

(論 文)

アカマツ材での青変拡大に及ぼす温度、水分、酸素の影響*

谷内 博規, 小岩 俊行

Effect of temperature, water activity and oxygen concentration on the extension of blue stain to Japanese red pine (Akamatsu, *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc) wood.

Hironori TANIUCHI, Tosiya Koiwa

要 旨

青変を引き起こす不完全菌類 *Leptographium wingfieldii* Morelet, *Ophiostoma piliferum* H. & P. Sydow について、寒天培地とアカマツ材を用いて菌糸伸長と青変部域の伸展におよぼす温度、水分活性（含水率）、および酸素濃度の影響を検討した。寒天培地上では、培養温度25℃付近が菌糸伸長のピークであった。また水分活性に比例して菌糸伸長が増大した。一方、酸素濃度5%以下では菌糸の着色が抑制された。アカマツ材の青変は含水率50~150%で観察され、青変率は含水率150~180%のものが120~150%に減少する過程で最大となった。また、含水率50%以下では青変しなかった。これらのことから、アカマツ材の青変は、酸素、水分を確保できる含水率域50~150%では伸展するが、含水率150%以上では酸素が、含水率50%以下では水分が確保できず抑制されることが明らかとなった。

Leptographium wingfieldii Morelet and *Ophiostoma piliferum* H. & P. Sydow causes blue-stain of Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) wood. Effects of temperature, water activity and oxygen concentration on mycelial growth of fungi and the extension of blue stain were investigated culturing the fungus on 2% malt agar (MA) medium and Japanese red pine wood blocks. The largest mycelial extension of fungi were observed at about 25°C on 2% MA medium. Increasing water activity enlarged mycelial growth and blue-stain while oxygen concentration of less than 5% arrested blue-stain. Blue-stain extensions in pine wood blocks were observed between 50 and 180% initial moisture content (MC). The largest rate of blue-stain was observed at a stage that MC of wood blocks declined from 150-180% to 120-150%. No blue staining was appeared at less than 50% MC. From the above results, it is assumed that blue-stain of Japanese red pine extend between 50% and 150% MC of the wood which may secure enough oxygen and water. The blue-stain is suppressed at more than 150% MC by insufficient oxygen concentration and at less than 50% MC by insufficient water supply.

キーワード：青変, アカマツ, 含水率, 酸素, 水分活性

目 次

1 緒言	10	3.1.2 グルコースの添加が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響	12
2 実験	10	3.1.3 酸素濃度が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響	12
2.1 供試菌	10	3.2 アカマツ材を用いた実験結果	13
2.2 寒天培地での接種試験	10	3.2.1 青変伸展の経時的変化	13
2.2.1 温度と菌糸伸長, 青変速度	10	3.2.2 含水率が青変発生・伸展に及ぼす影響	13
2.2.2 寒天培地へのグルコースの添加	10	3.2.3 青変伸展における含水率と酸素の影響	13
2.2.3 酸素濃度と菌糸伸長, 青変速度	10	4 結論	14
2.3 アカマツ材中での青変伸展と含水率の関係	10	謝 辞	14
3 結果と考察	11	引用文献	14
3.1 寒天培地を用いた実験結果	11		
3.1.1 温度が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響	11		

* 本報の一部は、木材学会誌49巻6号で既に発表している。

1 緒言

岩手県のアカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 森林面積は全国の16%を占め、その蓄積量が約3800万 m³以上¹⁾であり全国でも有数のアカマツ材供給地域と位置付けられる¹²⁾。しかし、アカマツ材は春から夏に伐採された場合、材が青あるいは黒に変色して青変被害を引き起こすため、利用、流通上の大きな障害となっている¹⁾。また青変被害は *Ceratocystis*, *Ophiostoma*, *Ceratocystiopsis* 属菌とそのアナモルフ (*Leptographium* 属菌など) を主とする複数の変色菌類によって引き起こされ^{1, 18)}、キクイムシ、カミキリ等の穿孔性の昆虫が菌を伝播することが知られている¹⁹⁾。青変被害の防止のために水中貯木、散水¹⁴⁾、薬剤処理^{7, 10, 16)}などが検討されてきたが、未だに効果的な方法は確立されていない。青変被害の防止には、青変の生ずる詳細な、多岐にわたるメカニズムの把握が不可欠であるが、その基本情報である、青変菌の生育条件や変色進展要因に関する解析が十分には行われていない。そこで、本報ではアカマツ材に穿孔虫によって運ばれ青変を引き起こす代表的な不完全菌である、*Leptographium wingfieldii* Morelet, *Ophiostoma piliferum* H. & P. Sydow を用いて、アカマツ材に菌が侵入した後の青変現象と深く関係していると考えられる温度、水分および酸素濃度の影響を検討した。

2 実験

2.1 供試菌

供試菌として、森林総合研究所 升屋博士から提供していただいた、*Leptographium wingfieldii* Morelet, MAFF410912, *Ophiostoma piliferum* H. & P. Sydow, MAFF410900 (MAFF: 農業生物資源ゾーンバンク) を用いた。これらはアカマツ材青変部から分離された菌株である。あらかじめ、2% 麦芽エキス寒天 (MA) 培地で培養した供試菌を培地ごと直径4.5 mmのコルクポーターで打ち抜き、接種源として以下の試験に用いた。

2.2 寒天培地での接種試験

本実験に用いた菌が属するグループ (オフィオストマ科菌類) による材青変の多くは、菌糸自体の色がその原因と考えられる²²⁾。よって培地上における菌糸の着色を便宜的に青変とみなし、青変の伸展度合いを青変速度とし、温度、水分、酸素が菌糸伸長と青変へ及ぼす影響を評価した。

2.2.1 温度が菌糸伸長・青変速度へ及ぼす影響

温度が菌糸伸長と青変へ及ぼす影響を明らかにするた

め、90 mmプラスチックシャーレに2% MA培地を調製し、その中央部に供試菌を接種して5℃ごとに0~40℃で2週間培養した。各温度条件で繰り返しは5とした。所定期間培養後、菌糸伸長半径 (R_1)、青変領域半径 (R_2) を測定し、総培養時間 (T) から菌糸伸長速度 ($V_1 = R_1 / T$) と青変速度 ($V_2 = R_2 / T$) を算出した。培養中はシャーレをParafilm M[®] (Pechiney Plastic Packaging, Inc. USA) によってシールした。

2.2.2 水分が菌糸伸長・青変速度へ及ぼす影響

既往^{5, 13)}の木材含水率と青変発生との関係に関する研究では、対象菌が特定されない貯木土場での観察結果によって、高含水率域では青変せず、含水率が低下し始めると青変被害が発生すると報告されている。青変と木材含水率との関係を検討する場合、従来は材全体の平均含水率を指標として論じられてきた^{5, 7, 13)}が、この指標では菌糸と基質との界面における水分の影響は明確にはならない。そこでまず、寒天培地を使ってAwの影響を検討した。Awは一般に食品の保存性を示す指標に用いられ、一定温度における純水の蒸気圧を P_0 とし、食品の示す蒸気圧を P とした時 P/P_0 で表され、物質中の水分の存在状態をあらわす。糖類、塩分などの溶質量を増加させるとAwを低下させることが知られている¹⁹⁾。この関係は寒天培地でも成立し、Awが0、すなわち培地の水蒸気圧が0になると菌が成長できないことになる。

2% MA培地にグルコースを10, 15, 20, 25および50% 添加し、平板培地を調製した。コントロールにはグルコースを添加しない培地を用いた。それぞれの培地の各相対湿度における重量変化をコンウェイユニットを用いて測定し、グラフ挿入法により水分活性 (Water activity, 以下「Aw」) を算出した⁹⁾。

これらの培地に、2.2.1と同様に*L. wingfieldii*, *O. piliferum*を接種し、25℃で所定期間培養後、菌糸伸長速度、青変速度を算出した。

2.2.3 酸素が菌糸伸長・青変速度へ及ぼす影響

2% MA平板培地に、*L. wingfieldii* を接種し、CO₂・O₂インキュベーター (ESPEC社製BNR-110M, 東京) 内に、窒素を流すことによって酸素濃度を2, 5, 10および20%に調整し、25℃で7日間培養後、菌糸伸長速度、青変速度を算出した。

2.3 アカマツ材中での青変伸展と含水率の関係

材の含水率が青変伸展に及ぼす影響を明らかにするため、最初に青変伸展の経時的変化について検討した。アカマツ生材を伐採後、速やかに30×30×60 mm³の生辺材片を55個 (乾量基準含水率150~160%, 全乾比重0.39) 調製した。材片表面をアルコール火炎滅菌し、

板目面中央部に *L. wingfieldii* を接種，腰高シャーレに入れて，25℃で最大20日間培養した。所定期間ごとに5個ずつ取り出して含水率と青変率を測定した。この際，材の含水率変化は成り行きとした。

次に，同様のアカマツ生辺材片を用いて，初期含水率と青変率の関係を求めた。含水率（10～200%）の調整は，滅菌水を無菌的に含浸するか，クリーンベンチ内で送風乾燥により行った。含水率を調整した材片に上記同様の手順で供試菌を接種，25℃下で20日間培養した。

青変伸展の評価は，菌接種から所定時間経過後図-1に示す手順で行った。まず，材片を接種源を中心に4分割して，接種源から青変部先端の距離を軸，半径，接線方向で測定した。つづいて，青変領域を三角錐とみなし材片に占める青変部の体積割合を算出，青変率（0% ≤ 青変率 ≤ 16.6%）とした。青変率測定後，試料の含水率を全乾法により求めた。材内において菌の使用できる酸素量を推定するため，含水率と全乾比重から空隙率を算出⁸⁾し，大気中の酸素濃度21%を乗じて材内の酸素量を求めた。

3 結果と考察

3.1 寒天培地を用いた実験結果

3.1.1 温度が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響

温度が菌糸伸長，青変速度に及ぼす影響を図-2に示す。*L. wingfieldii* の菌糸伸長速度は培養温度の上昇に伴い緩やかに増加し25℃で0.28 mm/hrsとピークを示したが，少なくとも14日の培養期間中には，温度が30℃以上では菌糸伸長が観察されなかった。青変は0～10℃では観察されなかったが，15，20および25℃と上昇するとその速度がそれぞれ0.17，0.18および0.21 mm/hrsと増加し，菌糸伸長と同様に25℃でピークを示した。

O. piliferum の菌糸伸長速度は *L. wingfieldii* と同様の傾向を示したが，*L. wingfieldii* よりさらに緩やかで，菌糸伸長速度のピークは25℃で0.10mm/hrsとなった。しかし，生育温度が30℃に上昇しても菌糸伸長は観察され，速度は0.05mm/hrsと激減した。35℃以上で菌糸伸長が観察されなかった。青変については菌糸伸長が遅く，菌糸変色が観察されなかったため，青変速度は算出できなかった。

以上の結果は，*Ceratocystis spp.* や *Ophiostoma spp.* の菌糸伸長が30℃以上の温度域で著しく抑制されるという報告^{3,15)}とよく一致する。また，低温域で菌糸伸長，

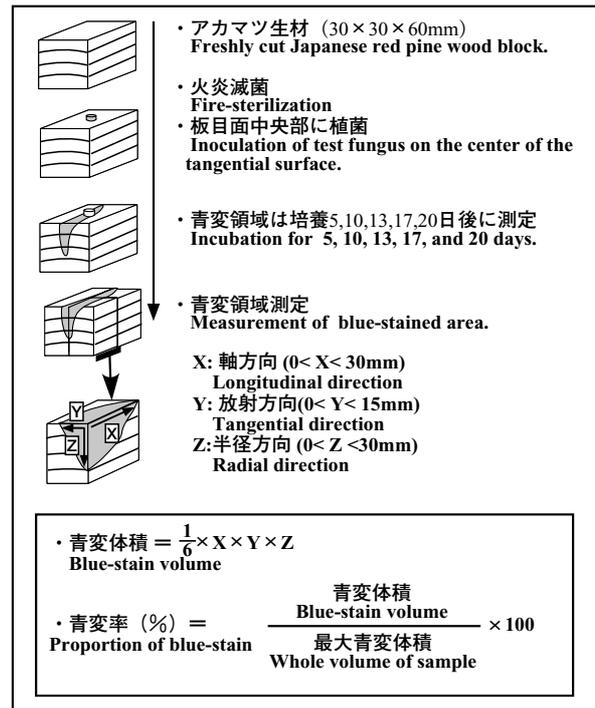


図-1 青変率の測定

Fig.1 Measurement procedure of proportion of blue-stain.

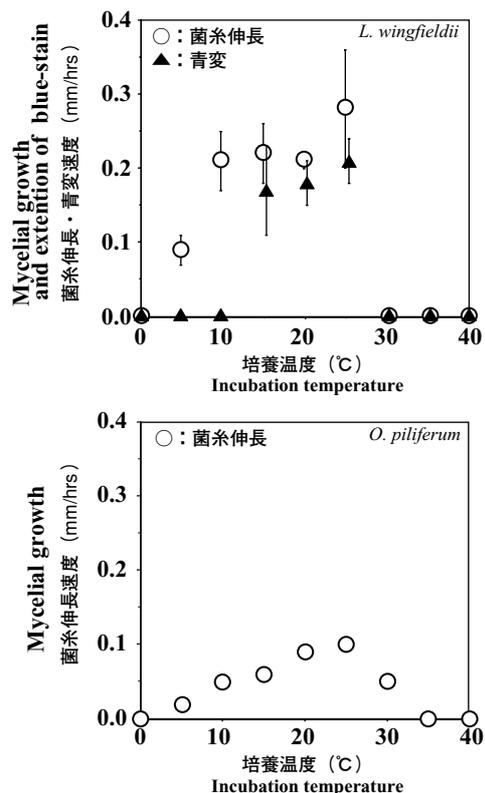


図-2 2%培養時，培養温度が青変菌の菌糸伸長，青変へ及ぼす影響

Fig.2 Effects of incubation temperatures on mycelial growth (○) and extension of blue stain area (▲) on 2%MA plates.

青変伸展が抑制される結果は，青変被害を回避するためにアカマツ材の伐出が主に冬期に行われることを支

持する。

菌糸伸長と青変伸展の最も大きい25℃で培養した供試菌のコロニーの状態は以下のものであった。*L. wingfieldii* 菌糸は培養初期には無色であり、48時間後には直径が約20 mmの円形のコロニーを形成し、その部位は96時間後に変色し始めた。培養5～6日後にはシャーレ全面に菌糸が展開し、変色域は経時的に拡大した。1週間後、変色域はシャーレ全面に及び、密生した黒色菌糸および分生子柄が観察された。一方、*O. piliferum* 菌糸は培養初期には無色であり、培養から2～4週間経過後にコロニーが徐々に薄灰色を呈した。変色域は黒色菌糸と無色菌糸が混じり合い、黒色の分生子柄が疎らに観察された。

このことは、アカマツ材の青変が起こる前に、すでに無色の菌糸が材内に展開していることを示す。

3.1.2 グルコースの添加が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響

Awが菌糸伸長、青変速度に及ぼす影響を図-3に示す。*L. wingfieldii* の菌糸伸長は、Aw=0.998の時0.28 mm/hrsと最高値を示し、Awの低下に伴って減少、Aw=0.938で停止した。青変速度も菌糸伸長と同様の傾向を示し、Aw=0.998で0.21 mm/hrsと最高値を示した。*O. piliferum*については*L. wingfieldii*と同様の傾向を示し、Aw=0.998の時に菌糸伸長速度は0.10mm/hrsと最大となった。しかし、Aw=0.938の時の時も僅かながら菌糸伸長は観察され、菌糸伸長速度は0.01mm/hrsであった。

N.MaganとJ.Lacey²¹⁾によれば、*Aspergillus* spp.や*Penicillium* spp.などの菌糸伸長可能な最小Awは温度、培地の種類、pHなどにより異なるが、0.72～0.85であると報告されている。また、菌糸伸長の最適値は*Aspergillus amstelodami* (Mang.)ではAw = 0.90、*Penicillium piceum* Raper & FennellではAw = 1.00であると報告されている。*L. wingfieldii* はAw = 0.938で菌糸伸長が停止したことから、これらの不完全菌類に比べ、*L. wingfieldii* がより多くの水分を必要とすることを示している。今回の実験において、乾燥材が青変しないのは、菌糸が生育できないためといえる。一方、高含水率域での青変発生については原因が他にあると推定される。

3.1.3 酸素濃度が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響

酸素濃度が*L. wingfieldii* の菌糸伸長、青変速度に及ぼす影響を図-4に示す。ここでは培養温度25℃、培地添加グルコース濃度0%の至適条件下での結果を示した。酸素濃度が10%まで低下しても菌糸伸長速度に

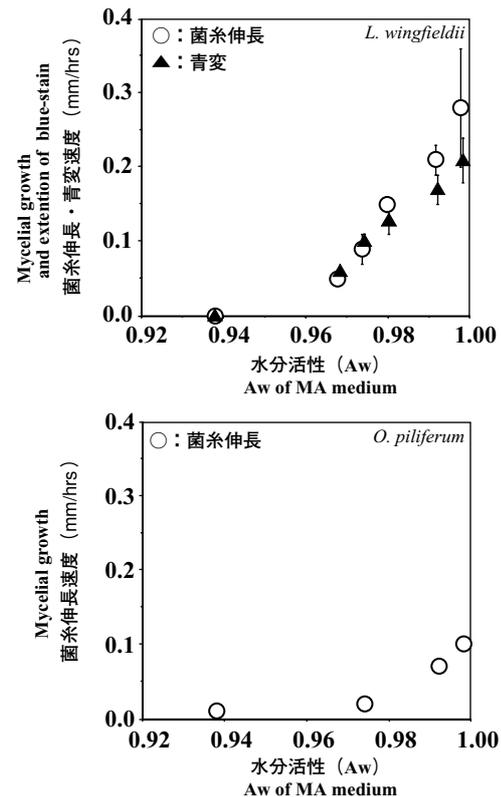


図-3 2%MA, 25℃培養時、水分活性が青変菌の菌糸伸長、青変へ及ぼす影響

Fig.3 Effects of water activities on mycelial growth (○) and extension of blue-stain area (▲) on MA plates incubated at 25℃.

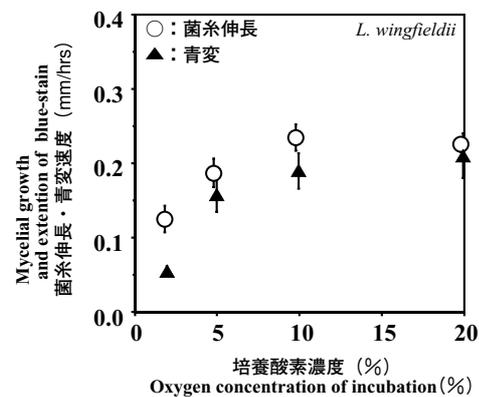


図-4 2%MA, 25℃培養時、酸素濃度が青変菌の菌糸伸長、青変へ及ぼす影響

Fig.4 Effects of oxygen concentration on mycelial growth of tested fungi (○) and extension of blue-stain area (▲) of 2% MA plates incubated at 25℃.

は変化はなく、酸素濃度5%で遅くなりはじめ、酸素濃度2%で0.12 mm/hrsとなった。青変速度も菌糸伸長と同様の傾向を示したが、酸素濃度が低下するほど変色はより抑制され、酸素濃度2%で0.06 mm/hrsと著し

く減少した。

H. SolheimとP. Krokene²⁰⁾は*Ophiostoma* spp.と*L. wingfieldii*の酸素欠乏下での生育について検討し、*L. wingfieldii*は他の青変菌に比べ酸素欠乏の影響が小さいと報告している。本実験の結果もこれを支持するものとなった。一方、青変拡大が低酸素濃度で抑制されたのは、青変菌がメラニンを生成する際に酸素を必要とすること⁶⁾と関連している可能性があり、今後更に検討する必要がある。

3.2 アカマツ材を用いた実験結果

青変現象を実験室的に再現するための従来の基質は、木粉が混入されたか木材ブロックが挿入された寒天培地であった^{2, 15)}。これらの系では木材の含水率の影響を知ることができない。そこで本実験では、アカマツ生辺材のみを基質として表面に供試菌を接種し、含水率と青変伸展の関係について検討した。

3.2.1 青変伸展の経時的変化

*L. wingfieldii*をアカマツ材に接種し、材の青変を経時的に観察した結果を図-5に示す。接種3日後には表面に直径10 mm程度の無色の菌糸伸長が薄くではあるが観察され、接種源周辺表面が2 mm程度青変していた。5日後には材内部が軽微に青変し、7~11日後までは徐々に進行して、その割合は1~1.5%となった。その後、青変率は急激に増加したが、含水率は40%程度低下していた。つまり、含水率が160から120%程度になったときに青変率が急激に増加した。このことから、含水率が青変率を律速している可能性があるが、菌糸の日齢とも連関しているので、この点については、次項で、他のデータとあわせて更に検討する。なお、材内部の殆どが青変した後も、青変領域の周辺では材が見かけ上白色化する。これは寒天培地の実験結果から、青変の際、大量の水が要求されることと関連していると推測されるが、菌の伸展に対する材の反応¹⁹⁾とも考えられ、原因は明らかでない。

3.2.2 含水率が青変発生・伸展に及ぼす影響

菌接種時の初期含水率を10~200%にしたときの20日後の到達含水率および青変率の関係を図-6に示す。初期と20日後の含水率を比較すると、含水率は1~5%程度低下しているが、含水率と青変率の関係は変わらなかった。すなわち、初期含水率が150~180%のとき、20日後には含水率が120~150%となり、全試料の青変率が10~16.6%を示し、材内部のほとんどが青変を呈した。初期含水率60~150%のとき、20日後は50~120%となり、青変率は0~16.6%と大きくばらついたが、含水率の低下に伴い、青変率は減少する傾向を示した。

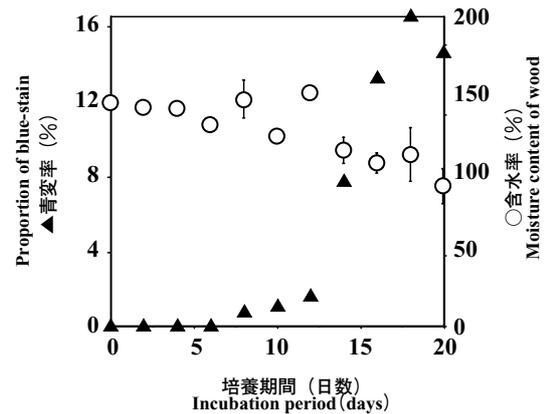


図-5 アカマツ材へ *L. wingfieldii* を接種培養した際の培養日数による青変率、含水率の変化

Fig. 5 Changes in proportion of blue stain (▲) and moisture content (○) of Japanese rad pine wood inoculated with *L. wingfieldii* at 25°C

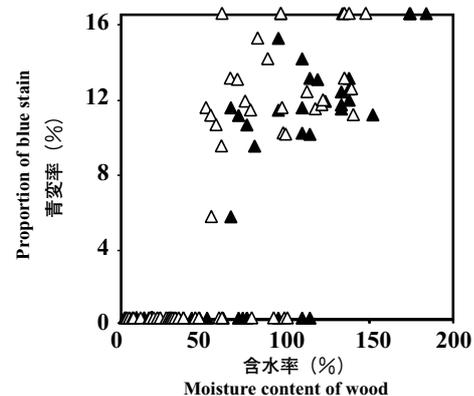


図-6 *L. wingfieldii* をアカマツ材へ接種し、20日間培養 (25°C) した際の初期含水率と測定時含水率と青変率の関係

Fig. 6 Relationships between initial (▲) and final (△) moisture content of wood blocks and proportion of blue-stain caused by *L. wingfieldii* incubated for 20 days at 25°C.

初期含水率が60%以下のとき、20日後の含水率は50%以下となり、試料ではほとんど青変しなかった。以上の実験結果は、青変伸展を律速するのは木材含水率であり、菌糸の日齢ではないことを示している。

3.2.3 青変伸展における含水率と酸素の影響

前述した、含水率が160から120%程度になったとき青変が始まることについて次のように検討した。図-5の結果から、含水率の低下が青変伸展を促進していることは明らかである。また、図-6から青変が顕著なのは初期含水率が150~180%の試料であった。この含水率域では含水率が低下しても、菌の生育に十分な水分は確保されていると考えられる。したがって、含水率の

低下による青変伸展は、空隙の増加に伴い菌が使用できる酸素が増加するためと予想される。図-7に初期含水率150~180%の試料について、接種後5~20日間経過したアカマツ材内の酸素増加量と青変率の関係を示す。初期含水率によらず、材内の酸素量が1, 1.5%と増加するに伴い、青変率は3.3, 6.6%と直線的に増加し、材内酸素量が2~3%で青変率は16.6%となった。以上より、初期含水率150~180%では、含水率低下に伴う材内の酸素量の増加が青変伸展に影響していることが示唆された。

検討の結果、含水率が160から120%程度になったとき青変が始まったのは、日数経過に伴う乾燥で空隙が増加し、菌の使用できる酸素量が増加したためと考えられる。このことは、寒天培地上で行った実験で酸素濃度が5%から2%へ減少すると青変速度が著しく抑制された結果とよく一致する。また、初期含水率150~180%で青変伸展が初期含水率の影響を受けなかったことに関しては、含水率が木材全体の平均水分量を示す値であるので、菌糸と基質界面における水分、酸素の影響を詳細に反映できないためと考える。

4 結論

寒天培地とアカマツ材を用いて青変菌 *L. wingfieldii*, *O. piliferum* の菌糸伸長と青変伸展に及ぼす温度、水分活性、酸素濃度の影響を検討した。その結果から以下の結論が導かれる。

培養温度を25℃としたとき、アカマツ材の青変は、含水率150%以上では空隙率が少ないため十分な酸素が確保できず青変伸展は抑制され、含水率域50~150%では含水率低下により空隙が増加し十分な酸素量を確保できるため青変伸展が起こる。含水率50%以下では青変伸展に必要な酸素は存在するが、菌糸が生長せず、青変はおこらない。

謝 辞

本研究を行うにあたり、青変菌を提供していただき、青変菌類の培養に関する適切なご指導をいただいた独立行政法人森林総合研究所 升屋勇人氏に厚く御礼申し上げます。本校を草するにあたり適切なご指導いただいた秋田県立大学木材高度加工研究所 土居修一教授に厚く御礼申し上げます。

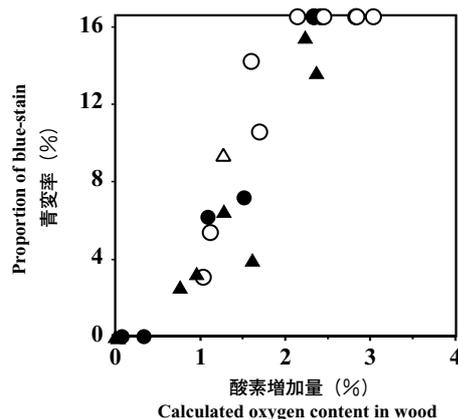


図-7 *L. wingfieldii*をアカマツ材へ接種し、5~20日間培養(25℃)した際の酸素増加量と青変率の関係

Fig. 7 Relationships between calculated oxygen content and proportion of blue-stain of wood blocks incubated with *L. wingfieldii* for 5 to 20 days at 25℃.

凡例: ●: 初期含水率180%以上, ○: 初期含水率170~180%
▲: 初期含水率160~170%, △: 初期含水率150~160%
Legend: Initial moisture content is ●: more than 180%,
○: 170% to 180%, ▲: 160% to 170%, △: 150% to 160%.

引用文献

- 1) 青島清雄・小林 正 (1952) マツの青変材の耐朽性. 日本林学会誌34: 289-293.
- 2) 青島清雄・林 康夫 (1955) エゾマツの青変菌 *Endoconidiophora coerulea* Munchの研究. 林業試験場研究報告81: 19-25.
- 3) 青島清雄・林 康夫 (1956) マツの青変菌 *Ophiostoma coeruleum* H. et P. SYDOWについて. 林業試験場研究報告92: 42-50.
- 4) 岩手県農林水産部編 (1996) マツ資源とその利用に関する流動実態調査. p20, 岩手県木材協同組合連合会, 盛岡.
- 5) 北島君三 (1938) アカマツ材の含有湿度と青変との関係. 林業試験集報45: 1-10.
- 6) 基太村洋子・近藤民雄 (1958) 青変材の化学的研究, 青変菌の生産する色素について. 木材学会誌4: 51-55.
- 7) 慶野金市 (1969) マツ生丸太の防虫・防菌. 林業試験場報告223: 25-65.
- 8) 越島哲夫・杉原彦一・浜田良三・福山万治郎・布施五郎 共著 (1973) 基礎木材工学. 45-50pp, フタバ書店, 大阪.
- 9) 佐藤南理子・清水恵美子・鈴木 健・森 光國 (1997) 缶詰食品の水分活性の測定法と実測値について. 缶詰時報56: 87-91.
- 10) 中村嘉明 (1995) 非TCP系木材防カビ剤の実用適

- 性試験結果. 奈良林試木材加工資料24: 30-37.
- 11) 農林水産省経済局統計情報部編 (1993) 林業センサス累計統計書. 122p, 農林統計協会, 東京.
 - 12) 農林水産省大臣官房統計情報部編 (2002) 第76次農林水産省統計表. 424-425p, 東京.
 - 13) 西内 豊・山崎裕三 (1985) ラジアタパインの青変防止技術 (第2報) 高知工試研究報告16: 128-133.
 - 14) 西内 豊・山崎裕三 (1986) ラジアタパインの青変防止技術 (第3報) 丸太材への青変菌の侵入. 高知工試報告17: 104-107.
 - 15) 西門義一 (1954) アカマツに関する論文集. 341-347pp, 日本林学会関西支部・日本林業協会関西支部・大阪営林局, 京都.
 - 16) 福住俊郎・A. J. Maquire (1987) ラジアータパインの青変菌に対する劣化防止. 木材保存13: 9-17.
 - 17) 山岡裕一 (1998) 菌類の採集と検出と分離: 木材変色菌 (特にオフィオストマ科菌類) の採集と分離. 日菌報39: 125-131.
 - 18) 山岡裕一・升屋勇人・金子 繁 (1999) 材の変色または生立木枯損等の樹木病害を引き起こす日本産オフィオストマ様 (ophiostomatoid) 菌類 (1). 森林防疫48: 3-9.
 - 19) 好井久雄・金子安之・山口和夫 (1972) 食品微生物学. 70-80pp, 技報堂出版株式会社, 東京.
 - 20) H. Solheim・P. Krokene (2001) Effects of growth and virulence of associated blue-stain fungi host colonization behaviour of the pine shoot beetles *Tomicus minor* and *T. piniperda*. *Plant Pathol* 50: 111-116.
 - 21) N. Magan, J. Lacey (1984) EFFECT OF TEMPERATURE AND pH ON WATER RELATIONS OF FIELD AND STORAGE FUNGI. *Trans.Br-mycosoc* 82: 71-81.
 - 22) Zink, P・Fegel, D. (1988) Studies on the Colouring Matter of Blue-stain Funji. General characterization and the associated compounds. *Holzforschung* 42: 217-220.