

참나무속의 인공 및 자연 종간잡종 가계의 종자결실 및 활력과 화분의 음성

이 정 호*

국립수목원

Seed Setting and Viability and Fertility of Pollens in Families of Artificial and Natural Interspecific Hybrids in *Lepidobalanus* of Genus *Quercus*

Jeong-Ho Lee*

Korea National arboretum, Pocheon 487-821, Korea

요 약: 참나무속(*Q. serrata*, *Q. dentata*, *Q. mongolica* var. *crispula*, *Q. aliena*)의 인공교배에 의한 종간잡종의 묘목을 鳥取대학농학부 구내의 묘포장에 식재하였다. 또한 鳥取대학 蒜山연습림에서 자연교잡종(*Q. fabri*와 *Q. × mccormickii*) 가계의 묘목을 선발하여 鳥取대학 蒜山연습림에 식재하였다. 인공종간잡종 F₁은 4년생, 자연교잡종 F₁은 3년생 때에 개화하였다. 2001년도에 이 중에서 개화한 개체로부터 화분과 종자를 채취하여 화분의 크기와 음성, 종자의 활력을 조사하였다. 인공종간잡종 화분의 발아율은 1개체를 제외하고 84% 이상이었고, 화분관의 신장도 양호하였다. 인공종간잡종의 건전한 종자의 발아율은 90% 이상으로 양친과 비슷한 높은 발아율을 보였다. 자연잡종 가계의 종자도 건전한 종자의 발아율은 각 가계의 평균이 64% 이상이었고, *Q. fabri*, *Q. × mccormickii*의 자식종자도 높은 번식 능력을 유지하는 것으로 나타났다.

Abstract: Interspecific hybrid seedlings by artificial crossing of Genus *Quercus* (*Q. serrata*, *Q. dentata*, *Q. mongolica* var. *crispula*, *Q. aliena*) were planted at nursery in Tottori University. Seedlings of hybrids by natural crossing(*Q. fabri* and *Q. × mccormickii*) were selected and planted at Hiruzen district in Tottori University. Artificial interspecific hybrid F₁ and natural hybrid F₁ bloomed when they were 4 years old and 3 years old, respectively. The pollen fertility and seed viability were investigated from the bloomed individuals in 2001. The germination percentages of the pollens of artificial interspecific hybrid were more than 84% except one individual, and the extension of pollen tubes was normal. The normal seed percentages of artificial interspecific hybrid were more than 90% similar to parents. Germination percentages of normal seed of natural crossing family were more than 64%, respectively, and selfed offsprings of *Q. fabri*, and *Q. × mccormickii* had high reproductive ability.

Key words: Genus *Quercus*, interspecific hybrid, natural hybrid, pollen fertility, seed viability

서 론

Ubukata(1999) 등은 *Quercus dentata* × *Q. mongolica* var. *crispula*와 *Q. mongolica* var. *crispula* × *Q. dentata*의 인공교배를 실시하여 잡종을 육성하였다. 특히 *Q. mongolica* var. *crispula* × *Q. dentata*의 중간교잡종 개체는 수령 10년생 정도에서 화분과 종자를 생산하는 능력이 있으며, 이들 중간교잡종의 화분과 종자의 발아율은 *Q.*

mongolica var. *crispula*의 종내 교배 개체와 차이가 없고, 당년생 묘목의 성장은 *Q. mongolica* var. *crispula* 종내 교배 개체보다 좋다고 보고하고 있다.

Q. serrata, *Q. dentata*, *Q. mongolica* var. *crispula* 등이 혼생하는 지역인 鳥取대학 蒜山연습림(岡山底郡河上村)에 이들 중간형 개체가 매우 높은 빈도로 나타났으며 (Hashizume et al 1994b), 이들 중간형 개체가 중간 잡종으로 추정되어 이를 확인하고자 양친 종으로 생각되는 *Q. serrata*, *Q. dentata*, *Q. mongolica* var. *crispula*, *Q. aliena*, *Q. fabri* 등을 이용한 인공교배로 잡종을 만들어 육성하였

*Corresponding author
E-mail: mtmac@foa.go.kr

다. 육성한 F₁ 잡종은 6~9년생이 되어 개화하였으며 이들 인공잡종(F₁) 화분의 임성과 종자의 발아능력을 조사하였다.

참나무류는 인공잡종을 만들어 자연잡종과 비교하거나 중간잡종의 번식 능력 등을 연구한 사례가 거의 없어 본 연구에서 수행한 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

1. 시험재료

화분 및 종자를 채집한 재료를 Table 1에 나타냈다. 인공잡종, 모수 및 화분수는 鳥取대학농학부(鳥取市湖山町) 구내의 시험지에 식재하였으며, 이들 중 개화, 결실한 개체로부터 화분은 4월 하순에, 종자는 10월 중순에 각각 채취하였다. 인공잡종은 4~5년생 때부터 꽃이 피기 시작하였다. 한편 鳥取大森山演習林(岡山) 에서 선발한 *Q. dentata*와 *Q. serrata*의 중간잡종이라 생각되는 *Q. fabri*형의 개체와 *Q. dentata*와 *Q. mongolica* var. *crispula*의 중간잡종이라 생각되는 *Q. × mccormickii*형의 총 17개체로부터 자연교잡 종자를 채취, 연습림 내의 시험지에 식재하였다. 그 중에서 결실한 4가계의 25개체로부터 종자를 채취하였다.

2. 조사방법

화분 형태의 조사는 개화기에 수꽃화서를 채취하고 실

내에서 풍건하여 화분을 모았으며, 그 측정은 석산카민으로 염색하여 개체별로 30개씩의 화분 길이와 폭을 측정하였다. 또한 300개의 화분립에 대하여 석산카민으로 염색된 정상 화분과 염색되지 않은 비립 화분을 조사하였다. 또한 화분의 임성 조사를 위한 화분의 발아 시험은 실험 배지를 이용하여서 실시하였다. 배지는 재증류수를 이용하여 한천 1%에 당 20%의 농도로 첨가하여 가열 용해 후, 직경 2 cm, 높이 4 cm의 용기에 녹여 넣고, 경화시킨 후 화분을 흘뿌렸다. 배양은 30°C에서 24시간 실시하였으며, 5회 반복하였다. 발아율은 한 개체당 300개씩 측정하고 화분관의 길이는 정상적으로 신장한 화분 30개를 측정 하였다.

종자의 발아특성 조사는 채취한 종자를 병에 넣어 물에 적신 탈지면으로 입구를 막고, 실온에 저장한 다음, 이듬해 봄에 발아, 충해, 부패 상황을 조사하고 종자를 포트에 파종하여 발아와 성장 상황을 조사하였다.

결과 및 고찰

1. 중간잡종의 개화결실

인공중간잡종의 결실 상황을 Table 2에 나타냈다. 중간잡종은 4년생부터 개화결실을 시작하여 6년생까지 67% 이상의 개체가 개화하여 종자를 맺었다. 특히 *Q. dentata* × *Q. aliena* F₁은 6년생까지 전 개체가 결실하였고, 결실수는 1~47개로 개체에 따라서 차이가 있었다. 비교 수종

Table 1. General information of sample trees studied.

F ₁ Parents and Hybrids	No. of trees investigated	Age (year)	D.B.H (cm)	Height(m)	Remarks
<i>Q. aliena</i> × <i>Q. serrata</i> F ₁	7	9	3.4~9.6	2.0~4.1	
<i>Q. dentata</i> × <i>Q. aliena</i> F ₁	4	7	3.2~5.3	1.9~3.2	
<i>Q. aliena</i> × <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i> F ₁	6	6	2.6~5.0	1.4~3.2	Planted in nursery of Tottori Univ.
<i>Q. fabri</i> × <i>Q. serrata</i> F ₁	4	9	2.8~3.3	1.3~2.0	
<i>Q. aliena</i> , <i>Q. dentata</i> , <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i> , <i>Q. serrata</i> , <i>Q. fabri</i> (Parents)	1	20	12~22	7~12	
Family of hybrids by natural crossing in <i>Q. fabri</i> No. 2	17	9	4.1~8.2	1.7~4.1	
Family of hybrids by natural crossing in <i>Q. fabri</i> No.141	44	6,8	2.8~5.6	1.5~3.1	Planted in the Forests of Tottori Univ. Forests of Hiruzen district.
Family of hybrids by natural crossing in <i>Q. fabri</i> No.158	16	6	3.4~8.2	1.3~3.1	
Family of hybrids by natural crossing in <i>Q. × mccormickii</i> No.140	20	7	4.1~8.3	1.9~3.9	

Note : 1) Measured in 2001.

Table 2. Seed setting of artificial interspecific hybrid.

Parents	No. of trees investigated	Age of flowering	Percentage of seed setting (%)	No. of seed setting per tree
<i>Q. aliena</i> × <i>Q. serrata</i>	7	5	9 years old 86%	24.8(9 year)
<i>Q. dentata</i> × <i>Q. aliena</i>	4	4	6 years old 100%	18.0(6 year)
<i>Q. aliena</i> × <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i>	6	5	6 years old 67%	11.0(6 year)
<i>Q. fabri</i> × <i>Q. serrata</i>	4	6	9 years old 75%	7.5(9 year)
<i>Q. aliena</i>	7	5	6 years old 57%	
<i>Q. dentata</i>	17	7	7 years old non seed setting	
<i>Q. serrata</i>	5	6	6 years old non seed setting	

Table 3. Seed setting of each family in natural crossing.

Interspecific hybrid	No. of trees investigated	Age of flowering	Age of investigated	Percentage of seed setting(%)	No. of seed setting per tree	Remarks
Family of <i>Q. fabri</i> No. 2	17	6	9	23.5	24.3	
Family of <i>Q. fabri</i> No. 141	20	5	8	35.0	21.1	1993 seeding
	24	3	6	50.0	17.9	1995 seeding
Family of <i>Q. fabri</i> No. 158	16	4	6	18.8	58.3	
Family of <i>Q. × mccormickii</i> No. 140	20	4	7	15.0	39.3	
<i>Q. dentata</i>	17			non flowering up to 7 years old		
<i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i>	15			non flowering up to 7 years old		
<i>Q. serrata</i>	5			non flowering up to 6 years old		

Note : 1) Measured in October 2001.

Table 4. Pollen size and fertility of each parents in artificial interspecific hybrid.

Parents	No. of trees	Pollen diameter (μm)	Normal pollen ratio(%)	Abnormal pollen ratio(%)	Germination percentage (%)	Pollen tube length(μm)
<i>Q. aliena</i> (male and female)	1	32.9	93.4	6.6	88.8	340
<i>Q. dentata</i> (female)	2	37.8	97.1	2.9	88.9	374
<i>Q. serrata</i> (male)	1	36.8	72.0	28.0	85.5	302
<i>Q. aliena × Q. serrata</i>	9	34.4	97.1	2.9	96.1	489
	10	33.8	98.4	1.6	84.2	419
	12	32.5	100.0	0	96.0	455
	13	34.2	78.6	21.4	67.5	331
	51	34.2	99.0	1.0	94.7	444
	Average		33.8±0.77	94.6±9.02	5.4±9.02	87.7±12.34
<i>Q. dentata × Q. aliena</i>	31	35.1	97.0	3.0	97.5	455
	33	35.5	93.7	6.3	94.6	467
	34	40.4	96.6	3.4	90.0	437
	Average		37.0±2.95	95.8±1.80	4.2±1.80	94.1±3.78

인 *Q. dentata*, *Q. serrata*의 실생목보다 *Q. aliena*를 포함한 교잡종의 개화 개시 수령이 어렸다.

자연잡종이라 생각되는 가계의 결실상황을 Table 3에 나타냈다. *Q. fabri* 141호의 가계가 가장 빨리 3년생이 개화와 결실이 되었으며, 1995년 파종한 그룹은 6년생 때에 50%의 개체가 결실하였다. 그 이외의 가계도 4년생 또는 6년생 때에 개화와 결실을 시작하였지만 개체 간에 차이가 있고, 매년 결실하는 것과 9년생이 되어도 결실하지 못하는 개체가 있었다. 같은 시험구 내에 대조구로 식재한 *Q. dentata*와 *Q. mongolica* var. *crispula*의 차대는 7년생, *Q. serrata*의 차대는 6년생이 될 때 까지 전 개체가 꽃이 피지 않았다.

2. 종간잡종 화분의 임성

양친과 인공잡종의 화분 크기는 32.9~40.4 μm이고 임성은 69~100%로 Table 4에 나타난 바와 같다. 인공잡종인 *Q. aliena × Q. serrata* F₁의 화분 크기는 33.8±0.77 μm로 양친의 중간 크기인 반면 *Q. dentata × Q. aliena* F₁의 화분 크기는 37.0±2.95 μm로 화분수와 비슷했다.

석산카민으로 염색하여 선별한 인공잡종의 정상 화분 비율은 약 95%이고, *Q. aliena × Q. serrata* F₁의 No. 13은 78.6%로 낮게 나타났으나 그 외에는 97% 이상이었다. 인공발아시험에서 인공잡종 개체의 발아율은 전술의 No. 13을 제외하고 84% 이상이었으며, 화분관의 신장도 양호하였다. No. 13개체는 석산카민으로 염색되지 않는 비립화분이 21% 정도이며 발아율은 68%로 나타났다.

3. 종간잡종의 종자 활력

인공잡종의 종자 활력은 Table 5에 나타난 바와 같다. 참나무류의 종자는 가을에 성숙하고 낙과한 후 충해 등으로 부패하는 것이 많으므로 건전한 종자와 부패한 종자의 조사는 이듬해 3월에 실시하였다. 인공잡종의 건전한 종자의 비율은 *Q. dentata × Q. aliena* F₁의 No. 32를 제외하고 90% 이상이었다. No. 32에서는 건전한 종자가 52%, 부패한 종자가 48%였다. 부패한 종자의 부패 원인은 바구미유충의 식해에 의한 것이 대부분이었고, 다른 조합에서도 4~10% 정도의 부패 종자가 관찰되었다. 건전한 종자를 보습 상태에서 보존한 결과 12월경까지 대부분 발아

Table 5. Seed viability of each parents in artificial interspecific hybrid.

Parents	No. of trees	No. of seed	Seed		Germination seed (%)
			normal (%)	decay (%)	
<i>Q. aliena</i> (female and male)	1	25	96	4	91
<i>Q. serrata</i> (female and male)	1	23	87	13	90
<i>Q. dentata</i> (female and male)	2	10	100	0	100
<i>Q. aliena</i> × <i>Q. serrata</i>	9	19	95	5	100
	10	24	100	0	100
	12	42	96	4	100
	13	40	95	5	100
	31	10	100	0	90
<i>Q. dentata</i> × <i>Q. aliena</i>	32	25	52	48	69
	33	40	100	0	95
	34	30	100	0	93
	71	30	90	10	96
<i>Q. aliena</i> × <i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i>	73	12	100	0	100
	2	13	100	0	100

Table 6. Seed sterility of natural hybrid family.

Family of parents tree	No. of investigated	No. of seed setting	Age of investigated (year)	No. of seed per tree	Seed		Germination seed (%)
					normal (%)	decay (%)	
Family of <i>Q. fabri</i> No. 2	17	4	9	$\frac{20.8}{5-36}$	$\frac{81.7}{74-90}$	$\frac{18.3}{11-26}$	$\frac{85.0}{65-100}$
Family of <i>Q. fabri</i> No. 141	44	15	6 8	$\frac{18.7}{7-41}$	$\frac{83.2}{43-100}$	$\frac{16.9}{0-57}$	$\frac{73.3}{29-100}$
Family of <i>Q. fabri</i> No. 158	16	3	6	$\frac{45.0}{30-56}$	$\frac{90.9}{81-98}$	$\frac{9.1}{2-19}$	$\frac{100}{100}$
Family of <i>Q. × mccormickii</i> No. 140	20	3	7	$\frac{35.3}{22-44}$	$\frac{71.3}{46-91}$	$\frac{38.7}{9-55}$	$\frac{64.4}{53-100}$

Note : Seed sampling in October 2001.

하였으며, 발아되지 않은 종자를 포함하여 건전한 종자 전부를 포트에 식재하였다. 그 결과 전술의 No. 32을 제외하고 90% 이상이 발아하였으며, 인공종간잡종 종자 대부분이 높은 발아율을 가지고 있었다.

자연잡종 가계의 종자 활력은 Table 6에 나타났다. *Q. dentata*와 *Q. serrata*의 자연잡종이라 여겨지는 *Q. fabri* 3개체 가계와 *Q. dentata*와 *Q. mongolica* var. *crispula*의 잡종이라 여겨지는 *Q. × mccormickii* 1개체 가계의 묘목을 식재하여, 6~9년생인 때에 종자가 달린 개체로부터 종자를 채취하여, 다음해 봄에 종자의 내용을 조사하였다. 각 가계의 건전한 종자의 비율은 평균 71% 이상이었지만, *Q. fabri* 141호와 *Q. × mccormickii* 140호의 가계에서는 부패율이 높은 개체가 있었으며, 건전한 종자의 비율이 50% 이하의 개체도 있었다. 부패 종자는 대부분이 충해에 의한 부패였으며, 55~57%의 높은 피해를 받은 개체도 있었다. 이중 건전한 종자를 포트에 파종하여 발아 시험을

실시한 결과, 각 가계의 건전한 종자의 평균 발아율은 64~100%였지만, *Q. fabri* 141호의 가계 중에서는 발아율이 29%인 것도 있었다. 또한 *Q. fabri* 158호의 가계는 전 개체가 100%의 높은 발아율을 보였다. *Q. fabri*, *Q. × mccormickii*의 자식종자도 대부분 높은 번식력을 가지고 있음을 알 수 있었다.

아시아 지역에 분포하는 참나무속의 *Q. serrata*, *Q. dentata*, *Q. mongolica* var. *crispula*, *Q. aliena*는 교잡이 용이하고, 이 종들이 함께 분포하는 지역에서는 높은 빈도로 자연잡종이 이루어짐을 많은 연구자들이 보고하였다(Hashizume *et al.*, 1994b, Hayashi, 1969, Kitamura and Murata, 1979, Miyazaki, 1988, Okada *et al.*, 1994, Satake, 1989). 또한 Hashizume(1994a) 등은 이들 참나무류는 인공교배에 의해 쉽게 잡종을 만들 수 있음을 실험을 통하여 보고하였으며, 지금까지 *Q. dentata* × *Q. serrata* F₁, *Q. serrata* × *Q. dentata* F₁, *Q. dentata* × *Q.*

aliena F₁, *Q. aliena* × *Q. dentata* F₁, *Q. aliena* × *Q. mongolica* var. *crispula* F₁, *Q. serrata* × *Q. mongolica* var. *crispula* F₁을 얻어 시험지에 식재하였다.

Piatnisky(1960)는 참나무류 27조합의 교잡으로 15,000 이상의 잡종 종자를 얻었으며, Stein hoff(1993)는 *Quercus rubra*와 *Q. petraea*의 인공교배를 실시하였으며, *Q. rubra* × *Q. rubra* 잡종종자의 발아율은 여러 개체의 혼합화분 수분으로 60.8%, 단목의 수분으로 48.8%, 또한 *Q. rubra* × *Q. petraea*의 종간교잡에서는 혼합화분 수분으로 55.8%, 단목 수분으로 33.1%임을 보고하였다. 그리고 1개체의 화분을 사용하는 것과 여러 개체의 혼합된 화분을 사용하는 것에 따라 종자의 발아율에 차이가 있음을 보고하였다. 또한 역교배인 *Q. petraea* × *Q. rubra*의 종자 발아율은 6.1%(혼합화분 수분)와 6.9%(단목 수분)로 나타났으며, 교배 조합에 따라 종자의 임성에 커다란 차이가 있음을 밝혔다.

본 연구에서는 *Q. aliena* × *Q. serrata*, *Q. fabri* × *Q. serrata*의 종자는 모두 100%의 발아율을 보인 반면, *Q. dentata* × *Q. aliena* 조합중 1개체 종자는 발아율이 69%로, 다른 조합에서보다 낮아, 조합 또는 개체에 따라 종자의 임성에 차이가 있음을 알 수 있었다. 그러나 모든 조합에서 발아율이 0인 것은 없었으며, 참나무속의 인공종간잡종 종자는 높은 발아 능력을 가지고 있다고 생각된다. 한편 자연교잡종의 종자 발아율은 50% 이하의 개체도 있으나, 가계 평균치는 어떤 가계이든 64% 이상이었으며, 잡종 불임은 관찰되지 않았다.

배주가 정상이어도 화분이 불임성이면 종자는 형성되지 않으므로 *Q. dentata*, *Q. serrata*, *Q. mongolica* var. *crispula*의 자연잡종이라 생각되는 *Q. fabri*와 *Q. × mccormickii* 화분의 임성을 조사하였으며, 그 결과 *Q. fabri* 화분의 평균 발아율은 76%, *Q. × mccormickii*는 84%로, 자연교잡종에서 웅성불임의 개체는 없는 것으로 보고되었다(Lee et al., 1996). 본 보고에서도 *Q. aliena* × *Q. serrata* F₁ 및 *Q. dentata* × *Q. aliena* F₁의 경우 양친보다 높거나 같은 정도의 높은 발아율을 나타냈다. 따라서 적당한 조건과 기회가 주어지면 참나무속의 종들은 손쉽게 교배되어 유전자가 이입되고, 빈번하게 교배가 일어나서 형태적 다양성을 나타내는 개체가 출현하리라 생각된다. 참나무류의 교배실험에서 앞의 외부 형태는 *Q. dentata* × *Q. serrata* F₁의 *Q. fabri*는 *Q. dentata*와 *Q. serrata*의 중간 형태를 나타내고, *Q. fabri* × *Q. serrata* F₁은 *Q. dentata*보다는 *Q. serrata*에 가까운 앞의 형태를 보였다. 그러나, 천연림에서 이들 종들의 개화기는 완전히 일치하지 않으므로(Lee et al., 1996), 다른 종간의 교잡이 쉽지 않지만 일본의 북해도와 같이 고랭지에서는 참나무류의 개화기는 겹쳐지고, 각 수종이 같은 시기에 개화함

으로써 손쉽게 종들 간의 개화기가 중복되어 다른 종에 유전자가 이입될 가능성이 있다(Miyazaki, 1988). 본 연구에서 육성한 인공종간잡종은 또한 10년생 전후에서 번식 능력이 있음을 확인하였지만 성장 특성(잡종강세, 잡종약세 등)과 생존 능력 등은 파악되지 않아 차후에 연구되어야 할 것으로 생각된다.

인용문헌

1. Hashizume, H.Z. Suo, J.H. Lee and F. Yamamoto. 1994a. Fundamental studies on the breeding of *Quercus* species(I). Flowering, pollination and seed bearing by artificial pollination. Trans. Jpn. For. Soc. 105: 321-324.
2. Hashizume, H.Z. Suo, J.H. Lee, S. Okada and F. Yamamoto. 1994b. Fundamental studies on the breeding of *Quercus* species(II). On the characters of leaves and fruits in natural hybrids among *Q. dentata*, *Q. serrata* and *Q. mongolica* var. *grosseserrata*. Trans. Jpn. For. Soc. 105: 325-328.
3. Hayashi, Y. 1969. Illustrations of Useful Woody Plants. 215pp. Seibundoshinkosha. Co. Ltd. Tokyo, Japan.
4. Lee, J.H., H. Hashizume and F. Yamamoto. 1996. Variations in flowering time, pollen morphology and fertility of *Quercus dentata* Thunb., *Q. serrata* Thunb. *Q. mongolica* var. *grosseserrata* Rehder et Wilson and their intermediate types. Jap. For. Soc. 78: 452-456.
5. Kitamura, S. and G. Murata. 1979. Coloured Illustrations of Woody Plants of Japan(II). 268-269pp. Hoikusha Publish. Co. Ltd. Osaka, Japan.
6. Miyazaki, Y. (1988) Studies introgression and natural hybridization of oaks in Hokkaido. For. Tree. Breed. Hokkaido. Japan. 31: 5-8.
7. Okada, S.Y. Nakagawa and H. Hashizume. 1994. Hybridization of deciduous *Quercus* species in Chugoku mountain (I). A classification of leaf hair type by scanning-electron microscopy. Trans. Kansai Branch. Jpn. For. Soc. 3: 133-136.
8. Piatnisky, S.S, 1960. Evolving new forms of Oak by Hybridization. Prof. 5th World For. Congr. 2: 815-818.
9. Satake, Y.H. Hara. S. Watari and T. Tominari. 1989. Woody Flowers of Japan, Trees I. 70-72pp. Heibonsha Co., Ltd. Tokyo, Japan.
10. Stein-hoff, S. 1993. Results of species hybridization with *Quercus rubra* L. and *Quercus petraea*(Matt) Liebl. Ann. Sci. For. 50 Suppl. 1: 137-143.
11. Ubukata, M.N. Itahana and K. Kohono. 1999. Cross-compatibility between *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* and *Quercus dentata* and both the reproductive ability and flowering time of their interspecific hybrids. J. Jap. For. Sci. 81: 286-290.