

ミズナラ種内交配家系と ミズナラ×カシワ種間交雑家系の成長と繁殖

生方 正俊⁽¹⁾・河野 耕藏⁽¹⁾・板鼻 直栄⁽¹⁾

Masatoshi UBUKATA⁽¹⁾, Koozo KOONO⁽¹⁾ and Naoei ITAHANA⁽¹⁾

Trait of Growth and Reproductive Ability in the Intraspecific Crossbreeds of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and in the Species Hybrids from *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and *Quercus dentata*

要旨：ミズナラ種内交配家系とミズナラ×カシワ種間交雑家系について、試験地植栽後10年目までの成長を解析した。試験地植栽後4年目および5年目では、家系間差が認められなかったが、植栽3年目までと10年目では、有意な家系間差が認められた。また、10年目の樹高では、種間交雑家系は、種内交配家系に比べ有意に大きいことがわかった。種間交雑家系は、冬期に枯葉が着生したままの個体が多く、花粉親であるカシワの影響であると考えられた。枯葉着生個体と着生していない個体間に成長の違いは認められなかった。1997年から1999年までの全堅果生産数と1994年時点および1999年時点の樹高の間に正の相関がみられた。また、堅果や雄花穂を着生した個体は未着生の個体に比べ有意に樹高が高いことがわかり、以上から成長と繁殖との間に密接な関係があることが示唆された。

1 はじめに

北海道では、天然林内にコナラ節の各樹種の中間的な形態を持つ個体の存在が指摘され、道内各地に分布しているとされている⁵⁾。ミズナラは、家具材、床材等として商品価値が高く、高価で取り引きされているが、経験的に材質と雑種との関係が指摘されている¹²⁾¹³⁾。世界的にみても、ミズナラ (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) やカシワ (*Quercus dentata*) を含むコナラ属コナラ節では、形態的な特徴に基づく種間雑種が多くの組合せで知られており、遺伝子を交換できる種の集合体であることが示唆されている¹⁷⁾。実際に人工交雑によってコナラ属の種間雑種が創出可能なことが様々な種の組合せで報告されている¹⁾³⁾⁴⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾。

ミズナラの諸形質の遺伝様式やミズナラとカシワの種間雑種の形成・維持機構を解明するために、ミズナラの種内交配およびミズナラを雌性親に、カシワを花粉親にした人工交配が行われ⁴⁾、これらの人工交雑個体による試験地が設定されている。現在まで、人工交雑の結果率や試験地植栽時までの成長⁴⁾、開葉時期¹⁶⁾、葉、堅果、枝等の諸形質¹⁵⁾、堅果や雄花の着生状況や開花時期¹⁴⁾ について報告されている。本報告では、試験地植栽後10年目までの成長を解析し、堅果生産数や雄花穂の着生と成長、冬期の枯葉着生状況と成長の関係を明らかにすることを目的と

(1) 林木育種センター北海道育種場

〒069-0836 北海道江別市文京台緑町561

Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center

561, Midori, Bunkyo-dai, Ebetsu, Hokkaido 069-0836 Japan

した。

2 材料と方法

1987年にミズナラの種内交配およびミズナラを雌性親，カシワを花粉親とした人工交配が行われた⁴⁾。交配に用いた材料を表1に示す。交配によって得られた堅果は，直ちに苗畑に播種され，2年間養苗された後，1990年に林木育種センター北海道育種場（北海道江別市）内の試験地に植栽された。植栽方法は，各家系5本を1プロットとし，このプロットをランダムに配置したプロット混交植栽である。この試験地には，コナラを雌性親とした種間交雑個体⁴⁾も植栽されているが，植栽年度が異なるため今回の報告の対象から除外した。

ミズナラ種内交配家系9家系，ミズナラ×カシワ種間交雑家系2家系およびミズナラの自然受粉家系3家系の計14家系について以下の調査を行った。

表1. 人工交配に用いた材料

樹種	個体番号	樹高(m)	胸高直径(cm)	所在地
ミズナラ	G1	11	28.3	北海道江別市文京台
	G2	7.2	24	〃
	G3	13.5	20	〃
	G4	8	36.5	〃
カシワ	D3	5.6	18.5	北海道石狩市

注) 樹高および胸高直径は，人工交配当時（1987年）の調査による。

1988年秋に当年生の苗高を調査した。1990年の春に試験地に植栽したがその年の秋に植栽1年目（樹齢3年生）の樹高を調査した。1992年（5年生）から1994年（7年生）までの3年間および植栽10年目（12年生）の1999年秋に樹高を調査した。1992年以降の調査結果について，プロット平均値を用いた一元配置の分散分析を行い家系間差の有無の検定を行った。また，ミズナラ種内交配家系とミズナラ×カシワ種間交雑家系の成長を比較するため，それぞれの家系のプロット平均値をプールして平均値を算出し，両者を t 検定により比較した。合計6回成長調査を行ったが各調査年次間の相関係数を算出した。1988年の当年生苗高とそれ以降の成長の関係を明らかにするために，1988年の苗高の各年次の樹高に対する回帰直線の決定係数を求めた。なお，決定係数は寄与率とも呼ばれ，従属変数の総平方和のうち回帰式で説明される部分の割合であり，相関係数の2乗に等しい²⁾。

1994年および1999年の冬期に全個体について枯葉着生状況を指数により記録した。指数は，5：樹冠の80%以上に枯葉が着生，4：樹冠の80%未満～50%以上に枯葉が着生，3：樹冠の数カ所に散在的に枯葉が着生，2：数枚の枯葉が着生，1：枯葉の着生無し，の5段階とした。解析の段階では，指数の3以上を枯葉着生個体とし，指数2以下を枯葉無個体とした。交配家系別に枯葉着生個体率を求めた。これは，家系内の全個体に対する枯葉着生個体の割合である。また，枯葉着生個体と枯葉無個体について1994年および1999年の樹高の平均値を t 検定により比較した。

1997年に多くの個体で堅果の着生が観察されたため、この年の秋に試験園内で生産された全堅果を個体ごとに採取した。またこの年に堅果を生産した全個体について、引き続き1998年と1999年にも全ての生産堅果を採取した。また、1998年春に雄花穂の着生している個体を記録した。繁殖と成長の関係を明らかにするため、3年間の全生産堅果数と樹高との関係を解析したほか、堅果を生産した個体と生産しない個体、雄花を着生した個体と未着生の個体に分け、それぞれの平均値をt検定により比較した。

3 結 果

各調査年次における苗高および樹高の系統別の平均値を表2に示す。系統平均による1988年の当年生苗高が平均

表2. 系統別の平均苗高および樹高

系統No.	雌性親	花粉親	調査年次					
			1988	1990	1992	1993	1994	1999
1	G1	OPEN	10.0	76.1	76.1	100.9	116.3	368.8
2	G1	D3	9.6	64.3	67.2	100.5	121.6	435.4
3	G1	G2	6.5	60.9	60.4	90.6	106.9	339.6
4	G1	G3	7.5	64.6	64.7	97.9	115.4	380.6
5	G1	G4	8.9	66.7	63.0	96.0	114.0	380.5
6	G2	OPEN	8.5	59.3	79.9	116.6	134.5	403.8
7	G2	D3	7.9	30.7	41.9	72.8	92.2	407.1
8	G2	G1	5.9	32.6	56.5	101.7	115.3	347.0
9	G2	G3	8.1	40.6	66.5	93.8	105.4	357.6
10	G2	G4	7.7	37.7	63.4	100.8	120.8	377.8
11	G3	OPEN	9.2	56.1	75.9	104.8	119.6	368.5
12	G3	G1	5.4	32.3	51.7	105.9	123.6	377.0
13	G3	G2	5.8	40.0	60.0	90.0	90.0	348.0
14	G3	G4	7.3	51.7	77.7	88.0	102.3	370.6
平均			7.7	51.0	64.6	97.2	112.7	375.9
備考			当年生苗高 試験地植栽			植栽5年目 植栽10年目		

注) 苗高および樹高の単位はcm。

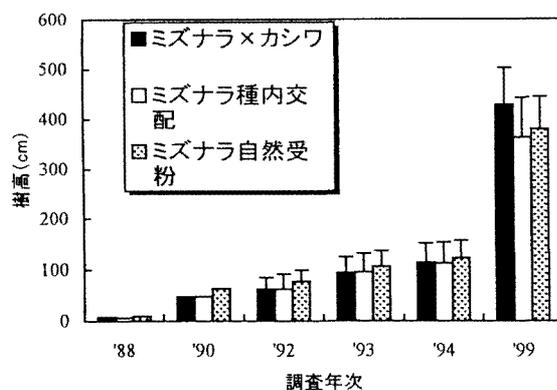


図1. 交配様式別の樹高の推移

エラーバーは、標準偏差を示す。

7.7cm, 最大10.0cm, 最小5.4cmとなり, 以下それぞれ, 1990年が51.0cm, 76.1cm, 30.7cm, 1992年が64.6cm, 79.9cm, 41.9cm, 1993年が97.2cm, 116.6cm, 72.8cm, 1994年が112.7cm, 134.5cm, 90.0cm, 1999年が375.9cm, 435.4cm, 339.6cmとなった。ミズナラ種内交配家系, ミズナラ×カシワ種間交雑家系およびミズナラ自然受粉家系別の苗高, 樹高平均値の推移を図1に示す。1992年から1994年までは交配様式間に有意差が認められなかったが, 1999年では, ミズナラ×カシワ種間交雑家系とミズナラ種内交配家系およびミズナラ自然受粉家系との間に有意差が検出された (t 検定; $p < 0.05$)。プロット平均値を用いた年次別の系統を要因とした分散分析の結果, 系統間に1992年は1%水準で, 1999年は5%水準で有意差が検出されたが, 1993年と1994年は検出されなかった (表3)。

苗高および樹高の調査年次間相関を表4に示す。1988年の苗高と有意な相関が認められた年次は, 1990年, 1992年および1999年で, 1993年と1994年は認められなかった。決定係数の推移を図2に示す。1993年まで減少を続け,

表3. 年次別の系統別平均樹高による分散分析表

1992年				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統	12	7360.42	613.37	3.18 **
誤差	73	14079.33	192.87	
全体	85	21439.75		
1993年				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統	12	5512.13	459.34	1.25 n.s.
誤差	73	26819.80	367.39	
全体	85	32331.94		
1994年				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統	12	5942.33	495.19	1.20 n.s.
誤差	73	30105.48	412.40	
全体	85	36047.81		
1999年				
要因	自由度	平方和	平均平方	F
系統	12	56864.49	4738.71	2.12 *
誤差	73	162817.95	2230.38	
全体	85	219682.44		

注) F値の**は, 1%水準で, *は5%水準で有意差がみられたことを示し, n.s.は, 有意差がみられなかったことを示す。

表4. 苗高および樹高の調査年次間相関

調査年次	1988	1990	1992	1993	1994	1999
1988	1					
1990	0.667	1				
1992	0.538	0.652	1			
1993	0.160	0.287	0.547	1		
1994	0.308	0.333	0.441	0.909	1	
1999	0.535	0.183	0.026	0.095	0.345	1

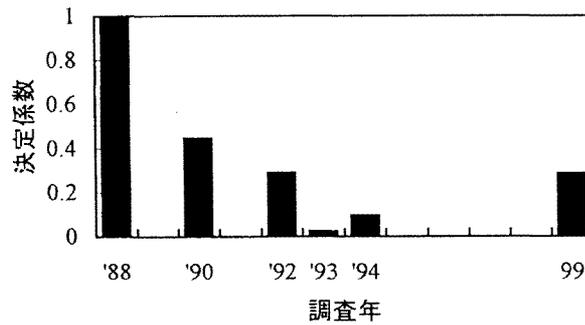


図2. 1988年の苗高に対する各調査年の樹高の決定係数

表5. 交配家系別の冬期枯葉着生個体率

1994年	花粉親					
雌性親	G1	G2	G3	G4	D3	OPEN
G1	—	7.4	16.7	0.0	34.5	20.0
G2	4.8	—	0.0	5.9	22.2	7.9
G3	40.0	0.0	—	0.0	—	10.3

1999年	花粉親					
雌性親	G1	G2	G3	G4	D3	OPEN
G1	—	7.4	11.5	0.0	44.8	22.0
G2	9.1	—	0.0	6.3	44.4	7.7
G3	18.2	0.0	—	0.0	—	13.2

注) 冬期枯葉着生個体率は、家系内の全個体に対する枯葉着生個体の割合を示す。

1999年には1992年と同等の値まで回復した。

1994年および1999年の交配家系別の冬期枯葉着生個体率を表5に示す。1994年は14家系中10家系で枯葉の着生した個体がみられ、最高は、ミズナラ種内交配家系G3×G1の40.0%だった。1999年も同様に10家系で枯葉の着生した個体がみられたが、最高はミズナラ×カシワ種間交雑家系G1×D3の44.8%、つづいて同じくG2×D3の44.4%だった。交配様式別による1994年と1999年の枯葉着生個体の割合を図3に示す。両年ともミズナラ×カシワ種間交雑家系が31.6%、44.7%と3者の中で最も高かった。ミズナラ種内交配家系は、両年とも10%以下だった。枯葉着生調査時点での、枯葉着生個体および枯葉無個体の平均樹高と標準偏差を図4に示す。1994年も1999年も両者間に有意差は認められなかった (t 検定; $p > 0.05$)。

図5に、1994年および1999年の樹高と3年間(1997年~1999年)の堅果生産数との関係を示す。両年とも成長の良い個体ほど堅果生産数が多く、相関係数も有意であった(1994年; 0.337, 1999年; 0.395, 両年とも $p < 0.05$)。堅果着生個体と堅果未着生個体の1994年および1999年の樹高の平均値と標準偏差を図6に示す。両年とも両者間に有意差が認められ (t 検定; 1994年は $p < 0.05$, 1999年は $p < 0.01$)、堅果未着生個体に比べ、堅果着生個体の樹高が大きかった。図7に1998年に雄花穂が着生した個体と着生しなかった個体の1994年および1999年の樹高の平均値と標準偏差を示す。堅果と同様に、両年とも雄花穂を着生した個体は着生しなかった個体に比べ有意に樹高が大き

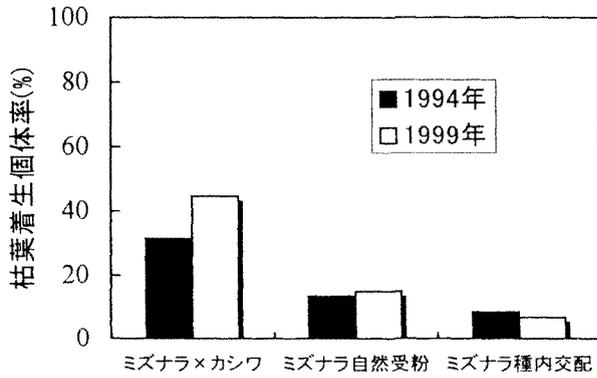


図3. 1994年および1999年の交配様式別の枯葉着生個体率

枯葉着生個体率は、各交配様式内の全個体に対する枯葉着生個体の割合を示す。

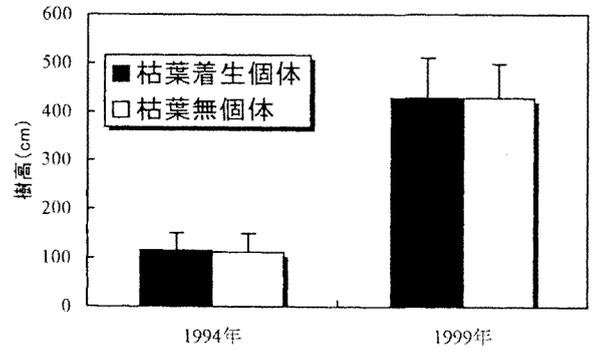


図4. 枯葉着生個体と枯葉着生個体の樹高成長の比較

エラーバーは、標準偏差を示す。

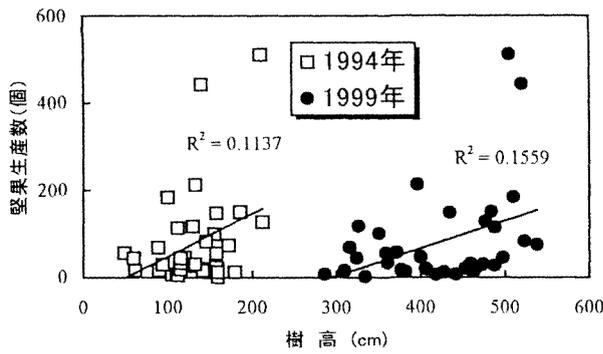


図5. 樹高と3年間の全堅果生産数との関係

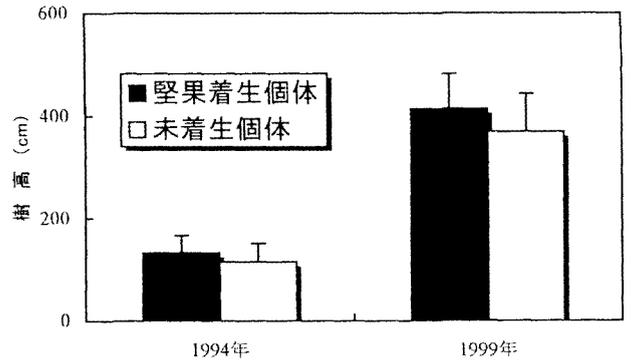


図6. 堅果着生の有無による樹高の比較

エラーバーは、標準偏差を示す。

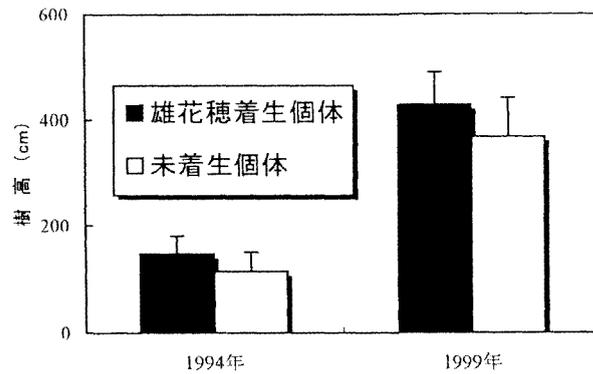


図7. 雄花穂着生の有無による樹高比較

エラーバーは、標準偏差を示す。

い結果が得られた (t 検定; 両年とも $p < 0.001$)。

4 考 察

河野らは、ミズナラ種内交配家系について1990年の3年生苗高を分散分析により解析した結果、系統間に有意差が検出されたことを報告⁴⁾している。1992年の5年生時点の樹高においても同様に著しい系統間差が認められた。しかし6年生時点と7年生時点では系統間差が認められなかった。試験園に近い江別市西野幌の最大積雪深は、1993年が115cm⁶⁾、1994年が94cm⁷⁾である。1992年時点の平均樹高は64.6cm、1993年時点では97.2cm、1994年時点は112.7cmである。積雪に完全に覆われる1992年までは雪折れ、枝ぬけ等の積雪による被害を比較的受けないが、最大積雪深程度まで成長した1993年および1994年では、これらの被害を受けやすくなると考えられる。両年はほとんどの個体が積雪による被害を受けたことから、被害の有無にかかわらず全個体のデータを分析に用いた。このことにより系統間の成長差が消失したものと考えられる。平均樹高375.9cmと積雪の影響を完全に脱した1999年時点では、再び系統間に有意差が現れてきている。1988年時点の苗高とそれ以降の樹高との相関をみても、1992年までと1999年では、有意な相関が得られているが1993年および1994年は有意でなかった。これも積雪等による被害個体の存在が原因となっていると考えられる。

系統間に有意差が認められた1999年時点の樹高を交配様式別にみると、ミズナラ×カシワ交雑家系の2家系は、家系別平均樹高の1、2位を占め、交雑家系は、ミズナラ種内交配家系に比べ有意に大きかった。一般的にカシワは、ミズナラに比べ成長が劣っていることから、ミズナラ×カシワ種間交雑家系は両親種のどちらよりも成長が良いことが推察される。

カシワはほとんどの個体が冬期に枯葉を着生させているのに対し、ミズナラは着生させていない。家系別の樹齢5年生および10年生時点での枯葉着生状況は、交配家系別の着生個体率に差が認められ、ミズナラ×カシワ交雑家系は、両年とも高い率を示したが特に10年次でミズナラ種内交配家系との差が顕著になる傾向がみられた。葉や堅果の諸形質において、ミズナラ×カシワ交雑家系は、両親種の中間の特性を持つことが報告¹⁰⁾されている。冬期における枯葉の着生では、種間交雑家系は、枯葉着生個体が多くみられ、花粉親であるカシワの影響によると考えられる。冬期における枯葉の着生は、寒風からの冬芽の保護といった利点をもつ反面、多雪地帯では、着雪による雪折れを助長すると考えられる。北海道育種場内のコナラ属産地別試験園では、枯葉の着生するカシワ個体に雪折れが多く、植栽後17年たっても積雪深を脱せない個体も観察されている。このようなことから枯葉を着生させている個体は樹高が低いという仮説をたて解析を行ったが、積雪深を越えない1994年次点でも、積雪深を脱した1999年次点においても枯葉を着生している個体と着生していない個体の樹高は、有意差が認められなかった。冬期の枯葉の着生はミズナラの成長に影響を及ぼさないことが示唆された。

1994年時点および1999年時点の樹高と1997年から1999年までの3年間の全生産堅果数との間に有意な相関が認められたこと、堅果や雄花穂を着生した個体は、着生しない個体に比べ有意に樹高が高いことから、植栽10年目までの若齢期では、成長の良好な個体ほど繁殖が旺盛なことがわかった。

ミズナラ×カシワ種間交雑家系とミズナラ種内交配家系の樹齢10年目までの成長と繁殖特性を調査解析したが、種間交雑家系は、成長も繁殖もミズナラ種内交配家系を上回っていることがわかった。また、種間交雑家系から採取した自然受粉堅果の成長も良いこと¹⁰⁾から、種間雑種自身もその後代も良い成長を示すことが推察される。北海

道の北部では、ミズナラとカシワの開花時期が近接することが報告⁹⁾されており、また種間雑種の開花時期は、両親種の間となり、両親種との自然交雑の可能性が示唆されている¹⁰⁾。北海道内の天然林内では、形態的にミズナラとカシワの中間型の個体がよくみられる⁵⁾が、以上のことから、これらはミズナラとカシワの種間雑種とその後代である可能性も高いと考えられる。

今後とも成長や繁殖、各種形質について継続的に調査していくほか、材質やタンニン等の化学物質の調査も行い、種間交雑がミズナラの材質等に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

引用文献

- 1) Cottam, W. P., Tucker J. M. and Santamour, F. S. : Oak hybridization at the university of Utah, State Arboretum of Utah Publ no 1 (1982)
- 2) 藤井宏一：“生物統計学” 米澤勝衛・佐々木義之・今西 茂・藤井宏一共著，朝倉書店，130～162 (1988)
- 3) 橋詰隼人：ナラ類の育種に関する基礎的研究（I）開花，受粉，花粉の貯蔵および種間交雑について，平成5年度科学研究費補助金（一般研究B）研究成果報告書，3～11 (1994)
- 4) 河野耕藏・長坂寿俊・織田春紀・栄花 茂・久保田権：ナラ類の種内交配および種間交雑における堅果生産とアイソザイムの遺伝様式，林育研報，9，15～36(1991)
- 5) 宮崎安貞：北海道におけるナラ類の遺伝子浸透と自然雑種，北海道の林木育種，31(1)，5～8 (1988)
- 6) 日本気象協会北海道本部：地域気象観測積雪月原簿，北海道の気象，37(2)，86 (1933)
- 7) 日本気象協会北海道本部：地域気象観測積雪月原簿，北海道の気象，38(2)，88(1994)
- 8) Piatnitsky, S. S. : Evolving new forms of oaks by hybridization, Proc. 5th World For. Congr. 2, 815-818 (1960)
- 9) 清水 一・菊地 建・山田建四：日本海沿岸におけるカシワ芽鱗腋芽数の産地間変異，日林北支論，43，140～142(1995)
- 10) Steinhoff : Result of species hybridization with *Quercus robur* L and *Quercus petraea* (Matt) Liebl., Ann Sci For 50, Suppl 1, 137s-143s (1993)
- 11) Steinhoff : Results of *Quercus* Hybridization Work from 1989 - 1996 at Escherode (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. And *Quercus robur* L.), Diversity and Adaptation in Oak Species Proceedings (Edited by Kim C. Steiner), 156-164 (1997)
- 12) 高橋丑太郎：広葉樹に惚れて50年，第一印刷，248pp (1984)
- 13) 竹越俊文：北海道産ナラ材考ーききがき抄ー，北海道の林木育種，31 (2)，34～36 (1988)
- 14) 生方正俊・板鼻直栄・河野耕藏：ミズナラとカシワの交雑和合性および種間雑種における繁殖能力と開花時期，日林誌，81 (4)，286～290 (1999)
- 15) 生方正俊・河野耕藏・飯塚和也：ミズナラ×カシワ交雑家系の形態的特性，日林北海道支論，44，113～116 (1996)
- 16) 生方正俊・林 英司・丹藤修：北海道におけるミズナラの開葉の産地間差，日林論，105，451～452 (1994)
- 17) Van Valen, L. : Ecological species, multispecies and oaks, Taxon , 25, 233-239 (1976)

Trait of Growth and Reproductive Ability in the Intraspecific Crossbreeds of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and in the Species Hybrids from *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and *Quercus dentata*

Masatoshi UBUKATA⁽¹⁾, KOOZO KOONO⁽¹⁾ and Naoei ITAHANA⁽¹⁾

Summary : The analyses of tree height from 1-year-old seedling to 10-year-old stand in the intraspecific crossbreeds of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and in the hybrids from *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and *Quercus dentata* was carried out. Statistical difference among families from 1-year-old to 3-year-old seedling and 10-year-old stand were determined by an analysis of variance. But that difference weren't determined at 4-year-old and 5-year-old stand. The hybrids taller than the intraspecific crossbreeds at 10-year-old stand. There were many individuals with dead leaves in hybrids in winter. It was seemed that this result is due to pollen parent (*Quercus dentata*). Statistical difference between individuals with dead leaves and individuals without them wasn't determined. The amount of acorn production from 1997 to 1999 showed a positive correlation with tree height at 1994 and 1999. The individuals that produced acorns and male catkins were taller than the individuals that didn't produce them. It was suggested that the reproduction ability was closely related to the growth in young trees of these species.

(1) Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center
561, Midori, Bunkyo-dai, Ebetsu, Hokkaido 069-0836 Japan