

ブナ種子の発芽に対する除草剤の影響

浅沼 晟吾⁽¹⁾・林 敬太⁽²⁾・大場 貞男⁽³⁾Seigo ASANUMA, Keita HAYASHI and Sadao OHBA : Effects of
Herbicides on the Germination of *Fagus crenata* Seeds

要 旨：ブナ林の天然更新では、林床のササの処理が重要な作業であり、このため、刈払いのほかには除草剤が利用されている。ブナ種子の発芽に対する除草剤の影響をみるため、 NaClO_3 剤とテトラピオン剤で調製した薬液中での発芽経過を、薬液の濃度、吸収時間と吸収時期を変えて検討した。

NaClO_3 剤では、種子が長期に薬液を吸収する場合には、500 ppm ないし 1,000 ppm 以上の濃度で明らかな発芽阻害を示した。種子の吸水の初め 72 時間だけ薬液を吸収させても、基本的に同様な傾向がみられ、5,000 ppm 以上の濃度で発芽阻害が現れた。さらに、吸水初めの 72 時間を途中で 2 期に分け、その初期に水、後期に薬液を吸収させた組合せの場合と、逆に、初期に薬液、後期に水の組合せの場合とを比較した。種子の吸水過程初めの特性から、同一濃度同一時間の吸収でも、前者では後者よりも除草剤成分の吸収量が少なかったが、発芽阻害は前者に強く現れ、種子重当たり NaClO_3 推定吸収量 0.3~0.5 mg/g で、前者では発芽がほとんどみられなくなるが、後者では発芽がやや低下した程度であった。発芽過程初期のころに薬液を吸収する時期の違いが、発芽に対して極めて大きく影響することがわかった。以上の反応は、種子の産地・年次や取扱など、性状の違いによって多少の差はあったが、基本的には同じであった。

テトラピオン剤でも同じ方法で薬液処理を行ったが、実験の上限濃度 500 ppm までのどの濃度処理でも、ブナ種子の発芽阻害の作用は認められなかった。

I ま え が き

日本の冷温帯植生を代表するブナ林は、かつて北日本における重要な広葉樹資源として、その豊富さを誇ったが、伐採地の樹種転換が大規模に進められ、また一部天然更新施業跡地が未成林な状況にとどまており、近時急速に減少してきている。ことに、上部ブナ帯や豪雪地帯のきびしい気象条件のもとで更新不成績地が生じていることには、環境保全上の問題もあり、すみやかに森林へ回復させるべく、早期にブナ林の更新技術を確立する必要にせまられている¹⁾。

近年国有林では、ブナ林の施業に農林水産省林業試験場の研究成果を導入し、ブナ天然林施業指標林を各地に設置して、事業規模の実験を進めており、ブナ林更新技術の発展と定着が期待されている。

ところで、日本のブナ林の相観的な特徴として、林床にササ型低木層を有すること²⁰⁾が広く知られている。このことは、大部分のブナ林について、林床に密生するササ類をどう取り扱うかということが、更新を成功させるうえに最も重大な問題であることを短的に示している。わが国でブナの天然林施業が始められた当初 (1910 年代後半)¹⁶⁾ から、ササ類刈払いを主にした「林分撫育」の重要性が強く認識されていた²⁴⁾。その時代に設定されたブナ天然更新試験地は、上木の取扱仕方 (伐採率など) とともに地床植生の除去法 (刈払い様式など) を組み合わせたものとなっていた^{18) 26)}。ブナ林地域に広く分布しているチマキザサ類は刈払い後の再生力が強く、更新完了までの期間を刈払いのみでササ類の繁茂を制御するには、多大な労力を必要とする。このため、ササの枯殺剤を用いてササ類の生育を抑制し、ブナ稚樹の発生促進を

図る試みは、すでに 1937 年に着手されていた¹⁹⁾。当時開発されたばかりの塩素酸カリウムを主剤とした粉末合剤¹¹⁾を用い、飯山営林署大島山国有林(当時は東京営林局所管)で先駆的に始められたこの試験は、しかし第 2 次大戦へと進む当時の国情から、途中で放棄されてしまった。長い中断を経て 1960 年代後半に、林地除草剤が広く用いられ始めて、ブナ天然林施業への除草剤の使用も試みられた。そのころの散布跡地の調査結果より、先行地ごしらえとして除草剤をササの処理に使用することの有効性が認められている¹⁹⁾。さらに現在は、地ごしらえ後に再生するササを抑制し、稚樹を刈り出す作業にも除草剤を利用することが検討されつつあるが、ササの枯殺に用いる除草剤はブナの稚樹に影響のあることも指摘されている²⁰⁾。また最近では、少量の除草剤散布によりササの生長を抑制する技術が発展してきている^{21), 22)}。したがって、除草剤によるササの処理と、ブナ稚樹や種子の除草剤に対する反応との関係について、詳しく検討する必要がある。

ブナに対する除草剤の影響について、前田禎三らは新潟県苗場山において天然下種更新試験を進めるなかで、地床処理の一方法に、 NaClO_3 剤を散布 (75 kg/ha・成分量) した場合、前生稚樹ならびに散布後翌年に発生した稚樹にも影響を与えていることを示し、ブナ林の更新に際してササ処理に除草剤を使用することの問題点を指摘した²⁰⁾。そこで、われわれは苗畑で育成した 2~3 年生ブナ稚樹に対し、 NaClO_3 剤 100 kg/ha・成分量の実用散布量を落葉時期に土壌処理した実験を試みたが、稚樹の生育状態や条件が違っているためか、その影響による稚樹の枯死や生長減衰は認められなかった(未発表資料)。いっぽう、ブナ種子の発芽に対する除草剤の影響については、これまでに調べられた事例は全くない。そこでわれわれは、ササ処理に利用される二つの除草剤が、ブナ種子の発芽あるいは稚苗の生育に対して、どのような作用を示すのかを検討するため、1974 年以降種々の実験を行ってきた。

本報では、ブナ (*Fagus crenata* BLUME) 種子の発芽に対する除草剤の影響について行った試験結果を中心にしておまとめした。この一部は、第 92 回日本林学会大会 (1980 年) において講演発表した。

ところで、苗畑用除草剤を除き、林地で用いられる除草剤の林木種子の発芽に対する影響について、これまでに研究された事例は少ない。それは、主として、林地で除草剤が使用される場合には、直接的に種子の発芽を問題にする必要性が薄かったことによると考えられる。斎藤雄一らは、アカエゾマツ・シラカンパの種子に対して、 NaClO_3 剤・ATA 剤^{*1}・DPA 剤^{*2}を用い、それぞれに調製した薬液による発芽試験の結果、いずれの剤種とも高濃度の薬液で発芽を強く阻害することを認めた²³⁾。この実験では、温度 20~30°C で、処理初めの薬液に浸漬したままの状態での発芽への影響が調べられた。佐藤邦彦は、殺菌剤による種子の消毒の検討とともに、2,4-D 剤^{*3}がスギ種子の発芽に及ぼす影響を調べ、18°C の種々濃度液に種子を 4 時間浸漬処理したあと、高濃度液で著しい発芽阻害のあることを示した²⁷⁾。その他、貯蔵用スギ種子を消毒し微生物発生を防止するため、硫酸銅^{*4}・硫酸^{*4}・塩酸^{*4}などの溶液に浸漬処理したときの発芽を検討した例⁹⁾や、アカマツ・クロマツの耐塩性を検討するため、 NaClO_3 ^{*4}などの溶液が種子発芽に及ぼす影響を調べた例⁸⁾がある。

また、過去に主として耐寒性や種内系統の生理的特性の違いを検討する目的から、 KClO_3 ^{*5} (potassium

*1 ATA 剤=amitrole ; 3-amino-1,2,4-triazole

*2 DPA 剤=dalapon ; 2,2-dichloropropionic acid

*3 2,4-D 剤=2,4 PA ; (2,4-dichlorophenoxy) acetic acid

*4 硫酸銅, 硫酸, 塩酸, 塩化ナトリウムなどは古くは除草剤として研究された。

*5 塩素酸カリウム=ササ類の枯殺用除草剤¹¹⁾として、かつて使用された。 NaClO_3 剤と同系の化合物である。

chlorate) に対する樹種・品種系統の抗毒性を調べる実験が、スギ・アカマツ・トドマツなどについて行われている(10)(13)(23)(28)(29)(34)。これらでは、発芽後の幼苗・苗木・切枝などを材料としており、種子の発芽に対する影響については、検討されていない。

II 実験の材料と方法

実験は、入手したブナ種子(以下単に種子と称する)について、所定濃度に調製した除草剤成分溶液(以下薬液と称する)を一定期間接触吸収させて、発芽経過を観察し、処理ごとの発芽率を求めて、発芽の阻害程度を検討する方法を基本とした。発芽実験は、予備的検討のあと、1975、1977、1979年の各年に実施した。それぞれの年次に供試された種子は、その前年に結実したものであるが、以下の論議には実験を行った年次を用いることとする。

1. 供試したブナ種子の産地と取扱い

種子は、豊作年と並作年のものが得られたが、結実状況は地方による違いがあったので、実験年次により産地が異なった。このため、供試種子の性状も、Table 1 に示すように、実験年ごとに違っている。

ブナ林からの種子採取は、それぞれの営林局署に依頼したもので、すべて林地で落下したものを拾い集め、夾雑物や外見上異状なものを取り除いて送られた。入手した種子は直ちに林業試験場(1975、1977年は東京都、1979年は茨城県)内の5℃の種子貯蔵庫に、実験開始まで保管された。実験時には、種子の外観をよく調べ、正常と判断したものを用いた。

2. 薬液とその処理条件

薬液は、現在林地でササ類の枯殺・抑制に使用している主な除草剤2種、塩素酸ナトリウム剤(sodium chlorate; NaClO_3 ; 以下 NaClO_3 剤と称する)およびテトラピオン剤(2,2,3,3-tetrafluoropropionic

Table 1. 供試したブナ種子の産地とその形質
Characteristics of beech seeds used in each experiment.

産出年次 Year (col- lected)	産地(営林署名) Source (forest office)	発芽率 Germinability (%)	1,000 粒当たり Per 1,000 grains			備 考 Remarks
			生 重 Fresh weight (g)	乾 重 Dry weight (g)	含水率 Water content (%)	
1974	函館局{(木古内) Hakodate{(Kikonai) (森) (Mori)	63.8	156.1	—	—	豊作, 本州は凶作, 虫くい率23~45% Rich crop year, 23~45% damage by insect Poor crop year in Honshu
		54.4	98.9	—	—	
1976	青森局(三本木) Aomori(Sanbongi)	84.2	167.1	140.6	15.9	豊作, 切断による活力判定。 Rich crop year
1978	青森局(十和田) Aomori(Towada)	71.2	182.8	158.0	15.7	Seed size 長さ Length 12.8mm 幅 Width 7.8mm 長/幅比 L/W ratio 1.65 長さ Length 13.5mm 幅 Width 9.0mm 長/幅比 L/W ratio 1.51 どちらも並作, 切断による活力判定。 Medial crop year
	前橋局(六日町) Maebashi (Muikamachi)	89.3	212.6	182.6	16.4	

Table 2. 実 験 方 法 (1)
Conditions of experiment (1).

実験年次 Beginning date of treatment	薬 液 Solutions of herbicide	濃 度 Concentration (ppm)	吸 収 方 法* Imbibition conditions*	発 芽 条 件 Germination conditions	備 考 Remarks
1975 4月1日 開 始 Apr. 1	NaClO ₃ 剤	0, 500, 1,000, 2,000, 4,000 0, 2,500, 5,000, 7,500, 10,000, 15,000	長期浸漬 1 処理 6 反復**。 Exposed for long period Replicated 6 lots** 短期浸漬 (初めの72時間) 1 処理 6 反復。 Exposed for short period (soaked for 72 hours) Replicated 6 lots	4°C, 暗黒下。 ときどき水を補給。 4°C, in dark Supplied few droplets of water occasionally	木古内および森産の種子。 吸収直後、有機水銀剤 500 倍 液で3時間の種子消毒・水洗 後、発芽床に置床。 Seeds from KIKONAI and MORI Treated with disinfectant (anorganic mercury fungi- cide), after soaking
	Tetrapion 剤	0, 0.1, 1, 5, 10, 50 0, 1, 5, 10, 50, 100, 500	長期浸漬 1 処理 4 反復。 Exposed for long period Replicated 4 lots 短期浸漬 (初めの72時間) 1 処理 4 反復。 Exposed for short period (soaked for 72 hours) Replicated 4 lots		
1977 1月31日 開 始 Jan. 31	NaClO ₃ 剤	0, 10, 100, 500, 1,000, 4,000 0, 500, 1,000, 2,500, 5,000, 10,000	長期浸漬 1 処理 5 反復。 Exposed for long period Replicated 5 lots 短期浸漬 (初めの72時間) 1 処理 5 反復。 Exposed for short period (soaked for 72 hours) Replicated 5 lots	7.5°C, 暗黒下, 6~10°Cの日内変動あり。 ときどき水を補給。 7.5°C, in dark Supplied few droplets of water occasionally	三本木産の種子。 吸収直後、有機イオウ合剤 250 倍液で40分間の種子消毒 ・ふき取り後、発芽床に置床。 Seeds from SANBONGI Treated with disinfectant (a mixed organic sulphur fungicide), after soaking
	Tetrapion 剤	0, 1, 5, 10, 100, 500	長期浸漬 1 処理 5 反復。 Exposed for long period Replicated 5 lots		

* 吸収は室温下 At room temperature

** 1反復は1シャーレ (30粒) One seed lot consists of 30 seeds.

Table 3. 実験方法 (2).
Conditions of experiment (2).

薬液 Solutions of herbicide	濃度 Concentration (ppm)	吸 収 方 法* Imbibition conditions*	発 芽 条 件 Germination conditions	備 考 Remarks	
NaClO ₃ 剤—0, 500, 1,000, 5,000, 10,000 Tetrapion 剤—0, 5, 10, 50, 100		長期浸漬 Exposed for long period	薬液 5 ml/30 seeds. In the solution	1979年4月18および23, 24日開始。 Beginning date of treatment Apr. 18 or 23 and 24 in 1979 十和田および六日町産種子。 Seeds from TOWADA & MUIKAMACHI 産地別に各処理を実施。 種子は、吸収後、消毒処理をせず、そのまま発芽床に置く。 Untreated with disinfectant 処理の反復なし**。 Non-replication**	
		初めの72時間中。 During 72 hour at beginning of imbibition	0 — 12		4℃, 暗黒下。 In dark ときどき水を補給する。 Supplied few droplets of water occasionally
			0 — 24		
			0 — 48		
			12 — 72		
			24 — 72		
			48 — 72		
			0 — 12		
			0 — 24		
			0 — 48		
			12 — 72		
		24 — 72			
		48 — 72			
		前期吸収 Treatment in the early imbibition period	水浸漬 Soaked in water		水 5 ml/30 seeds. In water
		後期吸収 Treatment in the late imbibition period	0 — 12		
			0 — 24		
			0 — 48		
12 — 72					
24 — 72					
48 — 72					
0 — 12					
0 — 24					
0 — 48					
12 — 72					
24 — 72					
48 — 72					
短期浸漬 Exposed for short period	薬液浸漬 Soaked in the solution				

* 吸収は室温下 At room temperature

** 1 処理は 1 シャーレ (30粒) One seed lot consists of 30 seeds.

ナニ種子の発芽に対する除草剤の影響 (浅沼・林・大場)

acid [sodium salt]; Tetrapion) を用いて調製した。

1975, 1977 年の薬液濃度 および 実験条件を Table 2 に示す。実験された 最高濃度は, NaClO_3 剤で 15,000 ppm, テトラピオン剤で 500 ppm である。これは, ササ処理に用いる両剤の実用的成分量を, 前者を 100 kg (成分)/ha, 後者を 3 kg (成分)/ha 程度としたときの量比, 30:1 を想定したためである。

除草剤としての NaClO_3 剤には種々の 剤型のものがあるので, 1975, 1977 年には, 市販の特級試薬を用いて薬液を調製した。テトラピオン剤については, 純品試薬がないので, 1975 年は 10% 粒剤製品から粉化したものを, 1977 年は 30% 液剤製品を, それぞれ秤量して作出した濃厚基液より各濃度薬液を調製した。薬液調製と実験に用いた水は, すべてイオン交換後の蒸留水である。なお濃度 10,000 ppm とは, 単純に計算して 1 ha の土層 1 cm に均質に分布しているものとして, 1,000 kg (成分)/ha の散布量となる。

種子に薬液を吸収させる方法として, 次の二つを行った。

- ④ 種子を一定の薬液に長期間接触させ継続的に吸収させる (以下, 長期浸漬と称する)。
- ⑤ 種子の吸水過程の初めから短期間のみ (72 時間), 薬液に接触・吸収させる (以下, 短期浸漬と称する)。

④法の場合は, 薬液に浸った状態で発芽が行われるので, 前述の斎藤らの方法²⁵⁾に似ている。⑤法は, 初めに薬液を吸収して, あと水で発芽処理が行われるので, 前述の佐藤の方法²⁷⁾に似ている。

除草剤が林地に 使用された場合, 成分の土壤中での 残留は, ある濃度レベルのまま長く続くのではなく, 散布初期の濃度より, 分解・流亡・蒸発などの作用で消失し, 濃度レベルは経時的に低下する。このため, 地床に落下した種子が, 除草剤成分の溶けこんだ土壤水と接触する過程は, あまり長い期間ではないものと考えられる。供試した二つの除草剤は, いずれも土壤中での移動・流亡が速く, NaClO_3 剤は土壤有機物等と反応して短期間で分解するという性質をもっている¹⁷⁾。このことから, 種子の発芽までの過程の途中で, 短期間薬液を吸収した場合の効果について, 検討する必要がある。

そこで, 1979 年の実験では, 薬液と種子が接触する時期と吸収する時間を変えた場合の効果について, 検討した。その実験方法を Table 3 に示す。ここでは, 72 時間の短期浸漬 (⑤ 法) を, さらに次の二つの方法に分けた。

- ⑥ 最初の一定時間薬液を吸収後, 直ちに水を吸わせ, その後は水で発芽処理を続ける (以下, 前期吸収と称する)。
- ④ 最初の一定時間水を吸わせた後, 直ちに薬液を吸収させ, その後は水で発芽処理を続ける (以下, 後期吸収と称する)。

なお, このとき用いた薬液は, NaClO_3 剤は 50% 粒剤製品を粉化したものを, テトラピオン剤は 10% 粒剤製品を粉化したものを秤量して作った基液より調整した。

上述の ⑥法などで種子の吸水開始からの 72 時間を吸収の一区切りとしたのは, 後述するブナ種子の吸水経過 (Fig. 7) の検討の結果, 初めの 3 日ほどの間は, 種子の吸水の速さがきわめて大きく, この間が吸水の第 1 の過程¹³⁾ (物理的吸水過程⁴⁾) であるとみなせるためである。

さらに, ⑥④法の実験では, 処理ごとの種子群の吸水量を測定し, 後述の方法で薬液成分の吸収量を推定した。吸水量は, 一定時間の水または薬液吸水前後の種子群の生重量を, 電子天秤で 10 mg 目盛まで秤量し, その間の重量差により求めた。

また以上の実験とは別に、ブナ種子の吸水経過を明らかにするため、1979年に十和田種子を用いて、吸水開始から発芽までの種子1粒ずつの重さの変化を、経日的にトーションバランスを用いて1mg単位まで測定した。

3. ブナ種子の発芽条件と発芽率の検査

ブナ種子の発芽の温度条件に関しては、予備の実験で、吸水した種子を前処理として初めの48日間4℃暗黒下に置き、その後12～15℃の恒温器中暗黒下で発芽させた。しかし高温に切換えてあとのカビの発生が甚だしく、十分な発芽率に達しなかったため、以降の発芽処理はすべて10℃以下の低温下に保った。低温下では発芽勢は低くなるが、カビの発生は少なく、最終的な発芽率は十分な水準に達した。

橋詰準人らによれば、70～180日間の低温処理（5℃）を行ったあと、25℃で4週間で発芽率80%以上を得ている¹⁹⁾。ISTAの林木種子国際検査規約では、ヨーロッパブナ（*Fagus sylvatica* L.）の発芽検査方法を、4℃、98日間で締め切る（4℃で盛んに発芽し始めたとき、20℃に移す）としている²⁰⁾。

現実の林地でブナ種子が発芽する場合を想定すると、地床に落下した種子は晩秋から融雪期の発芽時までの間、発芽の全過程をかなりの低温下におかれている。このことから、5℃前後の低温下で行う発芽処理法は、現実場面からあまりかけ離れた条件ではないものと考えてよい。われわれの観察事例によれば、種子の落下時期が過ぎた降雪直前のころのブナ疎林下の、地上1mの気温7.3℃の条件下（晴天日の南中時）で、チマキザサ群落内の地表温度（A₀層中）と地中温度（地表下24cm、ササ地下茎の分布する深さ）は、どちらも8.1℃であった（新潟県苗場山、標高1,200m、10月20日測定；未発表資料）。

どの発芽処理でも、発芽容器に径9cmのペトリ皿を用い、No.3ろ紙2枚を敷き5ml程度の水または薬液を滴下したものを、発芽床とした。種子は、対合面を下にして、1器当たり30粒ずつ、互いに接触せぬようにして床上に並べた。ただし、⑥③④法の薬液処理期間中（72時間）には、十分な吸水条件となるよう、浸漬液は種子群がゆとりをもって浸る量とした。

処理後の発芽経過を観察しながら、発芽検査を締め切ったのは、1975年は122日目、1977年は98日目、1979年は92ないし96日目である。締め切り時になお未発芽であった種子はすべて切断し、活力の有無、特に胚の形状や色沢などを目視観察して、異常のみられなかったものは発芽可能な種子とみなした。最終の発芽率としては、この発芽可能種子の数も含めて計算したものをを用いることとした（以下、発芽率と称する）。

発芽処理中に発芽した種子は、すべて検査の都度抜き取った。また、カビがたくさん生えていたり、異常のみられた種子は、検査の都度抜き取って切断し、活力の有無などを調べた。

発芽の判定基準は、幼根が外種皮を破り、その先端が向地性を示した時点で、発芽完了とした。

III 結果と考察

1. 長期浸漬の場合の発芽阻害

長期浸漬処理による最終の発芽率と、それより計算した発芽阻害度（対照区に対する処理区の発芽低下の割合）をTable 4に示す。表中の発芽率は、処理ごとに反復別に求めた発芽率（30粒当たり）に基づいた平均値である。

これによれば、同じ濃度レベルの処理でも実験年次によって結果がそろわない。濃度0ppm（水のみの場合。以下、対照区と称する）の発芽率にも違いがあるので、それぞれの実験で用いられた種子の性状

Table 4. 長期浸漬による発芽の阻害
Inhibitory effect of NaClO₃ & Tetrapion solutions on the germination of beech seed,
at the long period absorption.

薬液 Solutions	濃度 Concentration (ppm)	1975			1977			1979			1979		
		発芽率 Final germinability	発芽阻害度 Inhibition rate*	50%** 発芽日数 Emergence**	発芽率 Final germinability	発芽阻害度 Inhibition rate*	50%** 発芽日数 Emergence**	発芽率 Final germinability	発芽阻害度 Inhibition rate*	50%** 発芽日数 Emergence**	発芽率 Final germinability	発芽阻害度 Inhibition rate*	50%** 発芽日数 Emergence**
種子産地 Seed source		木古内 KIKONAI			三本木 SANBONGI			六日町 MUIKAMACHI			十和田 TOWADA		
対照区 Check	0	60.0	0	85	84.2	0	86	91.2	0	64	72.5	0	60
NaClO ₃	10	—			88.0	— 5	71	—			—		
	100	—			83.0	1	51	—			—		
	500	40.6	32	54	78.7	7	36	88.9	3	47	10.0	86	71
	1,000	10.0	83	39	72.7	14	22	24.1	74	52	3.3	95	60
	2,000	3.9	94	37	—			—			—		
	4,000	0	100	—	20.6	76	16	—			—		
	5,000	—			—			0	100	—	0	100	—
	10,000	—			—			0	100	—	0	100	—
種子産地 Seed source		木古内 KIKONAI			三本木 SANBONGI			六日町 MUIKAMACHI			十和田 TOWADA		
対照区 Check	0	67.5	0	84	83.6	0	88	89.1	0	62	69.2	0	62
Tetrapion	0.1	70.8	—5	79	—			—			—		
	1	67.5	0	81	92.9	—11	85	—			—		
	5	67.5	0	79	89.8	—7	91	96.7	—9	72	80.0	—16	65
	10	64.2	5	78	81.8	2	82	86.2	3	63	73.3	—6	60
	50	59.2	12	79	—			83.3	7	64	40.0	42	56
	100	—			97.0	—16	96	85.7	4	72	51.7	25	60
	500	—			70.6	16	88	—			—		

* 発芽阻害度は、 $\frac{\text{対照区の発芽率} - \text{ある濃度の発芽率}}{\text{対照区の発芽率}}$ Inhibition rate on the germination : $\frac{\text{germination rate in check} - \text{germination rate in solution}}{\text{germination rate in check}}$

** 50%発芽日数は、その処理での最終の発芽率の50%値となるまでの発芽日数。Fig. 1~2 より求める。
Number of days attaining 50% of final germinability, estimated from Fig. 1 & 2.

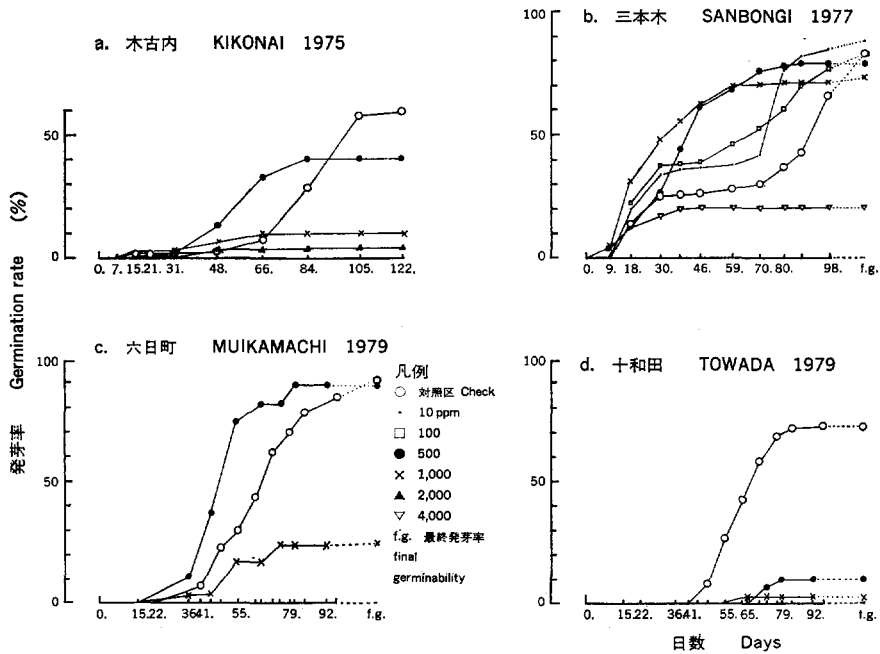


Fig. 1. NaClO_3 液長期浸漬の発芽経過

Germination curves of beech seed exposed to NaClO_3 solutions for long period.

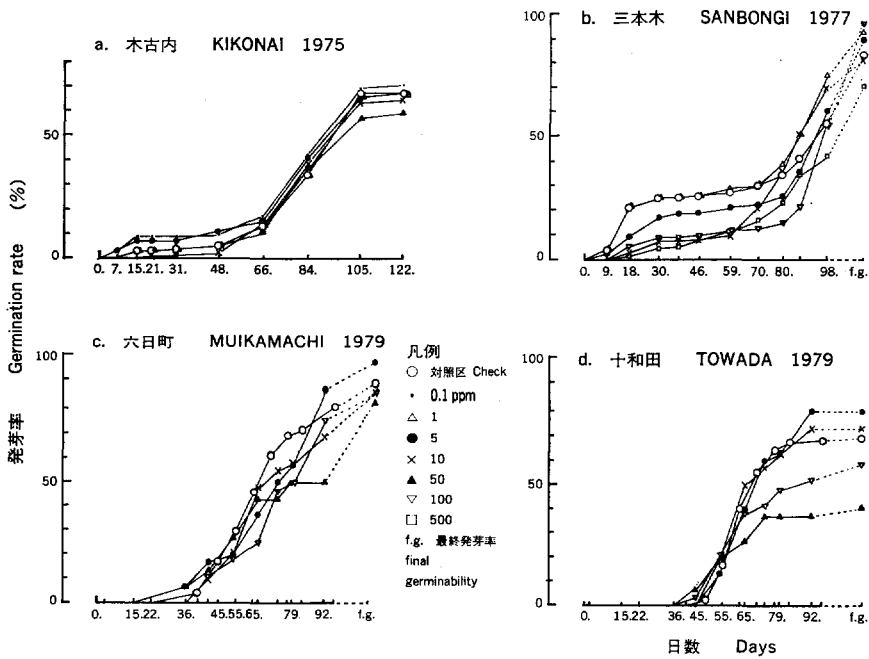


Fig. 2. Tetrapion 液長期浸漬の発芽経過

Germination curves of beech seed exposed to Tetrapion solutions for long period.

の違いなどが影響しているものと思われる。すなわち、産地により、種子の重さ、大きさが違うこと (Table 1) や採取後の取扱い方が同じでないことがあり、さらにまた、種子の保存期間の長短、実験時の温度条件や薬液調製法の相違なども反映していよう。

発芽に及ぼす影響としては、 NaClO_3 剤区では、ほぼ濃度の段階に沿った発芽阻害の傾向が明らかに認められた。概括的にいえば、濃度が 500 ppm 以上で発芽率が低下し始め、1,000 ppm を超えるとかなり顕著な発芽阻害が現れ、5,000 ppm 以上ではほとんど発芽しない。1979 年の実験では、十和田の種子は 500 ppm でも阻害が大きく、六日町の種子とは産地の違いによると思われるような反応差がみられた。

これに対してテトラピオン剤区は、500 ppm までの濃度範囲には発芽阻害の傾向が認められなかった。1979 年の十和田産種子・50~100 ppm の反応は、阻害作用のようにもみえるが、反復がないため確認できない。1977 年の 100 ppm では、若干の発芽阻害がうかがわれたので、より高濃度域での阻害作用が推測される。

各処理別の最終発芽率が、どのような経過をたどったかを明らかにするため、日数経過に伴う発芽率の推移を、Fig. 1, 2 に示した。

これによれば、 NaClO_3 剤区の場合は、1975 年には 500 ppm (Fig. 1-a)、1977 年には 500 ppm および 1,000 ppm (Fig. 1-b)、1979 年六日町産種子の 500 ppm (Fig. 1-c) で、ともに発芽曲線の立ち上がりが対照区よりも早く始まり、低濃度域で発芽促進的な効果が認められた。1977 年の発芽経過では (Fig. 1-b)、対照区、10 ppm、100 ppm の発芽曲線に変曲点が 2 か所認められ、さらにどの処理でも初めの 10 日から 30 日の間に発芽の昂進がみられた。このように、他の年次とはやや違った経過を示した理由は、はっきりしない。使用した低温庫の違いによる温度条件の差や、実験開始時期が他の年次より 2 か月以上早かったこと (種子の保存期間とも関連する) などによる影響も考えられる (Table 2, 3)。

NaClO_3 剤区では、50% 発芽数に達する日数が、濃度の段階に沿って短くなっている (Table 4)。これには、前述の発芽促進の効果により発芽日数が短縮されたことと、最終の発芽率が低く早い時期に発芽率が失われたこととが、表現されている。後者の場合は、おおむね 1,000 ppm 以上の濃度になると、明らかになる。

テトラピオン剤区での発芽経過は、1979 年十和田の種子 (Fig. 2-d) の一部を除き、すべての濃度のものが対照区と全く同様な経過を示した (Fig. 2)。すなわち、 NaClO_3 剤区でみられた発芽阻害はもちろん、発芽促進の効果や 50% 発芽数を示す日数の短縮も、ここでは認められない。Fig. 1-b の発芽曲線に現れた変曲点の特徴は、Fig. 2-b ではすべての濃度で軽度を示された。

2. 短期浸漬 (初めの 72 時間吸収) の場合の発芽阻害

短期浸漬処理による最終の発芽率と、それより計算した発芽阻害度を Table 5 に示す。表中の発芽率は処理ごとの平均値である。

前項と同じく、年次間の変動が大きい。が、 NaClO_3 剤区では、濃度に応じた発芽阻害がみられ、おおむね 5,000 ppm では強い阻害が現れ始め、10,000 ppm 以上では発芽力がかなり失われた。

テトラピオン剤区では、実験濃度上限の 500 ppm までは、どの処理でも発芽阻害はみられず、むしろ、やや発芽率の高まる傾向すらうかがわれた。もっと高濃度の影響を検討する必要がある。しかしながら、対照区も含めすべての処理で発芽率の低かった 1975 年森の種子では、72 時間吸水率はかなり大きかったので、乾燥し過ぎて活力の低下した種子群であったと認められる。このような種子に対しても、処理の効

Table 5. 短期浸漬による発芽の阻害と薬液成分の吸収量
Inhibitory effect of NaClO₃ & Tetrapion solutions on the germination, and calculated the uptake amount of chemicals of the seed lot, at the short period absorption (for 72 hours).

薬液 Solution	濃度 Concentration (ppm)	1975				1977				1979				1979			
		発芽率 Final germi- nability	発芽* 阻害度 Inhi- bition rate*	72 時 間 For 72 hours		発芽率 Final germi- nability	発芽* 阻害度 Inhi- bition rate*	72 時 間 For 72 hours		発芽率 Final germi- nability	発芽* 阻害度 Inhi- bition rate*	72 時 間 For 72 hours		発芽率 Final germi- nability	発芽* 阻害度 Inhi- bition rate*	72 時 間 For 72 hours	
				吸水率** Absorp- tion rate** (%)	成分*** 吸収量 Uptake amount*** (mg/g)			吸水率** Absorp- tion rate** (%)	成分*** 吸収量 Uptake amount*** (mg/g)			吸水率** Absorp- tion rate** (%)	成分*** 吸収量 Uptake amount*** (mg/g)			吸水率** Absorp- tion rate** (%)	成分*** 吸収量 Uptake amount*** (mg/g)
種子産地 Seed source		木古内 KIKONAI				三本木 SANBONGI				六日町 MUIKAMACHI				十和田 TOWADA			
対照区 Check	0	54.4	0	38.2	0	81.9	0	29.7	0	91.2	0	14.0	0	72.5	0	19.0	0
NaClO ₃	500	—	—	—	—	81.9	0	29.5	0.1476	82.8	9	14.6	0.0731	69.0	5	19.9	0.0995
	1,000	—	—	—	—	88.2	—8	33.7	0.3372	93.3	—2	14.1	0.1413	76.9	—6	19.4	0.1938
	2,500	33.9	38	38.4	0.9599	77.4	6	30.2	0.7560	—	—	—	—	—	—	—	—
	5,000	9.4	83	37.3	1.867	78.1	5	31.7	1.583	40.0	56	15.0	0.7493	0	100	19.9	0.9963
	7,500	2.2	96	39.1	2.929	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10,000	0	100	38.6	3.856	30.5	63	29.6	2.957	10.7	88	13.7	1.375	0	100	19.2	1.920
15,000	0	100	39.1	5.869	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		[38.45]				[30.73]				[14.28]				[19.48]			
種子産地 Seed source		森 MORI								六日町 MUIKAMACHI				十和田 TOWADA			
対照区 Check	0	18.3	0	51.0	0					89.1	0	13.4	0	69.2	0	19.4	0
Tetrapion	1	19.2	—5	51.8	0.518×10 ⁻³					—	—	—	—	—	—	—	—
	5	23.3	—27	48.6	2.43×10 ⁻³					93.3	—5	14.4	0.721×10 ⁻³	83.3	—20	19.3	0.964×10 ⁻³
	10	30.8	—68	48.4	4.84×10 ⁻³					100	—12	15.1	1.51×10 ⁻³	83.3	—20	19.6	1.96×10 ⁻³
	50	15.0	18	47.5	2.38×10 ⁻³					100	—12	15.5	7.77×10 ⁻³	80.0	—16	20.8	1.02×10 ⁻²
	100	19.2	—5	44.7	4.47×10 ⁻³					93.1	—5	14.6	1.46×10 ⁻²	86.2	—25	20.0	2.00×10 ⁻²
	500	24.2	—32	47.1	0.235					—	—	—	—	—	—	—	—
		[48.44]								[14.60]				[19.82]			

* 発芽阻害度は、Table 4 に同じ Inhibition rate on the germination is shown Table 4.

** 72時間吸水率は、 $\frac{\text{吸水開始から72時間目の種子重}-\text{吸水開始前の種子重}}{\text{吸水開始前の種子重}} \times 100(\%)$, () は全処理の平均値

Absorption rate in imbibition stage for 72 hours: $\frac{\text{the weight after absorbed for 72 hours}-\text{the original weight of a seed lot}}{\text{the original weight of a seed lot}} \times 100(\%)$,

() : average of absorption rate

*** 72時間成分吸収量は、72時間吸水率と薬液濃度から計算した推定値、種子生重 (g) 当たりの除草剤成分量 (mg) で示す。

The uptake amount of chemicals in imbibition stage for 72 hours was calculated by the absorption rate & concentration of the solutions.
Chemical amount (mg)/Seed weight (g).

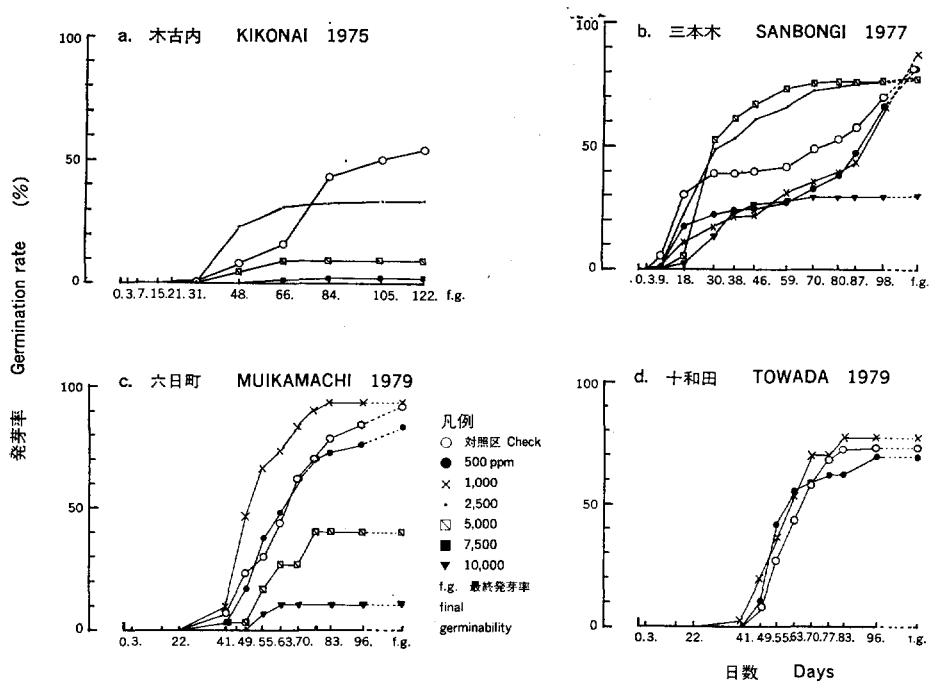


Fig. 3. NaClO_3 液短期浸漬の発芽経過
Germination curves of beech seed exposed to NaClO_3 solutions for short period (for 72 hours).

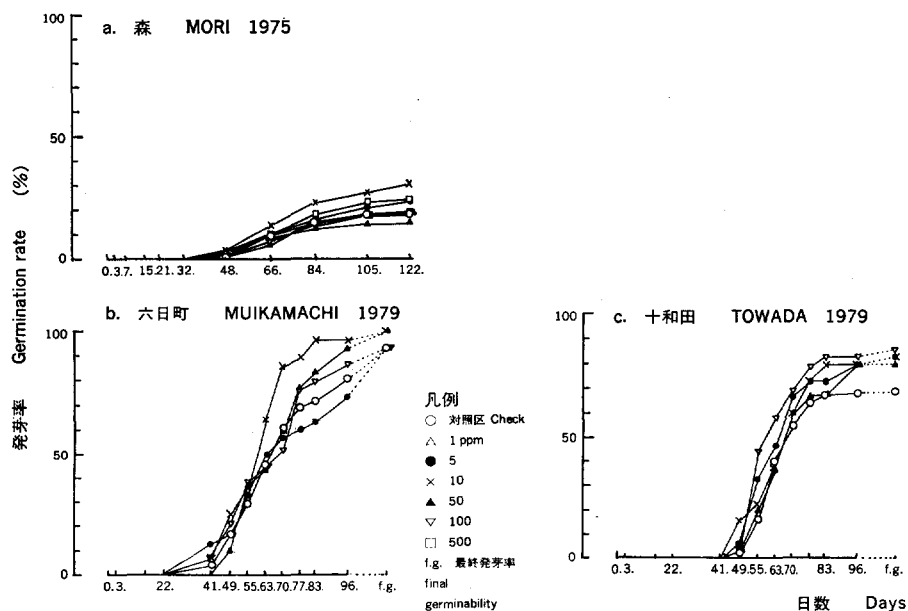


Fig. 4. Tetrapion 液短期浸漬の発芽経過
Germination curves of beech seed exposed to Tetrapion solutions for short period (for 72 hours).

果がほとんど認められないことは、 NaClO_3 剤に比べて発芽への作用が基本的に違っており、ブナ種子の発芽への影響はかなり小さいものではないかと推測される。

短期浸漬の場合の発芽経過を、Fig. 3, 4 に示す。1975 年テトラピオン剤区を除いて、各年次とも発芽曲線の形状は、長期浸漬の場合（Fig. 1, 2）と相似であった。ただ、発芽阻害または発芽促進の効果の現れている濃度レベルが違うだけであった。

NaClO_3 剤区では、72 時間という短期間の薬液吸収でも、その濃度レベルが高ければ、発芽阻害力はかなり強いものといえる。短期浸漬で影響のみられるようになる濃度レベルは、長期浸漬のときの 2～5 倍の濃度であった。

以上のことから、長期浸漬で示された発芽阻害の基本的な作用機構は、短期浸漬における反応と、本質的な違いはないものとみなしうる。そこで、吸水の初めの過程で処理種子群が取り込んだ成分量の多少と発芽阻害の程度との関係について、さらに検討する必要がある。

3. 除草剤成分の吸収量と発芽阻害の程度

短期浸漬において、処理前後の種子群の重量差により吸水量を求め、それに基づいて種子群が取り込んだと想定される 72 時間吸水中の薬液成分の吸収量推定値（以下、成分吸収量と称する）を計算し、吸水率とあわせて Table 5 に示した。この計算に際し、初期の吸水では選択的な物質吸収はないものと仮定し、成分吸収は吸水に比例して行われているものとみなした。なお、吸水量は 1 処理を一括して測定したため、成分吸収量の値も 1 処理ごとに推定した。

72 時間の成分吸収量は、発芽率がバラついたように同じ濃度レベルでも年次により差があった。これは、年次ごとに用いた種子の産地が異なり、それぞれの性状、特に初めの種子重の違いに基づいて生じた吸水率の差によって支配されているものであった（後述する）。このため、同じ濃度レベルで生じた吸収量の大小は、各産地の種子重の大小関係（Table 1）と逆順の関係となった。

発芽阻害効果の明らかであった NaClO_3 剤区の場合について、成分吸収量と発芽阻害度との関係を、年

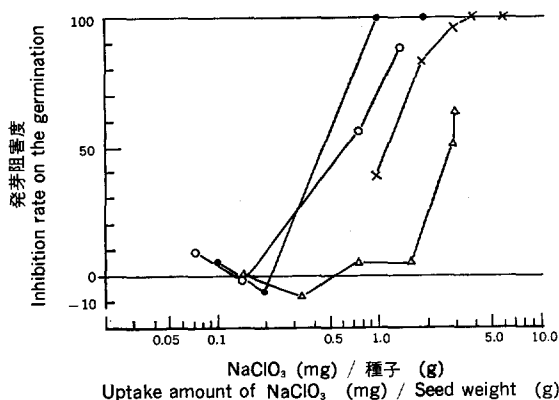


Fig. 5. NaClO_3 成分吸収量*と発芽阻害度** (72 時間吸収)
Relation between inhibitory effect** on the germination and uptake amount* of NaClO_3 for 72 hours.

*) **) Table 5 参照 See Table 5

●: 十和田 TOWADA, ○: 六日町 MUIKAMACHI,
△: 三本木 SANBONGI, ×: 木古内 KIKONAI

次別（種子群別）に示すと、Fig. 5 のようになる。すべての年次で同じ濃度組合わせでの繰り返し実験ではなかったが、72 時間—500 ppm ないし 1,000 ppm 浸漬の程度では、 NaClO_3 の吸収量は 0.4 mg/g より少なく、発芽阻害の程度は ± 10 以内におさまっている。それ以上の濃度＝吸収量になると、年次（種子産地）間でバラツキはあるものの、発芽阻害程度が強まる。

各年次で同じ濃度レベルがそろった 5,000 ppm および 10,000 ppm では、年次間で吸収量が、0.75～1.9 mg/g および 1.4～3.9 mg/g の範囲で（最多/最少比は、いずれも 2.5 倍強）、発芽阻害度 5～10 および 63～100 と、大きく変動している。成分吸収量が同一であったとしても、発芽阻害の程度は種子産地の違いによって、現れ方に差があるといえよう。

Fig. 5 では中庸の発芽阻害曲線を示している六日町産種子の場合について、プロビット法により²⁶⁾ NaClO_3 剤の LD_{50} 値を求めると、0.431 mg/g となり、これは 72 時間の吸水率平均値から計算すると、3,018 ppm 液に相当した。

4. 種子群の性状と吸水条件、吸水経過

現実のブナ天然更新に際して、種子落下前までに除草剤が散布された場合、地床に落下した種子が、吸水の開始とともに、土壤水分中に溶け込んでいると思われる除草剤成分を吸収するのではないかと考えられる。このため、ブナ種子の初期の吸水経過の特徴を、十分に知っておく必要がある。

前述のように、72 時間の吸水率には種子産地間で差がみられたが、同一産地の種子群間では、処理薬液の成分や濃度にはほとんど左右されず、ほぼ一定の吸水率となった (Table 5)。各種子群の初めの吸水の程度は、一つの産地ごとに、かなり安定した性質であると思われる。そこで、種子群の生重と、その初めの 72 時間吸水率との関係を検討すると、Fig. 6 のようになった。種子産地による初めの吸水率 (y_i) の違いは、吸水直前の種子群の重さ (x_i) の違いとの関係で表現でき、一つの曲線に近似された。この両者の関係は、 $Y = k - ab^X$ の修正指数曲線の式で示され、次の回帰式が求められた。ただし、この式で用

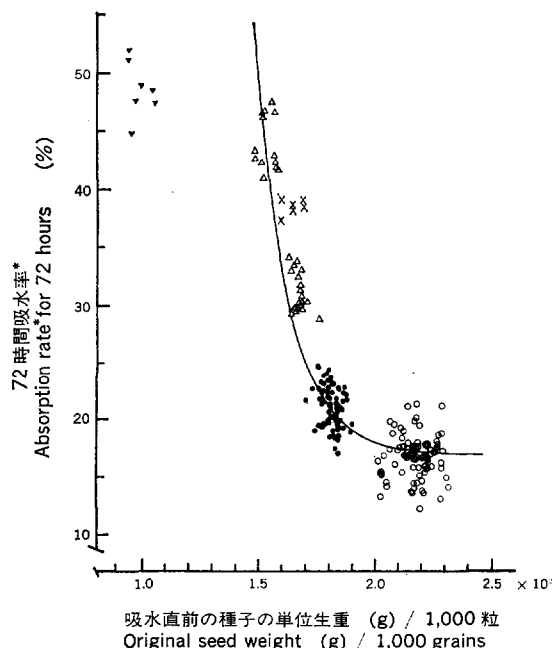


Fig. 6. 吸水前の種子重と72時間吸水率
Relation between original seed weight and absorption rate for 72 hours in the imbibition stage of beech seed.

* Table 5 参照 See Table 5

×: 木古内 KIKONAI,
△: 三本木 SANBONGI,
●: 十和田 TOWADA,
○: 六日町 MUIKAMACHI,
▼: 森 MORI

いられるデータ (X_i, Y_i) は、データの組数が3の倍数であることと、 X データの間隔が均一である必要がある (3群法による解の条件)。このため、測定値 (x_i, y_i) を、 x について18階級に区分し、その階級別平均値を直接のデータのように取り扱った。

$$Y = 16.9894 + 40.9965 \times (0.697933)^X \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Y は72時間吸水後の各種子群の吸水率であり、 X は処理前の各種子群の生重の変換値である。 X については、次式のとおり、原点移動と級間隔によって変換した。

$$X = (x_i - x_0) / x_d \quad \text{ただし, } X = 0, 1, 2, \dots, 17$$

x_i : 測定値 (種子群生重 g/1,000 粒)

x_0 : x_i の最小値 (146.25 g/1,000 粒)

x_d : 3群法に伴う級間隔 (5.30 g/1,000 粒)

すなわちこの関係から、異なった産地をもつ種子群でも、初期の吸水 (物理的吸水) の大きさは、初めの種子の重さによって決まっているものとみられる。Fig. 6 で左上に回帰線より離れた点は、1975年の森種子群である。前に述べたように、この種子群は発芽率が特に低く、種子採取後の取扱いなどの影響を

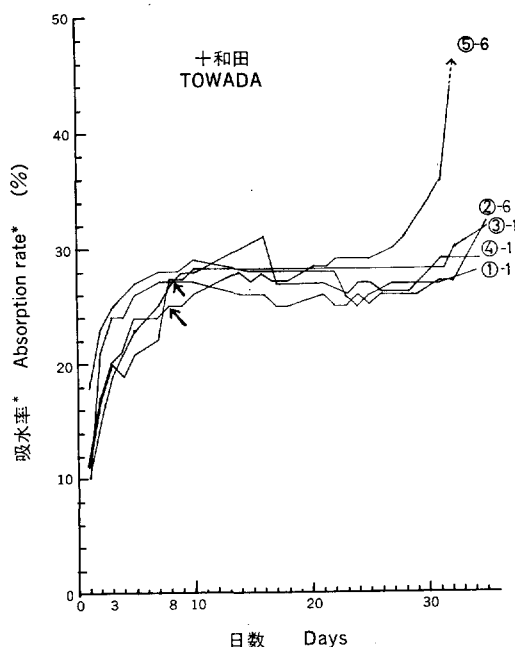


Fig. 7. ブナ種子の吸水経過, 一代表例

Examples of the absorption curve of individual beech seed.

①~⑤ は、以下のような処理。副番1の個体は、変温なしに2°Cのまま。副番6の個体は、8日目から20°Cにする。

① Water; ② 1,000 ppm NaClO₃ solution; ③ 10,000 ppm NaClO₃ solution; ④ 10 ppm Tetrapion solution; ⑤ 100 ppm Tetrapion solution. Each seed was kept at 2°C temperature from the start of imbibition. Arrows denote that the temperature was shifted from 2°C to 20°C after 8 days.

* 吸水率 $\frac{X \text{ 日の種子重} - \text{初めの種子重}}{\text{初めの種子重}} \times 100(\%)$

Absorption rate: $\frac{\text{seed weight of } X \text{ day(s) after} - \text{original seed weight}}{\text{original seed weight}} \times 100(\%)$

受け、供試時にはかなり乾燥した状態にあって、活力が著しく低下していたものと思われる。上式は、この森種子群のデータを除いて求めた。

以上のことから、①産地により、初期の 72 時間の吸水率に違いがみられたのは、それぞれの初めの種子重の違いに基づくものである。②ブナの種子重が、140 g/1,000 粒程度の水準よりも、乾燥などで軽量になった場合には、活力が低下し、吸水率が十分には高まらないこと。③200 g/1,000 粒を超えるような重い（大きい）種子群では、初めの吸水率の差が小さくなること、などの傾向が把握された。ただし、上式はブナの産地すべてについてのデータに基づいたものではないので、ここでは一つの実験式として提示するにとどめる。

ところで、いくつかの樹種について、種子の発芽に至るまでの吸水経過が調べられ、初めの急激な吸水＝物理的吸水にあるときの吸水曲線は、トドマツ⁸⁵⁾・クロマツ⁶⁾・ヤチダモ¹⁾の種子では、放物線式 $Y = aX^b$ で表し得るとされている。ブナの種子については、発芽までの吸水経過がこれまで知られていないので、既往の方法¹⁵⁾⁸⁶⁾に従って、十和田産種子を用い、1 粒ごとに、経時的に吸水後の重さの増す割合を調べた。その結果、Fig. 7 のような吸水曲線が得られた。この吸水経過の基本的なパターンは、これまでに知られている他の樹種の場合と同じである。物理的吸水過程とみなされる初めの急速な吸水の期間は、2°C 下の十和田の種子では、長くて 6 日間ぐらいであった。

引き続き第 2 の吸水過程での変化は少なく、吸水率 25～28% 程度の水準のまま、長期間継続した。

さらに、吸水条件と吸水経過の関係について検討を進めた。Table 3 に示した方法で、六日町産種子・十和田産種子について、吸水初めの 3 日間の 5 時期における吸水率を測定した。これより、0.5 日間＝12 時間、1 日間＝24 時間、2 日間＝48 時間、2.5 日間＝60 時間、3 日間＝72 時間の吸水率*の経時推移をみると、Fig. 8 のように、吸水時間（日数で示した）と吸水率の両対数軸で直線関係が示された。これは次式の放物線式で表すことができ、それぞれの回帰係数は、高度に有意であった。相関係数も、かなり高い。

○六日町の種子

$$\log y = 0.5827 \times \log t + 0.9187 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$r = 0.9705$$

○十和田の種子

$$\log y = 0.5665 \times \log t + 1.0530 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$r = 0.9597$$

ただし、 y は日数で示す吸水時間 t のときの吸水率。 r は相関係数。

この二つの回帰係数の比は、(2) 式：(3) 式で、1:0.972 となり、ほとんど同一とみてよい。つまり相対的な吸水速度は、両者の種子群ではほぼ等しいものとみなし得る。上式より 72 時間の吸水率の推移を求めると、Table 6 が得られ、一定時間経過後の吸水率の相対比（相対的吸水速度）には、二つの産地間で差がなかった。

また、種子の吸水の速度は温度条件によって変わることが知られている。トドマツ⁸⁵⁾やクロマツ⁷⁾の例では、高い温度下では、初期の吸水の速度がより大きくなった。そこで、2°C および 20°C の二つの温度条

* 吸水率は、すべて初めの種子重に対するものとして示す。

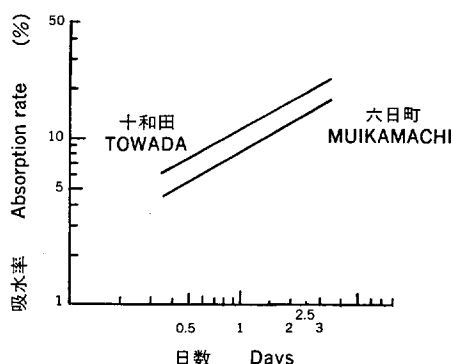


Fig. 8. 初めの3日間の吸水率の推移
(室温条件下)

Increasing absorption rate of beech seed during 3 days in the beginning of imbibition period (at room temperature).

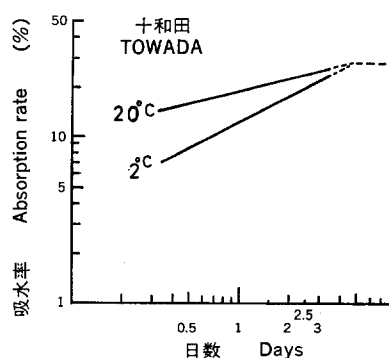


Fig. 9. 温度条件と初めの吸水率

Effect of temperature on the change of absorption rate of beech seed during 3 days.

Table 6. 種子産地と初めの72時間の吸水率*の推移
Seed sources and change of the absorption rate* during 72 hours of imbibition period.

時 間 Imbibition period (hour)	六日町 (比) MUIKAMACHI (ratio) (%)	十和田 (比) TOWADA (ratio) (%)
0 ~ 12	5.5 (35)	7.6 (36)
0 ~ 24	8.3 (53)	11.3 (54)
0 ~ 48	12.4 (79)	16.7 (79)
0 ~ 60	14.2 (90)	19.0 (90)
0 ~ 72	15.7 (100)	21.1 (100)
初めの種子重 g/1,000粒 Original seed weight per 1,000 grains	212.6	182.8

* 回帰式 (2), (3) より求める, 室温条件下

Estimated by equation (2) & (3), at room temperature.

Table 7. 吸水時の温度と初めの72時間の吸水率*の推移 (十和田産種子)
Effect of temperature on change of the absorption rate* during 72 hours of imbibition period (TOWADA seed).

時 間 Imbibition period (hour)	2°C (比) (ratio) (%)	20°C (比) (ratio) (%)
0 ~ 12	8.5 (39)	15.8 (63)
0 ~ 24	12.3 (56)	18.8 (76)
0 ~ 48	17.7 (81)	22.4 (90)
0 ~ 60	19.8 (91)	23.7 (95)
0 ~ 72	21.8 (100)	24.9 (100)
初めの種子重 g/1,000粒 Original seed weight per 1,000 grains	178.5	187.8

* 回帰式 (4), (5) より求める

Estimated by equation (4) & (5).

件下における吸水速度の違いを比較した。1 日ごとの測定値で初めの 3 日間の吸水経過を、Fig. 9 に示す。ブナ種子の場合にも、さきの例と同じ傾向が認められた。温度条件別に、放物線式に当てはめ、次式が得られた。回帰係数はどちらも高度に有意であった。

○十和田の種子

① 2°C の場合

$$\log y = 0.5251 \times \log t + 1.0889 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$r = 0.8621$$

② 20°C の場合

$$\log y = 0.2532 \times \log t + 1.2746 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$r = 0.6886$$

ただし、 y , t は、前式 (2), (3) に同じ。この回帰式に基づいて、温度別に 72 時間の平均的吸水率の推移を求めると、Table 7 のようになった。

すなわち、ブナ種子も、20°C というやや高い温度下では、吸水初期の吸水速度はかなり大きく、初めの 12 時間を経過するまでに、72 時間分の 50% 以上を吸水した。その後、吸水速度は比較的早く減衰して、72 時間以降の早い時期に、吸水の少ない第 2 の過程が始まるものとみられた。2°C という低い温度下では、吸水の始まりから 24 時間を経て、72 時間分の 50% に達したが、その後の吸水速度の減衰は、より少なく、20°C のときより 2 日程度の遅れで、第 2 の過程へと移って行くようにみられた。

また、この初期の吸水のときには、吸水する溶液が薬液でも水でも、吸水率には違いがほとんどみられなかった (Table 5, Fig. 7)。十和田産種子について、2°C 下の吸水開始より 3 日間の薬液別の吸水率を Table 8 に示す。この吸水率は、1 粒ずつ測定した種子の重さの増加する割合の 10 粒の平均値で示している。ここにみられる吸水率の違いは、処理された薬液間の差ではなく、前述したように、種子の初めの重さに支配された違いであった (Fig. 6)。

Table 8. 薬液と始まりから 3 日間の吸水率* (十和田産種子)
The change of the absorption rate* of water & the solution
for 3 day of imbibition period (TOWADA seed).

薬 液 Treatment solution (ppm)		初めの種子重 Original seed weight per a grain (mg/粒)	1 日 1st day (%)	2 日 2nd day (%)	3 日 3rd day (%)
水 Water		173.8±10.06 (100)	13.8±1.57 (100)	19.2±1.54 (100)	22.2±1.38 (100)
NaClO ₃	1,000	183.1±11.80 (105)	11.9±0.86 (86)	18.8±1.21 (98)	21.8±1.46 (98)
	10,000	184.9± 7.57 (106)	10.5±0.61 (76)	15.9±0.71 (83)	18.6±0.90 (84)
Tetrapion	10	176.8±16.29 (102)	12.3±2.11 (89)	19.6±2.64 (102)	22.5±1.97 (101)
	100	174.0±12.28 (100)	12.9±1.49 (94)	18.9±1.37 (98)	22.3±1.22 (100)

* 各処理 10 粒ずつの平均値および 95% 信頼幅, () は水吸水の場合との比, 2°C 条件下
Each value is an average of 10 grains at each treatment.
() ; ratio of solution treatment to water treatment ; at 2°C.

Table 9. 薬液の吸収時期および吸収時間と発芽率 (%)
Effect of the change of imbibition period of solutions on germination in the beginning of imbibition stage.

種子産地 Seed source		六 日 町 MUIKAMACHI								十 和 田 TOWADA							
吸収時期 Imbi- bition period	吸収時間 Treat- ment time (hour)	NaClO ₃ (ppm)				Tetrapion (ppm)				NaClO ₃ (ppm)				Tetrapion (ppm)			
		500	1,000	5,000	10,000	5	10	50	100	500	1,000	5,000	10,000	5	10	50	100
前期 吸収 The early	0~12	86.7	89.7	93.3	86.2	89.7	93.1	93.1	86.2	75.9	70.0	46.7	56.7	73.3	60.7	76.7	86.7
	0~24	96.6	100	82.8	100	90.0	92.9	86.2	96.6	65.5	73.3	60.0	56.7	63.3	76.7	70.0	58.6
	0~48	96.6	90.0	90.0	79.3	80.0	86.2	100	96.6	80.0	56.7	56.7	10.0	72.4	70.0	76.7	70.0
後期 吸収 The late	60~72 (12)	96.7	100	86.7	10.7	93.1	96.7	88.9	92.9	80.0	63.3	43.3	6.7	66.7	79.3	73.3	86.7
	48~72 (24)	93.1	93.3	70.0	6.7	96.6	86.7	90.0	86.2	90.0	53.3	10.0	0	83.3	80.0	76.7	86.2
	24~72 (48)	89.7	83.3	17.2	3.3	86.2	93.1	86.2	96.4	93.3	72.4	0	0	83.3	70.0	66.7	76.7
72時間吸収 For 72 hour		82.8	93.3	40.0	10.7	93.3	100	100	93.1	69.0	76.7	0	0	83.3	83.3	80.0	86.2
対 照 区 Check		86.2	92.9	89.7	88.9	93.3	93.1	73.3	96.7	63.3	60.0	83.3	83.3	76.7	73.3	63.3	63.3

以上の点から、ブナ種子についての、初めの 72 時間程度における物理的吸水は、①温度条件の違いにより吸水速度は強く影響されるが、②処理された薬液の組成・濃度範囲では影響がなく、③種子の初めの重さによって、その種子の吸水程度が支配されている。④さらに、この間の相対的な吸水速度は、普通に活力のある状態の種子では、その産地の違いにかかわらず、ほぼ一定のものとみられること、などがわかった。

5. 薬液吸収の時期による発芽阻害の現れ方の違い（主として、 NaClO_3 剤の場合）

すでに述べたように、ブナ種子が吸水の始まりの段階で、ある量以上の NaClO_3 を取り込んだ場合に、

Table 10. 吸収時期・吸収時間別処理の発芽率への影響***についての分散分析表
Analysis of variance for effect of the change of imbibition
period on germination.***

要 因 Factor	自 由 度 df	平 方 和 SS	平均平方 mS	分 散 比 F
種 子 産 地 Seed source	1	5942.008	5942.008	101.98**
薬 液 Solution	7	12733.721		
成 分 Chemicals	1	3440.777	3440.777	2.22**
濃 度 Concentration	6	9292.944	1548.824	26.58**
吸 収 時 期 Imbibition period	1	1131.146	1131.146	19.41**
吸 収 時 間 Treatment time	2	384.756	192.378	3.30*
種子産地×薬液 Seed source × Solut.	7	641.806		
産 地 × 成 分 Seed source × Chem.	1	260.733	260.733	4.11
産 地 × 濃 度 Seed source × Conc.	6	381.073	63.512	1.09
種子産地×吸収時期 Seed source × Imbib. period	1	199.037	199.037	3.42
種子産地×吸収時間 Seed source × Treat. time	2	21.973	10.986	<1
薬液×吸収時期 Solut. × Imbib. period	7	6068.847		
成分×吸収時期 Chem. × Imbib. period	1	1755.059	1755.059	2.44
濃度×吸収時期 Conc. × Imbib. period	6	4313.788	718.965	12.34**
薬液×吸収時間 Solut. × Treat. time	14	1036.837		
成分×吸収時間 Chem. × Treat. time	2	266.050	133.025	2.07
濃度×吸収時間 Conc. × Treat. time	12	770.787	64.232	1.10
吸収時期×吸収時間 Imbib. period × Treat. time	2	178.089	89.044	1.53
誤 差 Error	51	2971.588	58.266	
全 体 Total	95	31309.809		

* 危険率 5%水準で有意 Significant at $p < 0.05$

** 危険率 1%水準で有意 Significant at $p < 0.01$

*** 発芽率は、発芽種子数と供試種子数との関係により、数値の変換を次式の方法で行い、分散分析した。ただし、Table 6 の 72 時間吸収および対照区のデータは除外した。また、3 因子交互作用は誤差として処理した。

The data in Table 9 were converted with next equation.

$$\theta = \frac{1}{2} \left(\arcsin \sqrt{\frac{x}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{x+1}{n+1}} \right) \quad \left[\begin{array}{l} \text{明石孝輝：次代検定林のデータ処理と交配設計，} \\ \text{(1978) の換算表を使用した。} \end{array} \right]$$

発芽阻害作用が現れた。また、 NaClO_3 の吸収量は、種子の吸水条件との関係の大きいことが、示唆された。そこで、両者の関係をさらに明らかにするために、Table 3 の方法により、薬液吸収の時期を前後に変えた実験を行った。

その結果、Table 9 に示すような処理別の発芽率が得られた。このデータについての分散分析の結果は、Table 10 のとおりである。

Table 10 にみられるとおり、これまでの実験で得られた傾向が、ここでも確かめられた。すなわち、種子の産地による効果が認められ、また、薬液の成分の違いよりも濃度レベルの違いによる効果が、さらに吸収時期の前後の違いによる効果が、それぞれ危険率 1% で有意性が認められた。吸水時間の長短の効果も、危険率 5% で有意性が認められた。また、薬液成分と吸収時期との交互作用効果は、認められなかったが、濃度と吸収時期との交互作用には、危険率 1% で有意性が認められた。

以上の分析結果より、テトラピオン剤区はこの濃度範囲では、発芽への影響はほとんどないが、 NaClO_3 剤区は濃度および吸収時期の違いによって、発芽に顕著な影響を及ぼすことが明らかとなった。すなわち、Table 9 にみられるとおり、 NaClO_3 の 5,000, 10,000 ppm は、後期吸収によって、強い発芽阻害効果をもたらした。

さらに、 NaClO_3 剤の作用と吸収時期との関連で、どのような発芽経過をたどったかを、種子産地別、濃度別に、Fig. 10, 11 として示す。これによれば、十和田の種子は、六日町の種子より発芽阻害の程度

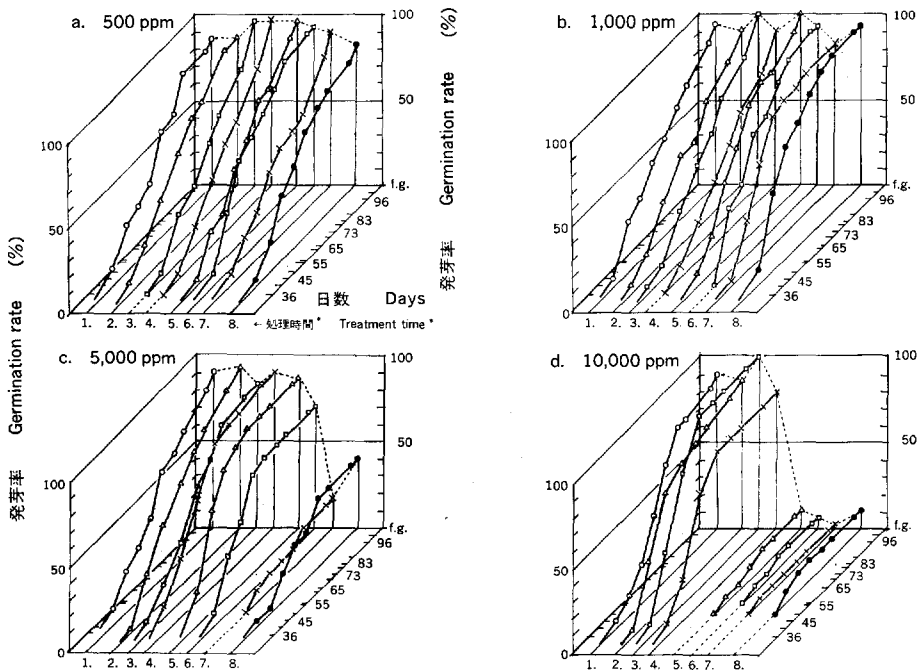


Fig. 10. 六日町産種子、 NaClO_3 吸収時期と発芽の経過
Germination curves of the MUKAMACHI seed in the early
& in the late treatment of NaClO_3 solutions.

See Table 3 & 9.

* 処理時間 Treatment time: 1: 対照区 Check; 2: 0~12 hr.; 3: 0~24 hr.; 4: 0~48 hr.;
5: 60~72 hr.; 6: 48~72 hr.; 7: 24~72 hr.; 8: 0~72 hr.

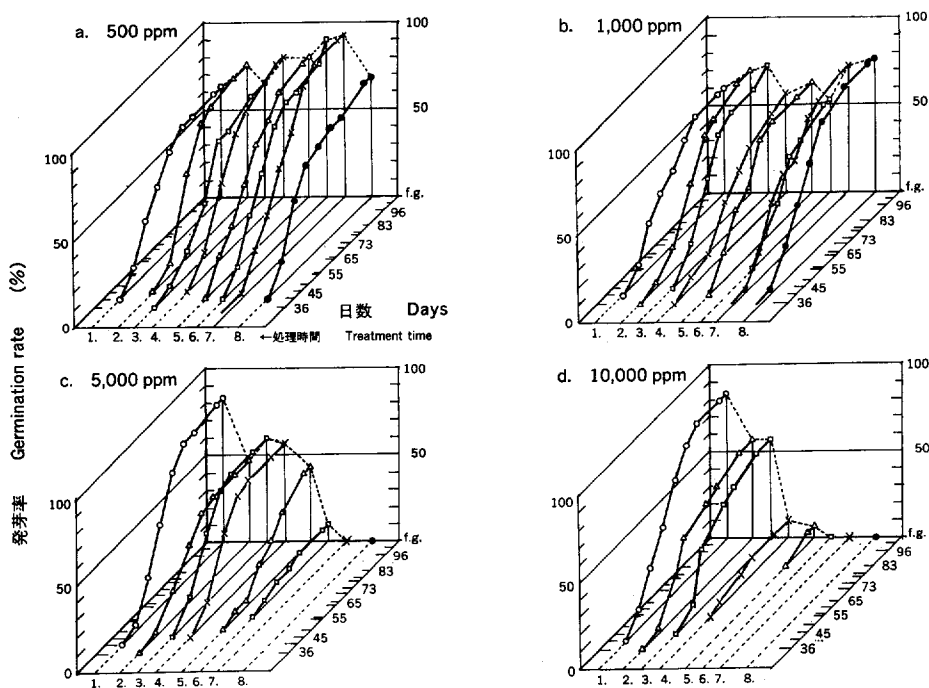


Fig. 11. 十和田産種子, NaClO_3 吸収時期と発芽の経過
Germination curves of the TOWADA seed in the early & in the late treatment of NaClO_3 solutions.

See Table 3 & 9, & Fig. 10.

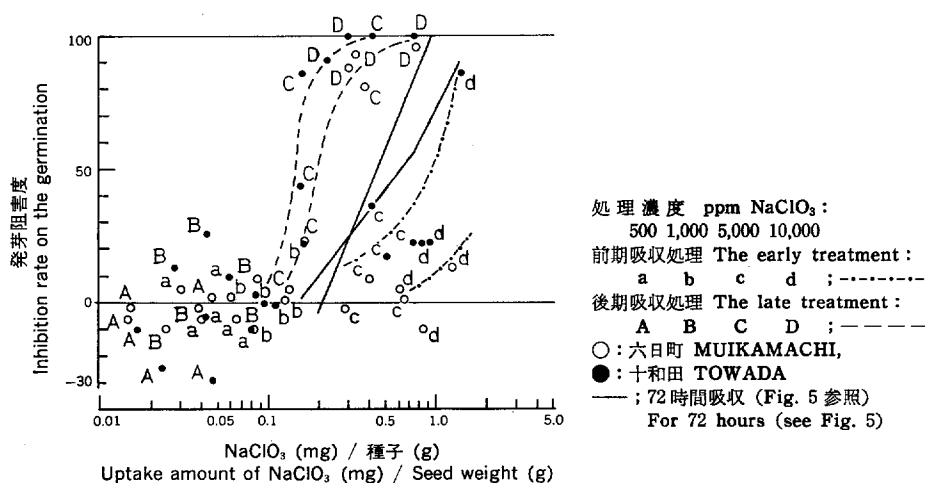


Fig. 12. 吸収時期別の成分吸収量と発芽阻害度
Relation between inhibitory effect on the germination and uptake amount of NaClO_3 , treated in the early or in the late and for 72 hours.

が、全般に強く現れている。どちらも、5,000 ppm 以上の後期吸収では、発芽阻害が顕著になる (Fig. 10-c, d, Fig. 11-c, d)。阻害作用の小さかった前期吸収の処理でも、十和田の種子は、5,000 ppm で発芽開始が遅くなり、発芽中期には発芽が停滞して、最終の発芽率は低くなった (Fig. 11-c)。さらに 10,000 ppm では、強い発芽阻害が現れて、48 時間吸収の発芽率は著しく低下した (Fig. 11-d)。

吸収時間の長さによる効果については、5,000 ppm—後期吸収の場合に、吸収時間の長いほど発芽開始が遅れ、発芽阻害程度が大きくなる傾向がみられた (Fig. 10-c, Fig. 11-c)。しかしながら、10,000 ppm では、高濃度の効果によって、吸収時間の長さの効果は隠されてしまう (Fig. 10-d, Fig. 11-d)。また、後期吸収の 48 時間と 72 時間吸収との発芽阻害程度には、ほとんど差がないが、六日町産種子—5,000 ppm および 10,000 ppm では、吸収時間のより短い前者の方が、より大きな阻害を示した (Fig. 10-c, d)。

NaClO_3 剤区にみられた以上のような処理効果を、成分吸収量と発芽阻害度との関係で整理すると、Fig. 12 のようになる。

これによれば、種子の産地により若干のズレはあるが、後期吸収では NaClO_3 0.1~0.15 mg/g 程度の吸収量より発芽阻害が現れ、0.3~0.5 mg/g 程度の吸収量になると、ほとんど発芽しなくなる。これに対して前期吸収の場合には、0.5~1.0 mg/g 程度の吸収量になっても、発芽阻害程度が低く、また種子産地間での反応差も大きくなるようにみえる。Fig. 12 には、Fig. 5 に示した 72 時間吸収の発芽阻害曲線を書き加えてあるが、強い発芽阻害の示された後期吸収の阻害曲線は、これらより左寄りに離れ、相対的に少ない吸収量でより強い発芽阻害が生じたことが、明らかとなった。このことは、大変重要な点であると思われるので、薬液を吸収する時期のもたらす効果について、さらに詳しく検討する必要がある。

前項でみたように、種子の初めの吸水経過から、前期吸収の方が、後期吸収より、同じ吸収時間の長さで、ずっと多い吸水量となる。薬液の吸収がこれに比例しているとすれば (選択的吸収がないと仮定)、成分吸収量も、前期吸収の方がより多くなる (Fig. 12)。しかしながら、成分吸収量と発芽阻害度との関

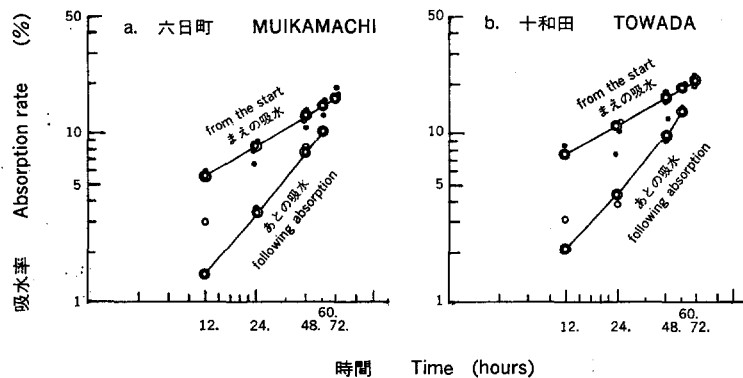


Fig. 13. 吸収時期の違いと、72 時間中のまゝとあとの吸水率の変動

Effect of the change of imbibition period of solution on variation of the absorption rate during 72 hour.

◎: 回帰による標準の吸水*, ●: 前期吸収の吸水, ○: 後期吸収の吸水
Standard absorption*, The early treatment, The late treatment.

* 標準状態の吸水率は、(2), (3) 式による計算値
The rate of standard absorption was calculated by equation (2) & (3).

Table 11. 吸収時期の違いによる72時間中の吸水率の変動
Effect of the change of imbibition period of solution on variation of the absorption rate during 72 hour.

種子産地 Seed source	時 間 Treatment time	回帰による* 吸 水 率 Estimated absorption rate* (%)	まへの吸水によるズレ** R. V. A. R.** in the period from the start		時 間 Treatment time	回帰による* 吸 水 率 Estimated absorption rate* (%)	あとの吸水によるズレ** R. V. A. R.** of the following absorption after change of solution		72時間の吸水率のズレ** R. V. A. R.** for 72 hours	
			前期吸収 The early	後期吸収 The late			前期吸収 The early	後期吸収 The late	前期吸収 The early	後期吸収 The late
六 日 町 MUKAMACHI	0~12	5.5	+ 3.6	—	12~72	10.2	+21.6	—	+15.3	—
	0~24	8.3	0	— 4.8	24~72	7.4	+40.5	+ 4.1	+19.1	— 1.3
	0~48	12.4	+ 3.2	+ 4.0	48~72	3.3	+93.9	+ 3.0	+22.3	+ 3.8
	0~60	14.2	—	— 0.7	60~72	1.5	—	+100.0	—	+ 8.9
	0~72	15.7	—	—						
十 和 田 TOWADA	0~12	7.6	+10.5	—	12~72	13.5	+ 5.9	—	+ 7.1	—
	0~24	11.3	— 8.0	— 6.2	24~72	9.8	+23.5	—10.2	+ 6.6	— 8.5
	0~48	16.7	— 6.6	+ 4.8	48~72	4.4	+70.5	—11.4	+ 9.5	+ 1.4
	0~60	19.0	—	+ 3.7	60~72	2.1	—	+47.6	—	+ 8.1
	0~72	21.1	—	—						

* 回帰による吸水率は、(2), (3) 式による。 Estimated by equation (2) & (3)

** 吸水率の変動の大きさを示すズレの値は、 $\frac{\text{実測値}-\text{回帰による値}}{\text{回帰による値}} \times 100$ として求めた。実測値は8データの平均値。

R. V. A. R. ; relative variation value of absorption rate was estimated by next equation, $\frac{\text{observed rate}-\text{estimated rate}}{\text{estimated rate}} \times 100$.

Observed absorption rate is an average of 8 lots at each treatment time.

係は、必ずしも並行的になってはいない。このため、選択的吸収の可能性についても検討されなければならないが、仮に選択的吸収（吸水）があったとしても、このことが前期吸収と後期吸収とのかなり大きな反応差へ及ぼす効果は、あまり大きくはないものと考えられる。

いっぽう、葉液を吸収する時期の前後との関係で、吸水溶液を切り換えたことによると思われる切り換え後の吸水率の変動について、一定の傾向がみられた。この点を明らかにするため、前項の初期 72 時間の吸水経過から得た回帰式（2）、（3）より推定された吸水率（Table 6）を標準として、処理時間の区切りのまゑとあとの吸水状態の違いについて検討した。

前述の実験方法（2）（Table 3）によって、吸収時期別に、各処理時間中の吸水率（0～ t_1 時間ないし t_2 ～72 時間、いずれも葉液）および、その残りの時間中の吸水率（ t_1 ～72 時間ないし 0～ t_2 時間、いずれも水）が実測されている。これを、同じ時間長で区分した標準の吸水率と対比させ、Fig. 13 に示した。

これによれば、まゑの吸水（0～ t 時間）では、どちらの種子産地でも、処理時期の違いは葉液と水の違いであり、前に検討したように（Table 8）、それぞれの吸水率は、標準状態の吸水率との差がみられない。しかし、あとの吸水（ t ～72 時間）では、処理時期によって吸水率が異なり、標準状態とのズレが顕著であった。

この吸水率のズレの程度を、相対的な吸水率の大小関係で計算し、Table 11 に示した。後期吸収では、60～72 時間の吸水率を除き、あとの吸水率（葉液）は、まゑと同じく回帰からのズレが小さく、標準状態に近い吸水経過を示した。これに対して、前期吸収では、あとの吸水率（水）は、回帰からのズレが大きくなっており、しかも、それはまゑの吸収時間の長かった処理ほど、増加傾向が強い。あとの時間における 24～72 時間および 48～72 時間の吸水率では、前期吸収は後期吸収の 1.4 倍および 1.9 倍の大きさになった。このため、72 時間の吸水率でも、前期吸収は、後期吸収や標準状態（回帰）よりも、10～20% ほど大きくなった。これらの傾向は、二つの産地で同様にみられたが、標準状態からのズレの程度は、六日町産種子の方が大きかった。また、葉液成分や濃度との間には、はっきりした関係はみられなかった。

このように、前期処理で葉液を吸収し、その後水に浸漬した場合には、かなり能動的ともいえるような吸水率の増加傾向が認められ、初めに取り込んだ葉液成分が、より薄められるような現象が生じていることになる。このことが、実際の発芽阻害作用に対して、どのような効果を与えているかは不明であるが、吸収時期の違いと吸水率のズレとの関係が、吸収時期と発芽阻害の強弱との関係と明らかに対置されることは、注目される。

この現象はまた、種子産地の違いとの関連でも重要である。前述のように、十和田産種子の前期吸収では、高濃度液で発芽阻害が現れたが、六日町産種子の前期吸収では、発芽阻害がみられなかった。その六日町の種子で、前期吸収処理後に、あとの吸水率が増加する傾向がより顕著であったことは、種子の性状と発芽を阻害する作用との相互の反応を考えるうえで、興味深い点である。

しかしながら、なぜこのような吸水率のズレが生じるのかについては、現在は解明できない。また、標準状態に近い吸水率を示した後期吸収の場合に、このような現象が 72 時間以降の吸水過程で、さらに生じているのかどうか、不明である。しかし、後期吸収における発芽阻害の度合の高いことからみて、その後の吸水の増大は、実質的にはないものと考えられる。

吸収された NaClO_3 成分のブナ種子の発芽に対する作用機構については、現在、全く不明である。類

似化合物である塩素酸カリウムについては、かつて、 KClO_3 に対する作物品種系統の抗毒性と耐寒性などの特性との関係についての研究が行われた^{10)18)23)28)29)32)~34)}。そのなかで山崎守正は、植物体内に吸収された KClO_3 が強い毒性を示すのは、体内の還元作用によって毒性物質の KClO (次亜塩素酸カリ) に変化するためであり、体内の還元性物質の含有量の多少が、毒性発現を左右していることを明らかにした³²⁾³⁴⁾。また最近では、植物体内に入った塩素酸塩 (MClO_3) は内在する硝酸還元酵素によって還元され、強い生理活性物質である亜塩素酸塩 (MClO_2) に変化するとされている¹⁴⁾が、発芽に対する効果については情報が無い。

いっぽう、吸水が始った種子では、発芽の始動期に入って、すみやかに小器官や高分子物質の再活性化が始まり、一連の生化学的反応が進行して行く⁴⁾。そこで、初めの吸水によって始動した種子内の発芽反応がある段階にまで進んだときに、一定濃度の反応抑制物質が侵入してきたとすれば、その場合の種子の感受性はかなり高いものと想像される。ここに、種子内の還元性物質の存在や酸化還元に関係する酵素の活性化などと、 NaClO_3 の作用性や吸収量・吸収時期、また吸収された成分の種子内部での挙動など、関連する問題が浮かびあがってくる。しかし、種子の発芽生理と NaClO_3 の作用機構との関係についての検討には、まだ十分な資料が得られていない。

ともかく現象面からみて、後期吸収ではより感受性が高いと思われる傾向が明白であるので、吸収時期についての論議には、種子発芽の生理レベルにまで掘り下げた解析を今後に期待したい。

以上の検討から、ブナ種子が発芽阻害作用の大きい濃度レベルにある NaClO_3 剤液を吸収する際に、①吸収する時期の発芽への効果はきわめて大きく、②初めの吸水過程で、一定の水を取り込んだのちに薬液を吸収する場合（後期吸収）には、発芽をより強く阻害する傾向があり、③初めの吸水過程で薬液を吸収したのちに水を吸水する場合（前期吸収）には、あとの吸水でより大きな吸水率を示し、取り込んだ薬液成分が薄まるような効果を生じているようにみられた。④このような特異な吸水率の変化には、種子の産地（性状）の違いも反映しており、発芽阻害程度の低く現れた産地種子で、より顕著な吸水率変化がみられることも、明らかになった。

IV 結 論

数年にわたって異なる産地のブナ種子を用いて、除草剤 NaClO_3 ・テトラピオンによる発芽阻害の作用について検討してきた。その結果、実験された濃度範囲で、テトラピオン剤には、最高濃度 500 ppm 薬液まで、ブナ種子の発芽そのものを阻害するような効果は、認められなかった。 NaClO_3 剤では、濃度勾配に沿った発芽への影響が明らかに認められ、高濃度液では発芽を強く阻害した。また、低濃度液では、発芽の盛んになる時期が早まるような傾向がみられる場合もあった。さらに、薬液を吸収する期間の長いほど、比較的低濃度でも発芽阻害がみられた。急速な吸水＝物理的吸水が行われている種子の発芽過程の始まり段階では、比較的短い期間における吸収であっても、1,000 ppm 又は 5,000 ppm 以上の高濃度液を吸収したときは、明らかな発芽阻害が起こった。

ブナ種子の産地や重さなどの性状によっても、 NaClO_3 に対する反応程度には差が生じている。同じ濃度レベルの薬液を吸収しても、現れた発芽阻害の程度には、産地・性状の違いで、強弱が生じた。さらに、種子の性状は、初期の吸水を支配しており、種子群の重さと初めの 72 時間の吸水率とは、一定の関係式で表示できることがわかった。このことから、同じ吸水時間でも、薬液成分の吸収量は、種子群の重

さの違いに応じた吸収量となり、重い種子群ほど、吸収量は相対的に少なくなると考えられた。

最も注目すべき結果として、初期の吸水時において、薬液の吸収される時期が、吸水量や吸水に伴う成分吸収量の多少を、直接的に決めるだけでなく、発芽阻害程度の強弱を決めるうえで、きわめて重要な意味をもっていることが推定された。このことは、実際のブナの下種更新に際して、 NaClO_3 剤を用いる場合の重要なチェック・ポイントとして、成分の土壌中の残留程度と落下した種子による吸水との関係について、解明しておく必要のあることを示している。

しかし、実際に林地で散布された NaClO_3 剤が、種子の落下時まで、どれほどの残留濃度にあるかは、よくわかっていない。一つのモデル実験による結果では、塩ビ製パイプに畑土を詰め込んだ人工土柱を用い、上部に NaClO_3 剤 150 kg (成分)/ha 相当量を施した処理後 13 日目の残留濃度は、10~15 cm の層に、150 ppm (対乾土重量当たり、風乾土から水抽出して測定) であった²²⁾。自然条件下では、さまざまな要因が関与するため、土壌中での残留には幅があるのが普通である。実際の林地での消失経過については、さらに検討される必要がある。ただし、 NaClO_3 剤は土壌中で消失するのが早い除草剤²³⁾であり、林地での散布が、種子落下時期より半年ないし 1 年前であれば、普通の条件の場合には、種子への影響はないものと考えられる。

発芽した種子のその後の発育経過についての観察結果を付記する。 NaClO_3 剤区・テトラピオン剤区とも、低濃度液では、発芽後に正常に発育するものが多い。高濃度液で発芽した個体は、移植後稚苗として発育せず、途中で枯死するものが多く、この傾向は、 NaClO_3 剤区で、より強かった。テトラピオン剤区では、取り込まれた成分の多少により、稚苗にまで発育した個体が、初生葉や本葉、休眠芽に萎縮小形化する奇形（本剤の特徴ある薬害反応）を生ずる場合もあった。この症状は 2 年生時まで現れている。これらブナ稚樹に対する除草剤の影響については、さらに実験を進めたうえで、別途とりまとめた。

この研究を進めるのに際して、ブナ稚樹に及ぼす除草剤の影響について初めて指摘され、またわれわれの実験遂行に対して終始有益なご助言を下された林業試験場造林部 前田禎三植生研究室長、ブナ種子の発芽条件を検討され好適な方法をご教示下さった同 浅川澄彦造林科長、実験の進行に際して便宜を計っていただき、とりまとめの方向についてご助言下さった同 真部長夫除草剤研究室長、資料の統計的処理解析についてご指導下さった同 明石孝輝遺伝育種第一研究室主任研究官、資料のとりまとめに協力して下さった福丸治子、石崎律子のお二人など、多くの方々のご援助、ご協力を賜わった。ここに厚く謝意を表します。

また、本報告とりまとめにあたりご指導いただき、本稿のご校閲を賜わった蜂屋欣二造林部長に深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 浅川澄彦：ヤチダモのタネの発芽遅延についての研究（4）、吸水経過について。林試研報，87，75~84，（1956）
- 2) ———：林木種子の国際検査規約。日林誌，42，417~422，（1960）
- 3) 近沢嘉幸・伏見知道・山田藤吾：アカマツ及びクロマツの耐塩性に関する研究（2）、海水、 NaCl 、 MgCl_2 の濃度のちがいが種子の発芽に及ぼす影響。日林関西支講，5，132~134，（1956）
- 4) 藤伊 正：植物の休眠と発芽。東京大学出版会，102 pp.，（1975）

- 5) 郷 正士：二，三林木種子の吸水経過。東大演習林報告，39，55～60，(1951)
- 6) ———：水がクロマツのたねに入る場所と速さ。東大演習林報告，41，51～56，(1951)
- 7) ———：吸水曲線にもとづく針葉樹のタネの発芽生理。東大演習林報告，51，159～236，(1956)
- 8) 蜂屋欣二：ブナ林の更新施業の問題。林業技術，395，11～14，(1975)
- 9) 原田庄三：スギ種子に対する薬液の処理と発芽率との関係について。林試集報，16，1～14，(1925)
- 10) 原田 泰：トドマツ品種間の二，三の性状について。日林誌，26，1～10，(1944)
- 11) 長谷川孝三・野原勇太・小山良之助：笹の薬剤枯殺特製に創製粉末合剤について。帝室林野局林試報，3(3)，27～37，(1937)
- 12) 橋詰隼人・福富 章：ブナの果実および種子の発達と成熟。日林誌，60，163～168，(1978)
- 13) 平吉 功・狩野鉄次郎：各地産杉，赤松稚苗の耐寒性。日林誌，26(12)，4～8，(1944)
- 14) 久田 正：塩素酸塩の作用点と作用機構。日本農薬学会誌，6，459～460，(1981)
- 15) 飯山宮林署：笹類枯殺剤撒布試験成績について。東京営林局報，53，105～106，(1939)
- 16) 片岡寛純：ブナ林の保続。農林出版，135 pp.，(1982)
- 17) 近内誠登・竹内安智・竹松哲夫：林業用除草剤の土壤中における残留および移動に関する基礎的研究。宇都宮大農学学術報，9，95～112，(1974)
- 18) 鯉井御吉：黒姫東鷹山国有林 ブナ天然更新試験経過報告。東京営林局造林研究会記録，5，208～232，(1929)
- 19) 前橋営林局：ブナ天然林施業法。技術開発報告 23，55 pp.，(1983)
- 20) 前田禎三・宮川 清：ブナの新しい天然更新技術，新しい天然更新技術。創文，180～252，(1971)
- 21) 真部辰夫・大場貞男・浅沼辰吾：除草剤テトラピオンについて。林試場報，224，5～7，(1983)
- 22) 真部辰夫：土壤中の NaClO_3 の残留，除草剤の森林生態系におよぼす影響とその調査方法に関する研究。農林水産技術会議事務局，p. 162，(1974)
- 23) 中村得太郎：アカマツに於ける種子の形状比及び色の分類的価値。東大演習林報告，29，3～46，(1940)
- 24) 農林省山林局：ブナ林の施業参考資料。施業参考資料第一輯，137 pp.，(1938)
- 25) 斎藤雄一・作田 耕：林木更新における除草剤施用に関する研究，除草剤の林木種子発芽に与える影響(1)。日林北海道支誌，16，75～77，(1967)
- 26) 佐久間 昭：生物検定法。東京大学出版会，309 pp.，(1964)
- 27) 佐藤邦彦：スギ，アカマツ種子の予措がその発芽に及ぼす影響。蒼林，1(7)，59～70，(1950)
- 28) ———：スギの塩素酸カリに対する抗毒性による黒点枝枯病抵抗性の早期検定。日林東北支誌，31，65～67，(1979)
- 29) 鈴木丙馬：杉の品種に関する研究(1)，幼苗による杉品種の塩素酸加里に対する抗毒性の検定。日林誌，18，825～836，(1936)
- 30) 鈴木時夫：北海道桧山地方のブナ林について。日林誌，31，138～145，(1949)
- 31) 山嶋喜一：除草剤の合理的使用について，TFP によるササの抑制。林業と薬剤，50，8～12，(1974)
- 32) 山崎守正：作物品種の塩素酸加里に対する抗毒性の原因について。農事試験場彙報，1(4)，305～326，(1931)
- 33) ———：杉及び赤松品種の塩素酸加里に対する抗毒性について。植物及動物，1，931～935，(1933)
- 34) ———：塩素酸加里法の理論に関する二，三の考察。日作紀，20，149～152，(1950)
- 35) 柳沢聰雄・川西利義：トドマツ種子の吸水と活力の関係について(1)。北海道林試集報，69，7～15，(1951)
- 36) 吉成秀夫：旧ブナ天然更新試験地の経過について。東京営林局造林研究会記録，5，200～207，(1929)

Effects of Herbicides on the Germination of *Fagus crenata* SeedsSeigo ASANUMA⁽¹⁾, Keita HAYASHI⁽²⁾ and Sadao OHBA⁽³⁾

Summary

A typical beech forest (*Fagus crenata* BLUME) in Japan has a dense undergrowth of dwarf-bamboo, *Sasa*. If the forest floor is completely covered with a thick and tall *Sasa*, it is very difficult to promote the artificial and natural regeneration of beech trees successfully. In such cases, the application of herbicides or weeding of bamboo grasses is effective in reducing the dense cover of *Sasa*. However, the application of herbicides should not affect the growth of beech trees. Therefore, in this report, the effects of two herbicides (NaClO_3 and Tetrafluoro-propionic acid) on germination of beech seeds were studied under various experimental conditions.

Seeds from several natural stands were treated with a solution of herbicide, NaClO_3 or Tetrafluoro-propionic acid, of various concentrations for the beginning of the imbibition period (72 hours) or longer period. Each seed lot consisted of 30 seeds placed on filter paper in a petri dish, with 5 cc of herbicide solution or 5 cc of water. Each lot was kept in a fixed temperature condition of 4°C or 7.5°C for 92 to 120 days. The inhibitory effect of the herbicides on germination was determined by germination rates per seed lot, for seeds treated and untreated with the solution of herbicides.

The long period absorption of NaClO_3 solution, the inhibiting effect on germination was detected for concentrations of more than 500 ppm, and after a short period (72 hours) of treatment of the seeds with NaClO_3 solution higher than 5,000 ppm at the beginning of the imbibition period, were severely inhibited in the germination.

In another experiments, the beginning 72 hour period of imbibition was divided into two short periods, one in the early imbibition period and another in the late imbibition period. A set of the seeds were treated with various solutions of the chemicals in the early imbibition period and the other set were treated in the late period. The inhibitory effect of NaClO_3 solution on germination was clearly stronger in the later treatments than in the earlier treatments. But the amount of absorbed NaClO_3 of the seeds, calculated by weighing seed lot from start to the finish of the treatments, was less in the later treatments than in the earlier treatments, supposed that the seed absorbed NaClO_3 solution or water non-selectively in the beginning of imbibition stage.

The timing of NaClO_3 absorption into the seeds in the beginning stage of the germination process was found to play a significant role in the inhibition of germination.

The inhibition of germination by NaClO_3 varied with the provenance and the property of seeds.

Tetrafluoro-propionic acid showed no inhibiting effect on germination of beech seeds up to the concentration of 500 ppm.

Received November 28, 1983

(1) (3) Silviculture Division

(2) Asakawa Experimental Forest Station