

## 雑木林の再生法と実生生理—コナラ種子の乾燥耐性—

橋本良二\*・齊藤香菜\*\*

Regeneration practices and methods for coppice forests as related to physiological aspects of seedlings—Dehydration tolerance of *Quercus serrata* seeds—

Ryoji HASHIMOTO\* and Kana SAITO\*\*

## 1. はじめに

荒廃した雑木林（広葉樹二次林）を再生しようとする地域活動は、各地で盛んにおこなわれている（加藤，1996；片岡ら，2003；森戸ら，2003；中川，2004）。雑木林の主林木は、冷温帯ではほとんどがコナラ（*Quercus serrata* Thunb.）であり、種子（通称ドングリ）を播いたり、苗木を植えたりする試みが広くなされている（井本，2005）。現地に種子を播き実生を育成する森林更新法は造林学上播種造林と呼ばれ、苗圃を必要とせず育苗の手間も考えなくてよい（柏木ら，2003）。しかし、実生の定着を確実にするためには、種子や実生の生理についてよく知っておくべき事項が少なくない（Kozłowski et al., 1991；阿部・橋本，2000；阿部・橋本，2005；橋本・齊藤，2006；阿部・橋本，2008）。

ナラ類の種子は、水分を多く含み、乾燥により発芽力を失いやすく扱いがやっかいなため、リカルシトラント（recalcitrant）種子と呼ばれ、他の種子と区別されている（Roberts, 1973；Özbingol and O'reilly, 2005）。種子の採取から貯蔵を経て播種さらには発芽、出芽、展葉に至るまで、種子は各段階で程度の差こそあれつねに乾燥にさらされる。コナラ種子が乾燥に対してどのように反応するかについて、乾燥処理をおこない発芽率の変化や発芽後の実生成長への影響を調べた報告は少ない（橋詰・相川，1978；佐々木・安養寺，1982；阿部・橋本，2008）。そのため、どの程度の乾燥で発芽力を失い、実生成長にマイナス影響をおよぼすのかなど、十分わかっているわけではない。また、乾燥により発芽しなかった種子は生死を含めどのような

Received January 16, 2009

Accepted February 13, 2009

\* 岩手大学環境科学系

\*\* 岩手大学大学院農学研究科修士課程

状態になるかについても、わかっていない。

本研究では、秋に採取し低温貯蔵したコナラ種子について、翌春に実験室で乾燥処理をおこない、播種後の出芽（種子胚軸の地上伸長）と実生の成長を調べた。出芽の認められなかった種子については、発芽の有無を確認し種子内容物の状態を観察し区分した。どの程度の乾燥で播種後の種子の成長反応に影響が出るかを明らかにすることとし、乾燥程度については乾燥日数と水分低下量に注目し、種子の成長反応への影響については発芽し展葉する能力と展葉にともなう実生の乾物成長量に分けて検討をおこなった。

コナラ属では、植物形態学上、堅果（殻斗果）から総苞（殻斗）と果皮を除いたものが種子であるが、本研究では種子を包む果皮を含めたものを“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。

## II. 材料と方法

### 1. 供試種子と乾燥処理

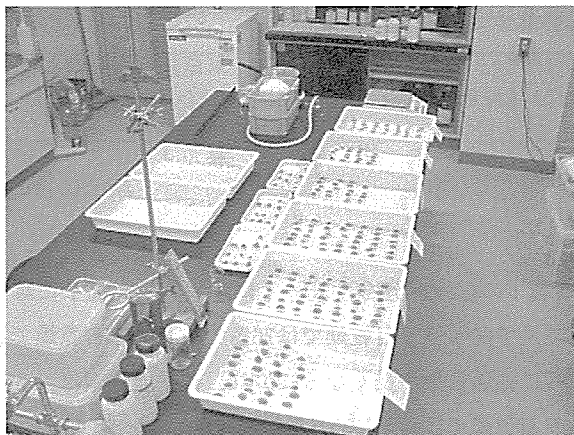
試験には、2005年10月10日前後に長野県佐久地方のコナラを主体とする落葉広葉樹二次林で採取したコナラ種子を用いた。種子採取後は、乾燥を避けるために内側をビニール被覆した厚手の紙袋に入れ、冷蔵庫に貯蔵した。採取地から岩手大学（盛岡市上田）への送付は翌年の2月下旬で、大学では実験室内の2～4℃に調整された実験用冷蔵庫に貯蔵した。

2006年4月23日、種子を冷蔵庫から取り出し、温度制御可能な実験室で、0、1、3、5、7および35日間の乾燥処理をおこなった。その際の気温、相対湿度は、 $20.2 \pm 1.6^\circ\text{C}$ 、 $51.5 \pm 2.2\%$ であった。乾燥処理では、各処理で種子重構成がそろそろように50粒を選び、1粒ずつプラスチックトレー（ $2 \times 3 \times 1.5$ （深さ）cm）に入れ実験台に並べ、4月23日から開始した（図-1）。種子にはファンなどで直接風をあてるようなことはしなかった。トレー上の風速は、 $0.2 \sim 0.4 \text{ m sec}^{-1}$ であった。以下、各処理を0、1、3、5、7、35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率の減少を $100(W_1 - W_2)/W_1$ （%）で相対評価し、乾燥率と呼んだ。

### 2. 播種試験

#### 1) 試験条件

播種日は、0日乾燥が4月23日、1、3、5、7、35日乾燥がそれぞれ4月24日、26日、28日、30日、5月28日であった。種子は、市販の園芸用プラスチック製角形プランター（ $420 \times 200 \times 180$ （深さ）mm）に埋め込んだ。プランターの培地として市販の園芸用鹿沼土を用い、約1cmの深さに種子を埋め込んだ。各処理50粒の種子は、1つのプランターに4～5cm間隔で格子状に埋め込んだ。プランターは、実験室内に設置した植物育成用ラック（Plant Master,



図一 1. 実験室での種子乾燥処理

種子は1粒ずつプラスチックトレーに入れた。

(株BMS, 東京) の棚に置き, 近赤外蛍光灯 (バイオルックスA, 40W, NEC) を光源とする人工光を1日14時間照射した (齊藤・橋本, 2008)。培地表面の光強度 (光合成有効光量子束密度) は,  $60\sim 70\mu\text{mol q. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった。試験期間中の実験室の気温, 相対湿度は, それぞれ $21.2\pm 1.5^\circ\text{C}$ ,  $52.6\pm 2.4\%$ であった。試験期間中は, 培地表面層が適度に湿った状態に保たれるよう, 1~数日おきに給水をおこなった。

## 2) 播種後の調査と測定

播種後は, 毎日あるいは1日おきに観察をおこない, 種子上胚軸が地表に出た日を出芽日として記録し, 播種から出芽までの日数を求め出芽所要日数とした。各乾燥処理において, 播種後, 75日間で試験を締め切り, 出芽した実生とともに培地に残留する種子をプランターから掘り出した。

供試種子は, まず発芽しなかったもの (不発達) と発芽したもの (発達) に分けた。不発達種子は, 死亡し腐敗の進んだ種子 (死亡・腐敗), 死亡しているが腐敗が見られない種子 (死亡・無腐敗), 休眠していると見られる種子 (休眠) に区分した。発芽種子は, 発芽段階にとどまった種子 (発芽), 出芽段階にとどまった種子 (出芽), 出芽し展葉にいたった種子 (展葉) に区分した。展葉種子については, 葉, 地上軸, 根に切り分け, 恒温乾燥機に入れ $80^\circ\text{C}$ で24時間乾燥し, 重量を測定した。

## 3) 統計解析

1, 3, 5, 7, 35日乾燥における供試種子数に対する展葉種子数の比率 (種子展葉率) については, 0日乾燥との間での比率の差の検定をおこなった。各乾燥処理における展葉種子とそれ以外の種子の平均乾燥率については, 平均値の差の検定 ( $t$ 検定, Welch法)をおこなった。乾燥処理間における出芽所要日数や実生成長量のちがいについては, 一元配置分散分析と

ともに多重検定 (Tukey法) をおこなった。これらの統計処理では、市販の統計処理ソフトウェア (統計解析アドインソフト, (株)社会情報サービス, 東京) を用いた。

### III. 結 果

#### 1. 種子の発達区分

各乾燥処理における種子の発達区分を、表-1に示す。供試種子に対する展葉種子の比率 (種子展葉率) は0日乾燥で60%, 1日乾燥では76%であり、1日乾燥で高かった (比率の差の検定,  $P<0.05$ )。さらに乾燥日数が長くなるにつれ、種子展葉率は、5日乾燥までは低下は認められなかったが、7日乾燥では低下し35日乾燥では0になった (比率の差の検定,  $P<0.01$ )。発達種子に占める発芽種子と出芽種子の比率は、3日および5日乾燥では10%程度あったが、他の処理ではわずかであった。不発達種子については、その大半は死亡・腐敗種子であり、0, 1, 3, 5日乾燥で約60%, 7, 35日乾燥では80%近くに達した。不発達種子のうち死亡・腐敗種子に次いで多いのは、どの処理でも死亡・無腐敗種子であり、休眠種子は少なかった。

#### 2. 種子の発達区分と乾燥率

表-1. 各乾燥処理における種子の発達区分

乾燥処理 (days)	供試種子		種子発達区分 (seeds)						
	n (seeds)	重量 Mean±SD (g)	不発達			発達			
			死亡 腐敗	無腐敗	休眠	発芽	出芽	展葉	展葉率 (%)
0	50	1.93±0.32	11	5	3	1	0	30	60
1	50	1.93±0.25	7	2	2	1	0	38	76*
3	50	1.91±0.33	13	7	1	2	1	26	52
5	50	1.93±0.30	11	6	1	3	1	28	56
7	50	1.92±0.34	26	5	2	0	0	17	34**
35	50	1.83±0.34	39	10	1	0	0	0	0

展葉率は供試種子のうち展葉までいったものの比率。1, 3, 5, 7日乾燥の展葉率について0日乾燥を比較対象として比率の差の検定をおこなった。アスタリスクは有意水準 (\*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$ )。

各乾燥処理における種子の発達区分および乾燥率別頻度分布を、表-2に示す。乾燥率は、乾燥処理を開始して1日で急激に増大し、それ以降は緩やかに増大する傾向を示した。発達種子と不発達種子とで比較すると、乾燥率はどの処理でも不発達種子で大きかった ( $t$ 検定, Welch法)。乾燥率の頻度分布は、発達種子では分布範囲が狭く低乾燥率側に偏るのに対し、不発達種子では分布域が広く平準化あるいは正規化する傾向がうかがえた。

発達種子において乾燥率が15%を超えたものは1日乾燥で0%, 3, 5, 7日乾燥でそれぞれ約8, 11, 18%であり、乾燥日数が増すにつれて増えたが、それぞれの乾燥処理で大部分は15%以下にとどまっていた。

表一 2. 各乾燥処理における種子の発達区分別および乾燥率別頻度分布

乾燥 処理 (days)	種子 区分	乾燥率階別頻度 (seeds)														計	乾燥率				
		0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27	-30	-33	-36	-39		-42	-45	-48	-51	Mean±SD
0	A	30																	30	0.0	
	B	20																	20	0.0	
1	A			25	11	1	1												38	6.1* ±1.9	
	B			3	2	4	2		1										12	9.5 ±4.9	
3	A			1	14	8	1	1	1										26	9.2**±3.0	
	B			5	4	3	2	2	4	2	1				1				24	16.8 ±7.8	
5	A			5	13	7	2				1								28	11.8**±4.1	
	B			2	3	4	1	3	3	4		2							22	18.7 ±7.2	
7	A				9	5		1	1	1									17	13.5**±5.2	
	B			1	1	6	5	8	6	3	2	1							33	19.2 ±5.6	
35	A																		0		
	B				1		2	2	4	3	15	17	1	2	2			1	50	29.1 ±6.4	

種子区分のAは展葉種子、Bは不発達種子および発達種子で展葉までいたらなかった種子。各処理の種子A、B間で乾燥率について平均値の差の検定をおこなった (t検定、Welch法)。アスタリスクは有意水準 (\*:  $P<0.05$ , \*\*:  $P<0.01$ )。

### 3. 種子の出芽所要日数と実生成長量

各乾燥処理における種子の出芽所要日数別頻度分布を、表一 3 に示す。出芽所要日数は、乾燥日数が増すにともない、0, 1, 3日乾燥では変化はなかったが、5日乾燥さらに7日乾燥に進むにつれ長くなった (Tukey,  $P<0.05$ )。出芽所要日数が30日を超える種子の比率は、0日および1日乾燥ではともに13%、3日乾燥でも23%であったが、5日および7日乾燥ではそれぞれ60, 80%近くに達した。0日乾燥と比較すると、出芽所要日数は5日乾燥では6.3日、7日乾燥では11.5日長くなった。

各乾燥処理における発達種子の実生成長量を、表一 4 に示す。0日乾燥に比べ、地上部重では5, 7日乾燥で、地下部重では5日乾燥で、個体重では3, 5, 7日乾燥で小さかった (Tukey,  $P<0.05$ )。個体重は、0日乾燥と比べると、5, 7日乾燥では25%以上小さかった。T/R比については、処理間でちがいはなかった。

表-3. 各乾燥処理における種子の出芽所要日数別頻度分布

乾燥処理 (days)	所要日数別頻度 (seeds)													計	所要日数 (days)	
	-15	-18	-21	-24	-27	-30	-33	-36	-39	-42	-45	-48	-51			-54
0	2	1	12	4	7	3					1				30	25.6 <sup>a</sup> ± 5.0
1			4	2	26	1	1	2	2						38	26.7 <sup>a</sup> ± 4.0
3		1	2	2	4	11	4	1		1					26	28.1 <sup>ab</sup> ± 5.0
5				4	7	1	7	4	2		1		2		28	31.9 <sup>b</sup> ± 7.2
7					3	1	1	3	3	2		4			17	37.1 <sup>c</sup> ± 7.7
35															0	

所要日数の数字は平均値と標準偏差。処理間で多重検定 (Tukey) をおこなった。異なるアルファベットは有意差 ( $P < 0.05$ ) を表す。

表-4. 各乾燥処理における種子の実生成長量

乾燥処理 (days)	展葉種子 n (seeds)	実生重量					T/R比
		重量 (g)	地上部 (g)	地下部 (g)	個体 (g)		
0	30	2.03 ± 0.30	0.136 <sup>a</sup> ± 0.055	0.319 <sup>a</sup> ± 0.107	0.455 <sup>a</sup> ± 0.137	0.438 ± 0.190	
1	38	1.95 ± 0.24	0.121 <sup>ab</sup> ± 0.047	0.274 <sup>ab</sup> ± 0.088	0.395 <sup>ab</sup> ± 0.109	0.443 ± 0.174	
3	26	2.03 ± 0.28	0.122 <sup>ab</sup> ± 0.051	0.251 <sup>ab</sup> ± 0.105	0.373 <sup>b</sup> ± 0.115	0.523 ± 0.289	
5	28	1.87 ± 0.34	0.100 <sup>b</sup> ± 0.042	0.235 <sup>b</sup> ± 0.086	0.335 <sup>b</sup> ± 0.093	0.482 ± 0.219	
7	17	1.76 ± 0.43	0.092 <sup>b</sup> ± 0.044	0.246 <sup>ab</sup> ± 0.085	0.338 <sup>b</sup> ± 0.111	0.399 ± 0.200	
35	0						

データは平均値と標準偏差。処理間で多重検定 (Tukey) をおこなった。異なるアルファベットは有意差 ( $P < 0.05$ ) を表す。

## IV. 考 察

### 1. 種子展葉率への影響

種子展葉率は、0日乾燥と比べると、3日乾燥や5日乾燥では低下は認められず、7日乾燥にいたり低下が認められた (表-1)。しかし、7日乾燥でも、種子の展葉率は0日乾燥の半分以上を維持していた。これらのことから、よく言われる“コナラ属 (*Quercus*) 種子は乾燥にさらされると急速に発芽力を失う (Robert, 1973; Finch-Savage, 1992)”は、誤解を招きやすく、あくまで乾燥果の種子と比較してのことである。

種子展葉率は、0日乾燥と比べ、むしろ1日乾燥で高くなった。同様の結果は他の試験でも得られており (阿部・橋本, 2008)、弱度の乾燥はむしろ種子内の胚の吸水力を高め発芽や出芽を促進するのかもしれない。

展葉種子の大部分は、0, 1, 3日乾燥はもとより5, 7日乾燥においても、乾燥率が15%以下であり、展葉種子のなかった35日乾燥ではほぼすべての種子の乾燥率が15%を超えていたことから (表-2)、乾燥率15%付近が展葉能力を発揮できるか否かを分けているようである。

## 2. 実生成長への影響

種子乾燥がある程度まで進むと、その後は乾燥にともない、種子展葉率が下がり、出芽所要日数が多くなり、実生成長量が小さくなるが、それぞれの影響が出たのは種子展葉率では7日乾燥、出芽所要日数では5日乾燥、実生成長量では3日乾燥からであった(表-1, 3, 4)。すなわち、乾燥日数が増すにつれ、最も少ない日数で影響が出るのは実生成長量に対してであり、次いで出芽所要日数、最も多い日数で影響が遅く出るのは種子展葉率に対してである。これらの結果は、種子乾燥が種子展葉率、出芽所要日数と実生成長量に与える影響については、それぞれ別の生理過程が介在していることを示唆している。

一般に、種子の鑑定では発芽(あるいは出芽)の早いものが高く評価される(中村, 1985)。これは育成作業上のメリットからであるが、早いものほど初期成長が良いことも関係していると見られる。3日および5日乾燥と7日乾燥とを比べると、7日乾燥では出芽所要日数は明らかに長くなるが、実生成長量は3日および5日乾燥と変わらなかった(表-3, 4)。これらの結果は、少なくともコナラでは出芽の遅れは必ずしも実生成長量の減少につながらないことを示唆している。

種子乾燥の影響は種子内の胚と子葉のそれぞれの水分状態に作用するが、胚への作用は種子の死亡あるいは発芽力の喪失に結びつきやすいのに対し、子葉への作用は貯蔵物質の変化を通して胚の成長さらには発芽後の実生成長にきくとみられる(Connor and Sowa, 2003; 中村, 1985)。種子の取り扱いにおいては、コナラ種子は乾燥により展葉率が高まる面があり、相当強い乾燥にさらされても発芽力を維持できるので、乾燥に対してそれほど神経質になる必要はない。発芽力を維持するには、乾燥率を15%以下に抑えるのがポイントとなるが、乾燥は発芽後の実生成長の低下をもたらす、強い乾燥を受けた場合には25%あるいはそれ以上のダウンがあることを留意しておきたい。

## 引用文献

- 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. 日本林学会誌 82: 7-14.
- 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.
- 阿部信之・橋本良二(2008)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. 日本緑化工学会誌 33: 484-491.
- Connor, K. F. and Sowa, S. (2003) Effects of desiccation on the physiology and biochemistry of *Quercus alba* acorns. *Tree Physiology* 23: 1147-1152.
- 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.
- 橋本良二・齋藤香菜 (2006) 雑木林の再生法と実生生理—コナラ果実を埋め込む深さ—. 岩手大学農学部演習林報告 37: 67-72.
- 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.
- 井本郁子 (2005) 二次林. (自然再生: 生態工学的アプローチ. 亀山 章・倉本 宣・日置佳之編, ソフトサイエンス社, 東京), 95-111.
- 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.
- 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.
- 加藤勝康 (1996) 自治体がおこなう植生管理. (雑木林の植生管理. 亀山 章編, ソフトサイエンス社, 東京), 248-260.
- Kozłowski, T.T., Kramer, P.J. and Pallardy, S.G. (1991) *The physiological ecology of woody plants*. 657pp. Academic Press, San Diego.
- 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.
- 中川重年 (2004) 森づくりテキストブック. 223pp, 山と溪谷社, 東京.
- 中村俊一郎 (1985) 農林種子学概論, 280pp, 養賢堂, 東京.
- Özbingöl and O'reilly (2005) Increasing acorn moisture content followed by freezing-storage enhances germination in pedunculate oak. *Forestry* 78: 73-81.
- Roberts, E.H. (1973) Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology* 1: 499-514.
- 齋藤香菜・橋本良二 (2008) 雑木林の再生法と実生生理—コナラ種子の貯蔵可能期間—. 岩手大学農学部演習林報告 39: 47-55.
- 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.