

高温とカメムシ吸汁害がスギ種子発芽率に与える影響

室紀行¹

1 埼玉県寄居林業事務所森林研究室

要旨：スギ種子の発芽率はカメムシ吸汁害によって低下し、その防除手法に枝の袋がけがある。しかし埼玉県で不織布袋（以下、袋）の施用による発芽率の低下が認められ、袋内の高温の影響が示唆された。そこで4試験区（遮光＋袋、遮光のみ、袋のみ、無処理）を設定し、高温とカメムシ吸汁害がスギ種子発芽率に与える影響を評価した。その結果、発芽率は遮光＋袋区でのみ有意に高く、夏季の枝最高温度は無処理区と袋のみ区で有意に高かった。また発芽率と枝温度には有意な負の相関が認められた。これらより高温が発芽率低下の一因であり、袋がけ処理にカメムシ吸汁害を抑制する正の効果と枝温度を上昇させる負の効果がある可能性が示唆された。一方、遮光処理による種子重量の低下が示唆され、本手法の種子生産への適用には更なる検討が必要であると考えられた。

キーワード：スギ、発芽率、高温、カメムシ、防除袋

The effect of high temperature and feeding damage by stinkbugs on germination rate of *Cryptomeria japonica*

Noriyuki MURO¹

¹ Saitama Prefecture Yorii Forestry Promotion Office Forest laboratory

Abstract: The germination rate of *Cryptomeria japonica* seed is reduced by stinkbug feeding damage, and bagging of branches is used as a control method. However, in Saitama Prefecture, bagging with non-woven bags decreased the germination rate, suggesting the effect of high temperature. To evaluate the effects of high temperature and stinkbug feeding damage on germination rate, four test plots (shade + bag, shade only, bag only and control) were set up. The results showed that the germination rate was significantly higher only in the shade + bag treatment and the branch temperature in summer was significantly higher in the bag only treatment and control. There was a significant negative correlation between germination rate and branch temperature. These results suggest that high temperature is one of the reasons for the decrease in germination rate, and that bagging treatment may have a positive effect on suppressing stinkbug feeding damage and a negative effect on increasing branch temperature. On the other hand, it was suggested that the shading treatment reduced the hundred-kernel weight of seed. Therefore, further research is needed to apply the shading treatment to seed production.

Key-word: *Cryptomeria japonica*, germination rate, high temperature, stinkbugs, protection bag

1 はじめに

スギ種子の発芽率はチャバネアオカメムシなどの種子食性カメムシの吸汁によって低下する(5)。林業種苗の効率的な生産のためにはカメムシ吸汁害の防除が重要である。その防除手法の一つに袋による採種木の枝の被覆があり、同手法によるカメムシ吸汁害の防除が各地で採用されている(3, 7, 14)。しかし埼玉県のスギミニチュア採種園で不織布製の袋を施用したところ、施用枝において無処理枝より種子発芽率が低下する現象が確認された。吉野(13)は不織布袋の課題として袋内部の蒸れによるスギの枝や球果の枯死を指摘している。関東平野では

夏季に著しい高温が観測される頻度が増加しており(1)、本県で認められたスギ種子の発芽率低下についても袋内部の高温環境が原因である可能性がある。

近年の気候変動による温暖化は果樹生産に広く損失を及ぼしており(8)、今後スギにも同様の問題が発生する可能性が考えられる。将来にわたる安定的な種子生産のためには、袋の施用が枝温度に与える影響および高温環境がスギ種子に与える影響の解明が重要である。そこで本研究では、不織布袋による枝の袋がけと寒冷紗による遮光を組み合わせることで実施し、高温とカメムシ吸汁害がスギ種子の発芽率に与える影響を評価した。

II 材料と方法

1. 試験区配置 埼玉県寄居林業事務所上の原採種園(埼玉県大里郡寄居町鉢形地内, 標高 120m)において, 2020年4月7日にスギミニチュア採種園の採種木(10年生接ぎ木個体, 高さ 1.2m で断幹) 3ラメットを利用して球果が20個以上着生した南面の枝32本(以下, 供試枝)を選定し, うち16本の供試枝にポリエステル製不織布袋(モリフジ有限会社製, 以下袋)を施用した。採種木はすべて同一クローン(利根6)を利用した。同年5月14日, うち1ラメット(供試枝16本, うち8本に袋を施用)の周囲に木製の枠(一辺約2mの正四角柱形)を設置し, その天井面, 東側面, 西側面および南側面を遮光率70%の寒冷紗(シルバーグレー, ポリエチレン製)で覆った。同年6月8日にボタン型温度ロガー(株式会社KNラボラトリーズ製サーモクロンG, 以下ロガー)を直射日光が当たらないよう供試枝32本の下面に1個ずつ固定した。袋を施用した供試枝では作業直前に袋を取り外し, 供試枝の袋内部に位置する主軸にロガーを固定後, 直ちに袋を再び施用した。ロガーにより供試枝の表面温度を同年6月9日から9月2日にかけて1時間おきに記録した。同年10月16日に供試枝からロガーを回収するとともに球果を収穫した。球果は乾燥脱粒し, 精選した種子を-13℃で保存した。

2. 発芽率の測定 発芽鑑定は2021年2月8日から同年4月14日にかけて実施した。種子の供試数は各供試枝100粒3反復とし, シャーレ内に濾紙を敷きベンレート水和剤を添加した蒸留水で湿らせたのち, 無作為に抽出した種子を濾紙上に播種した。シャーレは25℃全暗条件に置き, 乾燥を防ぐため適宜水を補充した。28日後に各シャーレの発根済み種子の数を目視で計測し, 発芽率を算出した。また発芽鑑定への供試前に種子100粒の重量を計測し, 3反復の平均値を百粒重とした。

3. 統計解析 発芽率, 枝温度および百粒重について4処理区(遮光+袋区, 遮光のみ区, 袋のみ区, 無処理区, 各8反復)間の二元分散分析を行い, 交互作用が有意であればTukey-Kramer検定による多重比較を行った。標本の正規性および等分散性が認められない場合にはKruskal-wallis検定を行ったのち, Steel-Dwass検定による多重比較を行った。また, 全供試枝32本, 袋がけ処理を実施した16本または袋掛け処理を実施しなかった16本のデータを使用し, 枝温度と発芽率, 百粒重と発芽率との間の順位相関係数を算出した。

すべての解析において, 発芽率は発芽鑑定で計測された発芽個体の割合に逆正弦変換を施した数値を, 枝温度は8月中に観測された日最高温度の平均値を使用した。

解析にはR ver.3.6.2の標準パッケージおよび追加パッケージRcmdrの追加機能EZR(4)を利用した。

III 結果

1. 発芽率と枝温度の関係 発芽率に対する二元分散分析の結果, 遮光処理の効果($p = 0.0091$), 袋がけ処理の効果($p = 0.0021$)および交互作用($p < 0.0001$)に有意差が認められた。Tukey-Kramer法による多重比較の結果, 遮光+袋区と他の処理区との間に有意差が認められた(図-1)。夏季に供試木上でチャバネアオカメムシ, クサギカメムシおよびツヤアオカメムシの幼虫が確認されたことから, 遮光+袋区と比較して遮光のみ区および無処理区で発芽率が低かった要因の一部はカメムシ吸汁害であると考えられる。一方, 袋のみ区ではカメムシが排除されていることから, カメムシ吸汁害以外の何らかの要因により発芽率が低下した可能性が高い。

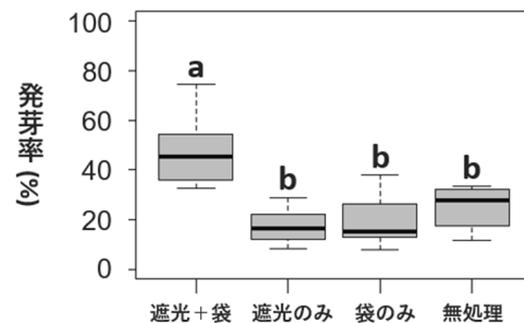


図-1. 各処理区における発芽率の比較 異なる符号の処理区間に有意差あり (Tukey-Kramer 検定, $p < 0.01$)。

Fig.1 Comparison of germination rate in each treatment. The same letters are not significantly different at 1% level by Tukey-Kramer test.

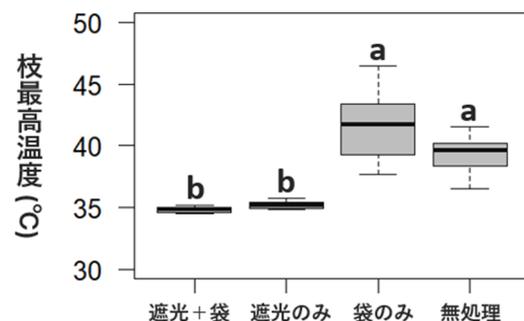


図-2. 各処理区における枝最高温度の比較 異なる符号の処理区間に有意差あり (Steel-Dwass 検定, $p < 0.05$)。

Fig.2 Comparison of branch maximum temperature in each treatment. The same letters are not significantly different at 5% level by Steel-Dwass test.

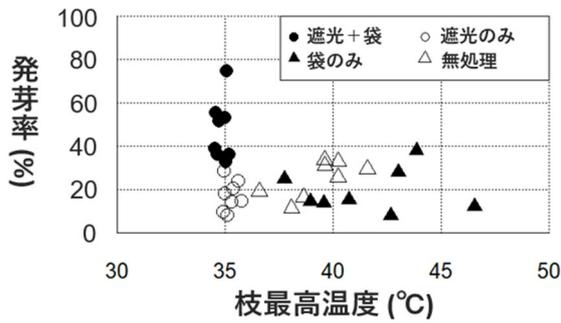


図-3. 夏季の枝最高温度と種子発芽率の関係

Fig.3 Relationship between branch maximum temperature in summer and germination rate

枝温度に対する Kruskal-Wallis 検定の結果, 処理区間に有意差 ($p < 0.0001$) が認められた。Steel-Dwass 検定による多重比較の結果, 遮光あり 2 処理区と遮光なし 2 処理区との間で有意差が認められた (図-2)。このことから, 夏季の枝温度は袋の施用の有無に関わらず採種木の遮光処理によって抑制されたと考えられる。

発芽率と枝最高温度との間には, 袋ありの 16 枝では有意な負の相関が認められた (spearman の順位相関係数 $\rho = -0.6843, p = 0.0035$, 図-3)。一方, 袋なしの 16 枝では有意な正の相関が認められた ($\rho = 0.6118, p = 0.0136$)。クサギカメムシは暗所を選好することが知られており (10), 他のカメムシ 2 種も同様の傾向を示す可能性がある。そのため遮光のみ区で無処理区より発芽率が低かった理由として, カメムシの個体密度が遮光のみ区で無処理区より高くなったことにより吸汁害が助長された可能性が考えられる。なお, 全供試枝を利用した解析では有意な相関が認められなかった ($\rho = -0.3270, p = 0.0677$)。

これまでの結果から, 発芽率低下の原因の一つは枝温度の上昇であることが示唆された。図-1 において袋のみ区で発芽率が低下した要因は, 袋内部の高温である可能性が高いと考えられる。また, 遮光+袋区と遮光のみ区では発芽率に有意差が認められた一方, 枝最高温度に差がなかったことから, 差が生じた要因の少なくとも一部はカメムシ吸汁害の影響である可能性が高い。

2. 発芽率と百粒重の関係 百粒重に対する二元分散分析の結果, 遮光処理の効果 ($p = 0.0068$) と袋がけ処理の効果 ($p = 0.0241$) に有意差が認められた。一方, 交互作用には有意差が認められなかった ($p = 0.8709$, 図-4)。百粒重は袋がけ処理区で無処理区より有意に大きく, これは球果がカメムシ吸汁害から保護されたためだと考えられる。一方, 遮光区では無処理区より百粒重が小さかった。これは遮光処理により供試木の光合成が抑制され, 球果および種子へ供給される光合成産物が減少したため

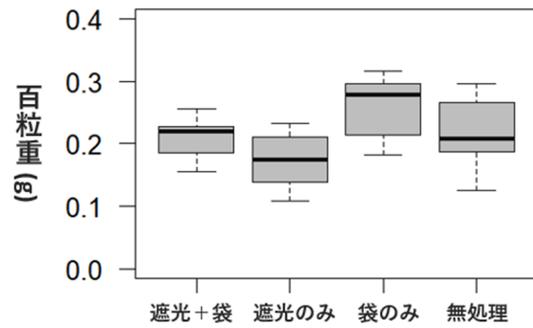


図-4. 各処理区における百粒重の比較

Fig.4 Comparison of hundred-kernel weight in each treatment

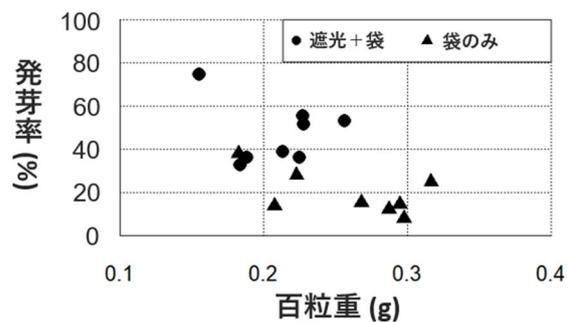


図-5. 種子の百粒重と発芽率の関係

Fig.5 Relationship between hundred-kernel weight and germination rate

である可能性がある。

発芽率と百粒重の間には負の相関が認められた ($\rho = -0.5063, p = 0.0454$, 図-5)。この結果は, 発芽能力のあるスギ種子は重量が大きい (2), また種子重量と発芽率には相関が認められない (6) とした先行研究の結果と異なる。その理由として, 遮光処理により温度や光量など複数の環境要因が変化したことにより種子重量とその他の要因が分離できず, 解析に供試した 2 処理区が質的に異なる群となった可能性が考えられる。これらの原因の考察には更なる研究が必要であろう。

IV 考察

発芽率と枝温度の結果から, スギ種子の発芽率はカメムシ吸汁害のみならず夏季の高温によっても低下することが示唆された。種子発芽率向上の観点からは, 不織布袋の施用にはカメムシ吸汁害を防除する正の効果と, 枝温度を上昇させる負の効果があると考えられる。また百粒重と枝温度の結果から, 種子の重量は同齡の同一クローンでも採種木の状態によって大きく変化し, 重量が大きい種子でも発芽率が低い場合があることが明らかになった。

スギ球果の内部では6月初めに受精が成立したのち8月にかけて胚が形成され、その後10月下旬にかけて種子が成熟して発芽率が上昇する(12)。したがって夏季はスギ胚の形成途上の期間であり、本研究で枝温度を抽出した8月はスギの胚形成の後期にあたる。この期間に著しい高温を経験すると、胚の何らかの障害により外見上は正常に発育しながらも種子が発芽能力を失う場合があるのかもしれない。他方、同一製品を受粉前から収穫まで枝に施用し続けた場合に発芽率の低下が認められなかった事例が報告されており(11)、本研究で結果に差異が生じた要因の解明は今後の課題である。

本研究では遮光処理と袋かけ処理の併用によりスギ種子発芽率の向上が可能であることが示された。林業種苗の効率的な生産のためには種子発芽率の向上が重要であり、本手法は将来的にその一助となる可能性がある。一方、久保田ら(6)はスギ種子の重量と1年生時の得苗率に正の相関があることを指摘している。これは種子重量が小さい場合、発芽率が高くと最終的な得苗率が低くなる可能性があることを示唆する。このことから、発芽以降の成長までを考慮した苗木生産の観点では、本手法が生産効率の向上に寄与しない可能性がある。苗木の生産効率を最大化する採種園管理技術の確立のためには、遮光が発芽率に与える影響を定量的に推定する必要があるだろう。

また枝温度上昇の抑制の観点からは、目合いの大きい網袋を採用することも選択肢の一つとなると考えられる。しかし袋の目合いが大きいとカメムシの若齢幼虫が袋内に侵入することがあり、カメムシが高密度の場合は結果的に発芽率が低下する可能性がある。そのため高温の影響が生じ得る環境では、これらを同時に防除する必要がある。一方、丹原・井上(9)はヒノキ採種木に0.4mm目合いの網袋を施用することでカメムシ幼虫の侵入頻度の軽減が可能であったことを報告している。このことから、適切な目合いの網袋の施用によってより簡易的に高温とカメムシ吸汁害を同時に防除できる可能性がある。本研究における手法の種子生産事業への適用には、更なる検討が必要であろう。

本研究では少数の採種木を供試したためラメットの個体差による影響を排除できていない可能性があり、単一クローンを供試したことによりクローン間の反応の差も明らかでない。また本研究では袋を施用しない供試枝においてカメムシ吸汁害の発生を定性的に仮定しており、その定量的評価には至っていない。これらの点を考慮した試験により、高温とカメムシ吸汁害の影響をより正確に評価することが可能になると考えられる。

謝辞：本研究の実施にあたり、埼玉県寄居林業事務所森林研究室の研究者および技術職員諸氏には有益な助言および現地作業の多大なる補助を賜った。ここに深く御礼申し上げる。

引用文献

- (1) 藤部文昭 (1998) 関東内陸域における猛暑日数増加の実態と都市化の影響についての検討. 天気 45: 643-653
- (2) 郷正士 (1948) 母樹の幼老別によるスギ種子個々の重量並に種皮が発芽に及ぼす影響. 東京大学農学部演習林報告 36: 1-10
- (3) 半田孝俊 (1990) 防虫網で球果を虫害から保護したヒノキの人工交配種子の品質とその経済性の検討. 林木育種場研究報告 8: 101-109
- (4) Kanda Y (2013) Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. Bone Marrow Transplantation 48: 452-458
- (5) 小林一三・横山敏孝 (1984) カメムシ類の加害によるスギ種子の発芽率低下. 林木の育種 133: 16-19
- (6) 久保田正裕・野口常介・吉村研介 (1990) スギの施設内交配における種子と苗木の生産性. 林木育種場研究報告 8: 79-91
- (7) 清水勲 (1999) カメムシ類防除によるスギ・ヒノキ種子発芽率の向上 茨城県林業技術センター研究成果解説 35
- (8) 杉浦俊彦・杉浦裕義・阪本大輔・朝倉利員 (2009) 温暖化が果樹生産に及ぼす影響と適応技術. 地球環境 14: 207-214
- (9) 丹原哲夫・井上悦甫 (1996) ヒノキ採種園でのカメムシの発生生態と防除. 岡山県林業試験場研究報告 13: 25-44
- (10) Toyama M, Ihara F, Yaginuma K (2011) Photo-response of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae), and its role in the hiding behavior. Applied Entomology and Zoology 46: 37-40
- (11) 山野邊太郎 (2017) スギ・ヒノキ人工交配での不織布袋適用によるカメムシ防除簡略化の試行. 関東森林研究 68 (2): 205-208
- (12) 横山敏孝 (1975) スギにおける胚の形成と球果の成長. 林業試験場研究報告 277: 1-20
- (13) 吉野豊 (1992) スギ・ヒノキ採種園におけるカメムシ類の加害実態の解明と防除法の確立. 林業技術 606: 7-9
- (14) 吉野豊・谷口真吾 (1991) スギ採種園におけるカメムシ類による種子への加害. 日本森林学会誌 73: 460-465