

播種時におけるコナラ種子の乾燥が芽生えの発達経過と成長量に及ぼす影響

阿部信之¹⁾・橋本良二²⁾

1) ネクサス(株) Nexus Inc., Morioka

2) 岩手大学農学部 Fac. of Agri., Iwate Univ.

摘要: 播種時におけるコナラ種子の乾燥が、芽生えの発達経過や成長量にどのように影響するかを調べた。播種から出芽までの期間は、無乾燥に比べ弱度の乾燥でむしろ短くなり、さらに乾燥日数が増すと長くなった。播種から出芽までの期間の長い芽生えでは上胚軸伸長期間や展葉期間は短くなった。しかし、播種から展葉終了までの全期間は、播種から出芽までの期間に依存していた。種子乾燥にともなう播種から出芽までの期間の増大は、種子の脱水率の増大で説明されなかった。種子乾燥がもたらす芽生えの成長量の低下については、播種から出芽までの期間の長期化と脱水率の増大がそれぞれ関係していた。乾燥にともなう不出芽種子の出現状況を考えあわせ、播種に際しては、乾燥日数で5日間、脱水率では10%に至らない取り扱いが、一応の目安になると判断した。
キーワード: コナラ種子, 乾燥日数, 脱水率, 出芽, 発達経過, 成長量

ABE, Nobuyuki and HASHIMOTO, Ryoji: **Influences of seed drying of *Quercus serrata* at sowing time on the growth progress and amount of seedlings**

Abstract: The influences on the growth progress and amount of seedlings from drying *Quercus serrata* seeds at sowing time were investigated. The period from sowing to epicotyl emergence was shortened by drying seeds for one day compared with not drying them, but it was prolonged by further drying. The seeds with longer periods from sowing to epicotyl emergence had shorter periods of epicotyl elongation and leaves expansion, but the entire period from sowing to full expansion of leaves depended largely upon the period from sowing to epicotyl emergence. The period from sowing to epicotyl emergence was not correlated with the desiccation ratios of the seeds. The two parameters, period from sowing to epicotyl emergence and seed desiccation ratio, seemed to act on the growth amount of seedlings separately through physiologically different processes. Judging from the occurrence data of seeds that did not show epicotyl emergence, it would become a tentative criterion to retain seed drying less than five days and seed desiccation ratio less than 10%, in order to reduce the minus effect of seed drying at sowing time.

Key words: *Quercus serrata* seed, days of seed drying, desiccation ratio, epicotyl emergence, growth progress, growth amount

1. はじめに

わが国の冷温帯および暖温帯地域の都市近郊や農山村集落周辺には、コナラ (*Quercus serrata* Thunb.) を主体とする落葉広葉樹二次林が広く分布している^{19-20), 23), 27)}。これらの林では、古くから伐採が繰り返され、その都度伐根から発生する萌芽枝による無性繁殖で更新がおこなわれてきた。そのため、萌芽再生力が衰え、伐採時点で既に腐朽の入った伐根もあり、幹の真っ直ぐな大径木が育ちにくい林分構成になっている^{14-15), 27), 36)}。こうした荒れた林を実生により更新し昔の姿に復元しようとする、“雑木林再生”あるいは“里山再生”の地域活動は、各地で盛んになってきている^{18), 21-22), 24-25)}。早く確実に後継樹を育てるには、畑などで苗木を育て現地に持ち込み植える植樹造林法が好ましい³⁵⁾。一方、現地に直に種子を播き芽生えを育てる播種造林法も、育苗地が不要で育苗管理の手間が省けるなどのメリットがあり、大いに検討すべ

きであろう³²⁾。何れの方法を採用するにせよ、種子-芽生え期の個体の成長特性について十分理解しておく必要がある。

コナラ属の種子は、よく知られているように、乾燥に敏感に反応し、高含水率を保持したまま短期間で発芽力を喪失することから、リカルシトラント種子 (recalcitrant seeds) と呼ばれ、他の多くのオーソドックス種子 (orthodox seeds) と区別されている³⁰⁾。種子を採取した後、播種までの間、さらには播種して後、吸水が安定しておこなわれるまでの間、種子は程度の差はあれさまざまな乾燥環境下におかれる¹⁶⁻¹⁷⁾。これまで、コナラ属の種子の乾燥については、含水率低下にともなう発芽力の喪失に注目して研究がおこなわれてきた^{4), 7-8), 11-12), 33)}。しかし、種子乾燥がその後発生する芽生えの発達経過や成長量にどのように影響するかについて扱った研究はほとんど見あたらず、不明な点が少なくない。種子-芽生え期の成長反応は、個体が環境ストレスに耐え、雑草木との厳しい資源競合下で確実に定着するうえで、重要な意

味をもっている^{2-3), 6), 17), 34), 37)}。

種子-芽生え期の個体の発達は、種子の吸水に始まり、種子貯蔵物質を消費しながら発芽、出芽を経て初生葉の展開に至る一連の段階からなっている。種子に対する乾燥の影響には、乾燥時間と結びついて生じるものと含水率低下と結びついて生じるものがあるとされ²⁸⁾、吸水・水移動に係る細胞の水分特性^{8), 29)}、植物ホルモンによる成長制御⁹⁻¹⁰⁾、細胞内の物質代謝⁷⁾などが密接に関係している。

本研究は、乾燥に敏感に反応するコナラ種子について播種に際しての取り扱い方法を明確にする目的で、播種時の乾燥(播種前の乾燥あるいは播種後の安定吸水前の乾燥)が芽生えの発達経過や成長量に与える影響を調べた。種子の乾燥期間や脱水率のかかわりに注目し、生理諸過程と結びつけて考察した。また、実際の芽生えの育成に資する意味で、種子乾燥の許容レベルについて言及した。

コナラ属では、植物形態学上、堅果(殻斗果)から殻斗と果皮を除いたものが種子であるが、本研究では便宜的に種子を包む果皮を含めて種子と呼んだ。また、播種の用語は、造林学では小さな種子を地面に播き広げる作業を指すが、比較的種子サイズの大きいコナラ種子のようなものを手で地表下に埋め込む作業も播種と呼んだ。

2. 材料と方法

2.1 供試種子と乾燥処理

供試種子は、2003年10月、長野県佐久地方のコナラを主体とする落葉広葉樹二次林で採取した。採取後は種子を水に漬け、浮くものを除き、1晩吸水させた。その後、内側をビニール被覆した紙袋に入れ、温度制御可能な冷蔵庫に2.5~4.5℃で貯蔵した。

2004年4月18日、種子を冷蔵庫から取り出し、気温20±1.8℃、相対湿度42~48%に制御された実験室で、0, 1, 3, 5日間の乾燥処理をおこなった。各乾燥処理で種子重構成がそろうように48粒を選び、種子乾燥は1粒ずつプラスチックトレー(2×3×1.5(深さ)cm)に入れ実験台に並べておこなった。種子にはファンなどで直接風を当てるようなことはしなかった。トレー上の風速は、0.2~0.4 m/secであった。以下、各処理を0, 1, 3, 5日乾燥と呼ぶ。なお、0日乾燥は無乾燥を意味する。

乾燥処理の前と後に種子の重量(W_1 , W_2)を測定し、乾燥処理による含水量の減少を $100(W_1 - W_2)/W_1$ (%)で相対評価し、脱水率と呼んだ。乾燥処理前の種子の対乾重ベースの含水率は、供試種子と別に20粒の種子で調べた結果、 $57.6 \pm 1.8\%$ であった。また、同様に20粒の種子で調べた果皮部の重量比率(上記 W_1 をベース)は $15.6 \pm 2.8\%$ であった。

2.2 播種試験と成長記録

播種試験は、盛岡市上田にある岩手大学の構内の圃場(東経141°9′, 北緯39°42′, 標高125 m)でおこなった。本圃場(2.7 ha)は、北上川の河岸段丘地帯に位置し、冷温帯気候下にあり⁵⁾、南東3.1 km離れた盛岡気象台での観測値に

よると、1985年から2004年までの20年間の年平均気温、暖かさの指数、年平均降水量はそれぞれ10.3℃, 83.2℃・月, 1,015 mmであった。播種日は、0日, 1日, 3日, 5日乾燥でそれぞれ4月18日, 19日, 21日, 23日であった。黒色プラスチック製の丸型ポット(上部直径32 cm, 下部直径24 cm, 深さ28 cm)に、市販の鹿沼土を培地として入れ、十分給水した後、種子を16粒ずつ見え隠れする程度の深さに横おきに埋め込んだ。ポットは圃場内のよく開けた場所におき、雨滴侵食を避け培地表面の温度上昇や乾燥を抑えるため、プラスチック製で透明の波板(遮光率約10%)で屋根をかけた。直射光によるポット内部の温度上昇を抑えるため、ポットを地表下20 cmの深さまで埋めた。

試験期間中、ポット上の日射量と気温を測定し、データロガーに記録した。日射量は光合成有効量子束密度(PPFD)を10秒間隔に測定し10分間の平均を、気温は30分間隔の測定値を記録した。図-1に、試験期間中の日光量子束密度と日平均気温の推移を示す。日光量子束密度は、4月下旬, 5月中旬, 6月下旬に低い日が比較的多く見られた。平均気温は、4月下旬に5℃以下に低下する期間があったが、それ以降はほぼ順調に7月初めまで1週間に約0.9℃の増加率で上昇した。試験期間中の4月, 5月, 6月の平均気温は、それぞれ9.0, 15.2, 19.7℃であった。

播種後は、培地表層が適度に湿った状態に保たれるよう、1~数日おきにこまめに給水をおこなった。種子および芽生えを2~3日おきに観察し(図-2)、発根が認められた日(発芽日)、種子上胚軸が地表に出た日(出芽日)、上胚軸先端部の芽が開き葉の長さが5~10 mmほどに達した日(展葉開始日)を記録した。出芽後は、約2~3週間の間隔で液肥を施した。液肥は、家庭園芸用肥料(ハイポネックス5-10-5液, 村上物産(株), 東京)を用い、1回1ポットあたり500倍希釈液11を与えた。出芽後は上胚軸について地際からの伸長量を測定した。展葉開始後はそれぞれの芽生えで1枚の葉を選びその長さを測定し、葉の成長が止まった日(展葉

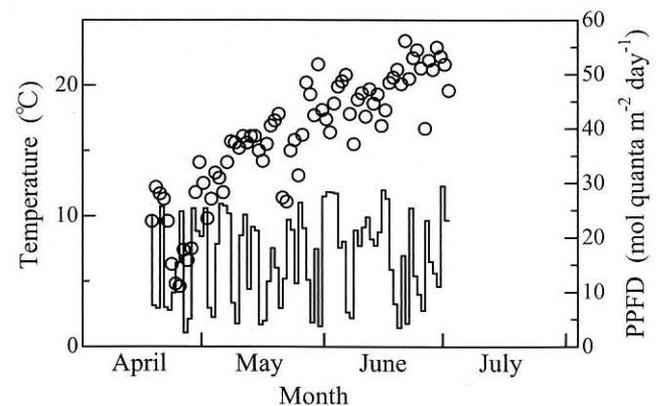


図-1 試験期間中の日光量子束密度(光合成有効)と日平均気温の推移

Fig. 1 Changes in daily photon flux density (photosynthetically available) and mean temperature during experimental period

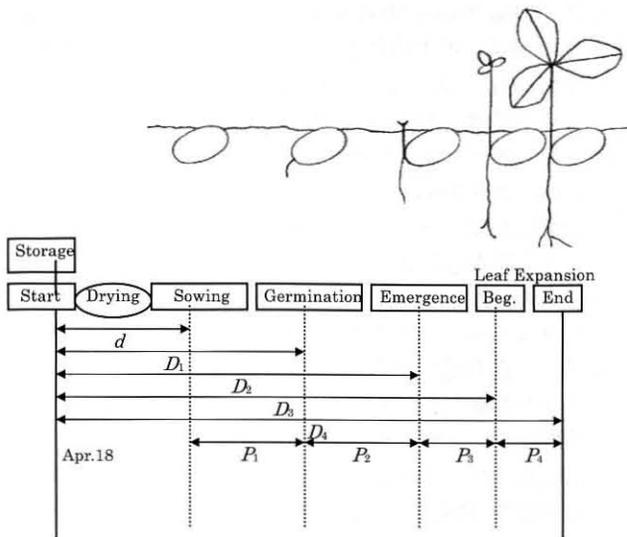


図-2 種子乾燥処理と芽生えの発達経過

d は乾燥日数。 D_1 , D_2 , D_3 , D_4 はそれぞれ発芽日, 出芽日, 展葉開始日(上胚軸伸長終了日), 展葉終了日で, 4月18日からの起算日数。 P_1 , P_2 , P_3 , P_4 はそれぞれ播種から発芽までの期間, 発芽から出芽までの期間, 上胚軸伸長期間, 展葉期間。

Fig. 2 Treatments of seed drying and growth progress of seedlings

Symbol d shows the number of days of seed drying. D_1 , D_2 , D_3 and D_4 are days counted from April 18, for germination, epicotyl emergence, beginning (end of epicotyl elongation) and end of leaf expansion, respectively. P_1 , P_2 , P_3 and P_4 are periods from sowing to germination, from germination to epicotyl emergence, periods of epicotyl elongation and leaf expansion, respectively.

終了日)を決定した。発芽日, 出芽日, 展葉開始日, 展葉終了日は, 統計処理の際には試験開始日(種子を冷蔵庫から取り出し乾燥処理を開始した日)から起算した日数(D_1 , D_2 , D_3 , D_4)で表した。また, 播種日から発芽日, 発芽日から出芽日, 出芽日から展葉開始日, 展葉開始日から終了日までの期間を, それぞれ P_1 , P_2 , P_3 , P_4 で表わした。なお, 展葉開

表-1 種子乾燥処理と出芽率

Table 1 Treatments of seed drying and ratios of epicotyl emergence

Seed drying (days)	Pots	Seed			Epicotyl emergence	
		n	Weight (g)	Desiccation ratio (%)	n	Ratio (%)
0	3	48	1.61 ± 0.52	0.00 ± 0.00	31	64.6
1	3	48	1.58 ± 0.46	5.37 ± 2.25	30	62.5
3	3	48	1.54 ± 0.37	7.79 ± 2.56	31	64.6
5	3	48	1.56 ± 0.42	11.72 ± 5.16	25	52.1

Epicotyl emergence は出芽を表わす。種子重は乾燥処理前の値, 脱水率はその値をベースにした。重量, 百分率のデータは平均値と標準偏差を表わす。

Seed weight is that before drying; Desiccation ratio is based on its value. Data of weight and percentage are means and standard deviations.

始は上胚軸の伸長停止とほぼ同時であったことから, P_3 を上胚軸伸長期間, P_4 を展葉期間と呼んだ。本研究では, 種子の発根を観察するための特別な工夫をしていないので, 発根の確認は地表に見えている種子の先端付近の外観にもとづくが, 種子によってはごく少量の土粒をピンセットで静かにつまみ動かし, 観察後にもとにもどすケースもあった。

出芽したすべての芽生えで展葉終了を確認した後, 7月3日に試験を終了した。試験終了時点では, 一部芽生えで二次伸長¹⁾が始まっていたが, 活発化する前であった。芽生えは, 掘り取った後, 器官別に切り分け, 葉の面積と各器官の乾重を測定した。葉の面積は, コンピュータに葉身の画像データを取り込み, 画像処理ソフトウェアで求めた。各器官の乾重は, 試料を定温乾燥機に入れ 80℃ で 24 時間乾燥して測定した。発芽あるいは出芽の認められなかった種子(不出芽種子)については, 種子を取り出し, 子葉の腐敗状態を記録した。

芽生えの成長経過や成長量のデータについては, 乾燥処理間で一元配置分散分析と Fisher の多重検定をおこなった。これらの統計処理は, 市販のソフトウェア (Excel Statistics 2002 for Windows, SSRI, Tokyo) を用いておこなった。

3. 結果

3.1 出芽率

各乾燥処理における種子の脱水率と出芽率を表-1に示す。乾燥日数にともなう脱水率の増大は, 初め大きく, その後小さくなる傾向が見られ, 5日乾燥で平均で約 12% に達した。両者の関係は, 冪定式 ($y = ax^b$; y : 脱水率, x : 乾燥日数) でよく近似された ($a = 1.49$, $b = 0.424$, $r = 0.804$, $p < 0.01$)。出芽率は, 5日乾燥で低くなるようであったが, 処理間に有意な差はなかった (χ^2 検定, $p > 0.05$)。なお, 発芽した種子で出芽しなかったものは, 見られなかった。また, 不出芽種子のほとんどは発芽力を失い腐敗していた。

各乾燥処理で供試種子を出芽種子と不出芽種子に分け, それぞれ乾燥前種子重 (W) と脱水率との関係でプロットしたのが, 図-3である。不出芽種子は, 0日乾燥では一部を除けばすべて 1.5g 以下, 1, 3, 5日乾燥では 1.8, 1.6, 1.8g 以下でみられ, 明らかに種子重の小さい方に偏っていた。

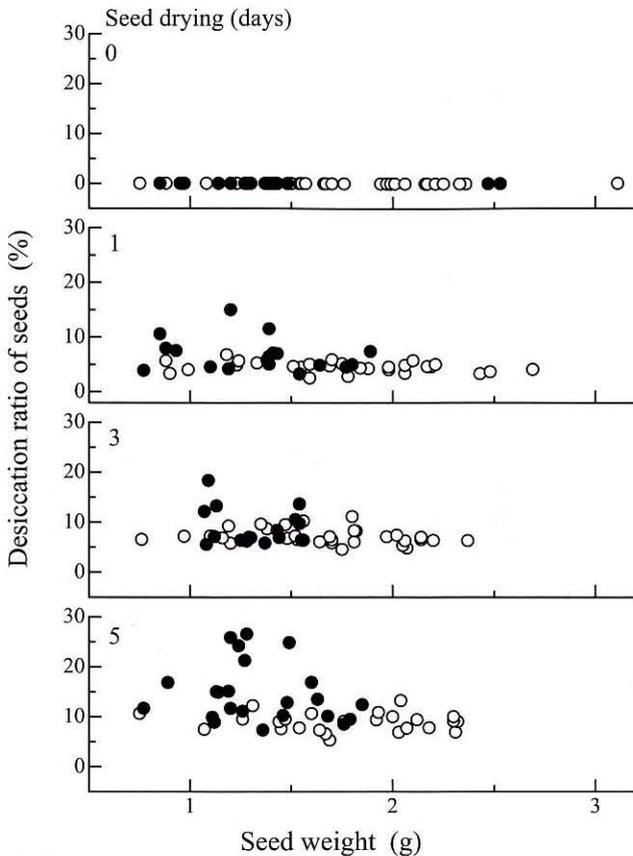


図-3 種子乾燥にともなう脱水率の増大が出芽に及ぼす影響
各種子について乾燥処理前の種子重とその値をベースとした脱水率との関係でプロットした。白丸は出芽種子、黒丸は不出芽種子。

Fig. 3 Influences of increase of desiccation ratio by drying seeds on epicotyl emergence
Seeds were plotted in relation to weight before drying and desiccation ratio based on its weight. Open and closed circles show seeds of epicotyl emergence and non-emergence, respectively.

1, 3, 5 日乾燥において、出芽種子の脱水率のレベルはそれぞれおおよそ 3~6, 5~10, 6~12% の範囲にあり、各処理で脱水率が 7, 12, 14% を超えたものはすべて不出芽であった。

3.2 芽生えの発達経過

各乾燥処理における種子の出芽日 (D_2) 別、芽生えの展葉開始日 (D_3) 別および展葉終了日 (D_4) 別の頻度分布を、図-4 に示す。どの処理でも、出芽日、展葉開始日および展葉終了日は種子により大きく異なり、変動幅はとくに 0 日乾燥と 5 日乾燥で大きかった。

各乾燥処理における発芽日 (D_1)、出芽日 (D_2)、展葉開始日 (D_3)、展葉終了日 (D_4) および播種から発芽までの期間 (P_1)、発芽から出芽までの期間 (P_2)、上胚軸伸長期間 (P_3)、展葉期間 (P_4)、全期間 ($P_1+P_2+P_3+P_4$) を、表-2 に示す。芽生えの発達経過は、1 日乾燥で早く進行し、さらに乾燥日数が増えると遅れるようであった。処理間の差は、出芽日で大きく、次いで発芽日であり、展葉開始日、展葉終了日へと

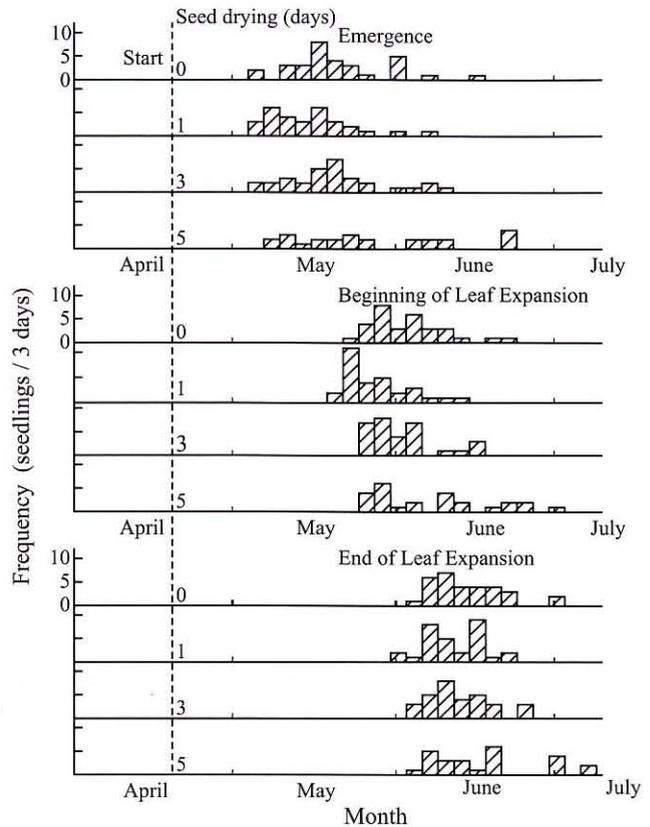


図-4 種子乾燥が種子の出芽日、展葉開始日および展葉終了日の頻度分布に及ぼす影響

Fig. 4 Influences of seed drying on frequency distributions of days of epicotyl emergence, beginning and end of leaf expansion

進むにつれ小さくなった。播種から発芽までの期間および発芽から出芽までの期間は、1 日乾燥で短く、さらに乾燥日数が増えると長くなるようであった。しかし、上胚軸伸長期間は、対照的に 1 日乾燥で長く、さらに乾燥日数が増えると短くなるようであり、展葉期間についても同様であった。播種から展葉終了までの全期間については、処理間の差は小さくなるが、1 日乾燥と 3 日乾燥で短いようであった。

上胚軸伸長期間と展葉期間を播種から出芽までの期間との関係でみたのが、図-5 である。上胚軸伸長期間は、播種から出芽までの期間が長くなるにつれ減少した。上胚軸伸長期間の減少は、播種から出芽までの期間が 15 日から 35 日の間で大きく、35 日を超えると緩やかになった。展葉期間は、播種から出芽までの期間が 30 日くらいまでは変化がなかったが、30 日を超えると減少するようであった。

種子乾燥が播種から出芽までの期間におよぼす影響を、乾燥処理別に種子脱水率との関係でみたのが、図-6 である。播種から出芽までの期間が 40 日以上かかった芽生えの数は、0 日乾燥で 11 個体、1, 3, 5 日乾燥でそれぞれ 2, 5, 10 個体であり、これら 3 処理の間では乾燥日数にともない増大した。しかし、4 処理を通じて、播種から出芽までの期間と種子脱水率との間に有意な相関はなく ($r = -0.033$)、1, 3, 5 日乾燥の 3 処理を通じて、有意な相関は認められな

表-2 種子乾燥が芽生えの発達過程に及ぼす影響

Table 2 Influences of seed drying on growth progress of seedlings

Seed Drying (days)	Seedlings <i>n</i>	Days after start of experiment			
		<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄
0	31	21.7 ^a ± 9.9	32.5 ^b ± 9.2	45.7 ^b ± 7.3	57.1 ^{ab} ± 6.9
1	30	18.1 ^b ± 3.7	27.1 ^c ± 7.9	42.3 ^b ± 6.6	54.0 ^b ± 5.6
3	31	21.0 ^b ± 7.3	31.8 ^{bc} ± 9.3	44.6 ^b ± 6.6	55.6 ^b ± 6.0
5	25	27.6 ^a ± 13.2	39.8 ^a ± 15.0	50.5 ^a ± 11.3	60.8 ^a ± 10.4

(days)	Periods (days)					
	<i>P</i> ₁	<i>P</i> ₂	<i>P</i> ₁ + <i>P</i> ₂	<i>P</i> ₃	<i>P</i> ₄	<i>P</i> ₁ + <i>P</i> ₂ + <i>P</i> ₃ + <i>P</i> ₄
0	21.7 ^a ± 9.9	10.8 ^{bc} ± 6.3	32.5 ^{ab} ± 9.0	13.2 ^{ab} ± 3.9	11.4 ^{ab} ± 1.6	57.1 ^a ± 6.8
1	17.1 ^b ± 3.7	9.0 ^c ± 5.8	26.1 ^c ± 7.7	15.3 ^a ± 4.8	11.7 ^a ± 2.7	53.0 ^b ± 5.5
3	18.0 ^{ab} ± 7.3	10.8 ^{bc} ± 5.6	28.8 ^{bc} ± 9.2	12.8 ^{bc} ± 5.0	10.9 ^{bc} ± 2.0	52.6 ^b ± 5.9
5	22.6 ^a ± 13.2	12.3 ^{ab} ± 5.8	34.8 ^a ± 14.7	10.6 ^c ± 5.3	10.3 ^{bc} ± 2.2	55.8 ^{ab} ± 10.2

上表の右端は下表の左端につながる。*D*₁, *D*₂, *D*₃, *D*₄および*P*₁, *P*₂, *P*₃, *P*₄については図-1を参照。データは平均値と標準偏差で、異なるアルファベットは有意差を表わす (Fisher's LSD, *p* < 0.05)。

Right margin of the upper table connects with left margin of the lower one. See Fig. 1 for *D*₁, *D*₂, *D*₃ and *D*₄, and *P*₁, *P*₂, *P*₃ and *P*₄. Data are means and standard deviations. Different alphabets show significant difference (Fisher's LSD, *p* < 0.05).

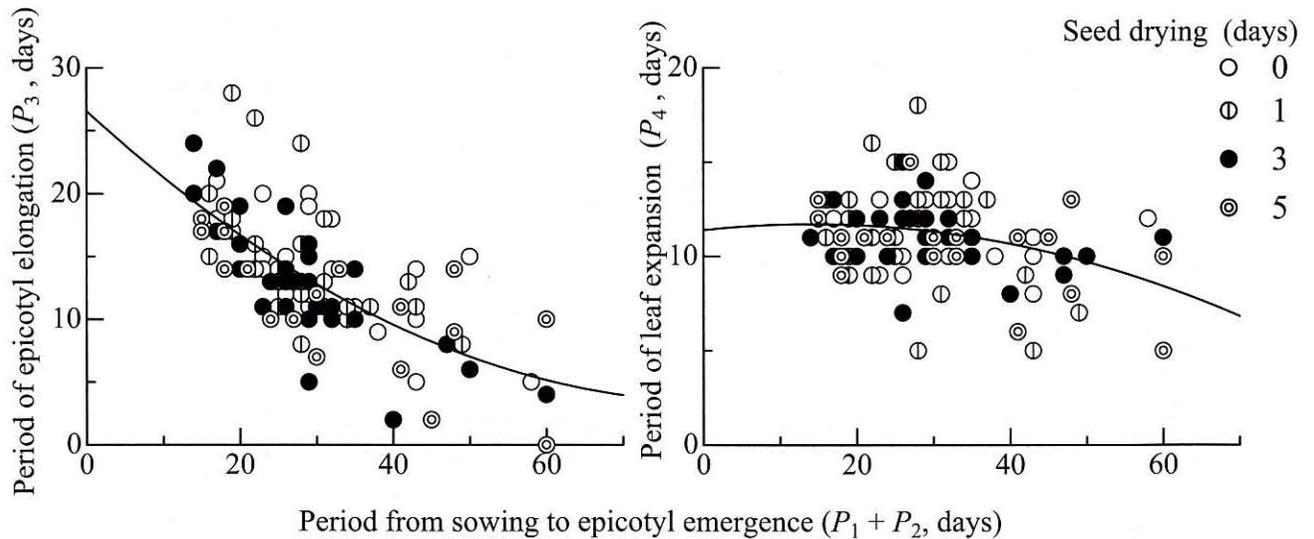


図-5 播種から出芽までの期間 (*P*₁+*P*₂) と上胚軸伸長期間 (*P*₃) および展葉期間 (*P*₄) との関係 両者の関係を二次式で回帰した。前者は *r* = 0.718 (*p* < 0.01), 後者は *r* = 0.360 (*p* < 0.01)。

Fig. 5 Periods of epicotyl elongation (*P*₃) and leaf expansion (*P*₄) as a function of period from sowing to epicotyl emergence (*P*₁+*P*₂)

Relationships between the two were regressed by a curve of second degree; *r* = 0.718 (*p* < 0.01) in the former and *r* = 0.360 (*p* < 0.01) in the latter.

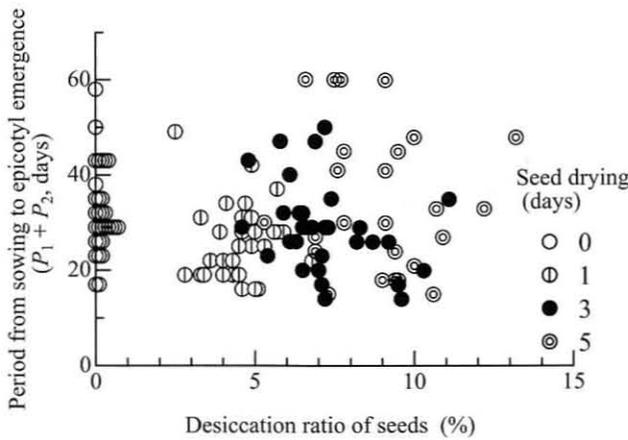


図-6 種子乾燥にともなう脱水率の増大が播種から出芽までの期間 ($P_1 + P_2$) に及ぼす影響

Fig. 6 Influences of increase of desiccation ratio by drying seeds on period from sowing to epicotyl emergence ($P_1 + P_2$)

表-3 種子乾燥が芽生えの成長量に及ぼす影響

Table 3 Influences of seed drying on growth amount of seedlings

Seed drying (days)	<i>n</i>	Leaf (g)	Stem (g)	Root (g)	Total (g)	T/R
0	31	0.205 ± 0.072	0.055 ± 0.027	0.464 ± 0.194	0.724 ± 0.280	0.591 ± 0.181
1	30	0.211 ± 0.089	0.057 ± 0.024	0.522 ± 0.188	0.790 ± 0.291	0.509 ± 0.130
3	31	0.181 ± 0.079	0.043 ± 0.016	0.426 ± 0.177	0.650 ± 0.255	0.545 ± 0.155
5	25	0.170 ± 0.079	0.045 ± 0.021	0.428 ± 0.220	0.643 ± 0.308	0.555 ± 0.237

データは平均値と標準偏差。処理間に有意差なし (ANOVA, $p > 0.05$)。

Data are means and standard deviations. There were no significant differences among treatments (ANOVA, $p > 0.05$).

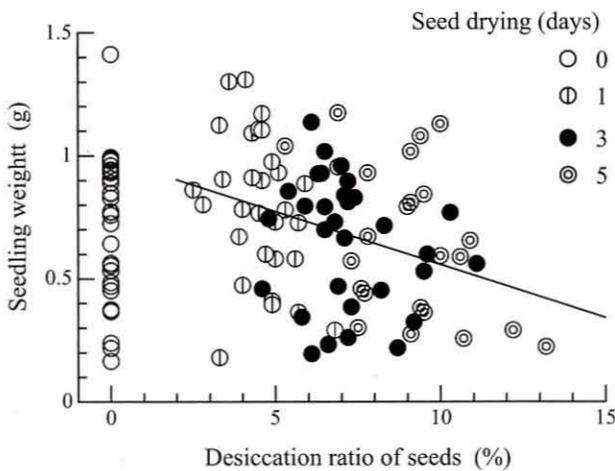


図-7 種子乾燥にともなう脱水率の増大が芽生えの成長量に及ぼす影響

図中の直線は1, 3, 5日乾燥処理についての回帰直線。
 $r = -0.337$ ($p < 0.01$)。

Fig. 7 Influences of increase of desiccation ratio by drying seeds on growth amount of seedlings
Regression line is for the treatments of 1, 3 and 5 days drying. $r = -0.337$ ($p < 0.01$).

かった ($r = -0.134$)。また, 1, 3, 5日乾燥の各処理内でも両者の間に有意な相関は認められなかった ($r = -0.033, -0.325, -0.103$)。

3.3 芽生えの成長量

各乾燥処理における芽生えの成長量を, 表-3 に示す。各器官重は, 1日乾燥で大きく, 乾燥日数が増すにつれ減少するようであったが, 各器官重, 個体重とも処理間に有意なちがいは認められなかった (ANOVA, $p > 0.05$)。T/R率についても, 乾燥処理間に有意なちがいは認められなかった。

種子乾燥が芽生えの成長量におよぼす影響を, 乾燥処理別に種子脱水率との関係でみたのが, 図-7である。4処理を通じて, 個体重と種子脱水率との間に有意な相関が認められた。0日乾燥を除いた3処理では, より高い相関が認められた。図-8は, 種子乾燥が芽生えの成長量におよぼす影響を, 乾燥処理別に播種から出芽までの期間との関係でみたものである。個体重は, 出芽までの期間が長くなるにつれて明らかに減少した。

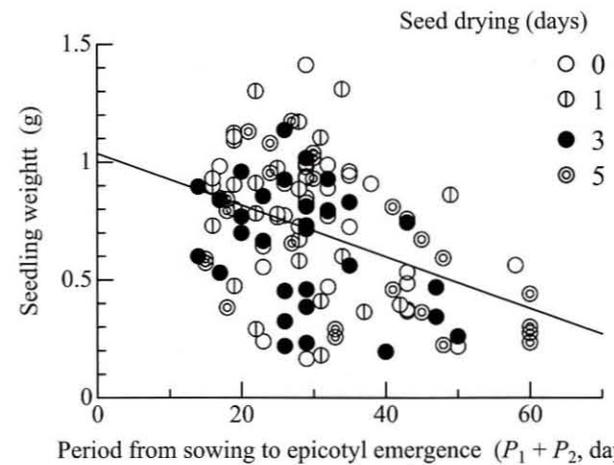


図-8 播種から出芽までの期間が芽生えの成長量に及ぼす影響
 $r = -0.409$ ($p < 0.01$)

Fig. 8 Influences of period from sowing to epicotyl emergence ($P_1 + P_2$) on growth amount of seedlings
 $r = -0.409$ ($p < 0.01$)

4. 考察

4.1 種子の発芽力の維持と乾燥の影響

落下して間もないコナラ種子を精選して発芽試験をすると、発芽率は90%を超える高い値を示すが、翌年まで貯蔵した種子では発芽率は明らかに減少する¹²⁻¹³⁾。本研究では、貯蔵後の種子の出芽率（発芽率と同じであった）は無乾燥でも70%以下であり（表-1）、どの処理でも不出芽種子は種子重の小さい方に偏っていた（図-3）。リカルシトラント種子では、貯蔵期間中、低温下にあっても種子内部で胚軸成長が進み、それにともない子葉から胚軸への水移動が起きており、この水移動に支障が生じて種子が死亡すると考えられている²⁸⁾。貯蔵種子の不発芽が小さな種子で起こりやすいのは、一つには子葉の貯水量がかかっているのかもしれない。コナラの育苗では、従来経験的に大粒の種子が推奨されており³¹⁾、これは旺盛な初期成長が主な理由と考えられるが、貯蔵中の発芽力の保持も大いに関係している。

種子を冷蔵庫から取り出した後の乾燥にもなう不発芽は、今回の試験では5日乾燥から始まるようであった（表-1）。出芽種子の脱水率は、3日乾燥でおおよそ5~10%、5日乾燥で6~12%であったことから（図-3）、冷蔵庫から取り出した時点で生きていた種子については、その後の種子乾燥にもなう不発芽は、おおよそ脱水率10%付近から15%の範囲で始まったと推察される。他のコナラ属種子では、不発芽を示す含水率は、相対水分欠差（飽水時水分量に対する水分減少率（%））で30~40%の範囲にある^{7-9), 11)}。コナラでは十分水を含んだ状態での対乾重含水率は約60%であり（本研究では57.6±1.8%）^{4), 12)}、これをほぼ飽水状態とみなした場合、脱水率10~15%は30~40%の相対水分欠差に相当する。したがって、コナラ種子は、発芽に関して他のコナラ属種子（*Q. robur*, *alba* など）^{7-8), 11)}と同様の水分特性をもっているとみられる。

4.2 芽生えの発達経過への影響

播種試験を開始（4月18日）してから5日目の23日から28日までの期間は、この時期としてはやや異常な低温下にあった（図-1）。0日、1日、3日、5日乾燥の処理では、それぞれ播種後5日目、4日目、2日目、0日目（播種当日）から6日間、供試種子は低温にさらされたことになる。これが試験結果に与えた影響は大きなものではないとみられるが、実際のところは不明である。

1, 3, 5日乾燥において、乾燥日数にともない播種から出芽までの期間（ P_1+P_2 ）が長くなったのは、播種から発芽までの期間（ P_1 ）とともに発芽から出芽までの期間（ P_2 ）が伸びたためである（表-2）。乾燥にもなう出芽までの期間の長期化については、各処理で種子全体がそのように変化したのではなく、むしろ出芽に長期間を要する種子（長期出芽種子）の割合が増えたことによるようである（図-6）。一方、無乾燥では、播種から発芽までの期間は1日乾燥に比べ長く、発芽から出芽までの期間についても同様の傾向が認められた。これについては、種子貯蔵中に種子が過湿状態にあっ

たことが（袋内で結露が見られた）、何らかの関係をもってしているのではないかと推察される。

播種から出芽までの期間と種子脱水率との関係については、乾燥処理全体を通じて両者の間に有意な相関はなく、各乾燥処理内でも有意な相関は認められなかった（図-6）。したがって、乾燥にもなう出芽までの期間の長期化は、単純に種子脱水率の増大では説明できない。種子に対する乾燥の影響については、乾燥時間と結びついて生じるものと含水率低下と結びついて生じるものがあると指摘されていることから²⁸⁾、出芽までの期間の長期化には乾燥時間の方がより直接的に影響しているのかもしれない。

コナラ属の種子の発達過程において、既に脱落前から含水率の低下が始まっており、脱落期に向かって胚軸や子葉の水ポテンシャルの低下が進み⁸⁾。これにより種子の吸水圧を高める。したがって、種子の乾燥は、播種後の吸水過程において種子外から種子内胚軸への水移動を促進するとみられ、乾燥にもなう種子脱水率の増大が必ずしも長期出芽種子の出現に結びつかないのは（図-6）、このためであろう。他方、コナラ属の種子では、乾燥にもなうエチレンの放出が高まり、次いでジャスモン酸さらにはABAの濃度が上昇し、胚軸成長の抑制に至る⁹⁻¹⁰⁾。このように、一連の生理段階を経過して発芽や出芽の抑制に至るとすれば、発芽や出芽の抑制には乾燥にさらされる時間が重要な意味をもつであろう。

各乾燥処理における播種から展葉終了までの全期間については、播種から出芽までの期間のちがいを反映していたが、処理間の日数差は縮まった（表-2）。これは、出芽の遅れたものでは上胚軸伸長期間と展葉期間が短縮されるためである（図-5）。出芽の遅れでその後の生育温度は高まるが、1週間の遅れで気温上昇は0.9℃程度であり（図-1）、上胚軸伸長期間や展葉期間の短縮を温度上昇のみで説明することは難しいようである。いずれにせよ、これらの期間短縮は、個体レベルの光合成生産機能の早期確立につながり、成長に有利に働くと考えられる。

4.3 芽生えの成長量への影響

芽生えの成長量は、種子重に大きく依存するが^{1), 3), 34)}、種子が乾燥にさらされた場合、脱水率の増大にともない明らかに減少する（図-7）。また、播種から出芽までの期間の長期化も、成長量の低下をもたらす（図-8）。今後の検討が必要であるが、種子脱水率の増大は種子貯蔵物質の劣化^{7), 10), 26)}と、出芽までの期間の長期化は種子貯蔵養分の消費と結びついている可能性が高い。

5. まとめ

コナラ種子は、必ずしも乾燥に弱いわけではない。種子の取り扱い方次第ではむしろある程度の種子乾燥は出芽を早め良好な成長をもたらすようである。また、種子乾燥により出芽遅延が生じたとしても、その後の上胚軸伸長期間や展葉期間が短縮されるので、種子乾燥による出芽の遅れを取りもどす面もうかがえる。しかし、ある限界を超えた種子乾燥は不

出芽をひき起し、出芽遅延や種子貯蔵物質の劣化などが原因して芽生えの成長量を低下させる。不出芽種子の出現状況を考えあわせると、播種に際しては、乾燥日数で5日間、脱水率では10%に至らない取り扱いが、一応の目安になるであろう。

引用文献

- 1) 阿部信之・木村憲一郎・橋本良二 (1997) コナラおよびミズナラ実生の成長・発達と種子重, 岩手大学農学部演習林報告, 28: 13-25.
- 2) 阿部信之・橋本良二 (2000) 母樹保残法更新面における微気象環境および小形掘削機による地床処理がコナラ当年生稚樹のガス交換特性に与える影響, 日林誌, 82: 7-14.
- 3) 阿部信之・橋本良二 (2005) コナラ果実に対する落葉被覆が実生の発生と成長に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 30: 632-638.
- 4) 荒井國幸 (1982) ミズナラ種子の貯蔵と発芽, 日本林学会誌, 64: 32-34.
- 5) 文化庁 (1970) 植生図・主要動植物地図 3 岩手県, 財団法人 国土地理協会, 67 pp.
- 6) Collet, C. and Frochot, H. (1996) Effects of interspecific competition on periodic shoot elongation in oak seedlings. *Can. J. For. Res.*, 26: 1934-1942.
- 7) Connor, K.F. and Sowa, S. (2003) Effects of desiccation on the physiology and biochemistry of *Quercus alba* acorns. *Tree Physiology*, 23: 1147-1152.
- 8) Finch-Savage, W.E. (1992) Embryo water status and survival in the recalcitrant species *Quercus robur* L: Evidence for a critical moisture content. *Journal of Experimental Botany*, 43: 663-669.
- 9) Finch-Savage, W.E., Clay, H.A., Blake, P.S. and Browning, G. (1992) Seed development in the recalcitrant species *Quercus robur* L.: Water status and endogenous abscisic acid levels. *Journal of Experimental Botany*, 43: 671-679.
- 10) Finch-Savage, W.E., Blake, P.S. and Clay, H.A. (1996) Desiccation stressing recalcitrant *Quercus robur* L. seeds results in lipid peroxidation and increased synthesis of jasmonates and abscisic acid. *Journal of Experimental Botany*, 47: 661-667.
- 11) Gosling, P.G. (1989) The effect of drying *Quercus robur* acorns to different moisture contents, followed by storage, either with or without imbibition. *Forestry*, 62: 41-50.
- 12) 橋詰隼人・相川敏朗 (1978) ブナ科4樹種のタネの発芽特性, 鳥取大学農学部研究報告, 30: 128-133.
- 13) 橋詰隼人 (1980) 落葉性コナラ属種子の休眠と発芽に関する研究, 広葉樹研究, 1: 49-58.
- 14) 橋詰隼人 (1985) シイタケ原木林の造成法 六. 萌芽更新法 (その二), 菌草, 31: 30-39.
- 15) 橋本良二・青木亨宏 (1995) コナラ前生稚樹の葉群形成と光合成特性に及ぼす林冠木伐採の影響, 日本緑化工学会誌, 21: 101-113.
- 16) 広木詔三・松原輝男 (1977) ブナ科植物の生態学的研究 I. アベマキ種子期における生理生態学的研究較生態学的研究, 日本生態学会誌, 32: 227-240.
- 17) 広木詔三・松原輝男 (1982) ブナ科植物の生態学的研究 III. 種子-実生期の比較生態学的研究, 日本生態学会誌, 32: 227-240.
- 18) 井本郁子 (2005) 二次林, 亀山 章・倉本 宣・日置佳之編, 自然再生: 生態工学的アプローチ, ソフトサイエンス社, pp. 95-111.
- 19) 石塚和雄 (1973) 岩手県におけるコナラ二次林とミズナラ二次林の分布, および北上山地の残存自然林の分布について, 岩手県自然環境保全調査会編, 自然環境保全調査 (基礎調査) 報告書, 岩手県, pp. 153-163.
- 20) 鎌田磨人・中越信和 (1990) 農村周辺の1960年代以降における二次植生の分布構造とその変遷, 日生態会誌, 40: 137-150.
- 21) 柏木 亨・吉田博宣・勝野武彦 (2003) 落葉落枝を活用した樹木種子の出芽と実生の成長過程, 日本緑化工学会誌, 29: 223-226.
- 22) 片岡博行・嶋 一徹・千葉喬三 (2003) 広葉樹二次林における慣行的な里山管理作業が林内環境と実生更新に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 29: 297-300.
- 23) 宮脇 昭 (1987) 日本植生誌 東北., 至文堂, 605 pp.
- 24) 森戸淳平・大澤啓志・勝野武彦 (2003) 里山型公園での市民参加による林床管理が実生木に及ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 29: 239-242.
- 25) 中川重年 (2004) 森づくりテキストブック, 山と溪谷社, 223 pp.
- 26) 中村俊一郎 (1985) 農林種子学概論, 養賢堂, 280 pp.
- 27) 西村尚之・白石高子・山本進一・千葉喬三 (1991) 都市近郊コナラ林の構造と動態 (II) 林内における3年間のコナラ実生の動態, 日本緑化工学会誌, 16: 31-36.
- 28) Pammenter, N.W., Berjak, P., Farrant, J.M. and Ross, G. (1994) Why do stored hydrated recalcitrant seeds die? *Seed Science Research*, 4: 187-191.
- 29) Peterson, J.K. (1983) Mechanisms involved in delayed germination of *Quercus nigra* L. seeds. *Annals of Botany*, 52: 81-92.
- 30) Roberts, E.H. (1973) Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, 1: 499-514.
- 31) 坂口勝美 (1985) 有用広葉樹の知識-育てかたと使いかた-, 林業科学技術振興所, 514 pp.
- 32) 桜井尚武 (1994) ミズナラ林の施業, 藤森隆郎・河原輝彦編著, 広葉樹林施業, 全国林業改良普及協会, pp 57-75.
- 33) 佐々木義則・安養寺幸夫 (1982) シイタケ原木林の造成に関する研究-クヌギ, コナラ種子の乾燥日数別の含水率および発芽率-, 大分県林業試験場研究報告, 24: 19-20.
- 34) 清和研二・菊澤喜八郎 (1989) 落葉広葉樹の種子重と当年生稚苗の季節的伸長様式, 日生態会誌, 39: 5-15.
- 35) 外館聖八朗 (1994) コナラ林の施業, 藤森隆郎・河原輝彦編著, 広葉樹林施業, 全国林業改良普及協会, pp 76-97.
- 36) 谷本丈夫 (1990) 広葉樹林施業の生態学, 創文, 245 pp.
- 37) Washitani, I. and Tang, Y. (1991) Microsite variation in light availability and seedling growth of *Quercus serrata* in a temperate pine forest. *Ecological Research* 6: 305-316.

(2007. 11. 15 受理)