

Original Article

Effects of Artificial Pollination using Pollen Suspension on Fruit Set and Quality Attributes of ‘Fuji’ Apples

Jingi Yoo and In-Kyu Kang*

Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

인공수분시 꽃가루 현탁에 따른 ‘후지’ 사과의 착과 및 과실품질에 미치는 영향

유진기 · 강인규*

경북대학교 원예과학과

Received: June 13 2014 / Revised: September 16 2014 / Accepted: October 13 2014

Abstract This study investigated the effects of using a pollen suspension for artificial pollination on the labor costs, fruit set, and fruit quality attributes of ‘Fuji’ apples. The pollen germination rate was 20% in a 20% fructose solution after 6 hours, and the pollen remained stable for 6 hours in the same solution. The king fruit per flower cluster exhibited a normal fruit set, regardless of the treatment. Plus, none of the artificial pollination applications affected the fruit length/diameter ratio, flesh firmness, soluble solids concentration, or titratable acidity in the harvested ‘Fuji’ apple fruits. However, the labor savings were significantly higher with the pollen suspension treatment when compared with the cotton swab or love-touch. Therefore, the labor cost was four-fold less in use of pollen suspension than in use of cotton swab for artificial pollination.

Keywords: pollen, artificial pollination, pollen suspension, fruit set

서 론

사과(*Malus domestica* Borkh.)는 장미목 장미과(Rosaceae)의 낙엽교목으로, 세계적으로 가장 널리 재배되는 과일 중 하나이다. ‘후지’ 사과는 우리나라 사과재배면적의 약 75%를 차지하고 있으며(Youn et al., 1996), 당도 14-15°Brix, 산도 0.3-0.4% 등 아삭아삭한 식감과 맛이 우수하여 소비자의 기호도가 높을 뿐만 아니라 다른 품종에 비해 저장성이 뛰어난 것이 특징이다.

최근 국가간 자유무역협정(FTA)이 확대됨에 따라 다양한 열대과일이 수입되고 있다. 따라서 사과 역시 내수시장의 안정화와 더불어 수출 개척을 위한 노력을 기울이고 있다(Kim et al., 2014; Yoo et al., 2013). 사과수출기반 조성과 품질 및 가격경쟁력을 확보하기 위해서 과실품질을 향상시키는 것이 매우 중요하고, 그 요인들 중에서 특히, 정형과를 생산하는 것이 수출경쟁력을 확보하는데 중요하다. 국내 사과의 경우 정형과 생산비율이 50% 이하로 매우 낮은 실정(Park et al., 1998) 이는 과실내부에 종자형성이 부족하여 나타나는 현상으로 정형과를 생산하는데 종자를 확보하는 것이 매우 중요하다. 따라서 착과와 과실 품질향상을 위하여 꿀벌과 같은 방화곤충을 활용하는 방안이 이용되고 있으나 개화기때 저온, 강우 등으로 방화곤충의 활동에 제한을 받는 경우가 많아 착과율과 종자형성에 제한을 받고 있다(Shin et al., 2005). 이를 해결하기 위해서는 인공수분기술 적용이 해결방안으로 제시되고 있다. 그러나 인공수분을 적용할 시 많은 노동력이 투입되기 때문에 경영비를 상승시키는 문제가 발생하여 손쉽게 인공수분을 실시할 수 있는 화분을 액체에 현탁하여 활용하는 방법이 모색되고 있다.

따라서 본 연구는 액체에 현탁한 화분을 이용한 인공수분 방법이 농촌의 노동력 절감과 ‘후지’ 사과의 결실 및 과실품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

*Corresponding author: In-Kyu Kang
Tel: 82-53-950-5727; Fax: 82-53-950-5722
E-mail: kangik@knu.ac.kr

재료 및 방법

시험재료

2012년 경북 상주시 낙동면 소재의 농가에 재식되어 있는 7년생 ‘후지’(M.9) 품종을 대상으로 수세가 안정되고 균일한 나무를 선정하여 시험재료로 사용하였다. 그리고 인공수분용으로 사용한 화분은 ‘후지(S₁S₉)’와 자가불화합성 유전자형이 다른 ‘갈라(S₂S₃)’ 품종의 화분을 시험 재료로 사용하였다.

현탁 화분별 화분발아검정

‘갈라’ 화분의 발아력 검정은 화분발아용 배지(1% Agar + 10% Sucrose + 30 mg · L⁻¹ H₃BO₃)를 사용하였다. 화분 현탁에 사용한 액체는 sucrose, fructose 및 glucose를 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30%의 농도로 제조하였고, 무처리는 증류수를 사용하였다. 화분발아조건은 배지에 화분을 치상한 후 25°C의 인큐베이터에서 6시간동안 배양하였으며, 발아율은 1시간 간격으로 광학현미경 하에서 100배율로 검정하였다.

인공수분 처리

무처리구는 시험포장내 자연방임처리하였으며, 인공수분처리는 시험포장내 모기장을 설치하여 방화곤충의 영향이 없는 상태에서 면봉, 인공수분기, 액체현탁화분을 각각 처리하였다. 면봉과 인공수분기(러브터치, 일본산) 처리시 화분과 증량제(석송자, 중국산)는 1:10 비율로 혼합하였고, 액체현탁화분은 고압분무기를 사용하여 각각 단당류가 함유된 액체 20 L에 화분 165 g, 65 g, 30 g, 15 g, 10 g을 각각 넣어 엽면살포하였다.

착과율 및 과실 품질 특성

착과율은 각각의 처리구들을 대상으로 나무에 중심이 되는 주지 4개를 택하여 정아화 과충별로 중심과와 측과에 결실여부를 조사한 후 평균 값으로 나타내었다. 과실의 과중 및 종자수는 각 처리별 과실 50개를 대상으로 조사한 후 평균값으로 나타내었다. 과실 경도는 직경 11 mm plunger를 장착한 과실경도계(Fruit Tester, FT327, Italy)를 사용하여 과실 적도면에 과피를 제거한 후 과실 당 3회 측정된 값을 평균하여 Newton (N)으로 나타내었다. 산 함량은 과즙 5 mL를 0.1 N NaOH로 적정한 후 사과산으로 환산하였고, 가용성 고형물 함량은 디지틸당도계(PR-201α, ATAGO, Japan)를 이용하여 측정하였다.

통계분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 20, SPSS Inc., USA)을 이용하여 Duncan 다중검정으로 분석하였다.

결과 및 고찰

본 연구는 액체에 현탁한 화분을 이용한 인공수분방법이 농촌의 노동력 절감과 ‘후지’ 사과의 결실 및 과실품질에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

액체현탁 화분별 화분발아율을 보면(Table 1), 화분발아배지에 바로 치상한 무처리구의 화분발아율은 치상 1시간 후 15%에서 치상 6시간 후 95%로 발아하는 것을 확인하여 정상적인 화분임을 확인하였다. 대조구인 증류수에 희석한 처리구는

1시간 경과후 화분이 13%가 발아하였고, 5시간 경과된 시점에서는 발아율이 33%였다. Fructose의 경우 30%의 농도에서는 화분이 발아하지 않았고, 그 이하의 농도인 5-20%까지는 배양 6시간 이후의 화분 발아율이 20-36%를 보였다. Sucrose의 경우 모든 농도에서 희석 6시간후 50% 이상의 화분발아율을 보였으며, 특히 20% 농도에서는 70%의 가장 높은 화분

Table 1. Changes of pollen germination on different solution treatments in ‘Gala’ apple pollen

Treatment	Concentration (%)	Pollen germination (%)					
		Duration of incubation at 25°C (h)					
		1	2	3	4	5	6
Control ^a	–	15 a ^b	40 ab	75 a	83 a	89 a	95a
Distilled water	–	13 a	25 c	30 c	30 cd	33 c	33c
Fructose	5	0 b	27 c	30 c	30 cd	34 c	36c
	10	0 b	20 cd	20 cd	23 cd	25 cd	28cd
	15	0 b	18 cd	20 cd	23 cd	26 cd	26cd
	20	0 b	10 d	13 d	17 cd	20 cd	20cd
	25	0 b	4 d	4 d	8 d	8 d	8 d
Sucrose	30	0 b	0 e	0 e	0 e	0 e	0 e
	5	0 b	37 b	37 bc	44 bc	50 bc	50 bc
	10	0 b	38 b	40 bc	45 bc	50 bc	50 bc
	15	0 b	45 a	48 b	55 b	60 b	62 b
	20	0 b	50 a	55 b	60 b	65 b	70 b
Glucose	25	0 b	51 a	54 b	58 b	62 b	65 b
	30	0 b	37 b	48 b	54 b	60 b	60 b
	5	0 b	43 ab	54 b	56 b	60 b	60 b
	10	0 b	42 ab	45 b	47 bc	52 bc	60 b
	15	0 b	37 b	37 bc	37 c	40 c	40 c
	20	0 b	23 c	24 cd	25 cd	28 cd	30 c
	25	0 b	8 d	9 d	10 d	10 d	10 d
30	0 b	3 d	5 d	5 d	5 d	5 d	

^aIt was counted pollen germination using ‘Gala’ apple pollen without solution.

^bMeans separation within columns by Duncan’s multiple range test, *p*=0.05.

Table 2. Effect of artificial pollination treatment on fruit set of terminal flowers in ‘Fuji’ apples

Artificial pollination treatment ^a	Rate ^b (g · 20L ⁻¹)	Fruit number per cluster (on terminal flowers)		
		Central fruit	Lateral fruit	Total fruit
Control	–	0.72 a ^x	1.44 a	2.16 a
Cotton swab	–	0.72 a	0.29 b	0.82 b
Love touch	–	0.74 a	0.32 b	1.06 b
Pollen suspension	160	0.77 a	0.36 b	1.13 b
	65	0.72 a	0.15 bc	0.87 b
	30	0.35 b	0.07 c	0.42 c
	15	0.33 b	0.03 c	0.38 c
	10	0.17 c	0.03 c	0.28 c

^aControl: open pollination, love touch: artificial pollination machine, pollen suspension: 20% fructose in distilled water.

^bAmount of ‘Gala’ pollen.

^xMeans separation within columns by Duncan’s multiple range test, *p*=0.05.

발아율을 보였다. Glucose의 경우 5와 10% 농도에서는 6시간 경과후 화분발아율이 60%였으나, 25%와 30% 농도에서는 6시간 경과후부터 발아율이 5-10%를 보였다. 화분은 암술머리에 수분되었을 때 정상적으로 화분관이 신장하여 난핵과 수정이 이루어져야 한다. 하지만 액체현탁화분을 이용하여 인공수분시 살포전 현탁액 속의 화분이 암술머리에 도달하기 전 이미 발아한다면 암술대로 화분관이 신장하지 못하게 되어 수정이 불가능해 진다. 따라서 본 실험에서는 화분을 액체에 현탁하여 인공수분을 실시할 때 소요시간을 6시간으로 설정하여 화분발아가 최소 20% 이하의 발아율을 보인 20% fructose가 가장 적합한 것으로 판단하여 실험에 사용하였다.

인공수분 처리 방법에 따른 ‘후지’ 사과의 정화아 화총당 결실정도를 보면 다음과 같다(Table 2). 화총당 전체 착과율을 보면 자연방임상태의 무처리구는 2.86개였고, 중심화에만 수분시킨 면봉처리구는 0.68개, 인공수분기(러브터치)처리구는 1.06개였다. 그리고 액체현탁화분 160 g과 65 g 처리구는 각각 1.13개와 0.87개였다. 무처리구가 인공수분처리구에 비하여 높은 결실율을 보인 이유는 모든 인공수분처리구들에 화분매개충들이 접근하지 못하도록 모기장을 씌워 개화가 되지 않은 꽃에는 수분이 되지 않아 축화에 결실이 되지 않았기 때문이다. 그러나 중심화의 결실 정도를 보면 무처리구와 처리구들에서 0.61-0.83개로 결실정도에 차이를 보이지 않아 정상적인 결실이 이루어졌다. 특히, 액체현탁화분을 이용한 인공수분 방법도 정상적인 결실이 이루어졌고, 화분 사용량을 보면 20% fructose 용액 20 L에 화분을 160 g과 65 g을 사용한 처리구 간

에도 결실량에는 차이가 없었다. 하지만 30, 15, 10 g 처리구에서는 정화아 중심과 착과수가 각각 0.35, 0.33, 0.17개로 무처리에 비하여 현저히 낮은 착과수를 보여 30 g 이하의 화분량에서는 정상적인 착과를 유도하기에는 무리가 있다고 판단하였다.

인공수분처리가 수확시 과실 품질에 미치는 영향을 보면 Table 3과 같다. 무처리(자연방임)구와 인공수분 처리구들 간에 과형지수, 경도, 가용성 고형물 및 산 함량은 차이를 보이지 않았다. 그리고 무처리구의 과중은 316.4 g이었으나 액체현탁화분 30, 15, 10 g 처리구들은 362.2-390.3 g으로 무처리에 비하여 높은 경향을 보였으나 종자수는 무처리구 6.0개에 비하여 액체현탁화분 30, 15, 10 g 처리구들은 2.6-3.4개로 무처리에 비하여 적은 경향을 보였다. 일반적으로 종자수가 많은 과실이 과중이 커지는 효과를 보이거나 본 결과는 반대의 결과를 보인 것은 나무에 착과수가 감소하면서 나무당 과실생산량이 적어 과실비대가 더 촉진된 것으로 판단된다.

인공수분처리별 소요시간 및 소요인건비를 보면 다음과 같다 (Table 4). 인공수분 소요시간은 면봉 처리구가 1나무 당 62.1초, 인공수분기(러브터치) 처리구가 40.0초, 액체현탁화분 처리구가 17.4초가 소요되었다. 이를 근거로 사과나무 재식 거리를 3.5 m×1.5 m(재식주수: 190주/10 a)일 때 재배면적을 1 ha 기준으로 했을 때(노동시간: 8시간/1일) 면봉 처리구는 32.8시간(4.1일), 인공수분기 처리구는 21.1시간(2.6일), 액체화분 처리구는 9.18시간(1.1일)이 소요되었다. 따라서 소요인건비를 보면(인건비: 50,000원/8시간/1일), 1 ha 기준으로 면봉 처리구는

Table 3. Effect of artificial pollination treatment on fruit quality attributes in ‘Fuji’ apples

Artificial pollination treatment ²	Rate ³ (g · 20 L ⁻¹)	Fruit weight (g)	L/D ratio	No. of Seeds (ea)	Fresh firmness (N/φ11 mm)	Soluble solids (°Brix)	Titratable acidity (%)
Control	–	316.4 b ^x	0.86 a	6.0 a	60.0 a	14.1 a	0.37 a
Cotton swab	–	331.1 b	0.83 a	7.5 a	62.5 a	14.4 a	0.36 a
Love touch	–	338.5 b	0.84 a	5.7 a	58.4 a	14.5 a	0.34 a
Pollen suspension	160	330.7 b	0.86 a	5.6 a	60.2 a	14.2 a	0.34 a
	65	328.6 b	0.85 a	4.7 ab	59.7 a	14.3 a	0.31 a
	30	390.3 a	0.88 a	2.6 b	64.0 a	14.3 a	0.36 a
	15	385.0 a	0.85 a	3.4 b	61.1 a	14.7 a	0.32 a
	10	362.2 a	0.88 a	3.0 b	63.4 a	14.4 a	0.35 a

²Control: open pollination, love touch: artificial pollination machine, pollen suspension: 20% fructose in distilled water.

³Amount of ‘Gala’ pollen.

^xMeans separation within columns by Duncan’s multiple range test, *p*=0.05.

Table 4. Effect of artificial pollination treatment on labor hours and cost in ‘Fuji’ apples

Artificial pollination treatment ²	Labor hours				Labor cost (Won)/ha	Labor saving rate (%)
	Seconds /1 tree	Minutes /10 a	Hours /1 ha	Days		
Cotton swab	62.1 a ³	196.7 a	32.8 a	4.1 a	204,844 a	0.0 a
Love touch	40.0 b	126.7 b	21.1 b	2.6 b	131,944 b	35.6 b
Pollen suspension	17.4 c	55.1 c	9.18 c	1.1 c	57,396 c	72.0 a

²Control: open pollination, love touch: artificial pollination machine, pollen suspension: 20% fructose in distilled water.

³Means separation within columns by Duncan’s multiple range test, *p*=0.05.

*Planting distance 3.5×1.5 m, 190 tree/10a.

*One day labor cost was 50,000 won (8 hours/day).

204,844원, 인공수분기 처리구는 131,944원, 액체화분 처리구는 57,396원이었다. 면봉처리구와 비교해 보면 러브터치 처리구는 35.6%(1.55배), 액체화분 처리구는 72.0%(3.56배)의 경비 절감효과가 있었다. 또한 인공수분처리 기간도 1 ha 기준으로 면봉 처리구 4.1일에 비하여 액체화분 처리구는 1.1일 만에 인공수분을 실시할 수 있어 농가현장에 실용화할 수 있는 인공수분 기술로 판단하였다.

일반적으로 인공수분은 결실 안정과 과실내 정상적인 종자형성에 의한 과실 비대효과(Yoon et al., 1996) 때문에 실시하고 있으나, 많은 노동력과 경영비가 소요되기 때문에 널리 실용화되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 과실의 생산량 확보, 과형개선 및 상품과 생산비율을 향상시키기 위해서는 적극적인 방화곤충 활용과 인공수분이 매우 중요하다. 사과 과실이 비정형적으로 발달되는 원인에 대해 Ryogo(1988)는 불충분한 수분 등 여러 가지 요인에 의해 종자형성이 불충분하거나, 종자가 퇴화하므로서 과실발육이 정상적으로 이루어지지 못하는 것으로 추정하고 있다. Childers et al.(1995)은 사과 과실의 크기는 종자수와 밀접한 연관성이 있으며, 종자 형성수가 많을수록 과실의 형태는 보다 바람직한 과형을 이룬다고 하였다. 또한 Westwood(1978)는 종자에서 생성된 호르몬이 과실의 생장, 착과 그리고 식물체내의 호르몬 균형에 영향을 끼친다고 언급하며, 인과류에 있어서는 소수의 종자를 가지고도 착과는 될 수 있으나 과육세포의 생장이 감소됨에 따라 기형적인 과형이 된다고 하였다. 따라서 액체현탁화분을 이용한 인공수분 시 안정적인 착과와 과실품질을 위하여 화분현탁액은 20% fructose가 적합하고 또한 화분량으로는 최소한 65 g 이상의 화분을 사용하는 것이 안정적인 효과를 보였다.

이상의 결과를 종합해 보면 액체현탁 화분을 이용한 인공수분 방법은 현장에 적용할 수 있는 중요한 기술로 판단되며, 안정적인 사과의 결실과 과실 종자 형성 등에 대하여는 좀 더 세밀한 연구가 필요하다고 판단된다.

요 약

본 연구는 액체에 현탁한 화분을 이용한 인공수분방법이 농촌의 노동력 절감과 ‘후지’ 사과의 결실 및 과실품질에 미치

는 영향을 구명하고자 실시하였다. 액체현탁화분의 화분발아율은 6시간 경과시까지 fructose 20% 용액에서 화분발아율을 20%수준으로 다른 용액에 비하여 낮은 발아율 유지하여 화분을 안정적으로 보존해 주었다. 인공수분 처리에 따른 정화아의 중심과 착과는 화분현탁액 65 g (20 L), 무처리, 면봉 및 인공수분기(러브터치) 처리구들이 정상적인 결실을 보였다. 수확시 과실품질은 과형지수, 경도, 가용성 고형물 함량 및 산함량은 차이를 나타내지 않았다. 노동력절감은 액체현탁화분 처리가 면봉처리에 비하여 3.56배 감소한 결과를 보여 경영비를 줄이는데 우수한 효과를 보였다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 2014년 공동연구사업(과제번호: PJ008451)의 지원에 의해 수행되었음.

References

- Childers NE, Morris JR, Sibbett GS (1995) Modern fruit science. Horticultural publications. Florida. pp. 99-104.
- Kim SJ, Park YM, Yoon TM (2014) Perforation adjustment of unit package for ‘Fuji’ apples during short-term cold storage and export simulation. *Kor J Hort Technol* 32: 184-192.
- Park JG, Hong JS, Choi IM, Kim JB, Kim SH, Park HS (1998) Applications of artificial pollination, spraying gibberellin A4 + 7 plus benzyladenine for production of uniform fruits in ‘Fuji’ apples. *Kor J Hort Technol* 16: 27-29.
- Ryogo K (1988) Fruit culture. John Wiley & Sons. NewYork. pp. 109-115.
- Shin YS, Park SD, Kim JH, Kim BS (2005) Effect of pollination method on fruit setting and quality of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* Makino). *J Bio-Environ Control* 14: 83-88.
- Westwood MN (1978) Temperate zone pomology. W.H. Freeman and Company. San Francisco. pp. 199-209.
- Yoo JG, Kim DH, Lee JW, Choi DG, Han JS, Kwon SI, Kang IK (2013) Effect of preharvest sprayable 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on fruit quality attributes in cold stored ‘Gamhong’ apples. *Protected Horticulture and Plant Factory* 22: 279-283.
- Youn CJ, Lim MS, Shin YE, Hwang JH, Kim JK, Hong JS, Lee HJ, Park JK, Park JM, Kim KH, Hong YP, Lee PN (1996) Apple Culture. Rural Development Administration, Suwon, Korea. pp. 49-127.