と共に両方の芽では、生長促進物質は増加の傾向があり、生長抑制物質は減少の傾向があった。開芽過程を通じて両方の芽の生長物質を比較してみると、長枝となる芽の生長促進物質は、短枝となる芽よりたえず多かった。生長抑制物質は、両方の芽で差はないようであった。

2. 8年生カラマツの伸長生長、肥大生長とその当年生枝、1年生枝および葉の生長物質の季節的变化についての実験結果をまとめると次のようになる。

当年生枝の生長促進物質は、伸長生長が開始し盛んとなるにつれて増加し、8月1日にその量は最多となり、逆に生長抑制物質は減少し、同時期に最少となった。生長物質の促進的ピークの時期は、伸長生長の最も盛んな時期にほぼ一致した。

その後伸長生長の衰えと共に生長促進物質は減少し、生長抑制物質は増加し、10月1日以後では、生長促進物質の量はごくわずかとなり、生長抑制物質は多量に見られた。

1年生枝の生長物質の消長は、肥大生長が見られる期間、当年生枝と大体同様の傾向が認められた。しかし、10月20日以後の1年生枝では、生長抑制物質の量は非常に多い一方、多量の生長促進物質が見られた。

葉においては、当年生枝や1年生枝と同様に生長最盛期において促進的ピークが認められ、8月1日と8月21日の葉の生長促進物質の量は、他の部位の同時期のものより多かった。また、9月11日以後の葉では、多量の生長抑制物質が見られ、他の部位の同時期のものよりはるかに多かった。

以上の結果から、カラマツの伸長生長および肥大生長には生長促進物質と生長抑制物質が密接に関連していると推察された。また、葉は生長促進物質および生長抑制物質の生成の場として重要な役割を持つと考えられる。

III. 生長物質等の散布によるトドマツの開芽および秋伸び抑制

生長を休止しているトドマツが、開芽を開始する段階で生長物質が深く関連すると考えられる。

生長物質等の散布によってトドマツ苗木の開芽および秋伸びを抑制することができれば、晩霜害防除や容易に多くの健全苗が得られる点で実用的に大きな価値がある。

本実験では、2~5年生トドマツの開芽および秋伸びに与える生長促進物質、生長抑制物質、呼吸阻害物質および光合成阻害物質の影響を調べた。実験結果をまとめると次のようになる。

1. トドマツ苗木の開芽抑制に効果のあった薬品と濃度は、ナフタレン酢酸ソーダ (Na・NAA) 100 ppm, ABA 500 ppm+サリチル酸 250 ppm+D-カテキン 500 ppm, ABA 500 ppm, マレイン酸ヒドラジット (MH) 100~50 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm であった。各薬品のこれ以上の濃度は、開芽抑制の効果はあるが薬害を生ずる。なお、ABA 500 ppm はわずかではあるが、薬害を生じたので、ABA は 500 ppm 以下の濃度で用いる必要がある。

生長物質散布から約5カ月後に苗木の生長調査を行なったが、MH 100 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm でわずかに地上部の生長が抑制された。

以上の実験結果から、最も開芽抑制効果があり安全なのは、Na・NAA 100 ppm および ABA であると考えられる。

Na・NAA 100 ppm は、主軸の頂芽において9.0~1.0日開芽を抑制し、主軸の頂芽以外の芽では2.0~1.0日開芽を抑制したことがあった。

2. トドマツ苗木の秋伸び抑制に最も効果があり、安全な薬品と濃度は、Na・NAA 100 ppm, ABA 250 ppm であった。各薬品のこれ以上の濃度は、薬害を生ずる。

生長物質等の散布から約3~10カ月後に苗木の生長調査を行なったが、MH 100 ppm, サリチル酸 500 ppm, ナリンゲニン 500 ppm では、地上部および地下部において生育が悪いことがあった。また、Na・NAA 100 ppm の場合、苗木が生長している間に散布すると薬害を生じたことがあったので、冬芽を形成してから散布する方がよい。

3回の試験における Na・NAA 100 ppm 試験区の秋伸び苗木数は、全苗木数の 33.3% であり、対照区の秋伸び苗木数は、61.5% でかなり秋伸びを抑制した。また、ABA 250 ppm 区の秋伸び苗木数は、全体の 43.7% であり、対照区の 69.9% に対してかなり秋伸びを抑制した。

IV. 結 論

植物の体内には生長物質があって、植物の生長を調整している。

トドマツの開芽、秋伸びおよび休眠に生長物質が関与していることが予想されていたが、それに関する研究はいままでほとんど無かった。

著者は、本論文で、トドマツの開芽にオーキシシンとジベレリン様物質が関与しているらしいこと、生長休止期のトドマツ葉には、休眠を促進する物質と言われている ABA および D-カテキンがあり、またサリチル酸と考えられる物質があってトドマツの休眠に関与していること、またカラマツの伸長生長および肥大生長には、葉で作られ器官に送られると考えられる生長促進物質と生長抑制物質が関与していることを明らかにした。一方著者は、トドマツの開

芽および秋伸び抑制のために、外部から与えた生長物質によってトドマツ苗木の chemical regulation を試みた。その結果、Na・NAA 100 ppm と ABA 250 ppm に効果があり、上記の基礎実験の結果を裏付けた。生長物質による chemical regulation の実用化は、さらに実験を繰り返さなければならないと思われるが、実験結果は、実用化のひとつの可能性を示していると信ずる。そのためにも、トドマツの内生の生長物質を追求すると共にトドマツの生長と生長物質との具体的な関連についての実験を重ねる必要がある。

引用文献

- 1) ADDICOTT, F. T., J. L. LYON, K. OHKUMA, W. E. THIESSEN, H. R. CARNS, O. E. SMITH, J. W. CORNFORTH, B. V. MILBORROW, C. RYBACK and P. F. WAREING: Abscisic acid: A new name for Abscisin II (Dormin). *Science* **159**, 1493 (1968).
- 2) ALLEN, R. M.: Changes in acid growth substances in terminal buds of long leaf pine saplings during the breaking of winter dormancy. *Physiol. Plant.* **13**, 555-558 (1960).
- 3) ANDREAE, W. A. and N. E. GOOD: Studies on 3-indoleacetic acid metabolism. IV. Conjugation with asparatic acid and ammonia as processes in the metabolism of carboxylic acids. *Plant Physiol.* **32**, 566-572 (1957).
- 4) AUDUS, L. J. and R. THRESH: A method of plant growth substance assay for use in paper partition chromatography. *Physiol. Plant.* **6**, 451-465 (1953).
- 5) AUDUS, L. J.: Plant growth substances. Leonard Hill. (1959).
- 6) AVERY, G. S., Jr., P. R. BURKHOLDER and H. B. CREIGHTON: Production and distruction of growth hormone in shoots of *Aesculus* and *Malus* and its probable role in stimulating cambial activity. *Amer. J. Bot.* **24**, 51-58 (1937).
- 7) AVERY, G. S., Jr., H. B. CREIGHTON and B. SHALUCHA: Extraction methods in relation to hormone content of maize endosperm. *Amer. J. Bot.* **27**, 289-300 (1940).
- 8) BASU, R. N., T. K. BOSE, B. N. ROY and A. MUKHOPADHYAY: Auxin synergists in rooting of cuttings. *Physiol. Plant.* **22**, 649-652 (1969).
- 9) BENNET-CLARK, T. A. and N. P. KEFFORD: Chromatography of the growth substances in plant extracts. *Nature* **171**, 645-647 (1953).
- 10) BENNETT, J. P.: Estimation of plant growth substances by partition chromatography. *Nature* **169**, 452-453 (1952).
- 11) BENNETT, J. P. and F. SKOOG: Preliminary experiments on the relation of growth promoting substances to the rest period in fruit trees. *Plant Physiol.* **13**, 219-225 (1938).
- 12) BENTLEY, J. A. and S. HOUSLEY: Bioassay of plant growth hormones. *Physiol. Plant.* **7**, 405-419 (1954).
- 13) BLOMMAERT, K. L. J.: Growth- and inhibiting substances in relation to the rest period of the tuber. *Nature* **174**, 970-972 (1954).
- 14) BONNER, J. and A. W. GALSTON (高宮 篤, 小倉安之訳): 植物の生理. 岩波書店 (1955).
- 15) BOYSEN JENSEN, P.: Über die Leitung des phototropischen Reizes in *Avena*-keimpflanzen. *Ber. d. bot. Ges.* **28**, 118-120 (1910), cited after 193).
- 16) BOYSEN JENSEN, P.: Über eine Mikromethode zur quantitativen Bestimmung der Wuchsstoffe der A-Gruppe. *Planta* **26**, 584-594 (1937).
- 17) BOYSEN JENSEN, P.: Quantitative Bestimmung der beschleunigenden Streckungswuchsstoffe in der sauren Fraktion der Atherextrakte aus höheren pflanzen. *Planta* **31**, 653-669 (1940).
- 18) BRIAN, P.W., H. G. HEMMING and M. RADLEY: A physiology comparison of gibberellic acid with some auxins. *Physiol. Plant.* **8**, 899-912 (1955 b).

- 19) BRIAN, P. W., J. H. PETTY and P. T. RICHMOND: Effects of gibberellic acid on development of autumn colour and leaf-fall of deciduous woody plants. *Nature* **183**, 58-59 (1959 a).
- 20) BRIAN, P. W., J. H. PETTY and P. T. RICHMOND: Extended dormancy of deciduous woody plants treated in autumn with gibberellic acid. *Nature* **184**, 69 (1959 b).
- 21) BROWN, C. L. and R. H. WETMORE: Auxin transport in the long shoot of pine. *Amer. J. Bot.* **46**, 586-590 (1959).
- 22) CORNFORTH, J. W., B. V. MILBORROW, G. RYBACK and P. F. WAREING: Chemistry and physiology of "dormins" in sycamore. Identity of sycamore "dormin" with abscisin II. *Nature* **205**, 1269-1270 (1965).
- 23) CORNFORTH, J. W., B. V. MILBORROW and G. RYBACK: Identification and estimation of (+) abscisin II ('Dormin') in plant extracts by spectropolarimetry. *Nature* **210**, 627-628 (1966).
- 24) CRACKER, L. E. and F. B. ABELES: Abscission: Role of Abscisic acid. *Plant Physiol.* **44**, 1144-1149 (1969).
- 25) CZAJA, A. T.: Der Nachweis des Wuchsstoffes bei Holzpflanzen. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **52**, 267-271 (1934).
- 26) DARWIN, C.: The power of movement in plants. London. (1880), cited after 193).
- 27) dela FUENTE, R. K. and A. C. LEOPOLD: Senescence processes in leaf abscission. *Plant Physiol.* **43**, 1496-1502 (1968).
- 28) DIGBY, J. and P. F. WAREING: The effect of applied growth hormones on cambial division and the differentiation of the cambial derivatives. *Ann. Bot. N.S.* **30**, 539-548 (1966 a).
- 29) DIGBY, J. and P. F. WAREING: The relationship between endogenous hormone levels in the plant and seasonal aspects of cambial activity. *Ann. Bot. N.S.* **30**, 607-622 (1966 b).
- 30) DONOHO, C. W. and D. R. WALKER: Effect of gibberellic acid on breaking of rest period in Elberta peach. *Science* **126**, 1178-1179 (1957).
- 31) EAGLES, C. F. and P. F. WAREING: Dormancy regulators in woody plants. *Nature* **199**, 874-875 (1963).
- 32) EAGLES, C. F. and P. F. WAREING: The role of growth substances in the regulation of bud dormancy. *Physiol. Plant.* **17**, 697-709 (1964).
- 33) EGGERT, F. P.: The auxin content of spur buds of apple as related to the rest period. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **62**, 191-200 (1953).
- 34) ELIASSON, L.: Growth regulators in *Populus tremula*. 1. Distribution of auxin and growth inhibitors. *Physiol. Plant.* **22**, 1288-1301 (1969).
- 35) EVENARI, M.: Germination inhibitors. *Bot. Rev.* **15**, 153-194 (1949).
- 36) FADL, M. S. and H. T. HARTMANN: Effect of reciprocal bud-graft transfers between Old home and Bartlett pears and centrifugation on translocation of endogenous growth substances in hardwood cuttings. *Physiol. Plant.* **20**, 802-813 (1967).
- 37) FADL, M. S. and H. T. HARTMANN: Isolation, purification and characterization of an endogenous root-promoting factor obtained from basal sections of pear hardwood cuttings. *Plant Physiol.* **42**, 541-549 (1967).
- 38) Fourth International Conference on Plant Growth Regulation: Plant growth regulation. The Iowa State University Press (1961).
- 39) FRANSSON, P.: Studies on auxin in young stem parts of *Pinus silvestris*. *Physiol. Plant.* **6**, 544-550 (1953).
- 40) FRASER, D. A.: Initiation of cambial activity in some forest trees in Ontario. *Ecology* **33**, 259-273 (1952).
- 41) GALSTON, A. W. and M. E. HAND: Studies on the physiology of light action. 1. Auxin and the light inhibition of growth. *Amer. J. Bot.* **36**, 85-94 (1949).

- 42) GOLDSCHMIDT, E. E. and S. P. MONSELISE: Extraction of auxin and of other growth regulators from citrus stem by centrifugal force. *Physiol. Plant.* **21**, 754-758 (1968).
- 43) GOLDSCHMIDT, E. E. and S. P. MONSELISE: Native growth inhibitors from citrus shoots. Partition, bioassay and characterization. *Plant Physiol.* **43**, 113-116 (1968).
- 44) GREGORY, F. G. and C. R. HANCOCK: The rate of transport of natural auxin in woody shoots. *Ann. Bot. N.S.* **19**, 451-465 (1955).
- 45) GUNCKEL, J. E. and K. V. THIMANN: Studies of development in long shoots and short shoots of *Ginkgo biloba* L.. III. Auxin production in shoot growth. *Amer. J. Bot.* **36**, 145-151 (1949).
- 46) GUSTAFSON, F. G.: The extraction of growth hormones from plants. *Amer. J. Bot.* **28**, 947-951 (1941).
- 47) HAAGEN SMIT, A. J., W. B. DANDLIKER, S. H. WITWER and A. E. MURNEEK: Isolation of indoleacetic acid from immature corn kernels. *Amer. J. Bot.* **33**, 118-119 (1946).
- 48) 橋詰隼人: ヒノキおよびローソクノキの花芽および花性分化におよぼすジベレリンの影響. *日林誌* **41**, 458-463 (1959 b).
- 49) 橋詰隼人: スギの花性分化におよぼすジベレリンの影響. *日林誌* **42**, 176-180 (1960).
- 50) 橋詰隼人: スギの花性分化におよぼすジベレリンの影響 (II). ジベレリンによっておこる花の雌性化におよぼすオーキシンおよび尿素の影響. *日林誌* **43**, 47-49 (1961 a)
- 51) 橋詰隼人: スギの花芽分化におよぼすジベレリンの影響 (III). ジベレリンによる花芽分化誘起に関連しておこる新条内の生長物質・炭水化物および窒素の消長. *日林誌* **43**, 120-126 (1961 b).
- 52) 畑野健一: アカマツ種皮中のクマリンおよび α -クマール酸の検出. *日林誌* **49**, 205-207 (1967 a).
- 53) 畑野健一・中村義司: マツおよびコウヤマキ種皮中のクマリン, フェノール性物質の検出. *日林誌* **49**, 231-233 (1967 b).
- 54) HEMBERG, T.: Wachstumshemmende und Wachstumfördernde Stoffe bei der Kartoffel. *Ark. Bot.* **33 B**, No. 2, 1-3 (1946).
- 55) HEMBERG, T.: Significance of growth-inhibiting substances and auxins for the rest-period of the potato tuber. *Physiol. Plant.* **2**, 24-36 (1949 a).
- 56) HEMBERG, T.: Growth inhibiting substances in terminal buds of *Fraxinus*. *Physiol. Plant.* **2**, 37-44 (1949 b).
- 57) HEMBERG, T.: The significance of the acid growth inhibiting substances for the rest-period of the potato tuber. *Physiol. Plant.* **5**, 115-129 (1952).
- 58) HEMBERG, T.: Studies on the occurrence of free and bound auxins and of growth-inhibiting substances in the potato tuber. *Physiol. Plant.* **7**, 312-331 (1954).
- 59) HEMBERG, T.: Studies on the balance between free and bound auxin in germinating maize. *Physiol. Plant.* **8**, 418-432 (1955).
- 60) HEMBERG, T.: Auxins and growth-inhibiting substances in maize kernels. *Physiol. Plant.* **11**, 284-311 (1958 a).
- 61) HEMBERG, T.: The occurrence of acid inhibitors in resting terminal buds of *Fraxinus*. *Physiol. Plant.* **11**, 610-614 (1958 b)
- 62) HENDERSHOTT, C. H. and D. R. WALKER: Identification of a growth inhibitor from extracts of dormant peach flower buds. *Science* **130**, 798-800 (1959).
- 63) HENDERSHOTT, C. H. and L. F. BAILEY: Growth inhibiting substances in extracts of dormant flower buds of peach. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **65**, 85-92 (1955).
- 64) HOUSLEY, S. and W. C. TAYLOR: Studies on plant growth hormones. VI-The nature of inhibitor β in potato. *J. Exptl. Botany* **9**, 458-471 (1958).
- 65) HULME, A. C.: The isolation of chlorogenic acid from the apple fruit. *Biochem. J.* **53**, 337-340 (1953).
- 66) 石部 修: 樹木の形成層の季節的活動. *生態学研究* **3**, 95-106 (1937).
- 67) JACOBS, W. P.: Hormonal regulation of leaf abscission. *Plant Physiol.* **43**, 1480-1495 (1968).

- 68) JACOBS, W. P., M. P. KAUSHIK and P. G. ROCHMIS: Does auxin inhibit the abscission of coleus leaves by acting as a growth hormone? *Amer. J. Bot.* **51**, 893-897 (1964).
- 69) JERCHEL, D. and R. MÜLLER: Papierchromatographie der β -Indolylessigsäure. *Naturwiss.* **38**, 561-562 (1951).
- 70) JONES, E. R. H., H. B. HENBEST, G. F. SMITH and J. A. BENTLEY: 3-Indolylacetonitrile: A naturally occurring plant growth hormones. *Nature* **169**, 485-487 (1952).
- 71) JONES, M. B. and J. V. ENZIE: Identification of a cyanogenetic growth-inhibiting substance in extracts of peach flower buds. *Science* **134**, 284 (1961).
- 72) JONES, M. B., J. W. FLEMING and L. F. BAILEY: Cyanide as a growth-inhibiting substance in extracts of peach leaves, bark and flower buds. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **69**, 152-157 (1957).
- 73) JURD, L.: Spectral properties of flavonoid compounds. The chemistry of flavonoid compounds (Edited by Geissman, T. A.). Pergamon Press. London. 154 (1962).
- 74) 加藤善忠・三宅 勇・石川広隆: ジベレリンによるスギ花芽分化の促進. *日林誌* **40**, 35-36 (1958).
- 75) KAWASE, M.: Growth substances related to dormancy in *Betula*. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **78**, 532-544 (1961).
- 76) KAWASE, M.: Centrifugation, Rhizocaline and rooting in *Salix alba* L.. *Physiol. Plant.* **17**, 855-865 (1964).
- 77) KEFFORD, N. P.: The growth substances separated from plant extracts by chromatography I. *J. Exptl. Botany* **6**, 129-151 (1955).
- 78) KHALIFAH, R. A., L. N. LEWIS and C. W. COGGINS: New natural growth promoting substance in young citrus fruit. *Science* **142**, 399-400 (1963).
- 79) 木下三郎: 生長ホルモン. 内田老鶴園 (1938).
- 80) KNAPP, R.: Gibberelline. *Moderne Methoden der Pflanzenanalyse*. B. VI, 203-216 (1963).
- 81) KNIPE, D. and C. H. HERBEL: Germination and growth of some semidesert grassland species treated with aqueous extract from creosotebush. *Ecology* **47**, 775-781 (1966).
- 82) KÖGL, F. and A. J. HAAGEN SMIT: Über die Chemie des Wuchsstoffs. *Proc. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam* **34**, 1411-1416 (1931), cited after 193).
- 83) KÖGL, F., H. ERXLEBEN and A. J. HAAGEN SMIT: Über die Isolierung der Auxin a und b aus pflanzlichen Materialien. IX. Mitteilung. *Z. physiol. Chem.* **225**, 215-229 (1934), cited after 193).
- 84) KÖGL, F., A. J. HAAGEN SMIT and H. ERXLEBEN: Über ein neues Auxin ("Heteroauxin") aus Harn. XI. Mitteilung über pflanzliche Wachstumsstoffe. *Z. physiol. Chem.* **228**, 90-103 (1934), cited after 193).
- 85) 瀬結理一郎: 生理植物学. 明文堂 (1941).
- 86) 小清水卓二: 植物生長ホルモン. 續文堂 (1944).
- 87) 小清水卓二: イヌマキ種子の胎生における生長素の働き. *生理生態* **4**, 65-74 (1951).
- 88) KÖVES, E. and M. VARGA: Growth inhibiting substances in rice straw. *Acta Biol. Szeged.* **4**, 13-16 (1958), cited after 92).
- 89) KÖVES, E. and M. VARGA: Comparative examination of water- and ether-soluble inhibiting substances in dry fruits. *Phyton* **12**, 93-99 (1959), cited after 92).
- 90) KRAMER, P. J. and T. T. KOZLOWSKII: Physiology of trees. McGRAW-HILL publications in the botanical sciences (1960).
- 91) KRUGMAN, S. L.: Changes in the auxins of sugar pine seeds during maturation. *Plant Physiol.* **40** (Suppl.), viii (1965).
- 92) LANE, F. E. and L. F. BAILEY: Isolation and characterization studies on the β -inhibitor in dormant buds of the silver maple, *Acer saccharinum* L.. *Physiol. Plant.* **17**, 91-99 (1964).
- 93) LARSEN, P.: *Avena* curvatures produced by mixtures of growth promoting and growth retarding substances. *Amer. J. Bot.* **34**, 349-356 (1947).

- 94) LARSEN, P.: Formation, occurrence and inactivation of growth substances. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **2**, 169-198 (1951).
- 95) LARSEN, P.: On the separation of acidic and nonacidic auxins. *Physiol. Plant.* **8**, 343-357 (1955).
- 96) LARSEN, P.: Growth substances in higher plants. *Moderne Methoden der Pflanzenanalyse B. III.* 565-625 (1955).
- 97) LARSEN, P. and S. KLUNGSÖYR: Quantitative determination of indole-3-acetaldehyde. *Physiol. Plant.* **17**, 151-156 (1964).
- 98) LEOPOLD, A. C.: Auxins and plant growth. University of California Press (1955).
- 99) LINSER, H. and O. KIEMAYER: Methoden zur Bestimmung pflanzlicher Wuchsstoffe. Wien Springer-Verlag (1957).
- 100) LINSKENS, H. F.: Phenolische Verbindungen und Gerbstoffe. *Papierchromatographie in der Botanik* (Herausgegeben von H. F. Linskens). 330-337 (1959).
- 101) LIPE, W. N. and J. C. CRANE: Dormancy regulation in peach seeds. *Science* **153**, 541-542 (1966).
- 102) LOEB, J.: Influence of the leaf upon root formation and geotropic curvature in the stem of *Bryophyllum calyanum* and the possibility of a hormone theory of these processes. *Bot. Gaz.* **63**, 25-50 (1917).
- 103) LOEB, J.: Chemical basis of correlation 1. Production of equal masses of shoots by equal masses of sister leaves in *Bryophyllum*. *Bot. Gaz.* **65**, 150-174 (1918).
- 104) LUCKWILL, L. C.: Application of paper chromatography to the separation and identification of auxin and growth-inhibitors. *Nature* **169**, 375 (1952).
- 105) MCDONOUGH, W. T.: Aisenite-BAL as an inhibitor of germination. *Physiol. Plant.* **20**, 455-462 (1967).
- 106) MILBORROW, B. V.: The identification of (+) Abscisin II [(+)-Dormin] in plants and measurement of its concentrations. *Planta* **76**, 93-113 (1967).
- 107) MILLER, C. O., F. SKOOG, F. S. OKUMURA, M. H. VON SALTZA and F. M. STRONG: Structure and synthesis of kinetin. *J. Amer. Chem. Soc.* **77**, 2662-2663 (1955).
- 108) MILLER, E. C.: Plant physiology. McGRAW-HILL Book Co. (1938).
- 109) MIROV, N. T.: Distribution of growth hormone in shoots of two species of pine. *J. Forestry* **39**, 457-464 (1941).
- 110) MIYAMOTO, T., N. E. TOLBERT and E. H. EVERSON: Germination inhibitors related to dormancy in wheat seeds. *Plant Physiol.* **36**, 739-746 (1961).
- 111) MUKHERJEE, R. K., A. BHANJA and S. M. SIRCAR: Growth substances separated from the fruits of *Cassia fistula*. *Physiol. Plant.* **19**, 448-458 (1966).
- 112) 新村道蔵: 造林苗木の雪中埋蔵. *北方林業* 155号, 46-48 (1962).
- 113) NITSCH, J. P.: Free auxins and free tryptophane in strawberry. *Plant Physiol.* **30**, 33-39 (1955).
- 114) NITSCH, J. P. and C. NITSCH: Studies on the growth of coleoptile and first internode sections. A new, sensitive, straight-growth test for auxins. *Plant Physiol.* **31** (Suppl.), 94-111 (1956).
- 115) 小笠原隆三: アカマツさし穂の不定根形成に関する生理学的研究 (第1報). 生長調整物質と樹齡について. *日林誌* **42**, 356-358 (1960).
- 116) 小笠原隆三: アカマツさし穂の不定根形成に関する生理学的研究 (第2報). *日林誌* **43**, 269-271 (1961 a)
- 117) 小笠原隆三: ストローブマツの芽に存在する生長物質および抑制物質. *日林誌* **43**, 307-310 (1961 b).
- 118) 小笠原隆三: クロマツのさし木に関する基礎的研究 (第1報). 発根が困難である原因について. *日林誌* **44**, 276-281 (1962).
- 119) OHKUMA, K., J. L. LYON, F. T. ADDICOTT and O. E. SMITH: Abscisin II, an-abscission-

- accelerating substance from young cotton fruit. *Science* **142**, 1592-1593 (1963).
- 120) 岡崎文彬: 林木の生理. 地球出版 (1960).
- 121) OKAZAWA, Y.: Physiological studies on the tuberization of potato plants. *Jour. Facul. Agr., Hokkaido Univ.* **55**, 267-336 (1967).
- 122) 奥貫一男: 植物生理化学. 朝倉書店 (1958).
- 123) OLNEY, H. O.: Growth substances from *Veratrum tenuipetalum*. *Plant Physiol.* **43**, 293-302 (1968).
- 124) 尾中文彦: 樹木の肥大生長と生長素の分布. *日林誌* **24**, 341-355 (1942).
- 125) 尾中文彦: 樹木の肥大生長の縦断的配布. *京大演報* 18号, 1-53 (1950).
- 126) PAÄL, A.: Über phototropische Reizleitungen. *Ber. d. bot. Ges.* **32**, 499-502 (1914), cited after 193).
- 127) PAÄL, A.: Über phototropische Reizleitung. *Jahrb. Wiss. Bot.* **58**, 406-458 (1919), cited after 193).
- 128) PHARIS, R. P., M. D. E. RUDDAT, C. C. PHILLIPS and E. HEFTMANN: Precocious flowering of Arizona cypress with gibberellin. *Can. J. Bot.* **43**, 923-927 (1965).
- 129) PHILLIPS, I. D. J.: Some interactions of gibberellic acid with naringenin (5,7,4'-trihydroxyflavanone) in the control of dormancy and growth in plants. *J. Exptl. Botany* **13**, 213-226 (1962).
- 130) RAYLE, D. L. and W. K. PURVES: Isolation and identification of indole-3-ethanol (tryptophol) from cucumber seedlings. *Plant Physiol.* **42**, 520-524 (1967).
- 131) ROBINSON, P. M. and P. F. WAREING: Chemical nature and biological properties of the inhibitor varying with photoperiod in sycamore (*Acer pseudoplatanus*). *Physiol. Plant.* **17**, 314-323 (1964).
- 132) RUDDAT, M., R. P. PHARIS, H. AOKI and A. CROZIER: Gibberellin-like substances from vegetative tissue of a conifer, Arizona cypress. *Plant Physiol.* **43**, 2049-2053 (1968).
- 133) SACHS, T. and K. V. THIMANN: The role of auxins and cytokinins in the release of buds from dominance. *Amer. J. Bot.* **54**, 136-144 (1967).
- 134) SAITO, Y.: Artificial control of sex differentiation in Japanese red pine and black pine strobiles. *J. Fac. Agric. Tottori Univ.* **3**, 1-29 (1957).
- 135) 斎藤雄一・小笠原隆三: ヤナギのさし木の発根と生長物質の消長について. *日林誌* **42**, 331-334 (1960).
- 136) 斎藤雄一・柴草良悦: カラマツの生長と生長物質に関する研究 (第I報). 頂芽優勢と生長物質. 第73回日林講, 97-101 (1962).
- 137) 斎藤雄一・柴草良悦: カラマツの生長と生長物質に関する研究 (第II報). カラマツの伸長生長・肥大生長とその当年生枝, 1年生枝および葉の生長物質の季節的变化. 第74回日林講, 201-203 (1963).
- 138) 斎藤雄一・柴草良悦: 開舒期におけるトドマツの芽の生長物質の変化. *日林北支講* 第13号, 79-84 (1964 a).
- 139) 斎藤雄一・柴草良悦・船越三朗: 薬剤散布によるトドマツ開舒抑制試験. *日林北支講* 第13号, 85-87 (1964 b).
- 140) 斎藤雄一・武藤憲由: 枝・葉からの抽出物質が苗木の生長や耐凍性におよぼす影響 (予報). 第76回日林講, 180-182 (1965).
- 141) 斎藤雄一・武藤憲由・桑島郁夫: カラマツ樹体内の生長調整物質の季節的消長. 第75回日林講, 241-243 (1964).
- 142) 坂村 徹: 植物生理学上・下巻, 裳華房 (1959).
- 143) 佐藤邦彦・太田 昇・庄司次男: MH-30によるスギ苗の秋伸び抑制効果—特に霜害と灰色黴病の防除について—. *日林誌* **37**, 533-537 (1955).
- 144) SCOTT, T. K. and W. P. JACOBS: The isolation and identification of diffusible auxin. (Abstr.) *Amer. J. Bot.* **49**, 657 (1962).
- 145) SEN, S. P.: Wirkstoffe. *Papierchromatographie in der Botanik* (Herausgegeben von H. F. Linskens). 248-298 (1959).

- 146) 柴草良悦: 生長物質と呼吸阻害物質等の散布によるトドマツ秋伸び抑制試験. 第76回日林講, 199-201 (1965 a).
- 147) 柴草良悦: 生長休止期の樹木およびクマイザサにある生長抑制物質 (I). トドマツ種子とエゾマツ種子の発芽に与える影響. 第76回日林講, 201-203 (1965 b).
- 148) 柴草良悦: 生長促進物質, 生長抑制物質, 呼吸阻害物質および光合成阻害物質散布によるトドマツ苗木の開芽および秋伸び抑制試験. 日林北支講 第20号, 149-151 (1971).
- 149) SHIBAKUSA, R.: Growth inhibitors in leaves of *Abies sachalinensis* MASTERS in the dormant period (I). J. Jap. For. Soc. **54**, 199-206 (1972).
- 150) SHIBAKUSA, R.: Growth inhibitors in leaves of *Abies sachalinensis* MASTERS in the dormant period (II). J. Jap. For. Soc. **55**, 91-94 (1973).
- 151) SHIBAKUSA, R.: Growth inhibitors in leaves of *Abies sachalinensis* MASTERS in the dormant period (III). J. Jap. For. Soc. **55**, 341-345 (1973).
- 152) 柴草良悦: 生長物質等の散布によるトドマツ苗木の開芽および秋伸び抑制試験. 北大演報 **30**, 33-41 (1973).
- 153) 四手井綱英・市川三次・木平勇吉: ジベレリンによるメタセコイア, スギの開花について (第II, III報). 日林誌 **42**, 363-368 (1960).
- 154) SHOJI, K., F. T. ADDICOTT and W. A. SWETS: Auxin in relation to leaf blade abscission. *Plant Physiol.* **26**, 189-191 (1951).
- 155) 植物栄養学実験編集委員会: 植物栄養学実験. 朝倉書店 (1959).
- 156) SKOOG, F. and K. V. THIMANN: Enzymatic liberation of auxin from plant tissues. *Science* **92**, 64 (1940).
- 157) SKOOG, F.(Editor): *Plant growth substances*. University of Wisconsin press (1951).
- 158) SMITH, H. and N. P. KEFFORD: The chemical regulation of the dormancy phases of bud development. *Amer. J. Bot.* **51**, 1002-1012 (1964).
- 159) SÖDING, H.: Wuchsstoff und Kambiumtatigkeit der Bäume. *Jahrb. Wiss. Bot.* **84**, 639-670 (1937).
- 160) SONDHEIMER, E., D. S. TZOU and E. C. GALSON: Absciscic acid levels and seed dormancy. *Plant Physiol.* **43**, 1443-1447 (1968).
- 161) SRIVASTAVA, B. I. S.: Ether-soluble and ether-insoluble auxins from immature corn kernels. *Plant Physiol.* **38**, 473-478 (1963).
- 162) STOWE, B. B. and K. V. THIMANN: Indolepyruvic acid in maize. *Nature* **172**, 764 (1953).
- 163) 住木諭介: 植物ホルモン. 河出書房 (1943).
- 164) SWAIN, T.: The identification of coumarins and related compounds by filter-paper chromatography. *Biochem. J.* **53**, 200-208 (1953).
- 165) 田川 隆: 馬鈴薯塊茎の休眠機構について. 植物の化学調節 **3**, 111-118 (1968).
- 166) TEUBNER, F. G.: Identification of the auxins present in apple endosperm. *Science* **118**, 418 (1953).
- 167) THIMANN, K. V.: Studies on the growth hormone of plants. VI. The destruction of the growth substance in plant tissues. *J. Gen. Physiol.* **18**, 23-34 (1935).
- 168) THIMANN, K. V.: On the plant growth hormone produced by *Rhizopus suinus*. *J. Biol. Chem.* **109**, 279-291 (1935).
- 169) THIMANN, K. V. (Editor): *The physiology of the forest trees*. The Ronald Press Company (1957).
- 170) THIMANN, K. V. and A. C. BYER: The extraction of auxin from plant tissues. II. *Amer. J. Bot.* **29**, 598-606 (1942).
- 171) THIMANN, K. V. and F. SKOOG: On the inhibition of bud development and other functions of growth substance in *Vicia Faba*. *Proc. Roy. Soc. B.* **114**, 317-339 (1934), cited after 193).
- 172) THIMANN, K. V. and F. SKOOG: The extraction of auxin from plant tissues. *Amer. J.*

- Bot. 27, 951-960 (1940).
- 173) THORSON, B. B.: Influence of naturally occurring compounds on germination and growth of jack pine. *Ecology* 48, 542-546 (1967).
- 174) 戸刈義次・山田 登・林 武: 作物生理講座 ④. 朝倉書店 (1960).
- 175) 塚本洋太郎・佐野 泰・浅平 端: タマネギの生長素と抑制物質. *農及園* 32 (1), 55-56 (1957).
- 176) VAN OVERBEEK, J.: The growth hormone and the dwarf type of growth in corn. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 21, 292-299 (1935).
- 177) VAN OVERBEEK, J.: A simplified method for auxin extraction. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 24, 42-46 (1938).
- 178) VAN OVERBEEK, J.: Auxin distribution in seedlings and its bearing on the problem of bud inhibition. *Bot. Gaz.* 100, 133-166 (1938).
- 179) VAN OVERBEEK, J.: A rapid extraction method for free auxin and its application in geotropic reactions of bean seedlings and sugarcane nodes. *Bot. Gaz.* 106, 440-451 (1945).
- 180) VAN OVERBEEK, J.: Control of flower formation and fruit size in the pineapple. *Bot. Gaz.* 108, 64-73 (1946).
- 181) VAN OVERBEEK, J.: Free and bound auxin in the vegetative pine apple plant. *Amer. J. Bot.* 34, 266-270 (1947).
- 182) VAN OVERBEEK, J. (Chairman): Nomenclature of chemical plant regulators. *Plant Physiol.* 29, 307-310 (1954).
- 183) VARGA, M.: Examination of growth-inhibiting substances separated by paper chromatography in fleshy fruits. I. Results of the bioassay of the chromatograms obtained from the ether extracts of the fruits. *Acta Biol. Acad. Sci. Hung.* 8, 41-47 (1957), cited after 92).
- 184) VARGA, M.: Examination of growth-inhibiting substances separated by paper chromatography in fleshy fruits. II. Identification of the substances of the growth-inhibiting zones on the chromatograms. *Acta Biol. Szeged.* 3, 213-223 (1957 a), cited after 92).
- 185) VARGA, M.: Examination of growth-inhibiting substances separated by paper chromatography in fleshy fruits. III. Change in concentration of the growth inhibiting substances as a function of ripening. *Acta Biol. Szeged.* 3, 225-232 (1957 b), cited after 92).
- 186) VARGA, M.: Examination of growth-inhibiting substances separated by paper chromatography in fleshy fruits. IV. Paper chromatographic analysis of lemon juice containing germinated seeds. *Acta Biol. Szeged.* 3, 233-238 (1957 c), cited after 92).
- 187) VIEITEZ, E., E. SEOANE, D. V. GESTO, C. MATO, A. VÁZQUEZ and A. CARNICER: *p*-Hydroxybenzoic acid, a growth regulator, isolated from woody cuttings of *Ribes rubrum*. *Physiol. Plant.* 19, 294-307 (1966).
- 188) VIEITEZ, E., E. SEOANE, D. V. GESTO, M. C. MATO, A. VÁZQUEZ, A. CARNICER and J. PENÁ: Substances isolated from woody cuttings of *Salix atrocinerea* and their growth properties. *Physiol. Plant.* 20, 232-244 (1967).
- 189) VON DENFFER, D. and A. FISCHER: Papierchromatographischer Nachweis des β -Indolaldehyds in photolytisch zersetzter IES-Lösung. *Naturwiss.* 39, 549-551 (1952).
- 190) VON GUTTENBERG, H. and E. LEHRE-JOERGES: Über das Vorkommen von Auxin und Heteroauxin in ruhenden und keimenden Samen. *Planta* 35, 281-296 (1947).
- 191) WAREING, P. F.: Growth studies in woody species IV. The initiation of cambial activity in ring-porous species. *Physiol. Plant.* 4, 546-562 (1951).
- 192) WAREING, P. F. and T. A. A. NASR: Gravimorphism in trees. I. Effects of gravity on growth and apical dominance in fruit trees. *Ann. Bot. N.S.* 25, 321-340 (1961).
- 193) WENT, F. W. and K. V. THIMANN (川田信一郎, 八巻敏雄共訳): 植物ホルモン. 養賢堂 (1951 訳).
- 194) WICKSON, M.: The antagonism between kinetin and indoleacetic acid in lateral bud

- development. *Plant Physiol.* **31** (Suppl.), xxviii (1956).
- 195) WIELAND, O. P., R. S. de ROPP and J. AVENER: Identity of auxin in normal urine. *Nature* **173**, 776-777 (1954).
- 196) WILDMAN, S. G. and R. M. MUIR: Observations on the mechanism of auxin formation in plant tissues. *Plant Physiol.* **24**, 84-92 (1949).
- 197) WODZICKI, T. J.: Photoperiodic control of natural growth substances and wood formation in larch (*Larix decidua* DC.). *J. Exptl. Botany* **15**, 584-599 (1964).
- 198) WODZICKI, T. J.: On the question of occurrence of indole-3-acetic acid in *Pinus silvestris*. *Amer. J. Bot.* **55**, 564-571 (1968).
- 199) WOLF, J.: Über das Vorkommen von Chlorogensäure und ihren Isomeren in Blättern von Steinobstbaumen. *Naturwiss.* **45**, 130-131 (1958).
- 200) 藪田貞次郎・住木諭介: 稲馬鹿苗病菌の生化学. 植物を徒長せしむる作用ある物質 Gibberellin の結晶に就いて. *農化誌* **14**, 1526 (1938).
- 201) 吉田静夫: トドマツ種子の発芽および低温湿層処理の生化学 (第1報). トドマツ種子の低温湿層処理の過程における auxin と inhibitor の消長について. *日林誌* **42**, 259-262 (1960).
- 202) ZAERR, J. B.: Transport gradient of indoleacetic acid in pine seedlings. *Physiol. Plant.* **21**, 1265-1269 (1968).
- 203) ZIMMERMANN, W. A.: Untersuchungen über die räumliche und zeitliche Verteilung des Wuchsstoffes bei Bäumen. *Ztschr. f. Bot.* **30**, 209-252 (1936).

Summary and conclusions

I. Growth substances of *Abies sachalinensis* MASTERS in relation to its growth

In the present study, the author investigated the relation between the bud break and growth substances in buds of *A. sachalinensis* MASTERS, and growth inhibitors mainly in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS in the dormant period. The experimental results are summarized as follows.

1. The author investigated the change of growth substances in buds of 5-year-old *A. sachalinensis* MASTERS seedlings collected on April 23rd, May 7th and 15th in the period of bud break.

Auxins in buds increased gradually in the progress of bud break and gibberellin-like substances increased in the period of elongation after bud break.

From these facts, it is suggested that auxins play an important role in bud break and gibberellin-like substances are related to the elongation rather than bud break. But growth inhibitors in buds increased somewhat in the progress of bud break. This reason was not clarified in this experiment.

In the period of bud break, abundant auxins in the aqueous fraction were present mainly on Rf 0.10~0.50 with the solvent of IPrAW (10:1:1)* by paper chromatography (PPC). They were not clarified in this experiment.

2. The experimental results about growth inhibitors mainly in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS in the dormant period are summarized as follows.

1) In the dormant period, substances inhibiting the germination of seeds of *Picea jezoensis* CARR. and *A. sachalinensis* MASTERS were present in leaves of 5-year-old *A. sachalinensis* MASTERS, in bark of shoots of 10-year-old *Larix leptolepis* GORDON, in

* isopropyl alcohol: ammonia: water, (10:1:1 v/v)

leaves of 17-year-old *Pinus montana* MILL., in bark of shoots of 2-year-old *Populus simonii* CARR. and in leaves of *Sasa paniculata* MAKINO. They were present in a great quantity especially in *S. paniculata* MAKINO, in *A. sachalinensis* MASTERS and in *L. leptolepis* GORDON. The growth inhibitors were dissolved easily in water and ethyl alcohol.

2) The author investigated growth inhibitors in leaves of 22~23-year-old *A. sachalinensis* MASTERS trees collected on January 19th of 1970 and March 5th of 1971 in the dormant period.

In leaves of *A. sachalinensis* MASTERS collected on January 19th of 1970, a substance presumed to be salicylic acid existed in the acid fraction. Substances presumed to be *p*-hydroxybenzoic acid (PHB) and vanillic acid existed in the acid fraction.

In leaves of *A. sachalinensis* MASTERS collected on March 5th of 1971, a large amount of growth inhibitors was recognized, but the phenolic compounds found in the experiment of January 19th of 1970 were not recognized. It is thought that growth inhibitors in the dormant period change also in quality.

Furthermore, some experiments were undertaken on growth inhibitors of the acid fraction in the present experiment and results were obtained as follows.

As growth inhibitors of Rf 0.50~1.00 with the solvent of IPrAW (10:1:1) by PPC increased in concentrations, their inhibiting action increased linearly in *Avena* straight growth test. But growth inhibitors of Rf 0.10~0.50 showed growth promoting action in low concentrations and showed growth inhibiting action in high concentrations. Growth inhibitors of Rf 0.50~1.00 had inhibiting action in lammas shoot growth of seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS and also growth inhibitors of Rf 0.10~1.00 had inhibiting action in germination of seeds of *P. jezoensis* CARR.

The author investigated the relation between growth inhibitors of Rf 0.50~1.00 and IAA in *Avena* straight growth test. IAA could not much resume the growth inhibiting action of growth inhibitors of Rf 0.50~1.00. From this fact, it is thought that the decrease of growth inhibitors is related to the breaking of dormancy or beginning of bud break of plants, but the increase of IAA in quantity does not do so.

3) A large amount of growth inhibitors existed in leaves of 23-year-old *A. sachalinensis* MASTERS trees collected on November 13th of 1971 in the dormant period and one of them, a phenolic compound, existed on Rf 0.00~0.18 with the solvent of IPrAW (10:1:1) by PPC.

In the present experiment, this phenolic compound was investigated and results were obtained as follows.

In *Avena* straight growth test, the phenolic compound showed growth promoting action at 1~100 ppm and growth inhibiting action above 100 ppm. The phenolic compound inhibited the germination of seeds of *A. sachalinensis* MASTERS in concentrations of 10~500 ppm.

From the results of the MS (mass spectrometry) spectrum, elemental analysis, NMR (nuclear magnetic resonance) spectrum and so forth, the phenolic compound was identified as D-catechin (3, 5, 7, 3', 4'-pentahydroxyflavan).

4) Growth inhibitors in leaves of 24-year-old *A. sachalinensis* MASTERS trees collected on December 12th of 1972 in the dormant period were investigated.

One of the growth inhibitors with the strong inhibiting action in *Avena* straight growth test was confirmed to be abscisic acid (ABA) by thin layer chromatography and gas-liquid chromatography, comparing with the authentic specimen.

II. Growth substances of *L. leptolepis* GORDON in relation to its growth

In the present study, the author investigated the relation between the apical dominance and growth substances of *L. leptolepis* GORDON, and the seasonal change of growth substances in current year's shoots, last year's shoots and leaves of *L. leptolepis* GORDON in relation to its height growth and diameter growth.

1. The experimental results about the change of growth substances of buds which become long shoots and short shoots in stages 0~6 divided from the external appearance of buds of 8-year-old *L. leptolepis* GORDON are summarized as follows.

In both buds, growth promoters increased and growth inhibitors decreased gradually in the progress of bud break. In the progress of bud break, larger amount of growth promoters was always present in buds of long shoots than in buds of short shoots, but the amount of growth inhibitors in buds of long shoots did not differ from that in buds of short shoots.

2. The experimental results about the seasonal change of growth substances in current year's shoots, last year's shoots and leaves of 8-year-old *L. leptolepis* GORDON in relation to its height growth and diameter growth are summarized as follows.

As the height growth began and became vigorous, growth promoters of current year's shoots increased and reached the maximum on August 1st. On the other hand, growth inhibitors decreased and reached the minimum on August 1st.

The maximum period of growth promoters corresponded almost to the period of vigorous height growth. As the height growth declined, growth promoters decreased and on the other hand, growth inhibitors increased. After October 1st, a small amount of growth promoters was present and a large amount of growth inhibitors was present in current year's shoots.

The seasonal change of growth substances of last year's shoots was the same as that of current year's shoots in the period in which the diameter growth continued. After October 20th, however, not only a large amount of growth inhibitors but also a large amount of growth promoters was present in last year's shoots.

Growth promoters in leaves reached the maximum in the most vigorous period of growth (August 1st), like the cases of current year's shoots and last year's shoots. Larger amount of growth promoters was present in leaves than in current year's shoots and last year's shoots on August 1st and 21st. A large quantity of growth inhibitors in leaves was present after September 11th and it was more than in current year's shoots and last year's shoots in the same period.

From these facts, it is suggested that growth promoters and growth inhibitors are closely related to the height growth and diameter growth of *L. leptolepis* GORDON, and leaves play an important role in producing growth promoters and growth inhibitors.

III. Inhibition of the bud break and lammas shoot growth* of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of growth substances and so forth

It is thought that growth substances are closely related to the beginning of the bud break of *A. sachalinensis* MASTERS in the dormant period.

If the bud break and the lammas shoot growth of seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS can be inhibited by spraying of growth substances and so forth, they are practically valuable for protecting from late frost and gaining many well-shaped seedlings easily.

In the present study, the author investigated the influence of growth promoters, growth inhibitors, respiratory inhibitors and photosynthetic inhibitors on the bud break and the lammas shoot growth of 2~5-year-old seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS.

1. Substances and their concentrations effective in inhibiting the bud break of seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS were naphthaleneacetic acid sodium salt (Na·NAA) 100 ppm, ABA 500 ppm+salicylic acid 250 ppm+D-catechin 500 ppm, ABA 500 ppm, maleic hydrazide (MH) 100~50 ppm, salicylic acid 500 ppm and naringenin 500 ppm. Higher concentrations than those damaged seedlings even though they inhibited the bud break more. ABA should be used in concentrations less than 500 ppm, because ABA 500 ppm damaged seedlings slightly.

The investigation of the growth of seedlings was undertaken about 5 months after spraying of growth substances. The top growth of seedlings was slightly inhibited by MH 100 ppm, salicylic acid 500 ppm and naringenin 500 ppm.

From the above experimental results, the most effective and safest growth substances in inhibiting the bud break of *A. sachalinensis* MASTERS were considered to be Na·NAA 100 ppm and ABA. Na·NAA 100 ppm delayed the bud break of terminal buds in the main stem 9.0~1.0 days and the bud break of buds except terminal buds in the main stem sometimes 2.0~1.0 days.

2. The most effective and safest substances and their concentrations in inhibiting the lammas shoot growth of *A. sachalinensis* MASTERS were Na·NAA 100 ppm and ABA 250 ppm. Higher concentrations than those damaged seedlings even though they inhibited the lammas shoot growth more.

The investigation of the growth of seedlings was undertaken about 3~10 months after spraying of growth substances. The top and root growth of seedlings was sometimes inhibited by MH 100 ppm and salicylic acid 500 ppm. It is desirable that Na·NAA is sprayed on seedlings with winter buds formed, because it damaged the growing seedlings sometimes.

The number of seedlings with lammas shoots in Na·NAA 100 ppm treatment was 33.3% of total number of seedlings in comparison with 61.5% in the control in three experiments repeatedly. Na·NAA 100 ppm inhibited the lammas shoot growth of *A. sachalinensis* MASTERS.

The number of seedlings with lammas shoots in ABA 250 ppm treatment was 43.7% of total number of seedlings in comparison with 69.9% in the control. ABA 250 ppm inhibited the lammas shoot growth of *A. sachalinensis* MASTERS.

* This term is used in broad sense.

IV. Conclusions

Growth substances present in plants regulate the growth of plants. It has been supposed that growth substances are closely related to the bud break, lammas shoot growth and dormancy of *A. sachalinensis* MASTERS, but there were few papers about them.

In the present experiments, the author clarified that auxins and gibberellin-like substances were related probably to the bud break of *A. sachalinensis* MASTERS, that ABA and D-catechin called as dormancy-accelerating substances and a substance presumed to be salicylic acid, were present in leaves of *A. sachalinensis* MASTERS and were related to its dormancy, that growth promoters and growth inhibitors presumed to be produced in leaves and transported to other organs were related to the height growth and diameter growth of *L. leptolepis* GORDON.

On the other hand, the author attempted the chemical regulation of inhibiting the bud break and lammas shoot growth of seedlings of *A. sachalinensis* MASTERS by spraying of exogenous growth substances and so forth.

The results of the fundamental experiments on endogenous growth substances in relation to the growth of *A. sachalinensis* MASTERS were supported by the result that Na·NAA 100 ppm and ABA 250 ppm were effective in inhibiting the bud break and lammas shoot growth of *A. sachalinensis* MASTERS.

The author believes that the practical use of chemical regulation by growth substances requires further experiments, but that the results of the present experiments show a possibility of the practical use. For the practical use of chemical regulation, it is necessary that the endogenous growth substances in *A. sachalinensis* MASTERS will be pursued and the definite relation between growth substances and growth of *A. sachalinensis* MASTERS will be investigated furthermore.