

岩手林技セ 研報
Bull. Iwate. Pref.
For. Techn. Ctr.

ISSN 2758-7835

岩手県林業技術センター

研 究 報 告

第 31 号

令和 5 年 3 月

岩手県林業技術センター

岩手県 矢巾町

BULLETIN
OF THE
IWATE PREFECTURAL FORESTRY TECHNOLOGY CENTER

No.31

March 2023

IWATE PREFECTURAL FORESTRY TECHNOLOGY CENTER
YAHABA, IWATE
JAPAN

岩手県林業技術センター研究報告 第31号 (2023.3)

目 次

(資 料)

広葉樹材の人工乾燥スケジュールの開発	森 諒平	1
日本産トガリアミガサタケ類 6 菌株の培養特性	成松 眞樹・坂本 裕一・佐藤 志保	17

CONTENTS

(Notes)

Development of kiln drying schedule of Hardwood.	Ryohei MORI	1
Cultural characteristics of 6 strains of black <i>Morchella</i> species in Japan.	Maki NOARIMATSU, Yuichi SAKAMOTO, Shiho SATO	17

(資 料)

広葉樹材の人工乾燥スケジュールの開発

森 諒平

Development of kiln drying schedule of hardwood

Ryohei MORI

要 旨

広葉樹 16 樹種の乾燥スケジュールを 100℃試験法により作成した。その結果、丸太や採材部位により、初期含水率及び乾燥による割れや変形の程度が異なったため、各樹種から複数の乾燥スケジュールが得られた。乾燥スケジュールについては、得られたものの中から、製材品の品質や乾燥日数の許容範囲を考慮して選択する必要がある。

また、100℃試験法により乾燥スケジュールを作成する場合は、供試丸太や試験体数を増やすことで、対象樹種の正確な乾燥スケジュールの分布を得る必要がある。

キーワード：広葉樹，含水率，人工乾燥，乾燥スケジュール，100℃試験法，

目 次

- はじめに
 - 乾燥スケジュールの作成
 - 実験方法
 - 供試材料
 - 初期含水率の測定
 - 初期割れの測定
 - 断面の糸巻状変形の測定
 - 内部割れの測定
 - 乾燥スケジュールの作成方法
 - 結果
 - 初期含水率区分
 - 初期割れ区分
 - 断面の糸巻状変形区分
 - 内部割れ区分
 - 乾燥スケジュールの分布
 - 考察
 - おわりに
- 引用文献
-

1 はじめに

岩手県の民有林森林面積は約 78 万 ha であり、そのうち広葉樹は約 49%を占める¹⁾。また、令和 3 年度の広葉樹素材生産量は 203 千 m³で全国 2 位となっている²⁾。しかし、その内訳は木材チップ用 173 千 m³、製材用 29 千 m³、合板用 1 千 m³であり²⁾、付加価値の高い建築用材や家具用材等としての利用は針葉樹に比べて進んでいない。その理由のひとつとして、広葉樹材の乾燥の難しさが挙げられる。

広葉樹材の乾燥スケジュールは、樹種や材の厚さ等により大きく異なり、乾燥スケジュールが適合しないと割れや狂い等が発生し、製材品としての商品価値を損なう。県内で広葉樹材を乾燥した事例はあるが、確立した技術を有していないため、手探りで乾燥が行われており、時間と手間がかかる上、失敗するリスクも大きい。そのため、実用的な広葉樹材乾燥技術の開発が急務となっている。

今回は、岩手県内で流通する主要な広葉樹であるミズナラ、コナラ、クリ、サクラ、ホオノキ、オニグルミ、センノキ、シラカバ、ケヤキ、オノオレカンバ、ヤナギ、キハダ、ニレ、エンジュ、トチノキ及びカツラの乾燥スケジュールを 100°C 試験法³⁾により作成した。

2 乾燥スケジュールの作成

100°C試験法とは、試験体を急速に乾燥させ、その過程において発生する初期割れ、断面の糸巻状変形及び内部割れといった損傷の程度から、初期温度、初期乾湿球温度差及び終末温度を決定するものである。これまでの 100°C試験法を用いた報告では試験体数が 3 枚程度のものが多いが、一般的に同一樹種でも丸太や採材部位により乾燥による損傷の程度が異なると考えられることから、今回は試験体数を、一度に実験可能な限り増やして試験した。

その後、100°C試験法により決定した初期温度、初期乾湿球温度及び終末温度を米国マヂソン林産研究所の乾燥スケジュール表に照合し、後述する 3.1~3.6 に示す手順で乾燥スケジュールを作成した³⁾。

なお、乾燥スケジュールは、温度スケジュールである乾球温度区分(T 1~T14)と湿度スケジュールである初期含水率区分(A~G)と乾湿球温度差区分(No. 1~8)の組み合わせで示す。乾湿球温

度区分の数字が大きくなるほど高温条件、また、初期含水率区分のアルファベットが後のものになるほど、また、乾湿球温度差区分の数字が大きくなるほど低温条件となり、低温高湿の組み合わせが緩やかな乾燥条件となる。

【乾燥スケジュール例】

T 5 C 3

① ② ③

①：乾球温度区分 (T 1~T14)

②：初期含水率区分 (A~G)

③：乾湿球温度差区分 (No. 1~8)

3 実験方法

3.1 供試材料

表 1 のとおり各樹種の丸太を供試した。

なお、ホオノキ、オニグルミ、センノキ及びシラカバは板材で調達したため、丸太の直径及び年輪数は不明であり、また、オノオレカンバは年輪幅が狭かったため、年輪数は測定できなかった。

供試丸太を製材し得られた板材から、それぞれ節や繊維の乱れがない無欠点板目材(材厚 2 cm, 材幅 10 cm, 材長 20 cm)を採材し、試験体とした。

また、シラカバは髄を中心に茶色く変色が広がっていたため、試験体の木裏材面に占める変色の割合(以下、「変色割合」という。)を 5 段階に区分して、試験を実施した(写真 1)。

なお、シラカバとエンジュは 1 枚の板材から試験体を 2 枚採材し、他の樹種は 1 枚の板材から試験体を 1 枚採材した。

表 1 供試材料

樹種	本数 (本)	長さ (cm)			平均直径 (cm)※			平均年輪数		
		平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
ミズナラ	3	229	234	224	38	44	32	58	60	56
コナラ	3	225	226	222	29	30	27	63	77	54
クリ	3	229	231	227	30	32	27	53	55	52
サクラ	3	228	230	226	29	32	27	65	49	74
ホオノキ	3									
オニグルミ	3									
センノキ	3									
シラカバ	3									
ケヤキ	3	180	181	178	46	54	41	79	94	59
オノオレカンバ	3	214	226	194	26	26	25			
ヤナギ	3	224	232	215	40	43	37	41	43	38
キハダ	3	226	230	222	36	40	32	56	60	51
ニレ	2	231	232	230	38	39	37	55	58	53
エンジュ	2	362	412	312	22	24	21	44	45	43
トチノキ	1	232			34			48		
カツラ	1	226			58			40		

※平均直径：元末口の長径、短径の平均

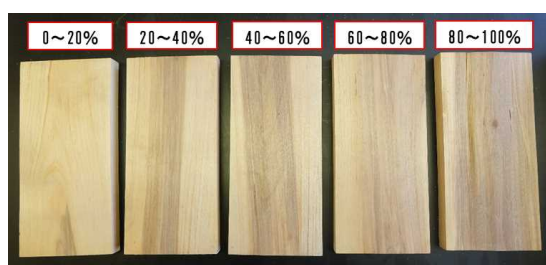


写真1 変色割合による区分 (シラカバ)

3.2 初期含水率の測定

試験体は、採材直後に初期重量を測定した後、105℃に設定した乾燥機に置き、乾燥を行った。乾燥は3日間程度行い、約12時間経過しても重量に変化がなかった時点を変量とし、全乾重量を測定し、初期含水率を算出した。

その後、初期含水率から表2のとおり7段階(A~G)に区分した³⁾。

$$U = (W_u - W_0) / W_0 \times 100$$

U : 初期含水率 (%)

W_u : 初期重量 (g)

W₀ : 全乾重量 (g)

表2 初期含水率区分

区分	A	B	C	D
初期含水率 (%)	40以下	40~60	60~80	80~100
区分	E	F	G	
初期含水率 (%)	100~120	120~140	140以上	

(出典) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社 : 309.

3.3 初期割れの測定

乾燥開始から試験体の木口面と材面の割れを観察し、割れの大きさと本数が最大となった時点初期割れとした。割れの甚だしい一方の木口面を観察し、木口割れ、木口のさけ、独立した面割れ、木口から伸びた面割れの大きさと本数を測定した。

その後、初期割れによる損傷の程度を8段階(No. 1~8)に区分した³⁾。

3.4 断面の糸巻状変形の測定

試験体の全乾重量を測定した後、試験体の中央を繊維と直角方向に切断し、切断面の最も厚い部分と最も薄い部分の厚さをノギスにより測定した。

その後、最も厚い部分と最も薄い部分の厚さの差により断面の糸巻状変形の程度を表3のとおり

8段階(No. 1~8)に区分した³⁾。

表3 断面の糸巻状変形の段階区分

区分	1	2	3	4
厚さの差 (mm)	0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.2
区分	5	6	7	8
厚さの差 (mm)	1.2~1.8	1.8~2.5	2.5~3.5	3.5以上

(出典) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社 : 401.

3.5 内部割れの測定

3.4により切断した断面の割れを観察し、細かい割れと太い割れの本数を測定した。なお、100℃試験法では割れが詳細に定義されていないため、ヘアクラックを細かい割れ、割れ幅が視認できるものを太い割れとした。

内部割れによる損傷の程度を、細かい割れ1点、太い割れ2点として試験体ごとに合計点を求め、その合計点により表4のとおり6段階(No. 1~6)に区分し、指数化した。

表4 内部割れの段階区分

区分	1	2	3	4	5	6
割れ点数 (点)	0	1~2	3~5	6~9	10~16	17以上

※細かい割れ1点/本、太い割れ2点/本

3.6 乾燥スケジュールの作成方法

表5に初期割れ、断面の糸巻状変形及び内部割れの損傷の程度による乾燥条件を示す。

3.3から3.5で指数化した初期割れ、断面の糸巻状変形及び内部割れの各損傷の程度を表5に照合し、得られた乾燥条件から、最も乾燥条件が緩やかなもの(初期温度、初期温度差及び終末温度がより低いもの)を当該試験体の乾燥条件とし、初期温度、初期温度差及び終末温度を決定した³⁾。

表5 損傷の種類と程度による乾燥条件

損傷の種類	乾燥条件	損傷の程度 (°C)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
初期割れ	初期温度	70	65	60	55	53	50	47	45
	初期温度差	6.5	5.5	4.3	3.6	3.0	2.3	2.0	1.8
	終末温度	95	90	85	83	82	81	80	79
断面の糸巻状変形	初期温度	70	66	58	54	50	49	48	47
	初期温度差	6.5	6.0	4.7	4.0	3.6	3.3	2.8	2.5
	終末温度	95	88	83	80	77	75	73	70
内部割れ	初期温度	70	55	50	49	48	45		
	初期温度差	6.5	4.5	3.8	3.3	3.0	2.5		
	終末温度	95	83	77	73	71	50		

(出典) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社: 402.

表6に乾球温度区分の各含水率範囲における乾球温度を示す。なお、表中の含水率範囲30%以上における乾球温度が各乾球温度区分の初期温度、含水率範囲15%以下における乾球温度が各乾球温度区分の終末温度となる。

乾球温度区分の中から初期温度と終末温度が、表5により決定した初期温度と終末温度に最も近いものを探し、最も乾燥条件が緩やかなものを当該試験体の乾球温度区分とした。

【乾球温度区分選択の例】

- 初期温度 54°C, 終末温度 80°C → T 8
- 初期温度 49°C, 終末温度 75°C → T 5
- 初期温度 45°C, 終末温度 50°C → T 1

表6 乾球温度区分別の各段階における乾球温度

含水率範囲 (%)	乾球温度区分 (°C)						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
30以上	38	38	43	43	50	50	55
30~25	40	43	50	50	55	55	60
25~20	40	50	55	55	60	60	65
20~15	45	55	60	60	65	65	70
15以下	50	65	70	80	70	80	70

含水率範囲 (%)	乾球温度区分 (°C)						
	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
30以上	55	60	60	65	70	75	80
30~25	60	65	65	70	77	80	90
25~20	65	70	70	70	77	80	90
20~15	70	70	77	77	80	90	95
15以下	80	70	80	80	80	90	95

(出典) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社: 309.

表7に乾湿温度差区分の各乾燥段階における乾湿球温度差を示す。なお、表中の段階1における乾湿球温度差が乾湿球温度差区分ごとの初期乾湿球温度差となる。

乾湿球温度差区分の初期乾湿球温度の中から、表5により決定した初期乾湿球温度差が最も近いものを、当該試験体の乾湿球温度差区分とした。なお、表5により決定した初期乾湿球温度差が乾湿球温度差区分の中間にあたる場合は、区分を3.5, 4.5のように表し、各段階の乾湿球温度差については、2区分の平均値とした。

表7 乾湿球温度差区分別の各段階における温度差

段階	乾湿球温度差区分 (°C)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.7	2.2	2.8	3.9	5.6	8.3	11	14
2	2.2	2.8	3.9	5.6	7.8	11	17	20
3	3.3	4.4	6.1	8.3	11	17	23	28
4	5.6	7.8	10.5	14	20	28	28	28
5	14	17	20	23	28	28	28	28
6	28	28	28	28	28	28	28	28

(出典) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社: 310.

表8に初期含水率区分別の各段階開始時の含水率を示す。

3.2により指数化した初期含水率区分を表8と照合し、各段階における含水率範囲を求めた。

その後、表8で求めた各段階の含水率範囲と表7で求めた各段階における乾湿球温度差を組み合わせ、湿度スケジュールとした。

表8 初期含水率区分別の各段階開始時の含水率

段階	初期含水率区分 (%)						
	A	B	C	D	E	F	G
1	生~30	生~35	生~40	生~50	生~60	生~70	生~2/3Ua
2	30	35	40	50	60	70	
3	25	30	35	40	50	60	
4	20	25	30	35	40	50	
5	15	20	25	30	35	40	
6	10	15	20	25	30	35	

※Ua: 初期含水率 (%)

(出典) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社: 310.

4 結果

4.1 初期含水率区分

表9に各樹種の初期含水率の平均値、標準偏差

及び変動係数を示す。

ミズナラ、コナラ、サクラは、丸太ごと及び全試験体での変動係数が10未満であり、丸太及び採材部位での初期含水率のバラツキはわずかであった。

クリは、丸太ごとの変動係数が10未満であり、採材部位での初期含水率のバラツキはわずかであったが、丸太ごとでの初期含水率の平均値はクリ A では約122%、クリ B では約110%、クリ C では約100%であり、バラツキがみられた。一方、ケヤキは、丸太ごと及び全試験体の初期含水率の平均値は約60%でバラつきはわずかであったが、変動係数は約20であり、採材部位での初期含水率のバラツキがみられた。なお、ケヤキは髓に近い試験体

ほど初期含水率が高くなる傾向がみられた。

図1に各樹種の初期含水率区分ごとの出現割合を示す。

サクラは初期含水率区分B、ミズナラ、コナラ、ケヤキ及びキハダは区分C、ホオノキ及びカツラは区分D、クリ、ニレ及びトチノキは区分Eに分布のピークが出現した。

また、センノキ、シラカバ、オノオレカンバ、ヤナギ及びエンジュは最も多く出現した初期含水率区分と次いで多く出現した区分の出現割合の差がわずかであった。

なお、クリ、オニグルミ、ヤナギは最も多く出現した初期含水率区分が丸太ごとで異なった。

表9 初期含水率の平均、標準偏差及び変動係数

樹種	丸太 No.	試験体数 (枚)	初期含水率 (%)		
			平均値	標準偏差	変動係数
ミズナラ	A	15	70	4	6
	B	24	72	3	5
	C	20	69	5	8
	全体	59	71	4	6
コナラ	A	13	65	5	7
	B	15	64	2	3
	C	15	64	4	6
	全体	43	64	4	5
クリ	A	15	122	9	7
	B	17	110	5	4
	C	13	100	4	4
	全体	45	111	11	10
サクラ	A	14	50	2	5
	B	12	58	5	8
	C	17	55	4	7
	全体	43	54	5	9
ホオノキ	A	14	89	10	11
	B	16	82	7	9
	C	6	80	9	11
	全体	36	85	9	10
オニグルミ	A	14	97	12	12
	B	8	94	13	14
	C	11	78	6	7
	全体	33	90	13	15
センノキ	A	11	91	8	8
	B	12	125	12	9
	C	11	92	13	14
	全体	34	103	19	18
シラカバ	A	16	108	14	13
	B	20	94	6	6
	C	22	112	16	15
	全体	58	105	15	14
ケヤキ	A	15	60	11	19
	B	26	64	10	16
	C	35	63	12	19
	全体	76	63	11	18
オノオレカンバ	A	13	40	4	10
	B	13	43	5	11
	C	11	40	4	9
	全体	37	41	4	10
ヤナギ	A	22	170	29	17
	B	22	135	39	29
	C	14	109	9	8
	全体	58	142	38	27
キハダ	A	15	61	8	13
	B	17	73	11	15
	C	21	71	10	14
	全体	53	69	11	16
ニレ	A	17	106	13	12
	B	15	98	12	12
	全体	32	102	13	13
エンジュ	A	17	66	8	12
	B	12	55	6	11
全体	29	61	9	15	
トチノキ	-	18	103	4	4
カツラ	-	19	94	10	10

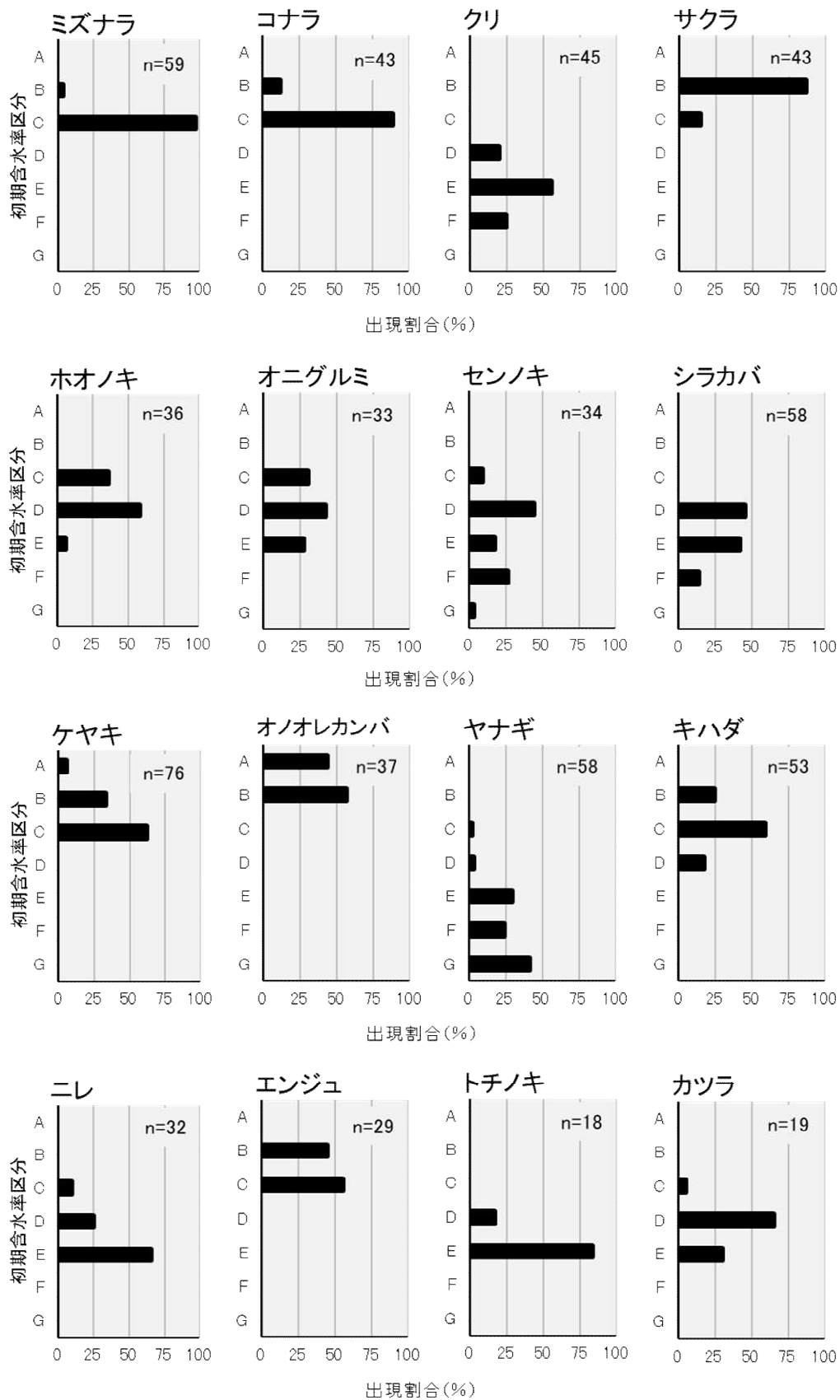


図1 初期含水率区分ごとの出現割合

4.2 初期割れ区分

図2に各樹種の初期割れ区分の出現割合を示す。ほとんどの樹種は、初期割れ区分1又は2が最も多く出現したが、ニレは区分4が最も多く出現した。

また、ミズナラ、シラカバ、ケヤキ、オノオレ、ヤナギ、キハダ及びエンジュは、わずかであるが区分4又は5が出現した。なお、シラカバは変色している箇所でのみ材面割れが観察された(写真4)。

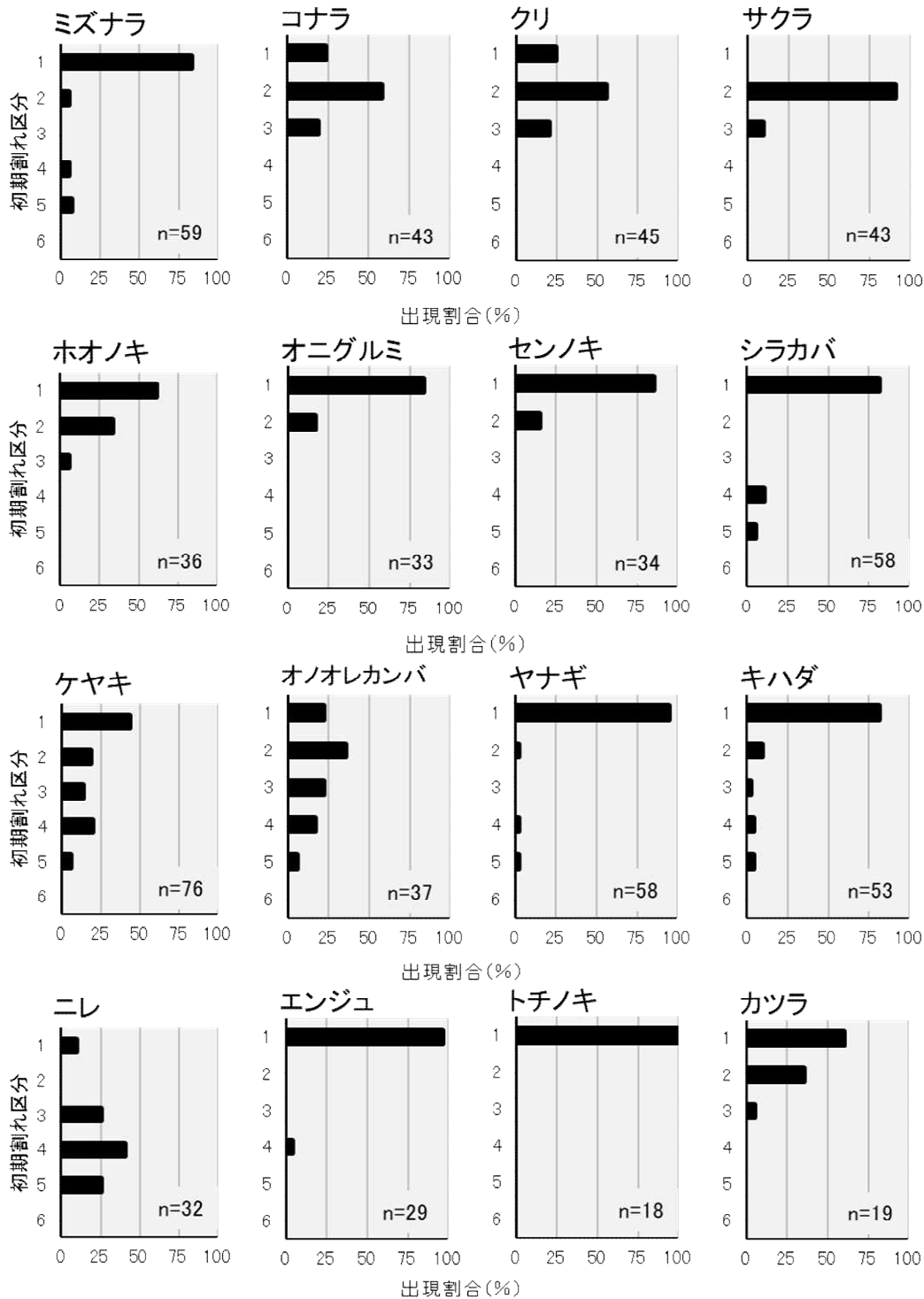


図2 初期割れ区分ごとの出現割合



写真2 ミズナラの初期割れ（材面割れ）

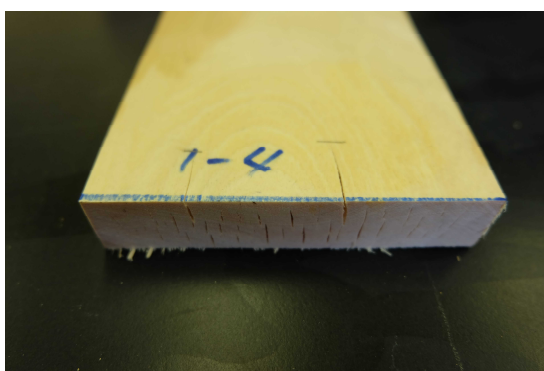


写真3 オノオレカンバの初期割れ（木口割れ）



写真4 シラカバの初期割れ（材面割れ）

4.3 断面の糸巻状変形区分

表 10 に各樹種の断面の糸巻状変形による厚さの差の平均値，標準偏差及び変動係数を示す。

断面の糸巻状変形による厚さの差の平均値は，ほとんどの樹種が 1mm 程度であったが，ミズナラとコナラは 2mm を超えた。

また，図 3 に各樹種の断面の糸巻状変形区分の出現割合を示す。

表 10 断面の糸巻状変形の平均，標準偏差及び変動係数

樹種	丸太 No.	試験体数 (枚)	断面の糸巻状変形		
			平均値(mm)	標準偏差(mm)	変動係数(%)
ミズナラ	A	15	2.4	0.6	25
	B	24	2.4	0.8	33
	C	20	1.8	0.5	28
	全体	59	2.4	0.7	29
コナラ	A	13	2.6	0.6	23
	B	15	2.2	0.7	32
	C	15	2.0	0.7	35
	全体	43	2.2	0.7	32
クリ	A	15	1.8	0.2	11
	B	17	1.7	0.2	12
	C	13	1.7	0.3	18
	全体	45	1.7	0.2	12
サクラ	A	14	1.4	0.2	14
	B	12	1.3	0.5	38
	C	17	1.5	0.3	20
	全体	43	1.4	0.3	21
ホオノキ	A	14	0.4	0.3	75
	B	16	0.6	0.2	33
	C	6	1.0	0.2	20
	全体	36	0.7	0.4	57
オニグルミ	A	14	1.3	0.3	23
	B	8	1.9	0.4	21
	C	11	1.3	0.2	15
	全体	33	1.5	0.4	27
センノキ	A	11	1.3	0.4	31
	B	12	1.6	0.6	38
	C	11	0.9	0.2	22
	全体	34	1.3	0.5	38
シラカバ	A	16	1.1	0.9	82
	B	20	0.8	0.2	25
	C	22	1.2	0.7	58
	全体	58	1.0	0.7	70
ケヤキ	A	15	1.3	0.5	38
	B	26	1.2	0.6	50
	C	35	1.4	0.6	43
	全体	76	1.3	0.6	46
オノオレカンバ	A	13	1.7	0.8	47
	B	13	1.8	0.4	22
	C	11	2.1	0.4	19
	全体	37	1.8	0.6	33
ヤナギ	A	22	0.6	0.3	50
	B	22	0.5	0.2	40
	C	14	0.5	0.2	40
	全体	58	0.5	0.2	40
キハダ	A	15	0.7	0.3	43
	B	17	0.9	0.3	33
	C	21	0.7	0.3	43
	全体	53	0.8	0.3	38
ニレ	A	17	0.8	0.2	25
	B	15	0.8	0.3	38
	全体	32	0.8	0.3	38
エンジュ	A	17	0.9	0.3	33
	B	12	1.2	0.3	25
	全体	29	1.0	0.3	30
トチノキ	-	18	0.7	0.2	29
カツラ	-	19	0.8	0.2	25

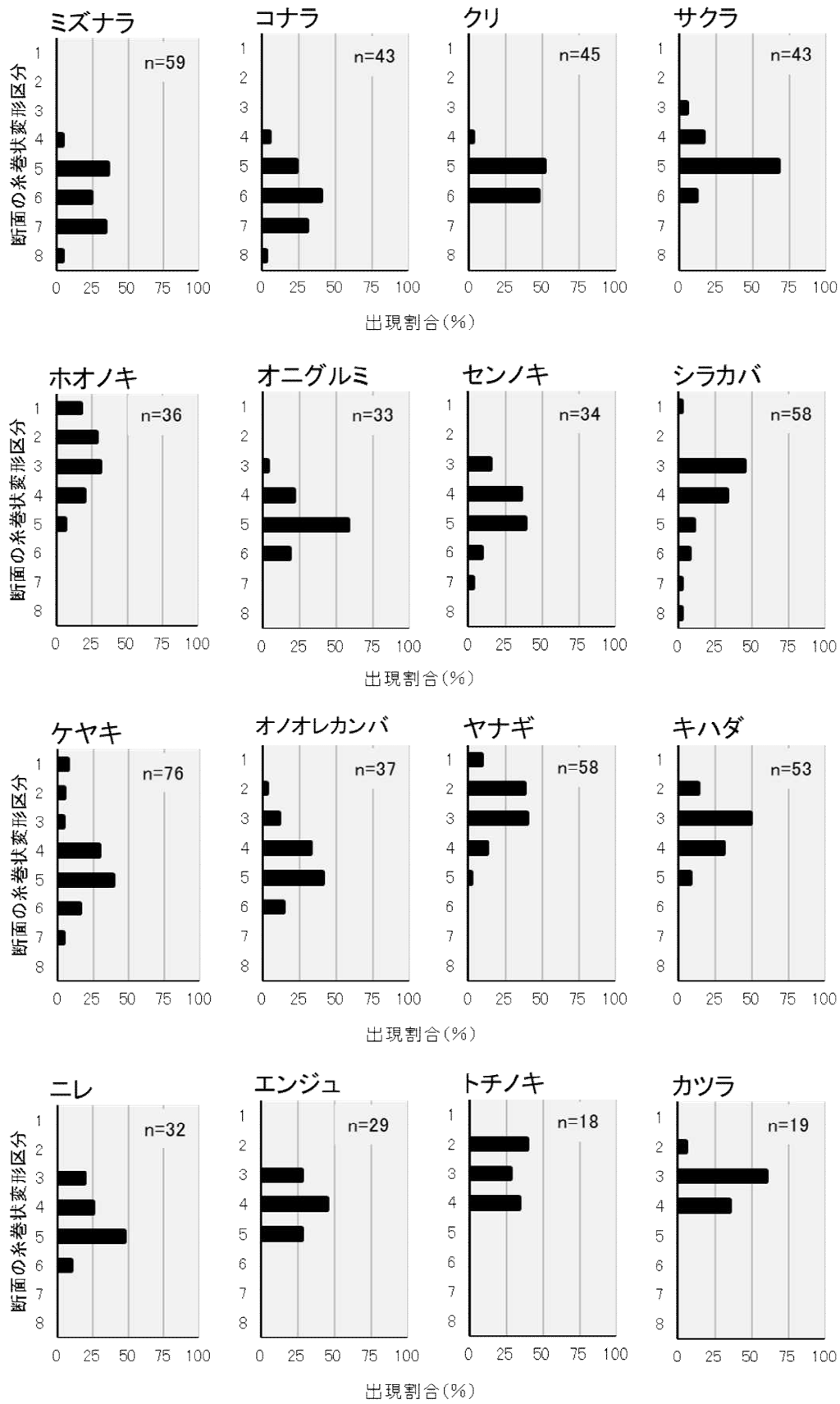


図3 断面の糸巻状変形区分ごとの出現割合

採材部位により、変形の程度が異なったため、全樹種で3つ以上の区分が出現した。

ミズナラは最大 3.8mm, コナラは最大 4.0mm の変形が観察されるなど、顕著なものも多く、区分 7 や 8 も出現した(写真5)。

また、変形についてはケヤキで、顕著な幅反りやねじれが観察された(写真7)。



写真5 ミズナラ試験体断面

4.4 内部割れ区分

図4に各樹種の内部割れ区分ごとの出現割合を示す。

内部割れは、ミズナラ、コナラ及びオノオレカンバで太い割れが顕著に観察された(写真8, 9)。

なお、ホオノキ、センノキ、エンジュ、トチノキでは、内部割れは観察されなかった(写真10)。



写真8 コナラ試験体断面



写真6 オノオレ試験体断面

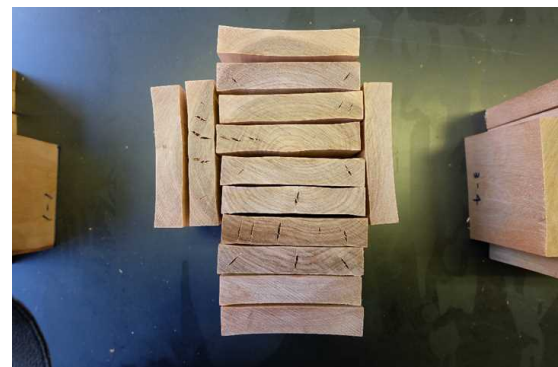


写真9 オノオレカンバ試験体断面



写真7 ケヤキ試験体(ねじれ)



写真10 センノキ試験体断面

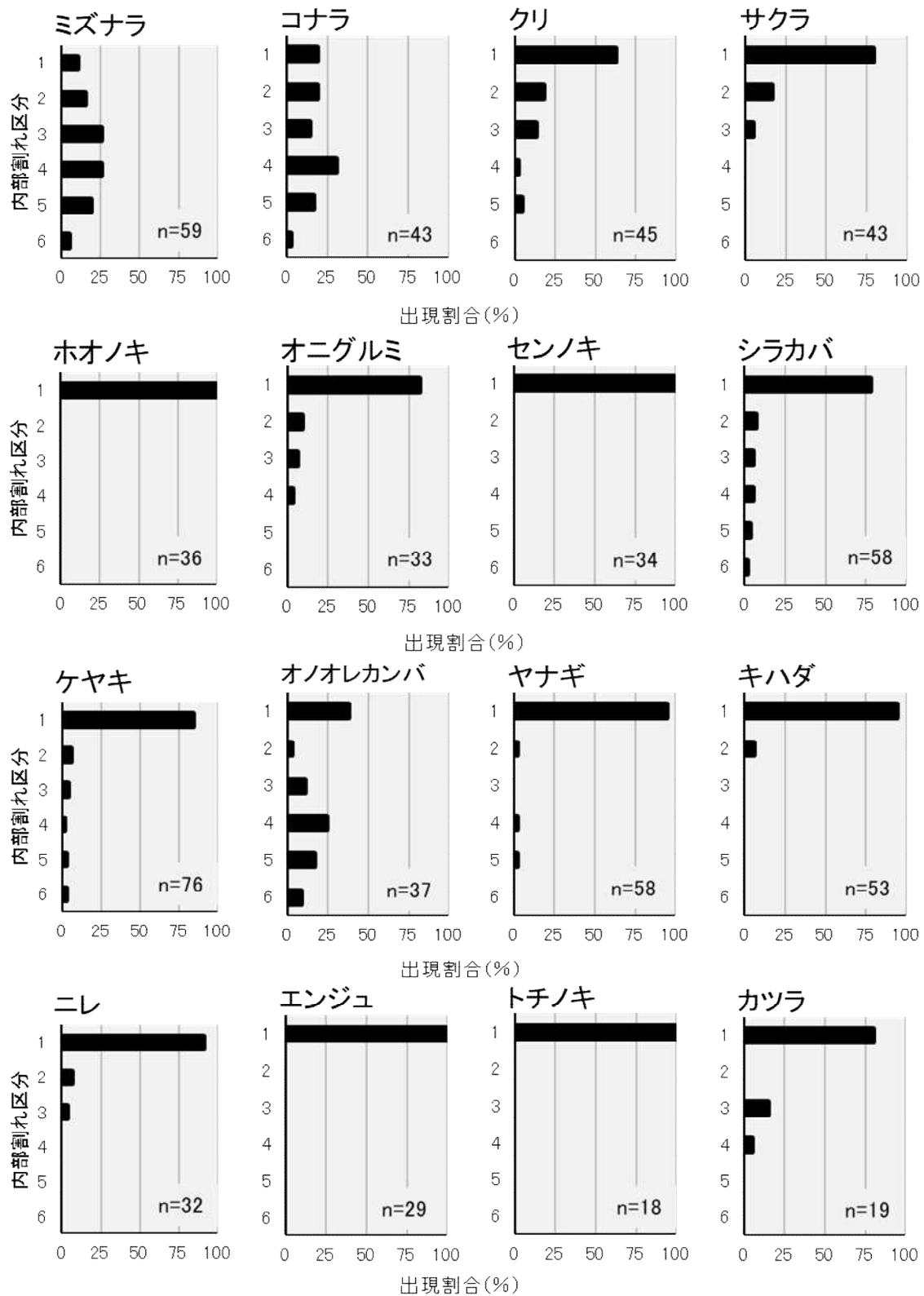


図4 内部割れ区分ごとの出現割合

4.5 乾燥スケジュールの分布

図5～20 に各樹種の乾燥スケジュールの出現割合を示す。

丸太や採材部位により、初期含水率、乾燥による割れや変形の程度が異なるため、全ての樹種において複数の乾燥スケジュールが得られた。

乾燥スケジュールの分布については、ミズナラとコナラはT3C3とT5C3.5の2つにピークが出現し、ホオノキはT8D4、T10D4.5及びT11D5の3つにピークが出現した。

また、ケヤキとヤナギは20種類と幅広い乾燥スケジュールが得られた。

なお、クリ、オニグルミ及びヤナギは、最も多く出現する初期含水率区分が丸太ごとで異なったため、乾燥スケジュールも最も多く出現したものが丸太ごとで異なった。

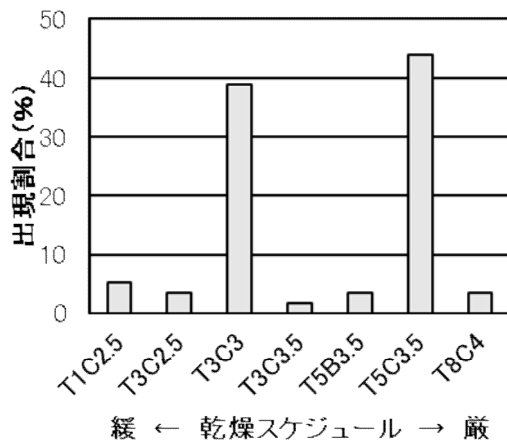


図5 乾燥スケジュールの分布(ミズナラ, n=59)

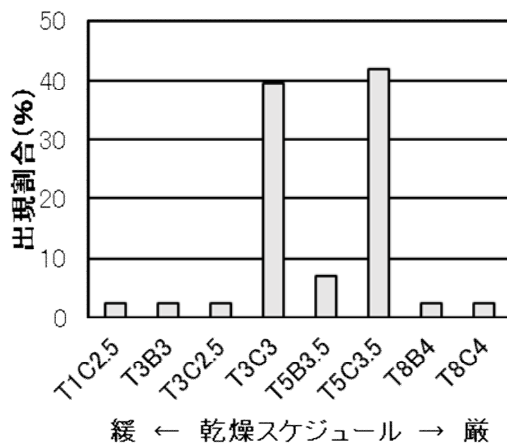


図6 乾燥スケジュールの分布(コナラ, n=43)

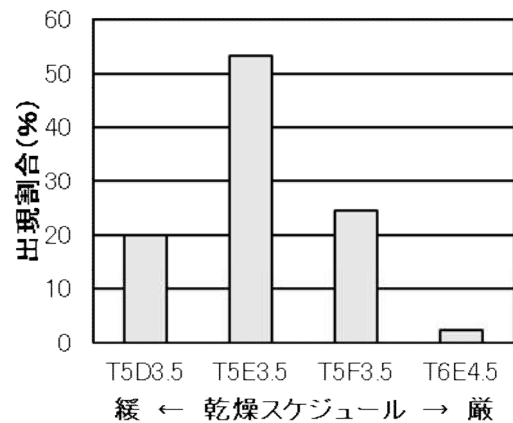


図7 乾燥スケジュールの分布(クリ, n=45)

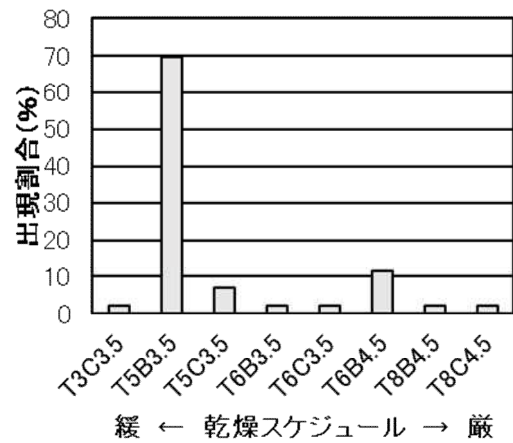


図8 乾燥スケジュールの分布(サクラ, n=43)

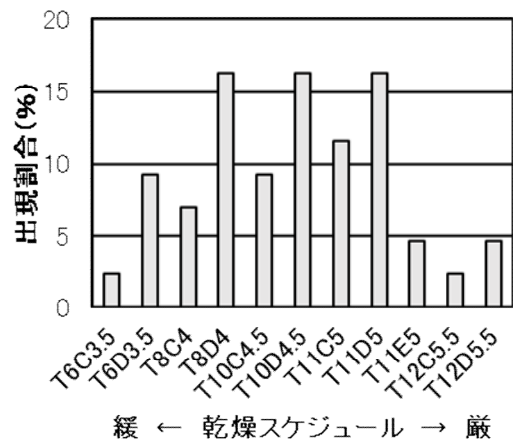


図9 乾燥スケジュールの分布(ホオノキ, n=36)

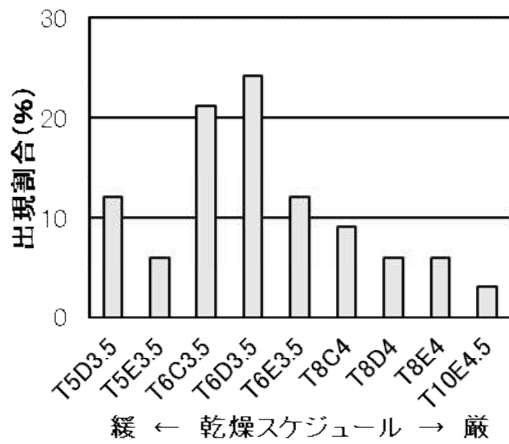


図10 乾燥スケジュールの分布(オニグルミ, n=33)

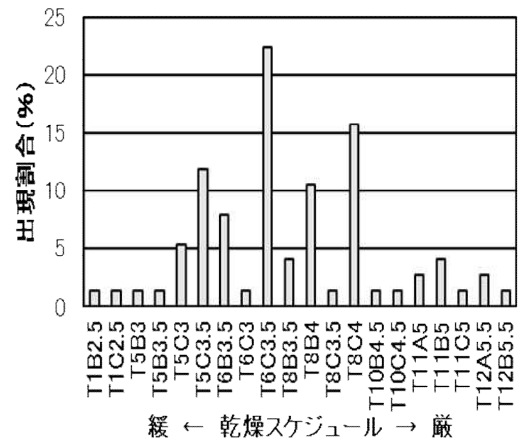


図13 乾燥スケジュールの分布(ケヤキ, n=76)

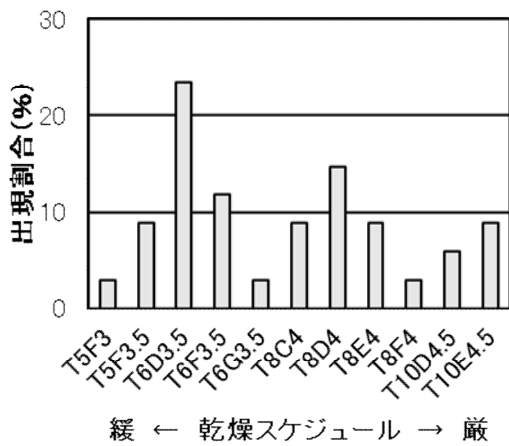


図11 乾燥スケジュールの分布(センノキ, n=34)

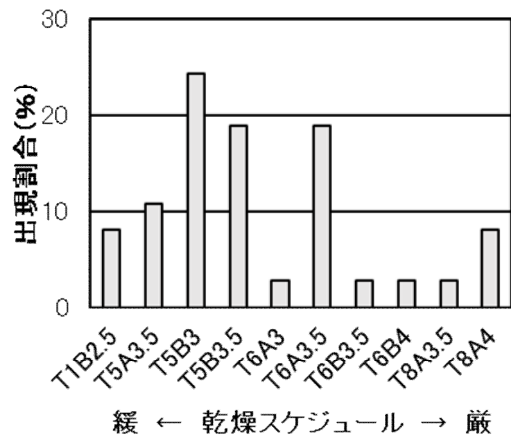


図14 乾燥スケジュールの分布(オノオレカンバ, n=37)

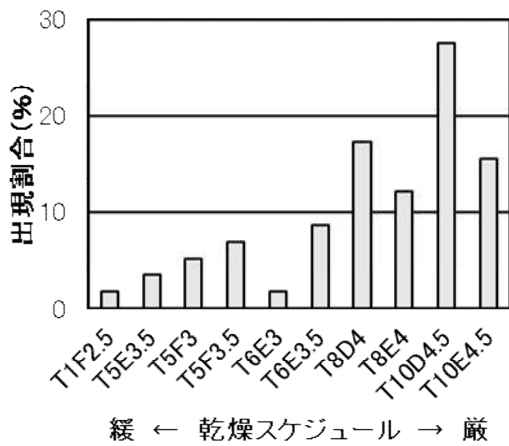


図12 乾燥スケジュールの分布(シラカバ, n=58)

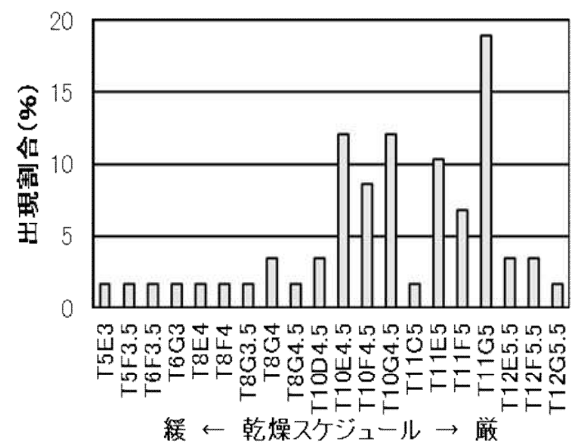


図15 乾燥スケジュールの分布(ヤナギ, n=58)

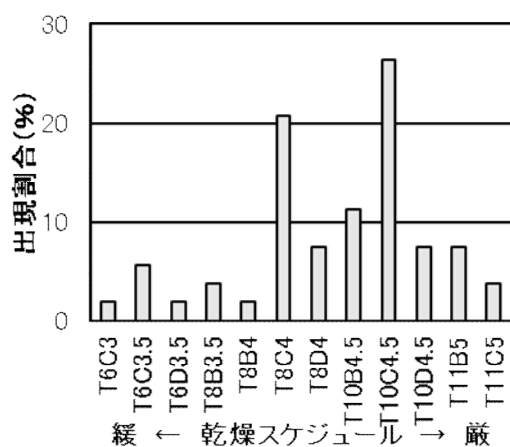


図 16 乾燥スケジュールの分布(キハダ, n=53)

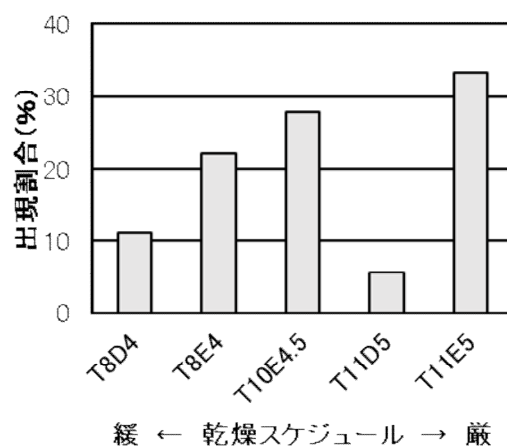


図 19 乾燥スケジュールの分布(トチノキ, n=18)

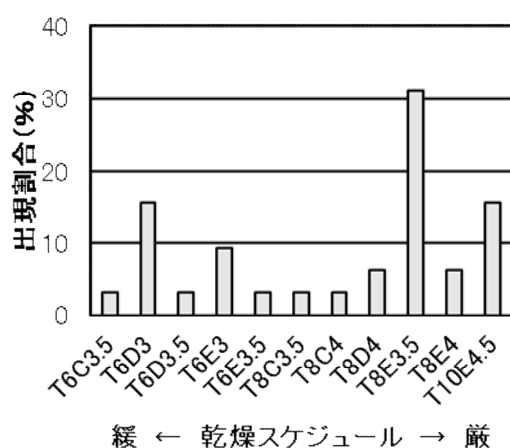


図 17 乾燥スケジュールの分布(ニレ, n=32)

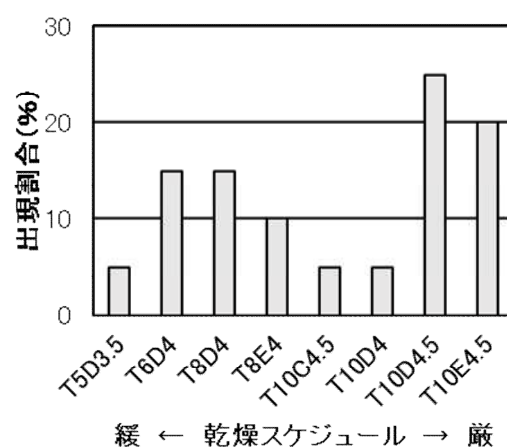


図 20 乾燥スケジュールの分布(カツラ, n=20)

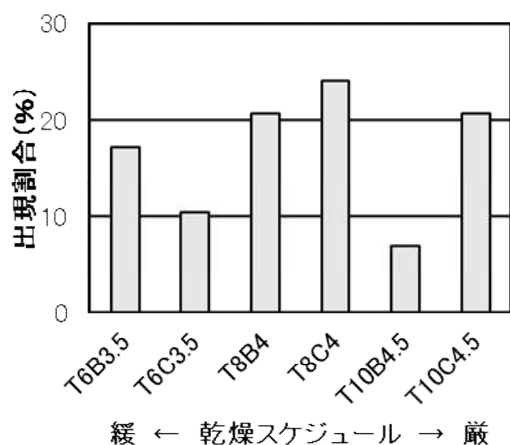


図 18 乾燥スケジュールの分布(エンジュ, n=29)

また、図 21 にシラカバの変色割合ごとの乾燥スケジュールの出現割合を示す。

シラカバは 10 種類の乾燥スケジュールが得られたが、変色割合により適した乾燥スケジュールが異なり、変色割合が高い試験体は緩やかな乾燥条件、変色割合が低い試験体は厳しい乾燥条件が適する結果となった。

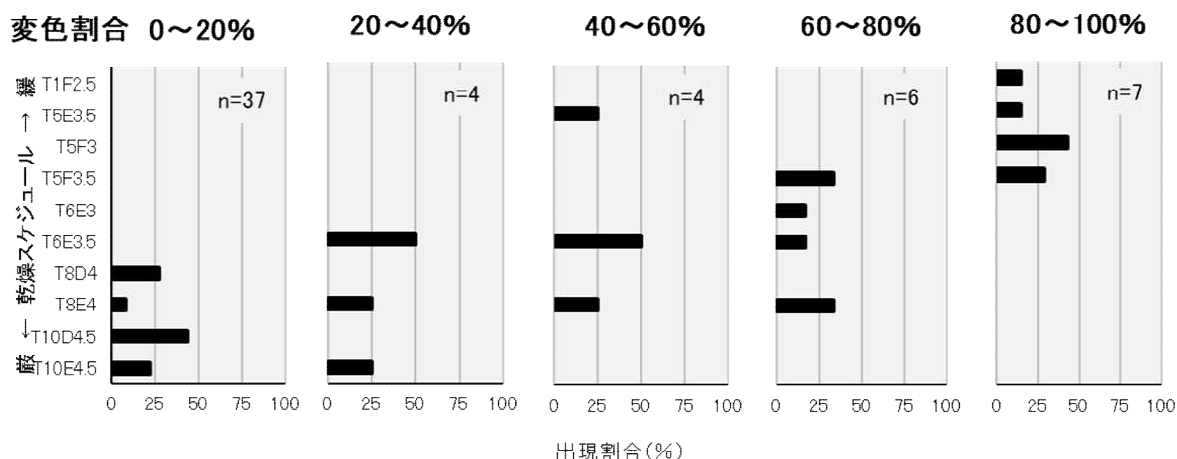


図 21 変色割合ごとの乾燥スケジュールの分布(シラカバ)

5 考察

5.1 乾燥スケジュールの選択

乾燥スケジュールを検討するにあたり、ミズナラの場合、最も多く出現した T5C3.5 のスケジュールを選択すると、試験体の半数以上 (T1C2.5 ~ T5B3.5 が適する試験体) にとって厳しい乾燥条件となる。一方、次いで多く出現した T3C3 のスケジュールを選択すると、試験体の半分以上 (T3C3.5 ~ T8C4 が適する試験体) にとって緩やかな乾燥条件となる。

適合する乾燥条件より厳しい乾燥条件で乾燥した場合、割れや狂い等が発生するリスクが高まる。一方、適合する乾燥条件より緩やかな乾燥条件で乾燥した場合、乾燥日数の増加が予想される。乾燥日数の増加は、燃料コストの増加や乾燥機の回転率低下を招く。したがって、得られた乾燥スケジュールの中から、製材品の品質と乾燥日数の許容範囲を考慮して乾燥スケジュールを選択する必要がある。

また、シラカバのように材の状態に適する乾燥スケジュールが異なる場合、実際に乾燥する材の状態により乾燥スケジュールを選択する必要がある。

5.2 100℃試験法

本試験では、供試丸太及び試験体数をこれまでの報告と比べ増やして 100℃試験法を実施した。ミズナラ、コナラ及びホオノキのように乾燥スケジュールの分布でピークが複数出現する樹種や、ケヤキやヤナギのように乾燥スケジュールが幅広く出現する樹種において、少ない試験体数で

100℃試験を実施した場合、各乾燥スケジュールの出現頻度を正確に把握できない恐れがある。

また、クリ、オニグルミ及びヤナギのように丸太ごと乾燥スケジュールの分布が異なる樹種を 1~2 本の丸太から得られた試験体で試験した場合、誤った乾燥スケジュールの分布を得る恐れがある。

そのため、100℃試験法により乾燥スケジュールを作成する場合は、供試丸太及び試験体数を増やして行い、対象樹種の正確な乾燥スケジュールの分布を得る必要がある。

6 おわりに

広葉樹 16 樹種の乾燥スケジュールを 100℃試験法により作成した。この結果、丸太や採材部位により、初期含水率及び乾燥による割れや変形の程度が異なったため、各樹種から複数の乾燥スケジュールが得られた。

乾燥スケジュールについては、得られたものの中から、製材品の品質や乾燥日数の許容範囲を考慮して選択する必要がある。

また、100℃試験法により乾燥スケジュールを作成する場合は、供試丸太や試験体数を増やすことで、対象樹種の正確な乾燥スケジュールの分布を得る必要がある。

引用文献

- 1) 岩手県農林水産部 (2022). 令和 4 年度 いわての森林・林業概要 : 40.
- 2) 農林水産省 (2022). 木材統計調査 令和 3 年木材需給報告書

- 3) 寺沢 眞 (1994). 木材乾燥のすべて. 海青社 :
163-164, 194-205, 308-311, 394-412.

(資料)

日本産トガリアミガサタケ類 6 菌株の培養特性

成松 眞樹・坂本 裕一*・佐藤 志穂*

Cultural characteristics of 6 strains of black *Morchella* species in Japan.

Maki Narimatsu, Yuichi Sakamoto*, Shiho Sato*

要 旨

日本産トガリアミガサタケ類*の培養特性を明らかにするため、温度別、pH 別培養試験や木材腐朽能試験を行った。3 種各 2 菌株、計 6 菌株を 5, 10, 15, 20, 25 および 30°C の 6 温度条件で培養した結果、平均菌糸伸長速度は 5°C から 25°C までは培養温度に応じて増大し、30°C では顕著に低下した。また、培地 pH を 5, 6, 7 および 8 として培養した結果、平均菌糸伸長速度は pH8 が最も速かったが、条件間の差は温度より小さかった。さらに、各菌株を接種した培地でバーベンダム反応が見られたことから、各菌株はいずれも木材腐朽能を有すると推測された。以上の結果から、日本産トガリアミガサタケ類の菌糸伸長に及ぼす影響は、今回試した範囲では温度が pH より大きいことや、木材腐朽能を有することが示唆された。

*アミガサタケ属菌 (*Morchella* sp.) の黒色種

キーワード: 培養温度, 培地 pH, 木材腐朽能, トガリアミガサタケ

目 次

はじめに	3.2 結果と考察
1 培養至適温度	おわりに
1.1 材料と方法	謝辞
1.1.1 供試菌株	引用文献
1.1.2 供試培地	
1.1.3 菌糸の培養と測定	
1.2 結果と考察	
2 培養至適 pH	
2.1 材料と方法	
2.1.1 供試菌株	
2.1.2 培養条件と測定	
2.2 結果と考察	
3 木材腐朽能	
3.1 材料と方法	
3.1.1 供試菌株	
3.1.2 培養条件と測定	

* 公益財団法人岩手生物工学研究センター

はじめに

アマガサタケ属菌 (*Morchella* sp.) は北半球を中心に分布する子囊菌類で、子実体の形状から黄色種 (*Esculenta* clade)、黒色種 (*Elata* clade) および *Rufobrunnea* clade に大別される (O'Donnell et al. 2011)。このうち黒色種の数種類 (*M. importuna*, *M. septimelata* など) は、主に中華人民共和国で食用として栽培されている (Liu et al. 2018)。

これまでの分子系統解析により、アマガサタケ属菌の黒色種 (以下、トガリアマガサタケ類と記す) は、日本に少なくとも3種が分布することが判明しており (坂本ら2022)、これらはいずれも岩手県内に発生することから、県内での栽培化が期待されている。筆者らは、これまでに露地やパイプハウスで栽培試験を行い、子実体の発生や栽培期間の短縮に成功したが (成松2021, 成松2022)、商業栽培を想定すると、種菌培養期間の短縮や、栽培管理手法の構築も必要である。一般に培養中の菌糸の伸長速度は、培養温度や培地の水素イオン濃度 (pH) に影響される。また、温度は栽培環境の管理指標としても重要である。さらに、アマガサタケ属菌は、種類によって腐生性を示すため (Hobbie et al. 2017)、腐生性の確認は、培地組成を決定するうえで重要である。しかし、日本産トガリアマガサタケ類の培養至適温度、培養至適pHや腐生性と言った培養特性は不明である。そこで、pHや培養温度を変えてトガリアマガサタケ類の菌糸を培養し、菌糸伸長速度を比較した。併せて、パーベンダム反応により腐生性 (リグニン分解能力) の有無を調査した。

1. 培養至適温度

1.1 材料と方法

1.1.1 供試菌株

供試菌株は日本産トガリアマガサタケ類3種類の各2菌株、計6菌株である (表, 図1)。このうちmor4S①1とMB149S③2の2菌株の種 (Genealogical concordance phylogenetic species recognition) は *Morchella* sp. *Mel*-21 であり、MB22S①1とMB86①, MB30S①1とMB130SC①4の各菌株は、それぞれ同一の不明種である (坂本ら2022)。以上の各菌株は、使用まで4℃で

表 供試菌株

菌株番号	種*	採取地	採取年	分離源
mor4S①1	<i>Morchella</i> sp. <i>Mel</i> -21	岡山県	2018	多胞子
MB22S①1	不明種1	岩手県	2018	多胞子
MB30S①1	不明種2	青森県	2018	多胞子
MB86①	不明種1	岩手県	2019	組織
MB130SC①4	不明種2	北海道	2020	単胞子
MB149S③2	<i>Morchella</i> sp. <i>Mel</i> -21	岩手県	2021	多胞子

*5 遺伝子座 (rDNA, ITS, *EF*-1, *RPB*1, *RPB*2) の塩基配列に基づく分類 (坂本ら 2022)

保存した。



図1 供試菌株を分離した子実体

左から mor4, MB22, MB86, MB86, MB130, MB149 (バーは 50 mm)

1.1.2 供試培地

前培養にはポテトデキストロース寒天 (PDA) 平板培地 (PDA (日水製薬) 39 g, 純水1000 mL) を用いた。本培養にはポテトデキストロース酵母寒天 (PDYA) 平板培地 (PDA39 g, 酵母抽出物 (OXOID) 1.5 g, 純水1000 mL) を調製し、1規定水酸化ナトリウム水溶液でpHを6に調整して、直径9 cmのプラスチック製ペトリシャーレに分注後、オートクレーブにて121℃で20分間、滅菌して用いた。シャーレの裏側には十字線を記し、菌糸伸長速度の測定線とした。

1.1.3 菌糸の培養と測定

前培養として、各供試菌株を6日間培養した。培地上に伸長した菌叢の先端を内径7 mmのコルクボウラーで打ち抜いて、各培地の中央に一片を接種し、5, 10, 15, 20, 25および30℃の6温度条件にて暗培養した。反復は菌株、温度ごとに5個とした。培養終了後、シャーレの裏側を実体顕微鏡で観察し、菌叢の先端と測定線の交点を油性ペンで標識した。接種した菌糸片の縁と各交点の距離をデジタルノギスで測定し、測定線4本の平均値を当該試料の代表値として、培養日数(4日)で除して菌糸伸長速度を算出した。

1.2 結果と考察

菌糸伸長は各条件で見られた (図2, 図3)。菌糸伸長速度は5℃から25℃までは培養温度に応じて増大し、30℃ではMB149S③2を除いて顕著に低下した (図2)。供試6菌株の平均菌糸伸長速度は8.4 mm/日 (25℃) ~ 0.9 mm/日 (5℃) で、

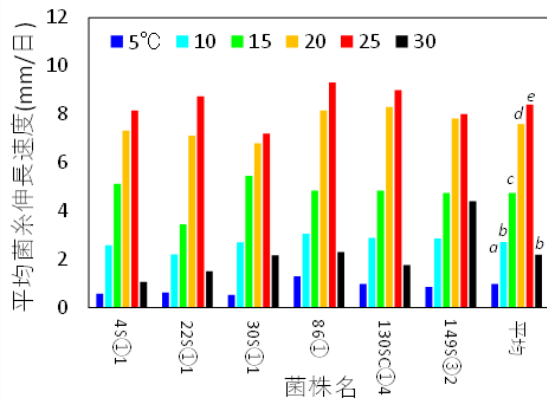


図2 各培養温度における各菌株の平均菌糸伸長速度

各菌株を图中的各培養温度で pH6 にて 4 日間培養した。異なるアルファベットは培養温度間の有意差を示す。(p<0.05, Tukey-Kramer の多重比較)

25 °C が他の温度より速かった (p<0.05, Tukey-Kramer の多重比較, 図2, 図4)。一方, 菌株ごとに見ると, 6 菌株中 4 菌株は, 25 °C と 20 °C が同程度であった。

以上の結果から, 今回用いた菌株の培養至適温度は, 20°C ~ 25°C の範囲にあることが推察された。蔡ら(2020)は, *Morchella* sp. *Mel*-21 の菌糸伸長至適温度を 23 °C としている。また, Winder2006 は, トガリアミガサタケ類の 1 菌株を 24°C で培養し, 菌糸伸長速度を 9.0 mm/日と報告している。今回の結果は, これらの既報と同程度であった。一方, 30 °C では 6 菌株中 5 菌株で菌糸伸長速度が急速に低下した。これらのことから, 精密な温度管理が難しい野外での栽培において, 高温による菌糸伸長の抑制(高温障害)を回避するためには, 20 °C を上限として管理することが妥当と考える。

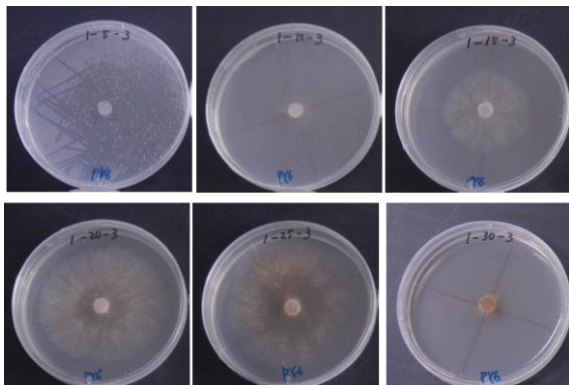


図3 各培養温度で培養した 4S①1 株の菌叢
左上から右下に, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C および 30°C で 4 日間培養した菌叢を示す。

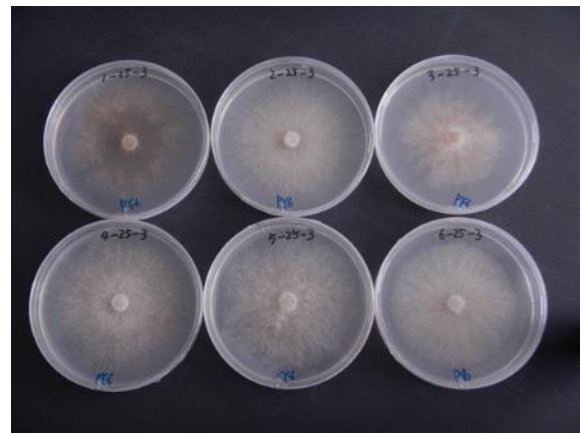


図4 25°C で 4 日間培養した各菌株の菌叢
左上から右下に, mor4S①1, MB22S①1, MB30S①1, MB86①, MB130SC①4 および MB149S③2 の各菌株を示す。

2 培養至適 pH

2.1 材料と方法

2.1.1 供試菌株

1. 培養至適温度調査と同一の菌株を用いた(表1)。

2.1.2 培養条件と測定

PDYA 培地(1.1.2)の pH を, 1 規定水酸化ナトリウム水溶液で 5, 6, 7 および 8 に調整した。培養至適温度調査と同様に滅菌, 分注, 接種し, 20°C で 4 日間暗培養した。反復数は各条件 5 個とした。培養終了後, 培養至適温度調査と同様に菌糸伸長速度を算出した。

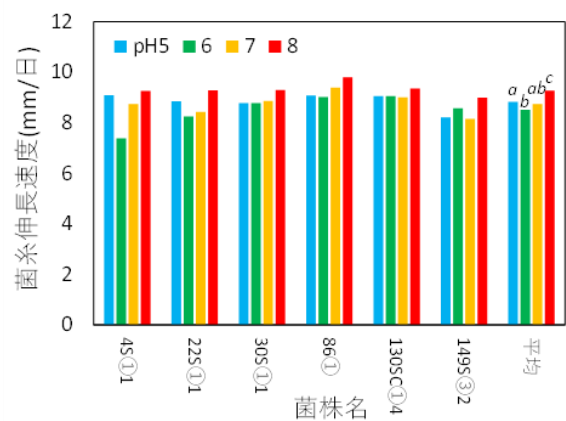


図5 各培地 pH における各菌株の平均菌糸伸長速度

各菌株を图中的各 pH の培地で 20°C にて 4 日間培養した。異なるアルファベットは培地 pH 間の有意差を示す。(p<0.05, Tukey-Kramer の多重比較)

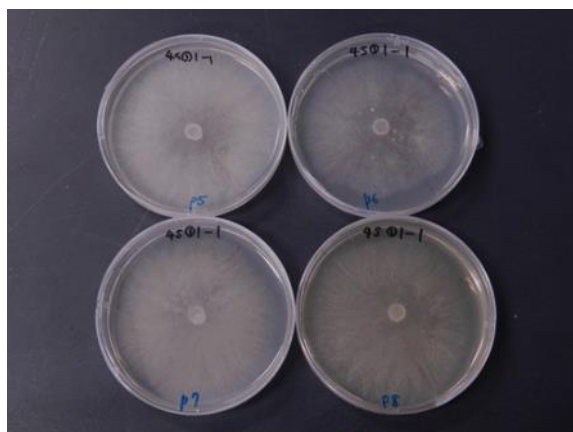


図6 各培地 pH で培養した 4S①1 株の菌叢
左上から右下に、pH5、pH6、pH7 および pH8 の各培地で 4 日間培養した菌叢を示す。

2.2 結果と考察

菌糸伸長は各条件で見られた(図5, 図6)。各培地pHにおける供試6菌株の平均菌糸伸長速度は、pH5が8.8mm/日、pH6が8.5mm/日、pH7が8.7mm/日、pH8が9.2mm/日であり、pH8が最も速かった ($p < 0.05$, Tukey-Kramerの多重比較, 図5, 図7)。菌株ごとに見た場合でも、菌糸伸長速度がpH8で速い傾向は、子実体発生能を有するMB4S①1株やMB149S③2株を含む各菌株で認められた(図5)。以上の結果から、今回用いた菌株の培養至適pHは8ではあるものの、条件間の差は培養温度に比べて小さいことが明らかになった。トガリアミガサタケ類の培養至適pHは、6~8(趙 et al., 2009)或いは7~7.5(Winder, 2006)とされており、今回の結果は既報と同程度であった。

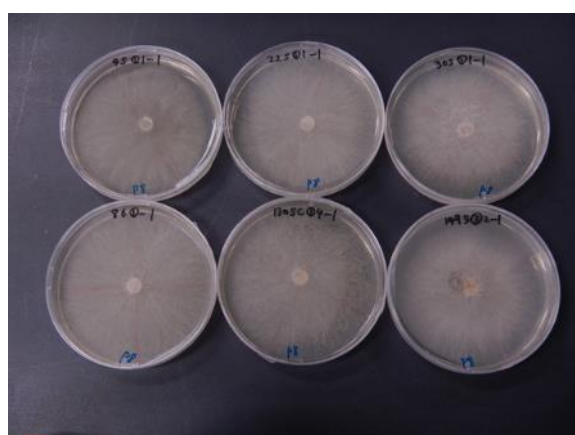


図7 pH8 の培地で 4 日間培養した各菌株の菌叢

左上から右下に、mor4S①1、MB22S①1、MB30S①1、MB86①、MB130SC①4 および MB149S③2 の各菌株を示す

3 木材腐朽能

3.1 材料と方法

3.1.1 供試菌株

1.培養至適温度調査と同一の菌株(表)に加え、木材腐朽能力の比較のため、シイタケ(*Lentinula edodes*, 森290号, 森産業)も用いた。

3.1.2 培養条件と測定

PDA培地を50%濃度にて調製し、*o*-メトキシフェノール(グアヤコール, 和光純薬工業)を培地重量の0.01%添加した(玉井1991を改変)。グアヤコールはフェノール類の一種であり、リグニン分解酵素などのフェノール酸化酵素の存在下で着色体を形成することから(パーベンダム反応)、木材腐朽菌におけるリグニン分解能力の指標の一つとして用いられる(Nishida et al., 1988)。培養至適温度調査と同様に滅菌、分注した後、各菌株を接種し、20℃で4日間暗培養した。反復数は各条件5個とした。培養終了後、菌叢周辺の培地の褐変(呈色反応)の有無を観察し、呈色反応が認められた場合には、当該試料がリグニン分解能力を有するとみなした。

3.2 結果と考察

各菌株で接種片を中心に培地が変色した(図8)。呈色反応の範囲はシイタケ(図8右下)よりも大きかったことから、今回用いた菌株は、いずれもシイタケと同程度以上のリグニン分解能力を有すると推測された。一般にトガリアミガサタケ類の栽培では、培地基材として木粉や稲わら等の植物由来の資材が用い

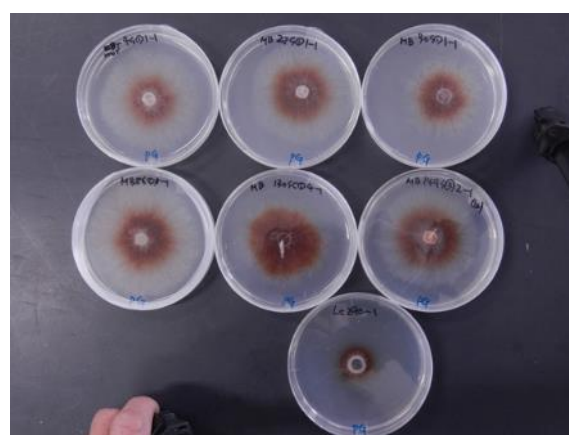


図8 各菌株の菌叢周辺で呈された培地の褐変
左上から右下に、mor4S①1、MB22S①1、MB30S①1、MB86①、MB130SC①4、MB149S③2 およびシイタケ森290号の各菌株を、グアヤコール添加培地で4日間培養した結果を示す。

られる(Liu et al. 2018)。培地基材の主目的は、通気性の確保や菌糸の担体であるが、今回の供試菌株を含む、リグニン分解能力を有する菌株を用いた場合には、培地基材を分解し、栄養分を得ている可能性がある。

おわりに

本研究の結果から、日本産トガリアミガサタケ類の菌糸伸長に及ぼす影響は、今回試した範囲では温度がpHより大きいことや、木材腐朽能を有することが示唆された。

謝辞

子実体や情報をご提供いただいた皆様に、心より御礼を申し上げます。中華人民共和国中国科学院昆明植物研究所趙琪博士、雲南省高原特色農業産業研究所桂明英副院長、雲南農業大学馬嘯教授、岩手県雲南事務所職員、他雲南省各位に感謝します。実験方法をご指導いただいた北海道大学玉井裕教授に謝意を表します。

引用文献

- 蔡英丽・马晓龙・路等学・张亚・刘伟 (2020) 野生羊肚菌*Mel-21*的系統發育分析和馴化. 食用菌学报27: 23-29
- Hobbie, A., Rice, F., Weber, S., Smith, E. (2016) Isotopic evidence indicates saprotrophy in post-fire *Morchella* in Oregon and Alaska. *Mycologia* 108: 638-645
- Liu Q., Ma H., Zhang Y., Dong C. (2018) Artificial cultivation of true morels: current state, issues and perspectives. *Critical Reviews in Biotechnolog* 38: 259-271
- 成松眞樹(2021) 日本産菌株を用いたアミガサタケ栽培技術の開発(1) 菌株収集と屋外栽培試験. 岩手県林業技術センター研究成果速報No. 365
- 成松眞樹(2022) 日本産菌株を用いたアミガサタケ栽培技術の開発(2) パイプハウスを用いた栽培試験. 岩手県林業技術センター研究成果速報No. 372
- Nishida T., Kashino Y., Mimura A., Takahara Y. (1988) Lignin biodegradation by wood-rotting fungi I. screening of lignin-degrading fungi. *Mokuzai gakkaiishi* 34: 530-536
- O' Donnell, K., Rooney, P., Mills, L., Kuo, M., Weber, S., Rehner, A. (2011) Phylogeny and historical biogeography of true morels (*Morchella*) reveals an early Cretaceous origin and high continental endemism and provincialism in the Holarctic. *Fungal Genetics and Biology* 48: 252-265
- 坂本裕一・佐藤志穂・木下晃彦・成松眞樹(2022) 日本産黒色型アミガサタケの系統解析. 日本きのこ学会第25回大会講演要旨集**

玉井裕(1991) 電氣的細胞融合による食用担子菌の品種改良に関する研究. 北海道大学. 博士(農学) 甲第2934号

Winder, S. (2006) Cultural studies of *Morchella elata*. *Mycological Research* 110: 612-62

赵琪・徐中志・程远辉・戚淑威・侯志江 (2009) 尖頂羊肚菌仿生栽培技術. 西南農業学报22: 1-4

令和5年3月

岩手県林業技術センター研究報告

第31号

発行所 岩手県林業技術センター
〒028-3623
岩手県紫波郡矢巾町大字煙山
第3地割560番地11
電話 (019) 697-1536

<http://www2.pref.iwate.jp/~hp1017>
