アオダモ果実の果皮による発芽遅延とそのメカニズム

小山浩正^{*1}・長岡あやの¹・高橋教夫¹

小山浩正・長岡あやの・高橋教夫：アオダモ果実の果皮による発芽遅延とそのメカニズム 日林誌 90: 97~102, 2008 アオダモの発芽特性を知るために、山形県庄内地方で採取した果実を用いて発芽実験を行った。無処理の果実は5℃では休止状態にありほとんど発芽しなかったが、10~25℃域のそれぞれの温度条件下では90%以上ときわめて高い発芽率を示したため、アオダモ果実は休眠性をもたないと考えられる。ただし、果皮を除去して種子を裸出させると、無処理の果実に比べて発芽速度が促進されたので、果皮による発芽遅延の効果があることがわかった。発芽遅延のメカニズムは、果皮が機械的に種子の発芽を抑制していることによって生じており、3カ月の低温湿層処理を経験すると解除された。11月の散布直後に降雪が始まる東北日本海側では、果実が休眠性をもたなくても、果皮による発芽遅延の作用をもつだけで、秋の誤発芽を防止できると思われる。果実の発芽遅延は、冬期の低温湿潤条件下で解除されることで、春先に一斉に発芽できると考えられた。アオダモ果実が休眠性を示さないことは、北海道産の果実で行われた先行研究の結論と異なることから、個体が生育する場所によって果実の発芽・休眠反応が異なる地理変異を示すと考えられる。

キーワード：アオダモ、果実、休眠、低温湿層処理、発芽遅延

H. Koyama, A. Nagaoka, and N. Takahashi: **Effect of Pericarp on Germination Delay and Its Mechanism in *Fraxinus lanuginosa* Fruit.** J. Jpn. For. Soc. 90: 97~102, 2008 We investigated the germination traits of *Fraxinus lanuginosa* fruits which were collected in Yamagata Prefecture, in the northern part of Honshu, Japan. While fruits set at 5°C were in quiescence showing negligible germination, more than 90% of germinations were obtained from fruits set at temperatures above 10°C. These results indicate that fruits of *F. lanuginosa* do not acquire dormancy. Since removal of the pericarp from the seed significantly enhanced the germination rate, intact fruit shows delayed germination due to pericarp. Further experiments on pericarp revealed that germination delay was caused by the hardness of the pericarp which mechanically inhibits the inner embryo from growing. Moist chilling treatment for three months improved germination rate which suggests that cold moist conditions under snow cover during the winter season remove the mechanical inhibition and fruits will germinate simultaneously at the beginning of the following spring. The above result was opposite that in a previous paper using the fruits from Hokkaido showing dormancy; thus geographical variation in germination/dormancy traits might exist in *F. lanuginosa* fruits.

Key word: dormancy, *Fraxinus lanuginosa*, fruit, germination delay, moist chilling.

I. はじめに

アオダモ (*Fraxinus lanuginosa* Koids.) は北海道から九州にかけての冷温帯に分布し、野球用バットの原料として高い評価を受けている (日本野球機構, 1985)。これまで原木のほとんどは北海道から産出されているが (森, 1991), 過剰な伐採に加えてエゾシカによる食害被害が深刻化しているため (明石, 2000), 資源の枯渇が懸念されている。このため、野球用バットの原料としての資源を確保するために植樹活動が全国規模で展開されている (日本野球機構, 1985)。しかし、天然更新の促進や人工植栽のための苗木養成の基礎となるべき種子の休眠・発芽特性に関わる情報は極めて少ない (浅川, 1956, 1963; 滝谷・小山, 2006)。

アオダモの発芽特性について、滝谷・小山 (2006) は北海道産の果実を用いた発芽実験の結果、果実は散布直後に弱い休眠状態にあったと報告している。しかし、埼玉県産のアラゲアオダモ (*Fraxinus Sieboldiana* var. *pubescens*)

で実験を行った浅川 (1956, 1963) は、果実に休眠はみとめられないとしており、両者の結論は異なっている。また、休眠性があるとした滝谷・小山 (2006) は、果皮を除去したときの発芽率が無処理の果実のそれに比べて有意に高まったことから、休眠性の原因が果皮にあるとした。ところで既報の知見によると、果皮などの胚を囲む器官に休眠の原因がある場合のメカニズムとしては、その器官の不透水性に由来する場合や発芽抑制物質を生成している場合、そして胚の成長に対する機械的抵抗による場合があげられる (Baskin and Baskin, 2001)。滝谷・小山 (2006) の実験結果では、果皮の機械的抵抗による休眠であるとしたが、発芽阻害物質による抑制の可能性を検証していないので、果皮による発芽抑制のメカニズムは必ずしも明確に特定されたとはいえない。

さらに、果皮などの胚を囲む器官の他に、種子の休眠には胚自体の休眠も知られているが (Nikolaeva, 1969, 1977; Baskin and Baskin, 2001), 滝谷・小山 (2006) はこれについては検証しておらず、今後の課題としている。

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: hkoyama@tds1.tr.yamagata-u.ac.jp

¹ 山形大学農学部生物環境学科 (997-8555 鶴岡市若葉町 1-23)

Department of Biological Environment, Faculty of Agriculture, Yamagata University, 1-23, Wakaba-machi, Tsuruoka 997-8555, Japan. (2007年3月12日受付; 2007年11月15日受理)

そこで本研究では、山形県で採取したアオダモ果実について、1) 休眠あるいは発芽抑制の有無を確認し、2) 果皮に対する複数の処理を施して、そのメカニズムを特定した。また、3) 種子(胚)自身にも休眠あるいは発芽抑制の原因があるかどうかを確かめた。4) 最後にこれらの発芽反応を、滝谷・小山(2006)による北海道産の果実のそれと比較した。もし、産地間で発芽および休眠特性に違いがあるならば、近年、全国レベルで増加傾向にある野球用バット用材としてのアオダモの植栽についても、種子の由来を考慮した苗木の養成が必要になるからである。

II. 材料と方法

1. 材料

果実は2005年10月22日に、山形県鶴岡市の国有林内にあるブナ二次林において4本のアオダモ結実個体から採取した。採取した果実は実験室に持ち帰り、4個体の採取種子をよく混ぜてから常温で1週間乾燥した後、ビニール袋に密封して2℃の冷蔵庫で保管した。採取した時点で、果実内部の種子の子葉は完全に形成されていたので、浅川(1956)の判断基準に準拠して十分に成熟していると判断した。採取時点で果実の散布は始まっておらず、ほとんどが樹上に残っていた。これらの個体では11月下旬には果実は樹上から消失していたので、採取地での自然状態における果実の散布時期は10月下旬以降であり、11月中にはほぼ完了するといえる。果実採取地から直線距離で約6 km離れた山形大学農学部附属演習林における1987年から2003年までの過去17年間の気象観測データを解析したところ、11月の平均気温は $7.9 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$ (上旬)~ $4.2 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ (下旬)であった。

2. 発芽実験

種子の休眠の有無および発芽のメカニズムを調べるために、次の実験Ⅰ~Ⅲを行った。

実験Ⅰ. 無処理と果皮除去の発芽反応の比較

果実の休眠性の有無を確認するために、処理を施さない果実(以下、無処理)とピンセットで果皮を完全に取り除いて内部の種子を裸出した種子(以下、果皮除去)を用意して発芽実験に供した。発芽実験は、直径9 cmのペトリ皿に3枚の濾紙(ADVANTEC)を敷き、その上に果実あるいは種子を50粒ずつ配置した。これらを、それぞれ5, 10, 15, 20, 25℃の5段階の恒温条件に設定したインキュベータ(日本医科器械製作所, TG100-ADCT)に置いた。インキュベータ内は12時間交代で明条件と暗条件を与え、明条件では3本の蛍光灯がインキュベータ内をほぼ均等に照射し、ペトリ皿直上における光量子束密度は $14.4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ であった。観察は原則として毎日行い、発芽したものはその都度ピンセットで取り除いた。連続した3日間に新たな発芽が観察されなくなった時点で実験を打ち切った(最長は5℃において実験開始から50日後、最短は25℃で実験開始から35日後であった)。この間、濾紙と種子が十分に湿っている状態を維持するために適宜水道水を

加えた。反復は1処理につき3回である。

実験Ⅱ. 果皮が発芽遅延を引き起こすメカニズム

結果で述べるように、実験Ⅰによってアオダモ果実は果皮による発芽遅延を示すことがわかった。そこで、実験Ⅱでは、McEvoy(1984)の実験に準じて、それが果皮の不透水性によるのか、果皮から分泌される発芽抑制物質の作用によるのか、あるいは胚成長に対する機械的抵抗によるのか確認するために「傷つけ処理」と「挟み込み処理」を果皮に対して行い、実験Ⅰの無処理ならびに果皮除去の発芽反応と比較した。

傷つけ処理とは、滝谷・小山(2006)の実験に準じて、本来の発芽箇所であるへそ(hilum; 以下hilumとする)と呼ばれる部位と反対側の果皮の一部に傷を付け、内部の種子に吸水を確保したものである。この処理により発芽が促進されるならば果皮による吸水遮断が発芽遅延の原因と結論できるが、発芽反応がない場合は他の原因によると推察される。挟み込み処理は、ピンセットでhilum周辺の果皮を裂開して内部の種子を果実外部に一度取り除き、再び内部に戻して種子を果皮で挟むものである。この処理では、果皮は裂かれているので種子への吸水性が確保されると同時に胚の成長に対する機械的抑制も解消される。一方、種子は果皮と密着しているのも、もし果皮から分泌される化学的抑制物質が原因ならば、この処理でも発芽遅延は継続すると予測される。逆に、挟み込み処理により発芽速度が促進されたならば、果皮による機械的抑制が解消されたことによると推察される(McEvoy, 1984)。

それぞれの処理を施した果実を20℃恒温条件下に置き、発芽を観察した。その他の実験、観察方法は実験Ⅰと同様である。観察は、どの処理においても連続した3日間に新たな発芽が観察されなくなった実験開始後30日目で打ち切った。

実験Ⅲ. 低温湿層処理の効果

種子の休眠や発芽遅延は、冬期、地表面での低温湿潤な環境を経験することによって打破される(Courtney, 1968; Washitani and Masuda, 1990; Bewley and Black, 1994)。そこで、無処理の果実と果皮除去をした種子を用意し、これらに対して低温湿層処理を施し、冬期に置かれた環境が発芽反応に与える影響を検討した。無処理の果実に低温湿層処理を行ったのは、実験ⅠおよびⅡで確認された果皮による発芽遅延が低温湿層処理により解消されるかを調べるためであり、一方、果皮を除去して裸出した種子に低温湿層処理を与えたのは、種子(胚)自身にも発芽抑制因子が存在するか否かを確かめるためである。低温湿層処理は、3枚の濾紙(ADVANTEC)を敷いた直径9 cmのペトリ皿に、果実および種子を50粒撒き、その上から脱脂綿を載せて水道水で十分に湿らせてから蓋を閉じた。これらのペトリ皿を2℃に設定した冷蔵庫で保存した。保存期間は、半月(2006年5月15日~6月4日)、1カ月(同年4月30日~6月4日)、3カ月(同年3月1日~6月4日)の3段階である。発芽実験の開始を6月4日に統一したた

めに、低温湿層処理を始めるまでに2℃の乾燥状態で保存した期間が処理間で異なっている。しかし、予備試験の結果では2℃の貯蔵で2年間は発芽率や発芽速度に影響はないことを確認しているため(小山, 未発表), 保存期間の違いが後熟を促進するなど発芽反応へ与える影響はないと判断した。

低温湿層処理後は、実験Ⅱと同様20℃に置いて発芽実験を行った。その他の観察方法は実験ⅠおよびⅡと同様である。観察は、どの処理においても連続した3日間に新たな発芽が観察されなくなった実験開始後30日目で打ち切った。

発芽反応の指標として、最終発芽率と発芽速度を算出した。発芽速度は T_{50} (総発芽数の50%が発芽するのに要した日数; Meyer and Monsen, 1991)で評価した。これらの結果の統計的検定は一元あるいは二元配置の分散分析を行い、有意性が認められた場合には多重比較で処理間の違いを調べた。また、発芽率については分布の正規性を保証するため逆正弦変換をしてから検定にかけた。

III. 結 果

実験Ⅰ. 無処理と果皮除去における発芽反応の比較

図-1に無処理と果皮除去における温度ごとの最終発芽率を示す。無処理では5℃において $0.7 \pm 1.2\%$ (平均値 $\pm$ 標準偏差; 以下同じ)とほとんど発芽しなかったが、10~25℃において90%以上の高い発芽率を示した。果皮除去も無処理と同様の傾向を示し、5℃では $2.0 \pm 2.0\%$ であったが、10℃以上では95%以上の高い発芽率を示していた。二元配置の分散分析の結果、温度による有意な違いは認められたが、処理間による違いはみとめられなかった(Two-way ANOVA, 温度 $p < 0.0001$, 処理 $p = 0.16$ 交互作用 $p = 0.74$)。また、交互作用がみとめられなかったため、多重比較を行ったところ、5℃は他の温度と有意な違いがあったが(Tukey-Kramer 検定, $p < 0.05$)、10℃以上の温度では互いに有意な違いがみとめられなかった。10℃以上では、どの温度でも高い発芽率を得たことや無処理と果皮除去の

図-1. 無処理と果皮除去の各温度における最終発芽率

縦棒は標準偏差を示す($n=3$)。Two-way ANOVA (温度 $p < 0.0001$, 処理 $p = 0.16$, 交互作用 $p = 0.74$)。異なるアルファベットは多重比較により互いに有意な差があることを示す(Tukey-Kramer 検定, $p < 0.05$)。

処理間で有意な差がみられなかったことから、果実には休眠性がないと判断された。

一方、実質的な発芽がみられた10℃から25℃の T_{50} を比較すると(図-2), 温度が高いほど低い値を示すと同時に、どの温度設定においても無処理に比べて果皮除去の値が低い傾向にあった(Two-way ANOVA, 温度 $p < 0.0001$, 処理 $p < 0.0001$ 交互作用 $p = 0.81$)。処理による有意な差(Tukey-Kramer 検定, $p < 0.05$)がみとめられたことは、果皮除去が発芽速度を速めたことを意味する。したがって果皮に発芽を遅延する効果があるといえる。

実験Ⅱ. 果皮が発芽遅延を引き起こすメカニズム

実験Ⅰにおいて、果皮による発芽遅延が明らかになったので、20℃における果皮除去、傷つけ処理、挟み込み処理、および無処理の T_{50} を比較した(図-3)。発芽速度は処理により有意な影響を受けており(ANOVA, $p < 0.01$)、無処理と傷つけ処理では有意な差はみられなかったが(Tukey-Kramer 検定, $p > 0.05$)、果皮除去と挟み込み処理では前二者に比べて T_{50} は有意に低下し(Tukey-Kramer 検定, $p < 0.05$)、果皮除去との違いがなかった(Tukey-Kramer 検定, $p > 0.05$)。したがって、発芽速度は傷つけ処理では促進されず、挟み込み処理において速くなったといえる。

図-2. 無処理と果皮除去の各温度における T_{50}

縦棒は標準偏差を示す($n=3$)。Two-way ANOVA (温度 $p < 0.0001$, 処理 $p < 0.0001$, 交互作用 $p = 0.81$)。異なるアルファベットは多重比較により互いに有意な差があることを示す(Tukey-Kramer 検定, $p < 0.05$)。

図-3. 温度条件20℃における処理ごとの T_{50} (果皮に対する影響)

縦棒は標準偏差を示す($n=3$)。異なるアルファベットは互いに有意な差があることを示す(Tukey-Kramer 検定, $p < 0.05$)。

図-4. 低温湿層処理期間別の T_{50}

A) は無処理, B) は果皮除去の場合。縦棒は標準偏差を示す ($n=3$)。異なるアルファベットは互いに有意な差があることを示す (Tukey-Kramer 検定, $p<0.05$)。それぞれの期間に低温湿層処理を与えた後に 20°C 恒温に置いた。

実験 III. 低温湿層処理の効果

無処理 (果皮除去していない果実) 果実に低温湿層処理を施した後に 20°C 恒温を与えたときの T_{50} を比較した (図-4A)。低温湿層処理をしない場合に 11.6 ± 0.7 日であったのに対して, 半月では 11.6 ± 3.1 日, 1ヵ月で 11.4 ± 1.1 日で三つの処理間に有意な違いがみられなかったが, 3ヵ月では 6.6 ± 1.2 日と有意に低くなっていた (Tukey-Kramer 検定, $p<0.05$)。

果皮を除去して種子を裸出し, 低温湿層処理をした試験 (図-4B) においては, 低温湿層処理をしない場合でも $6.0 \pm 0.7\%$ と低い値であったが, この値は半月 ($6.0 \pm 0.9\%$), 1ヵ月 ($5.5 \pm 0.4\%$), 3ヵ月 (5.1 ± 0.0 日) に有意な違いはみとめられなかった (ANOVA, $p>0.05$)。

IV. 考 察

1. 果皮による発芽遅延とそのメカニズム

山形県庄内地方で採取したアオダモ果実は, 5°C の条件下では $0.7 \pm 1.2\%$ とほとんど発芽しなかった。温帯性の植物では休眠しない種子でも 5°C では休止状態にあり, 発芽しないのが普通である (鷲谷, 1987)。しかし, 北海道産のアオダモ果実で発芽実験を行った先行研究では (滝谷・小山, 2006), 10°C に置いた場合でも 7% 程度の発芽しかみとめられなかったのに対し, 本試験のように山形県産の果実では 10°C で 96.0% と高い発芽率を示した (図-1)。滝谷・小山 (2006) は果皮を除去した場合, 無処理に比べて有意な発芽率の上昇がみられたことから, アオダモ果実には弱い休眠性があるとしたが, 本試験では, 上記のように 10°C 以上ならば無処理ですでに 90% を超える発芽率を示しているの, 果皮除去をしても発芽率がさらに上昇することはなかった。この実験で発芽しなかった種子は, 実験中に発生したカビで腐敗し死滅していたので, それ以外の活性種子はすべて発芽したと思われる。これらのことから, 本試験で使用した山形県産の果実には, 休眠性がないと結論できる。これは, 埼玉県産の果実で実験を行った浅川 (1956) と同様の結論であるが, 北海道産のそれとは大

きく異なり (滝谷・小山, 2006), アオダモ果実の休眠・発芽反応は生育地域による地理変異を示すことを示唆するものである。

本試験において, 果皮除去の T_{50} は無処理のそれと比べてどの温度でも有意に小さかった (図-2)。したがって, 果実は休眠性を有してはいないが, 果皮による発芽遅延は存在するものと考えられる。果皮に傷つけ処理を施して内部にある種子への吸水性を確保した場合でも T_{50} は無処理と有意な違いがなく, 発芽速度は促進されなかった。このことは, 発芽遅延の原因が果皮の不透水性によるものではないことを示している。また, 果皮から発芽を抑制する化学物質等が分泌されているならば, 挟み込み処理を施しても T_{50} は無処理と変わらないはずだが, 実際にはこの処理によって T_{50} は無処理よりも有意に低い値を示し, 果皮除去と同程度になった (図-3)。このことは, 果皮から発芽を抑制する化学的物質が分泌されることが原因ではないことを示している。同時に, 挟み込み処理では本来の発芽箇所である hilum の部分を裂いているので, 胚の幼根伸長に対する機械的抑制が取りのぞかれている。これにより発芽速度が改善されたことは, 果皮が種子の発芽を機械的に抑制していたことが発芽遅延の原因であったことを示している。浅川 (1956) はアオダモ果実では hilum にあたる果皮の層は, 他の部位に比べて特に厚く発達していると指摘している。これは機械的抑制を強く示唆する観察といえる。

2. 発芽遅延に対する低温湿層処理の効果

果実に 3ヵ月の低温湿層処理を与えると無処理に比べて発芽速度が有意に速くなった (図-4A)。このことは, 冬期の積雪下で果実が経験する低温湿潤条件が, アオダモ果実の発芽遅延を解消したことを示唆している。先述のとおり発芽遅延の原因は, 果皮の機械性にあったので, 冬期の低温湿潤条件を 3ヵ月以上経験するとその機械性が解消されることを示すものである。低温湿層処理を施した後の果皮はピンセットでも容易にほぐすことができ, 無処理の果皮に比べて明らかに硬度が低下していた。したがって, 冬期の低温湿潤条件が果皮を軟化させ, 散布直後には機械的に成長が抑制されていた幼根が容易に果皮を突き抜けて発芽できるようになるのではないかと推定される。ただし, 低温湿層処理が半月や 1ヵ月では T_{50} は低下しなかったの, この程度の期間では低温湿潤環境が発芽遅延を解消しないことを示している。東北日本海側に位置する本調査地の積雪期間は 11月中旬～5月下旬なので (石井ら, 2007), 自然条件下において果実は散布後に遅延解除に十分な期間の低温湿潤条件を経験するといえる。

また, 種子に休眠がある場合には, 胚自身に原因がある場合も指摘されるが (Baskin and Baskin, 2001), 果皮を除去した種子に低温湿層処理を与えても, 低温湿層処理を施さなかった場合に比べて T_{50} に違いはなかったことから (図-4B), 本試験に使用したアオダモの発芽遅延効果の原因は果皮のみにあると結論づけられる。

3. 発芽遅延の意義

冷温帯地域において秋に散布される種子は、散布直後は休眠状態にあるのが普通で、これにより散布当年秋の誤発芽 (precocious germination) を防止していると考えられている (Washitani and Kabaya, 1988; Meyer and Monsen, 1991)。しかし、本試験の実験で明らかになったように山形県で採取したアオダモ果実は休眠していなかった。山形大学農学部附属演習林が取得している過去 17 年間の旬別平均気温データを解析すると、実験 I において発芽がほとんどなかった 5℃ は 11 月中旬の気温に相当する。山形におけるアオダモの散布時期が 11 月であったことを考慮すれば、果実に休眠性がなくても散布当年の誤発芽を防止できる確率が高いと考えられる。さらに秋の高温を経験しても、果皮による発芽遅延で十分に誤発芽を防止できるのかもしれない。T₅₀ として評価される発芽の遅延は、果皮除去と無処理ではわずか 6~7 日程度の違いではあるが、室内の恒温状態においた実験でこの程度の違いがあれば、秋に時間とともに温度が低下する自然環境においては発芽を十分に遅延させ越冬に貢献することはブルーフラックス (*Linum perenne*) でも示されている (Meyer and Kitchen, 1994)。

ただし、無処理の果実に発芽遅延があると、そのままでは翌春における種子間の発芽時期にばらつきが生じることになる。アオダモは落葉広葉樹林において閉鎖した林内で前生樹から更新するタイプの樹種であり (石田ら, 1991; 肥後, 1994), 当年実生の定着を確実にするには、上層林冠が閉鎖する以前の早い時期に発芽しておかなければ生育に著しく不利になるであろう。春先に一斉に発芽することは他の同種・異種の実生との競争にも有利とされる (Ross and Harper, 1972)。低温湿層処理により T₅₀ が有意に低くなったことは、冬期の環境が果皮の発芽遅延効果を解消し、春先に一斉に発芽することに貢献していると考えられる。

果実に休眠性がないことは、北海道産の果実での試験と異なる結果であった (滝谷・小山, 2006)。北海道のアオダモが主に分布する地域は東南部であり、滝谷・小山 (2006) が試験に使った日高地方におけるアオダモ果実の散布期間は比較的長く、9 月下旬から 12 月初旬にかけてで、この期間内の日平均気温は 18~-4.8℃ (気象庁, 2002) と比較的高い温度も経験しうる。したがって、10℃ 前後においても休眠性がなければ、果実は当年の秋に誤発芽してしまう恐れがある。本研究を行った山形県庄内地方でのアオダモ果実の散布は 10 月末から 11 月末までの比較的短期間で、この時期の平均気温は $9.6 \pm 1.5 \sim 4.2 \pm 2.0^\circ\text{C}$ と 10℃ を下回るために、北海道のような休眠性は必要とされないであろう。高木 (2006) は、ギョウジャニンニク (*Allium victorialis* L. subsp. *platyphyllum* Hulten) で、北海道産と山形県庄内産の種子の発芽を比較しているが、本試験と同様に北海道産の種子の方が休眠の程度が深いことを明らかにしている。種子の休眠の深さや低温湿層の程度に対する依存性は地理変異があることはその他の種でも知られてい

るので (Meyer and Monsen, 1991; Meyer *et al.*, 1995), アオダモ果実の発芽・休眠特性も、それぞれの生育地域の気象条件に適応した地理的変異がある可能性がある。このことは資源枯渇に対処してアオダモの人工植栽を各地で行う際にも、それぞれの地域特性や気象条件を考慮して、果実の産地を選定しなければならないことを意味しているといえる。

さらに、発芽反応の産地間の違いを生じさせるメカニズムについては本試験では未解明である。ただし、北海道の弱い休眠 (滝谷・小山, 2006) と山形における発芽遅延はどちらも果皮による機械的抑制が原因であることが明らかになったので、特に hilum 周辺の果皮の厚さなど構造的な違いが原因となっている可能性は高いであろう。今後は、北海道・東北を含めた幅広い地域から採取した果実で、発芽反応を同時に比較するとともに、果皮の解剖学的な観察・比較を行う必要があると思われる。

引用文献

- 明石信廣 (2000) エゾシカが林床植生の構造におよぼす影響. 日林北支論 48: 105-107.
- 浅川澄彦 (1956) ヤチダモのタネの発芽遅延についての研究 (第 1 報) これまでの研究のあらましとトネリコ属植物のタネの比較観察. 林試研報 83: 1-17.
- 浅川澄彦 (1963) ヤチダモ種子を中心とした林木種子の発芽生理に関する研究. 林試研報 159: 1-88.
- Baskin, C.C. and Baskin, J.M. (2001) Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. 666 pp, Academic Press, Orlando.
- Bewley, J.D. and Black, M. (1994) Seeds physiology of development and germination. 455 pp, Plenum Press, New York.
- Courtney, A.D. (1968) Seed dormancy and field emergence in *Polygonum avicular*. J. Appl. Ecol. 5: 645-684.
- 肥後陸輝 (1994) 風害跡地二次林を構成する樹種の再生様式—前生稚樹割合, 成長速度, 閉鎖林冠部での稚樹密度にもとづいて—. 日林誌 76: 531-539.
- 石田 仁・菊沢喜八郎・浅井達弘・水井憲男・清和研二 (1991) ギャップと閉鎖林内における高木性各種稚幼樹の分布と伸長成長—北海道日高地方の針広混交林—. 日林誌 73: 145-150.
- 石井 健・小山浩正・高橋教夫 (2007) 多雪地における積雪環境がブナ堅果の生残と稚樹の分布に与える影響—堅果捕食に対する積雪の保護効果の検証—. 日林誌 89: 53-60.
- 気象庁 (2002) メッシュ気候値 2000, (財) 気象業務支援センター, 東京 (CD-ROM).
- McEvoy, P.B. (1984) Dormancy and dispersal in dimorphic achenes of tansy ragwort, *Senecio jacobaea* L. (Compositae). Oecologia 61: 160-168.
- Meyer, S.E. and Monsen, S.B. (1991) Habitat-correlated variation in mountain big sagebrush (*Artemisia tridentata* spp. *vaseyana*) seed germination patterns. Ecology. 72: 739-742.
- Meyer, S.E. and Kitchen, S.G. (1994) Life history variation in Blue flax (*Linum perenne*: Linaceae): Seed germination phenology. Amer. J. Bot. 81: 528-535.
- Meyer, S.E., Kitchen, S.G. and Carlson, S.L. (1995) Seed germination timing patterns in intermountain Penstemon (Scrophulariaceae). Am. J. Bot. 82: 377-389.
- 森 徳典 (1991) 北海道落葉広葉樹のタネ—取り扱いと造林特性—. 139 pp, 北方林業会, 札幌.
- 日本野球機構 (1985) 北海道のアオダモに関する基礎資料. 146 pp, (財) 北海道森林技術センター, 札幌.
- Nikolaeva, M.G. (translated by Shapiro, Z.) (1969) Physiology of deep dormancy in seeds. 220 pp, National Science Foundation,

- Washigton, D.C.
- Nikolaeva, M.G. (1977) Factors controlling the seed dormancy pattern. *In* The Physiology and Biochemistry of Seed Dormancy and Germination, North-Holland Pub. Co., Amsterdam, 51-74.
- Ross, M.A. and Harper, J.L. (1972) Occupation of biological space during seedling establishment. *J. Ecol.* 60: 77-88.
- 高木英明 (2006) ギョウジャニンニクの種子発芽の促進. 山形大学紀要 (農学) 15: 59-68.
- 滝谷美香・小山浩正 (2006) アオダモ果実の休眠・発芽に果皮と低温湿層処理が与える影響. 日林誌 88: 541-545.
- 鷺谷いづみ (1987) 種子発芽の温度による制御—非休眠種子の発芽の温度反応—. 種子生態 17: 1-18.
- Washitani, I. and Kabaya, H. (1988) Germination responses to temperature responsible for the seedling emergence seasonality of *Primula sieboldii* E. Morren in its natural habitat. *Eco. Res.* 3: 9-20.
- Washitani, I. and Masuda, M. (1990) A comparative study of the germination characteristics of seeds from a moist tall grassland community. *Func. Ecol.* 4: 543-557.