

## 동양배 암술의 기계적 손상에 따른 화분관 신장과 착과

강삼석<sup>1\*</sup> · 김윤경<sup>1</sup> · 조광식<sup>1</sup> · 최장전<sup>1</sup> · 황해성<sup>1</sup> · 정상복<sup>1</sup> · 이희재<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>국립원예특작과학원 배시험장, <sup>2</sup>서울대학교 식물생산과학부, <sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학연구원

### Pollen Tube Elongation and Fruit Set of Asian Pear (*Pyrus pyrifolia*) upon Mechanical Damage on the Style

Sam-Seok Kang<sup>1\*</sup>, Yoon-Kyeong Kim<sup>1</sup>, Jang-Jeon Choi<sup>1</sup>, Kwang-Sik Cho<sup>1</sup>, Hae Sung Hwang<sup>1</sup>, Sang-Bouk Jeong<sup>1</sup>, and Hee Jae Lee<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Pear Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Naju 520-821, Korea

<sup>2</sup>Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

<sup>3</sup>Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

**Abstract.** In the present study, pollen tube growth and fruit set in Asian pear (*Pyrus pyrifolia*) were examined upon the mechanical damage on the stigma and style following the artificial pollination. When the upper middle part of style was cut off at 48 h after the artificial pollination, pollen tube grew to the middle of the style and the subsequent pollen tube elongation and fruit set normally occurred. When the style was cut off before the pollen tube reached the middle of the style, however, no pollen tube elongation and fruit set occurred. With the pollen tube elongation through the style, callose plugs at the basal part of the pollen tube were formed to the direction of the elongation at regular intervals. When the upper part of pollen tube attached pollen grain was cut off, however, callose plugs were formed defectively in the pollen tube, and the pollen tube opened and lost their turgor pressure. These facts might be the reason for the ceased or delayed pollen tube elongation and ultimately the failure of the fertilization.

**Additional key words:** artificial pollination, callose plug, fertilization, seed formation

## 서 언

배는 5개의 암술과 5개의 심피를 가지고 있는 합생심피로 각각의 암술대는 독립되어 있다. 각각의 암술대는 1개의 심피와 연결되어 있고, 심피 내부에는 두개의 종자가 형성될 수 있다. 그러나 개화기의 서리피해 등에 의해 암술대가 장해를 받은 경우에 장해를 받은 암술대와 연결된 씨방에서도 충실한 종자가 형성될 수 있어 불량 환경에 대한 적응성을 가지고 있다(Bae와 Kim, 2002). 그러나 불량 환경에 대한 적응성은 품종에 따라 차이가 있으며(Kang 등, 2003), 종자가 형성되지 않거나 종자수가 적은 과실은 착과상태가 유지되지 않아 결실초기에 낙과한다(Kang, 2000). 농수산물 수입 자유화에 따라 정형과 생산에 대한 요구가 증대되고 있어 비대칭과, 기형과 등 비정형과 생산 원인으로 종자의 형

성 여부가 검토된 바 있다(Kang, 2000). 종자형성은 배주의 수정여부에 의해 결정되며, 정핵은 화분관을 따라 암술머리에서 배주로 이동한다. 화분관이 암술대를 통하여 신장하는 동안 암술머리가 장해를 받은 경우 암술대 내부의 화분관 행동과 착과에 미치는 영향은 거의 알려져 있지 않아 암술대의 기계적 손상에 따른 화분관 신장과 착과에 미치는 영향 구명 등 배 생산 현장에서 일어나는 결실 불량 해소 및 비정형과 생산 경감에 필요한 기초 기술 개발이 요구되고 있다.

따라서 본 시험은 암술대의 기계적 손상이 결실에 미치는 영향을 구명하여 안정적인 결실과 정형과 생산을 위한 기초 자료를 제공하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 암술머리 제거 처리

2007년에 수분 후 화분관이 신장중인 암술대의 기능 장애가 착과에 미치는 영향을 알아보기 위해 20년생 ‘황금

\*Corresponding author: npssk014@korea.kr

※ Received 9 August 2010; Accepted 30 September 2010.

배'(4월 11일)와 10년생 '한아름'(4월 14일) 꽃을 화총당 2-3개씩 제웅하고, 남은 꽃은 제거하였다. '황금배'는 처리 직전에 방충망으로 피복하여 관리하였으며, '한아름'은 노지 상태로 관리하였다. '황금배'와 '한아름' 2품종 모두 부주지를 최소 단위로 하여 처리별로 3반복을 실시하였다. 제웅한 꽃을 2개 그룹으로 나누고 한 그룹은 암술대 수 5개, 남은 그룹은 암술대 수 1개로 조절하고, 제웅 다음날 '추황배' 화분을 이용하여 인공 수분을 실시하였다. 인공 수분 후 암술대 수 그룹별로 다시 2조로 양분하여 6, 12, 24, 48시간에 각각 한 조는 노출된 암술대의 중양을 핀셋으로 절취하여 제거하고, 남은 한 조는 암술머리 바로 아래인 암술대 상부를 절취하여 제거하였다. 대조로 암술대 수 5개와 1개 그룹에 인공 수분 후 암술대를 절단하지 않은 처리를 두었다.

### 암술대 내 화분관 신장 조사

정상적인 환경 조건에서 화분관은 수분 후 72시간 이후에 배주 내에 진입하여 중복 수정에 이르는 것으로(Yamashita 등, 1990) 알려져 있어 정상적인 암술대에서 화분관 신장 속도와 위치를 확인하기 위해 암술 수를 5개로 조절한 '황금배'에서 암술대를 절단하지 않은 대조 꽃을 인공 수분 후 4, 8, 12, 24, 48, 72시간에 각각 20개의 꽃을 수거하여 암술머리에 화분 발아수를 조사하고, 화분관 길이를 측정하였다.

절단 처리한 암술대에서 화분관의 신장 양상을 확인하기 위해 각 처리별로 절단처리 후 24, 72시간에 20개의 꽃을 수거하여 화주 내에서 신장중인 화분관 수와 화분관 길이를 조사하였다.

수거한 꽃을 FAA(formalic acid:acetic acid:ethyl alcohol (80%) = 5:5:90, v/v/v) 용액에 고정시켰다(Kho와 Baer, 1968; Yun, 1994). 고정한 시료는 1N NaOH 용액이 들어 있는 용기에 넣고 60°C의 수조에서 40분간 중탕하여 연화하였다. 연화한 시료를 증류수로 수세한 후 0.1% aniline blue 염색액에 24-48시간 염색하고 squash법으로 슬라이드를 제작하였다. Invert type 형광 현미경(Diaphot 300, Nikon)을 이용하여 330-385nm 파장의 UV 필터에서 형광 반응을 관찰하여 화분 발아 및 화분관 신장 검경을 수행하였다.

### 착과율 조사

'황금배'와 '한아름'의 암술대 제거 처리 후 처리 화수를 수상에서 조사하고, 만개 후 30일에 착과한 과실 수를 조사하여 산출하였다.

## 결과 및 고찰

인공 수분 후 정상적인 암술대에서 화분관 신장의 경시적

변화를 확인하기 위해 무절단 처리 암술대에서의 화분 발아 및 화분관 신장에 대한 형광 현미경 검경 결과를 Fig. 1과 2에 나타내었다. 인공 수분 4시간 후에 암술머리에서 화분 발아는 82.5%로 매우 높게 나타났으며, 이후 채취한 화주에서도 화분 발아는 지속적으로 높게 유지되어 정상적인 발아를 보였다(자료 미제시). 화분관은 인공 수분 4시간 후에 0.34mm의 길이로 신장하였으며, 이후 24시간까지는 1.43mm로 암술머리 바로 아래에 머물러는 수준에 불과하였다. 이후 화분관 신장이 완만하게 회복되어 48시간에는 5.56mm, 72시간에 7.45mm(암술대 길이의 74.5%)로 암술대 기부 근처에 도달하였다. 정상 조건에서 배 화분관은 인공 수분 72시간 이후에 배주 내에 진입하여 중복 수정에 이르는 것으로 알려져 왔으나(Yamashita 등, 1990), 암술대를 절단하지 않은 무처리구의 '황금배' 암술대에서 화분관 신장은 인공 수분 72시간 후에 채취한 꽃에서 대부분 암술대의 기부 수준에 머물러 있는 것으로 관찰되었다. 이는 2007년 개화기에 최고 기온이 다소 낮고, 서리 피해가 우려될 정도의 최저 기온을 보이는 등 기상 조건이 화분관의 원활한 신장에 적합치 못하였기 때문으로 판단되었다.

암술대를 제거한 처리의 화분관 신장을 조사한 결과는 Table 1에 나타내었다. 암술머리 바로 아래를 제거한 처리의 경우 인공 수분 6시간 후에 절단한 암술대에서 0-2.0 개 내외로 수적으로는 매우 적지만 화분관 신장이 일부 관찰되었다. 이는 무처리에서 인공 수분 8시간 후 화분관 신장은 1mm 이내로 암술머리 부분에 머물러 있고, 처리 과정에서 대부분이 절단되어 제거되었기 때문에 암술대에서 소수의 화분관만이 관찰된 것으로 생각된다. 인공 수분 12시간 후에 절단 처리한 암술대에서 화분관은 4.3-5.0개가 관찰되었

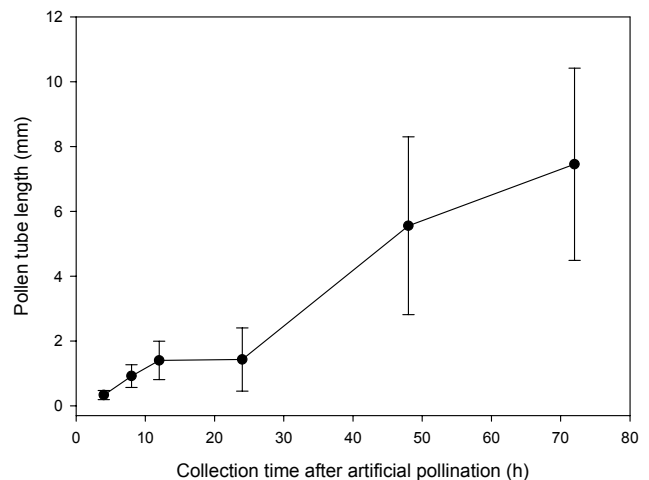


Fig. 1. Pollen tube elongation in normal styles of 'Whangkeumbae' pear cultivar at different collection times after artificial pollination. The bars represent the standard errors of the mean from 5 replications.

**Table 1.** Pollen germination and pollen tube elongation in 'Whangkeumbae' pear cultivar as affected by style cut-off at different times after pollination.

Style cut-off position	Treatment time after pollination (h)	Style length (mm)	No. of elongated pollen tubes		Pollen tube length <sup>z</sup> (mm)	
			24 h <sup>y</sup>	72 h	24 h	72 h
Upper-middle	6	9.4 ± 0.4 <sup>x</sup>	0.0 ± 0.0	2.0 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.9 ± 0.9
	12	9.6 ± 0.3	5.0 ± 2.9	4.3 ± 4.6	1.0 ± 0.3	0.9 ± 0.6
	24	9.0 ± 1.1	3.1 ± 2.8	3.8 ± 2.2	1.1 ± 0.3	1.3 ± 0.6
	48	9.8 ± 0.9	18.7 ± 16.6	21.0 ± 24.1	6.6 ± 2.8	10.1 ± 1.1
Middle	6	6.6 ± 0.5	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	12	7.0 ± 1.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	24	6.6 ± 0.4	1.0 ± 0.2	1.7 ± 0.6	2.1 ± 1.5	0.6 ± 0.3
	48	6.1 ± 0.6	12.8 ± 10.1	6.7 ± 4.4	4.4 ± 1.8	5.5 ± 3.0

<sup>z</sup>The pollen tube length was measured as the mean length of the longest pollen tube in the squashed styles.

<sup>y</sup>The styles were collected at 24 or 72 h after pollination and then fixed with FAA.

<sup>x</sup>Mean ± SE (n = 15).

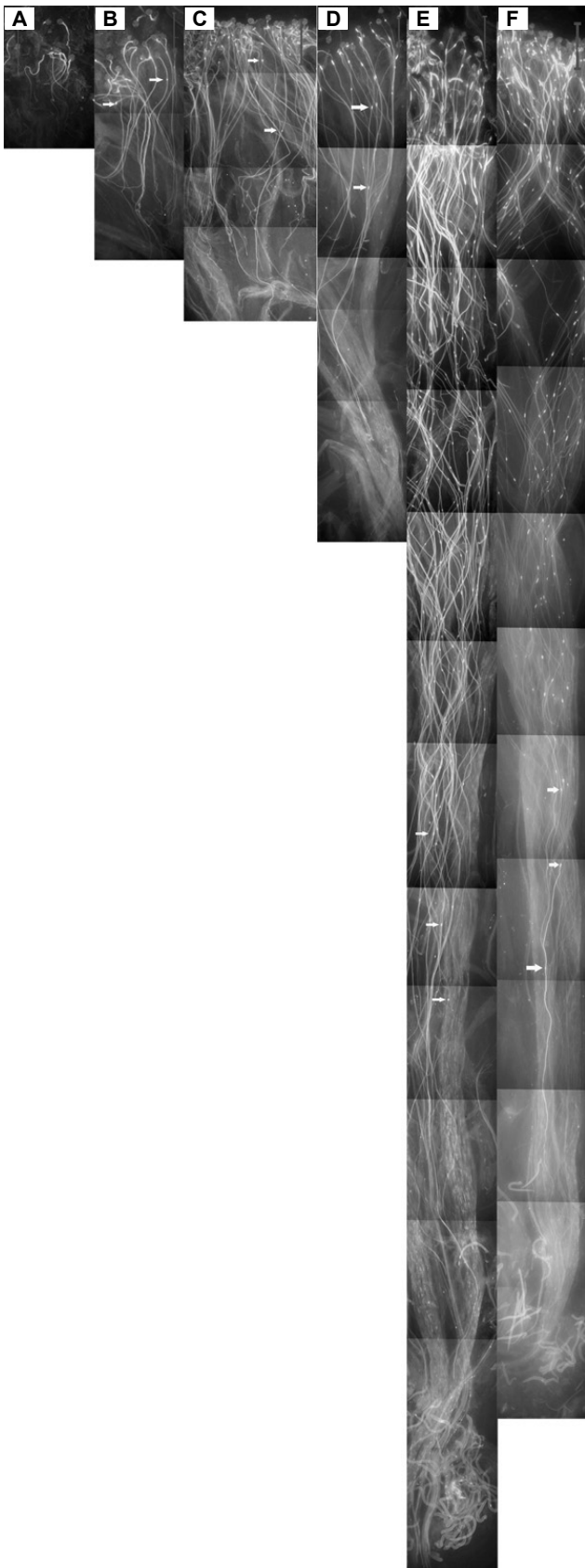
다. 화분관 길이는 절단 처리 24시간 후에 1.0mm 신장하고 있었지만, 72시간 후에도 0.9mm 수준에 머무른 점으로 보아 암술머리 절단으로 인해 화분관 신장이 거의 정지한 것으로 판단되었다. 인공 수분 24시간 후에 절단한 처리에서도 인공 수분 12시간 후에 절단한 처리와 유사한 결과를 얻었다. 이는 인공 수분 후 12시간에서 24시간 사이는 야간 저온으로 인해 화분관 신장이 거의 이루어지지 않아 비슷한 수준의 화분관 길이를 보인 때문으로 판단되었다. 반면 인공 수분 48시간 후에 절단 처리한 암술에서 화분관 수는 18.7-21.0개로 비교적 많은 화분관 신장이 관찰되었으며, 화분관 길이는 절단처리 24시간 후에 6.6mm, 72시간 후에 10.1mm로 정상 수준으로 신장하여 기부를 통과하였다.

한편 암술대의 중간을 제거한 처리의 경우에는 인공 수분 후 12시간 이전에 암술대를 제거한 꽃들은 암술대에서 화분관이 전혀 관찰되지 않았다. 인공 수분 24시간 후 절단 처리에서는 1.0-1.7개로 매우 작은 수의 화분관이 관찰되었고, 신장 길이도 처리 후 24시간에 2.1mm, 72시간에 0.63mm 신장하는 데 그쳐 절단 이후에 화분관 생장은 거의 정지한 것으로 판단된다. 이는 인공 수분 12 또는 24시간 후 암술머리 부위 절단 처리의 결과와 유사하였다. 반면, 인공 수분 48시간 후의 절단 처리에서는 화분관 수가 6.7-12.8 개 관찰되었으며, 화분관 길이는 절단 24시간 후 채취한 암술에서 4.4mm, 72시간 후에 5.5mm로 암술머리 절단 처리에 비해 길이는 짧았지만 꾸준히 신장이 진행한 것을 알 수 있었다.

암술대 절단 처리 시 외기온이 낮아 무처리한 암술대에서도 화분관 신장이 정상 조건보다 지연되어 성장하고 있었기 때문에 인공 수분 24시간 이전에 암술대를 절단한 처리에서는 화분관 신장이 부진하여 처리의 효과를 정확하게 평가하

기 어려웠다. 정상적으로 신장 중인 화분관은 일정 길이 이상이 되면 화분관 선단의 세포질과 생식핵의 역류 방지 및 노화 세포와의 격리를 위해 캘로즈 마개(callose plug)를 형성하고(Mogami 등, 2006; Willaims 등, 1982), 화분관 신장은 화분립을 포함한 화분관 내부의 팽압에 의해 신장 동력을 확보하는 것(Iwanami와 Yamada, 1984)으로 알려져 있다. Fig. 2C(인공 수분 12시간 후)와 Fig. 2D(인공 수분 24시간 후)의 화살표 부위에 나타난 것과 같이 캘로즈 마개가 화분립 근처의 일부 화분관에만 형성되어 있기 때문에 이들 화분립을 포함한 화분관 상부를 제거할 경우 화분관 내부의 팽압은 소실될 것으로 생각된다. 따라서 인공 수분 12시간 후 또는 24시간 후에 암술머리 부위 절단 처리나 암술대 중앙부위 절단 처리 암술대에서 화분관 신장이 거의 정지한 것을 화분관 내부의 팽압 소실로 신장 동력을 상실한 때문으로 판단된다.

한편 본 실험에서 인공 수분 48시간 후에 암술머리 부위 절단 처리 또는 암술대 중앙부위 절단 처리에서 화분립과 분리된 화분관이 신장을 지속할 수 있었던 것은 화분립과 분리된 화분관은 자체적으로 활동을 계속하여 화분관 벽을 만들면서 신장할 수 있는 능력을 가지고 있고(Iwanami, 1959), 절단 부위 아래에 이미 캘로즈 마개가 형성되어 화분관은 내부 압력을 유지할 수 있었기 때문으로 생각된다. 또한 화분관에 형성되는 캘로즈 마개도 시간이 지나면서 점차 두꺼워져 마개로서의 완전한 기능을 갖기 때문에 암술대 중앙부위 절단 처리에서 화분관 신장이 다소 부진한 것은 절단 부위가 화분관 선단과 가까웠고, 따라서 절단 부위 아래에 발달 중인 캘로즈 마개는 충분히 기능을 발휘할 수 없어 원활한 화분관 신장이 이루어지지 않은 때문으로 판단되었다.



**Fig. 2.** Pollen tube elongation into styles of 'Whangkeumbae' pear cultivar. The styles were collected at 4 (A), 8 (B), 12 (C), 24 (D), 48 (E), and 72 h (F) after artificial pollination. Arrows show callose plugs built into the pollen tube. Scale bar = 300  $\mu\text{m}$ .

만개 30일에 조사한 '황금배'와 '한아름'의 암술대 절단 처리별 착과율은 Table 2에 나타내었다. '황금배'에서 암술대 5개인 경우 인공수분 48시간 후에 처리된 암술머리 부위 절단에서는 착과율이 88.5%로 암술대 중앙부위 절단의 착과율 49.5%보다 월등하게 높게 나타났으며, 암술대를 절단하지 않은 무절단 처리의 89.3%와 차이가 없었다. 암술대 중앙부위 절단처리에서는 인공 수분 24시간 후에 절단한 경우 착과율이 1.8%로 극히 부진하였고, 암술머리 부위 절단 처리에서는 12시간 후의 절단 처리에서 7.3%, 24시간 후 절단 처리에서 14.4%를 보여 화분관 검경 결과와 잘 일치하였다. 암술대를 1개로 조절한 경우 무절단 처리에서 착과율은 55.7%로 암술대가 5개인 무절단 처리 착과율의 약 60% 수준이었다. 인공 수분 48시간 후의 암술대 중앙부위 절단과 암술머리 부위 절단 처리에서 착과율은 각각 20.6%와 46.3%로 암술대 5개 처리에 반 수준으로 낮았다. 대부분의 암술대 절단 처리에서 처리 위치나 시간에 관계없이 암술대 1개와 5개의 동일한 처리들을 비교해 볼 때 암술대가 1개인 경우 착과율이 더 낮은 결과를 보였다. 이는 사과에서 암술대를 손상하지 않고 암술대 수를 달리하여 인공 수분을 한 경우에 얻어진 결과와 동일하였다(Sheffield 등, 2005). 그러므로 암술대 1개로 조절된 처리에서 착과율이 낮은 것은 암술대와 연결된 심피가 아닌 경우 화분관 신장 후 정핵이 배주와 결합하는 데 물리적 및 화학적 요소의 영향을 받아 나타나는 것으로 생각되었다. '한아름'을 이용한 시험에서도 '황금배'에서와 유사한 결과를 얻었으나 전체적인 착과율이 '황금배'보다 낮게 나타났다.

2006년에 암술대를 1개로 조절하고 품종 간 착과율을 비교한 실험에서 '한아름'은 착과율이 69.2%로 높았지만(자료 미제시) 2007년에 실시한 동일한 처리에서는 착과율이 33.6%로 낮게 나타났다. 그러나 '황금배'에서는 2006년에 실시한 동일한 처리에서는 2.0%로 매우 낮은 착과율을 보인 반면 2007년에는 착과율이 오히려 55.7%로 높게 나타나 상이한 결과를 보였다. 이는 2007년 개화기 기온이 비교적 낮아 화분관 신장이 부진하였고, '황금배'는 방충 곤충의 차단을 위해 방충망으로 피복한 후 제웅과 암술머리 절단 처리가 된 반면, '한아름'은 자연 상태에서 제웅 후 암술머리 절단 처리가 진행되어 두 품종 간 처리 시의 미기상에 차이가 착과율 차이의 원인 중 하나일 것으로 생각되었다. 특히 방충망 하우스와 노지의 온도와 습도를 조사한 결과(자료 미제시) 온도에는 방충망 하우스와 노지 간에 거의 차이를 보이지 않았지만 상대 습도에 있어서는 방충망 하우스에서 주야간 모두 더 높은 상태가 유지됨으로써 암술대의 활력 유지에 도움을 주어 착과율이 더 높게 나타난 것으로

**Table 2.** Fruit set of 'Hanareum' and 'Whangkeumbae' pear cultivars as affected by number of styles and style cut-off at different position and times after artificial pollination.

No. of styles	Style cut-off position	Style cut-off time after artificial pollination (h)	Fruit set (%)				
			Hanareum	Whangkeumbae			
5	No cut-off	-	59.9 ± 8.1 <sup>z</sup>	89.3 ± 3.7			
		Upper-middle	6	2.1 ± 0.4	10.9 ± 6.6		
			12	3.3 ± 1.4	7.3 ± 4.6		
			24	14.9 ± 5.1	14.4 ± 9.6		
			48	45.8 ± 1.6	88.5 ± 6.7		
	Middle	6	2.1 ± 1.1	0.6 ± 1.1			
		12	2.0 ± 0.2	2.8 ± 0.7			
		24	0.7 ± 0.7	1.8 ± 0.3			
		48	5.2 ± 1.4	49.5 ± 8.9			
		1	No cut-off	-	33.6 ± 0.5	55.7 ± 9.9	
				Upper-middle	6	0.0 ± 0.0	5.9 ± 5.7
					12	2.1 ± 1.9	5.8 ± 5.0
24	13.0 ± 5.6				5.3 ± 2.6		
48	26.1 ± 2.3				46.3 ± 7.2		
Middle	6		0.9 ± 0.9	3.0 ± 0.8			
	12		0.0 ± 0.0	3.7 ± 1.0			
	24		1.9 ± 1.1	3.1 ± 1.4			
		48	6.8 ± 0.3	20.6 ± 8.5			

<sup>z</sup>Mean ± SE (n = 30).

판단되었다. 화분관은 정핵을 포함한 세포질만을 분리하여도 새로운 화분관 벽을 형성하면서 신장을 계속할 수 있는 능력이 있지만(Iwanami, 1959), 배주의 수명은 11일 정도로 한계가 있어(Noubungkyou, 1993) 미기상의 변화에 따른 착과율의 차이는 배주의 수명과 밀접하게 관련되어 있는 것으로 생각된다.

## 초 록

본 연구는 인공 수분 후 화분관이 신장중인 암술대의 암술머리 또는 암술대 상부가 기계적인 장해를 받은 경우 암술대 내부에서의 화분관 신장과 착과가 어떻게 영향을 받는 지 알아보기 위해 수행하였다. 화분관이 신장중인 암술대의 암술머리 부위에 장해를 받은 경우, 암술대 내부에서 화분관이 암술대의 중간 부위 이상으로 신장한 상태에 있는 인공 수분 48시간 후에 암술대의 상단 부위를 절단한 처리에서는 화분관이 정상적으로 신장하고, 착과율도 비교적 높게 나타났으나, 화분관 신장이 중간 부위까지 신장하지 않은 경우에 암술대가 제거된 처리에서는 착과가 거의 이루어지지 않았다. 이는 화분관이 신장함에 따라 화분관 기부 근처에 형성되어 화분관 진행 방향으로 일정 간격을 두고 형성

되는 캘로즈 마개가 불완전하게 형성되었기 때문에 상단부 절단으로 화분관이 개방되고, 화분관 신장에 필요한 팽압의 유지가 곤란하여 화분관 신장이 지연되거나 정지되어 수정에 이르지 못한 것으로 판단된다.

**추가 주요어 :** 인공 수분, 캘로즈 마개, 수정, 종자 형성

## 인용문헌

- Bae, K.S. and T.C. Kim. 2002. Effect of the number of pollinated styles on the pollen tube growth and fertilization in 'Niiitaka' pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:613-616.
- Iwanami, Y. 1959. Physiological studies of pollen. J. Yokohama City Univ. 116:1-137
- Iwanami, Y. and Y. Yamada. 1984. Illustration of pollen-using photograph of scanning electron microscope. Koudanshah, Japan.
- Kang, S.S. 2000. Relationship between seed formation and fruit set and development in the oriental pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). MS Thesis, Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea.
- Kang, S.S., K.S. Cho, D.S. Son, H.M. Cho, and H.J. Lee. 2003. Effect of style removal on fruit set and seed formation in oriental pear (*Pyrus pyrifolia*). J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44:220-222.
- Kho, Y.O. and J. Baer. 1968. Observing pollen tubes by means

- of fluorescence. *Euphytica* 17:298-302.
- Mogami, N., M. Miyamoto, M. Onozuka, and N. Nakamura. 2006. Comparison of callose plug structure between dicotyledon and monocotyledon pollen germinated in vitro. *Grana* 45:249-256.
- Noubungkyou. 1993. An outline of agricultural technique: The pomology part (pear). Corporation of Agricultural-, Mountain-, Sea-village Cult. Soc. 3:19-25.
- Sheffield, C.S., R.F. Smith, and P.G. Kevan. 2005. Perfect syncarpy in apple (*Malus × domestica* ‘Summerland McIntosh’) and its implications for pollination, seed distribution, and fruit production (Rosaceae: Maloideae). *Ann. Bot.* 95:583-591.
- Yamashita, K., H. Saita, and N. Hashimoto. 1990. Pollen-stigma interaction which might be critical to the gametophytic incompatibility of Japanese pear. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 59:83-89.
- Yun, M.S. 1994. Fundamental studies for breeding of Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) by artificial hybridization. PhD Diss., Chonnam Natl. Univ., Gwangju, Korea.
- Willaims, E.G., R.B. Knox, and J.L. Rouse, 1982. Pollination sub-systems distinguished from pollen tube arrest after in compatible interspecific crosses in rhododendron (Ericaceae). *J. Cell Sci.* 53:255-270.