

## 휴면 정도 및 탄소 함량이 ‘후지’ 사과나무 과대지의 내동성에 미치는 영향

권헌중<sup>1</sup> · 박무용<sup>1</sup> · 송양익<sup>2</sup> · 사공동훈<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소, <sup>2</sup>국립종자원 품종보호과,

<sup>3</sup>대구대학교 원예학과, <sup>4</sup>대구대학교 생명환경연구소

(2016년 8월 22일 접수; 2016년 9월 29일 수정; 2016년 9월 30일 수락)

### Influence of Dormancy Level and Carbon Concentration on Freezing Hardiness in Bourse Shoot of ‘Fuji’ Apple Tree

Hun-Joong Kweon<sup>1</sup>, Moo-Yong Park<sup>1</sup>, Yang-Yik Song<sup>2</sup> and Dong-Hoon Sagong<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Apple Research Institute, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Gunwi 39000, Korea

<sup>2</sup>Plant Variety Protection Division, Korea Seed and Variety Service, Gimcheon 39660, Korea

<sup>3</sup>Department of Horticulture, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

<sup>4</sup>Institute of Life and Environment, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

(Received August 22, 2016; Revised September 29, 2016; Accepted September 30, 2016)

#### ABSTRACT

This study was conducted to find out influence of dormancy level and carbon concentration on freezing hardiness in bourse shoot of ‘Fuji’ apple tree. Bourse shoot of ‘Fuji’ adult apple tree grafted on M.26 and M.9 rootstocks were used as experimental materials. Dormancy levels of bourse shoot were categorized according to the periods as follows the internal dormancy (late January), the early days after internal dormancy breaking (early February), the late days after internal dormancy breaking (late February), the bud break (late March), and the full bloom (late April). Chilling temperatures with bourse shoot were ranged from 0 to -40°C. Also, the freezing hardiness according to carbon concentrations were investigated on ‘Fuji’/M.9 apple tree that defoliated severely by Marssonina blotch (defoliation) and that of below the average 20 cm in shoot length through heavy crop load (weakness). Results showed that freezing hardiness of bourse shoot may become weaker after internal dormancy breaking. There was no differences in the carbon concentration of bourse shoot of ‘Fuji’ apple tree grafted on M.9 and M.26, so may be resulted in no difference in freezing hardiness both of bourse shoot grafted on M.9 and M.26 rootstock. Carbon concentration in bourse shoots with weakness and C/N ratio in bourse shoots with defoliation were lower than that of healthy. It may be shown that the freezing hardiness of defoliation and weakness were weaker than that of healthy.

**Key words:** C/N ratio, Defoliation, Internal dormancy, *Malus domestica* Borkh., Rootstock



\* Corresponding Author : Dong-Hoon Sagong  
(sa0316@daegu.ac.kr)

## I. 서 론

일반적으로 사과나무의 재배한계저온은  $-30 \sim -40^{\circ}\text{C}$  사이(Palmer *et al.*, 2003; Seo and Noh, 2010)로, 국내에서 겨울철 저온 때문에 사과나무의 재배가 불가능한 곳은 거의 없다(Kang and Oh, 2004). 그러나 2009년 이후로 겨울철에  $-30^{\circ}\text{C}$  정도의 한파가 전국적으로 빈번하게 발생하면서(Choi and Park, 2010), 사과나무의 동해발생이 문제가 되었다(Park *et al.*, 2010).

과수의 내동성은 휴면기, 발아기, 개화기별 최저기온 및 저온 지속기간의 영향을 크게 받으며(Kweon *et al.*, 2014; Palmer *et al.*, 2003; Tromp, 2005), 같은 휴면단계라도 휴면 진행 정도에 따라 내동성이 달라진다(Kim *et al.*, 2006; 2007; 2009). 특히, 사과나무의 자발휴면은 내동성과 밀접한 관계가 있어 저온요구도가 충족될 때 내동성이 약해지는데(Kang and Oh, 2004), 현재 국내에서 재배되고 있는 사과 품종들은 대체로 9월말부터 10월말 사이에 자발휴면이 시작되어 이듬해 1월초부터 2월 초 사이에 완료된다(Kweon *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015). 즉, 자발휴면 정도에 따라 사과나무의 내동성은 달라질 수 있는데, 사과나무의 자발휴면에 관여하는 기상적 요인(일장, 온도, 수분 등)과 재배적 요인(품종, 수령, 논의 종류나 위치 등)이 너무 많아 자발휴면과 내동성의 관계를 간단하게 설명할 수가 없다(Kang and Oh, 2004; Yu, 2004).

또한, 사과나무의 내동성은 품종, 대목의 종류, 나무의 부위 및 수체 내 영양 상태에 따라 서로 달라질 수 있다(Kweon *et al.*, 2014; Seo and Noh, 2010). 일반적으로 나무의 생장 및 발육이 건전할 경우에는 내동성이 강하지만, 과다결실 혹은 조기낙엽에 의해 수체 내 동화산물이 부족해지거나 혹은 잦은 비료살포와 퇴비사용으로 토양이 비옥하여 수체 내 질소 성분이 많아지면 내동성은 약해질 수 있다(Schupp *et al.*, 2001). 특히, 여름철 강우량 및 기온에 영향을 받는 갈색무늬병의 발병이 심할 경우 8월부터 수관 전체 잎 중 60% 정도가 낙엽이 되며(Kim *et al.*, 1998), 이병 및 낙엽 정도가 심할수록 신초의 2차 생장이 왕성해지고(Park *et al.*, 2013), 수체 내 동화산물(탄수화물) 축적이 부족하게 되면서 이듬해 수세 및 개화율이 약해지므로(Sagong *et al.*, 2011), 갈색무늬병이 발생한 사과원에서는 동해가 심각하게 발생할 수 있다고 생각한다.

앞서 언급한 바와 같이 사과나무의 내동성은 수체 내 탄수화물(carbohydrate)과 질소(nitrogen)의 함량에 영

향을 받지만(Schupp *et al.*, 2001), 탄수화물과 질소의 비율인 C/N율에 의해서도 영향을 받는다(Cheng, 2002; Cheng *et al.*, 2004). 일반적으로 탄수화물은 단당류, 과당류 및 다당류의 3가지 군으로 크게 나눌 수 있으며(Byun *et al.*, 2006), 식물 체내에 단당류 혹은 이당류가 많을수록 식물의 내동성은 증가하지만 다당류인 전분이 많으면 감소되는 것으로 알려져 있다(Chae *et al.*, 2006). 즉, 수체 내 탄수화물의 종류 및 함량에 따라 과수의 내동성이 달라지는 것은 잘 알려져 있지만(Kang and Oh, 2004), 대기 중 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )에 의해서 공급되는 작물의 필수원소이자 탄수화물의 주요 구성성분인 탄소(carbon)의 함량(Byun *et al.*, 2006; Chae *et al.*, 2006)이 과수의 내동성에 미치는 영향에 대해서는 알려진 바가 없다.

한편, 최근 국내에서는 노동력 절감 및 생산력 증대를 위해 기존의 사과원을 M.9 대목을 이용한 밀식 사과원으로 전환하고 있는 추세이지만(Yim and Yoon, 2010), 기온이 낮은 국내 일부 지역에서는 M.9에 접목한 사과나무의 내동성이 약하다(Kang and Oh, 2004)는 이유로 M.9을 이용한 사과재배를 기피하고 있다. 이는 왜화도가 큰 M.9은 M.26보다 더 좋은 토양조건에서 재배하여야 하고, 비배 관리도 신경을 써야 하는데 실제로 제대로 하지 못하는 과원이 많을 뿐만 아니라, M.9 대목에 접목한 사과나무는 수세안정을 위하여 초기부터 결실을 시키는 것이 좋지만 과다결실로 수세를 약하게 만드는 과원이 많았기 때문으로 추정되고 있다(Yim and Yoon, 2010). 즉, M.9에 접목한 사과나무의 수체 내 양분 상태가 양호하면 M.26에 접목한 사과나무와의 내동성 차이가 없을 것으로 생각되는데, 이와 관련된 보고가 국내에는 아직 없다.

따라서, 본 시험은 M.9과 M.26 대목에 접목한 성목기 ‘후지’ 사과나무의 휴면 정도 및 탄소 함량이 내동성에 미치는 영향을 구명하기 위하여 수행하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 대목별 과대지의 시기별 내동성

본 조사는 2012년 경북 군위군 소보면 소재 농촌진흥청 국립원예특작과학원 사과연구소에 10년 이상 재식되어 있던 ‘후지’/M.9과 ‘후지’/M.26 사과나무를 각각 30주씩 시험주로 선정하였다. 시험주는 10월말 수관 전체 낙엽율이 10% 미만인 건전한 사과나무들로, ‘후지’/M.9의 주당 과실수는 70~80개 정도였으며, ‘후지’/

M.26은 100~110개 정도였다.

시험재료의 탄소 및 질소 함량 조사는 1월초에 정아 직경이 3mm 이상이면서 길이는 15~20cm 정도인 과대지를 시험구별로 30개씩 무작위로 선별한 뒤, 80°C 건조기(VS-120204, Vision, Korea)에서 3일 건조시킨 후, 10개씩 잘게 분쇄하여 원소분석기(Vario Max CNS, Elementar, Germany)를 이용하여 분석하였다. 반복은 분쇄 시료 1개를 1반복으로 한 3반복이었으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

**Table 1.** Carbon and nitrogen concentration in bourse shoot of ‘Fuji’ apple tree grafted on M.9 and M.26 rootstock in 2012

Rootstock <sup>z</sup>	Carbon (mg · g <sup>-1</sup> )	Nitrogen (mg · g <sup>-1</sup> )	C/N Ratio
M.9	508 a <sup>y</sup>	16.3 a	31.2 a
M.26	464 a	15.5 a	29.9 a

<sup>z</sup> Sampling time of bourse shoots was early-January in 2013

<sup>y</sup> Means separation within column by T-test at P=0.05.

시기별 내동성 조사를 위한 과대지는 1월 31일부터 3월 12일까지 2주 간격으로 4시기에 걸쳐 대목 별로 180개씩 채취하였다. 채취한 과대지의 조건은 탄소 및 질소 함량을 조사한 과대지와 동일하였다. 과대지 채취 당시 군위지역 기상자료는 기상청에서 사과연구소 시험 포장 안에 설치한 자동 기상관측기(경북 군위군 소보면 위성리 소재)에서 수집된 자료들을 이용하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다.

내동성 조사를 위한 저온처리는 6수준(0, -10, -20, -25, -30, -35°C)으로 구분하였고, 저온 처리과정은 저온 성장상(Gallenkamp HCC065, Sanyo, USA)을 이용하여 0°C에서 8시간 동안 온도를 점차적으로 목표 저온까

지 떨어지게 한 뒤, 목표저온에서 10시간 경과시켰다. 이후 다시 8시간 동안 목표 저온에서 0°C까지 온도를 점차적으로 높여주는 방법으로 해동시켰다.

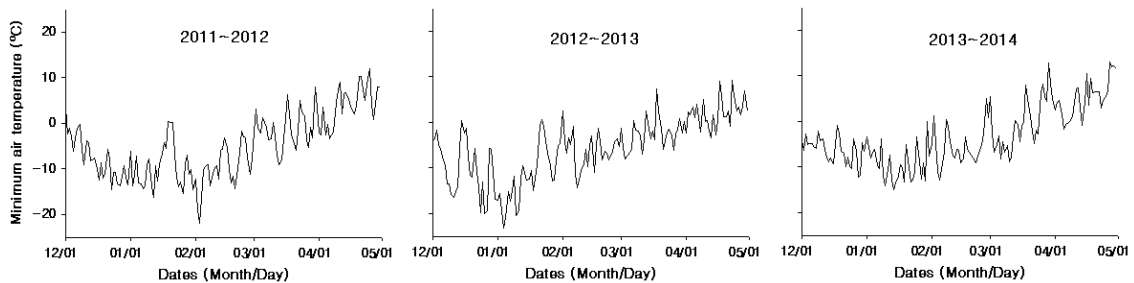
저온처리 후 해동된 과대지는 0°C로 조절된 저장고에 저장해두었다가 3월말에 오아시스에 꽂아 20~25°C의 유리온실에 배치하여 발아율을 조사하였다. 발아율은 유리온실 배치 30일 후의 반복별 전체 과대지수에 대한 정아가 발아한 과대지 비율로, 발아판정은 정아에 녹색의 끝이 보였을 때로 하였다.

통계분석은 SAS 9.2 프로그램을 이용하였고, 반복은 대목별 10개의 과대지를 1반복으로 한 3반복이었다.

**2.2. 휴면 정도별 과대지의 내동성**

과수의 내동성은 같은 휴면기간이라도 휴면 진행 정도에 따라 내동성이 달라지는데(Kim *et al.*, 2006; 2007; 2009), 국내 ‘후지’ 사과품종의 자발휴면 기간에 대한 연구 결과는 연구자에 따라 달랐다. Lee *et al.*(2015)은 ‘후지’ 품종은 10월말에 자발휴면이 시작하여 이듬해 1월 초에 타파된다고 하였고, Kweon *et al.*(2013)은 4년 동안 겨울의 기온 차이에 의한 저온요구도 충족(7.2°C 이하) 여부에 의해 ‘후지’의 휴면타파 시기를 명확하게 단정지을 수는 없지만 대체로 ‘후지’의 자발휴면 개시점은 9월말이며, 자발휴면 타파시기는 이듬해 1월말부터 2월 초 사이라고 하였다. 이외에도 Kim *et al.*(2006)은 낙엽과수의 휴면 개시는 환경조건(수분이나 양분의 공급 상태, 온도, 일장조건 등)에 따라 달라져 정확한 시기를 판정하기는 어려우나 대체로 1월 내에 자발휴면이 타파된다고 하였다.

따라서, 본 조사에서는 자발휴면 정도에 따른 내동성을 명확하게 구분하고자, 2013년 휴면기(1월 22일, 2월 12일, 2월 25일), 발아기(3월 25일), 만개기(4월 22일)에 걸쳐 ‘후지’/M.26의 과대지를 시기별로 90개씩 채취한 뒤, 앞서 언급한 국내 ‘후지’ 사과 품종의 자발휴면시기



**Fig. 1.** Seasonal changes of daily minimum air temperature on Gunwi region from 2011 to 2014.

에 대한 보고(Kim *et al.*, 2006; Kweon *et al.*, 2013)를 참조하여, ‘후지’의 자발휴면 타파시기를 1월말(1월 31일)로 설정한 후 과대지 채취시기를 5시기[채취날짜(생장주기): 1월 22일(자발휴면기), 2월 12일(자발휴면 타파초기), 2월 25일(자발휴면 타파 후기), 3월 25일(발아기), 4월 22일(개화기)]로 다시 구분하였다. 본 조사에서 시험주로 선정된 ‘후지’/M.26 사과나무는 2012년 대목별 내동성 조사에 이용된 건전한 나무들로, 시험주의 착과수와 과대지 채취방법은 대목별 내동성 조사와 동일하였다.

채취한 과대지는 10개씩 구분하여 생체중을 조사한 뒤, -20, -30, -40°C로 저온 처리하였다. 앞선 대목별 내동성 조사(2011~2012년)와 달리 본 휴면 정도별 내동성 조사에서 저온 처리를 -20°C부터 실시한 것은 2011~2012년의 경우 시료 채취 중인 2월초에 최저기온이 -20°C 이하로 떨어졌던 반면에 2012~2013년에는 시료 채취 이전인 1월초부터 최저기온이 -23.9°C까지 떨어졌기 때문이었다(Fig. 1).

저온 처리방법에 있어, -20°C와 -30°C 처리는 앞선 대목별 내동성 조사와 동일하게 처리하였다. -40°C 처리는 과대지를 저온 생장상에 넣어 6시간 동안 0°C에서 -30°C까지 점차적으로 저온 처리시킨 뒤, 일정한 냉각속도를 위하여 -30°C까지 저온 처리된 과대지를 스트로폼 박스에 담아 -40°C의 초저온냉장고(Freezer MDFU30865, Sanyo, USA)에 넣어 2시간 동안 처리하였다. 이후 과대지를 스티로폼 박스에서 꺼내어 -40°C에서 10시간 경과시킨 뒤, 다시 -35°C의 저온 생장상에

넣어 8시간 동안 0°C까지 온도를 점차적으로 높여주는 방법으로 해동시켰다.

저온 처리 후에는 채취시기 및 저온별 동해 정도를 판단하기 위하여 해동된 과대지들의 정아 발아율, 전해질 누출률 및 수분손실률을 조사하였다. 정아의 발아율은 채취 시기별로 과대지들을 오아시스에 수습하여 25°C의 생장상(VS-3DM, Vision, Korea)에 배치 30일 뒤에 조사하였다. 발아판정은 휴면기의 경우 대목별 내동성 조사와 동일하게 하였고, 발아기와 만개기는 저온 처리 후 정아부분의 잎이 녹색을 유지할 때로 하였다. 수분손실률은 저온처리 전 반복별 생체중에 대한 저온처리 후 생체중 감소 비율로 나타내었고, 전해질 누출률은 저온 처리 후 과대지 기부 부분을 잘게 잘라 반복 별로 4g 정도 정량한 후 Kim *et al.*(2007)과 동일한 방법으로 조사하였다. 반복은 대목별 내동성 조사와 동일하게 실시하였다.

### 2.3. 낙엽 정도별 과대지의 내동성

본 조사는 낙엽 정도에 따른 내동성을 조사하고자 2013년과 2014년에 조사하였다. 2013년 조사는 갈색 무늬병에 의해 2012년 8월부터 낙엽이 시작되어 2012년 10월말에 수관 전체 낙엽율이 50% 이상이 되었던 경북 영주시 일반사과농가의 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무 30주(낙엽구)와 10월말 수관 전체 낙엽율이 10% 미만으로 생육이 건전한 경북 군위군 사과연구소의 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무 30주(건전구)를 대상으로 조사하였다.

**Table 2.** Carbon and nitrogen concentration in bourse shoot was defoliated by Marssonina blotch of ‘Fuji’/M.9 apple tree in 2013 and 2014

Treatment (Percent of defoliation) <sup>z</sup>	Carbon (mg · g <sup>-1</sup> )	Nitrogen (mg · g <sup>-1</sup> )	C/N Ratio
2013 <sup>y</sup>			
Healthy (Under 10%)	505 a <sup>x</sup>	16.3 a	30.1 a
Defoliation (Over 50%)	468 a	17.1 a	27.4 b
2014 <sup>y</sup>			
Healthy (Under 10%)	484 a <sup>x</sup>	12.8 a	37.8 a
Defoliation (20~30%)	478 a	12.8 a	37.2 a

<sup>z</sup> Trees were defoliated by Marssonina blotch in 2012 and 2013. Percent of defoliation was compared to trees that were not damaged by Marssonina blotch in each year. Checking time of total leaves per tree was in the end of October in each year. Total leaves per tree that none damaged by Marssonina blotch were about 4,000 leaves.

<sup>y</sup> Sampling time of bourse shoots was early-January in 2013 and early-February in 2014.

<sup>x</sup> Means separation within column by T-test at  $P=0.05$ .

**Table 3.** Carbon and nitrogen concentration in bourse shoot of ‘Fuji’/M.9 apple tree according to tree vigor in 2014

Tree vigor (Average shoot length) <sup>z</sup>	Carbon (mg · g <sup>-1</sup> )	Nitrogen (mg · g <sup>-1</sup> )	C/N Ratio
Healthy (20 ~ 25 cm)	499 a <sup>y</sup>	13.4 a	37.3 a
Weakness (15 ~ 20 cm)	466 b	12.7 a	36.6 a

<sup>z</sup> Standard of apple trees vigor was referred to Park *et al.*(2008), and sampling time of bourse shoots was early-February in 2014.

<sup>y</sup> Means separation within column by T-test at  $P=0.05$ .

2014년에는 경북 군위군 사과연구소에 재식된 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무 중 갈색무늬병에 의해 2013년 9월부터 낙엽이 시작되어 2013년 10월말에 수관 전체 낙엽율이 20~30% 정도 되었던 사과나무 30주(낙엽구)와 수관 전체 낙엽율이 10% 미만이었던 30주(건전구)를 대상으로 조사하였다. 2013년 시험주들의 2012년 나무당 착과수는 70~80개 정도였고, 2014년 시험주들의 2013년 나무당 착과수는 100~110개 정도였다.

과대지는 대목별 내동성 조사와 동일하게 2013년의 경우 2지역 모두 1월 7일에 120개씩 채취하였고, 2014년에는 낙엽 정도 별로 2월 10일에 120개씩 채취하였다. 채취한 과대지 중 30개는 대목별 내동성 조사와 동일하

게 탄소 및 질소함량을 측정하였으며, 시험재료의 탄소 및 질소 함량은 Table 2와 같다. 저온 처리방법, 조사항목 및 반복은 내동성 조사와 동일하게 실시하였다.

**2.4. 수세 정도별 과대지의 내동성**

본 조사는 사과나무의 수세에 따른 과대지의 내동성을 조사하고자, 수세가 안정된 성목기 ‘후지’/M.9 사과나무의 평균 신초장은 20~25cm 정도라는 보고(Park *et al.*, 2008)를 참조하였다. 시험주로 선정된 ‘후지’/M.9 사과나무는 2012년 대목별 내동성 조사에 이용된 건전한 나무들로, 2014년 1월말에 20주 정도 총신초장을 조사한 뒤, 평균 신초장 길이가 20~25cm인 사과나무(수

**Table 4.** Sprouting of terminal bud based on the chilling temperature and dormancy level in bourse shoot of ‘Fuji’ apple tree grafted on M.9 and M.26 in 2012

Rootstock	Sampling date	Sprouting (%)					
		-35°C	-30°C	-25°C	-20°C	-10°C	0°C
M.9	1/31	17	50	67	57	70	57
	2/13	13	28	53	43	63	57
	2/27	3	40	37	43	53	63
	3/12	0	52	50	50	77	93
M.26	1/31	20	47	70	57	67	63
	2/13	27	43	60	53	80	57
	2/27	0	27	40	23	60	77
	3/12	13	27	70	60	43	70

ANOVA<sup>z</sup>

Rootstock (A)	NS
Sampling time (B)	**
Temperature (C)	***
A x B	NS
A x C	NS
B x C	NS
A x B x C	NS

<sup>z</sup> NS, \*\*, \*\*\* Non significant or significant at  $P = 0.01$  and  $0.001$ , respectively.

세가 정상인 시험주)와 15~20cm인 사과나무(수세가 약한 시험주)를 10주씩 구분하였다.

과대지는 대목별 내동성 조사와 동일하게 2014년 2월 10일에 수세 별로 총 120개씩 채취하였다. 채취한 120개의 과대지 중 30개는 대목별 내동성 조사와 동일하게 탄소 및 질소함량을 측정하였으며, 시험재료의 탄소 및 질소 함량은 Table 3과 같다. 저온 처리방법, 조사 항목 및 반복은 휴면 정도별 내동성 조사와 동일하게 실시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 대목별 과대지의 시기별 내동성

본 시험에서 대목별 과대지상 정아의 발아율은  $-35^{\circ}\text{C}$  처리의 경우 M.9 대목이 17%, M.26 대목이 27% 이하로 M.26 대목에서 다소 높게 나타났으나, 대목간 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 채취시기별로는 2대목 모두 채취시기가 늦어질수록 정아의 발아율이 낮아지는 경향이 있었는데, 2월 27일에 가장 낮았다(Table 4).

일반적으로 ‘후지’ 사과 품종의 평균(12~2월) 재배 한계저온은  $-35.8^{\circ}\text{C}$  정도로 알려져 있다(Palmer *et al.*, 2003). 그러나 M.9과 M.26 대목에 접목한 사과나무의 내동성에 대한 연구 결과는 연구자에 따라 많은 차이를 나타내었다. 그 결과를 보면, Moran *et al.*(2011) 및 Westwood and Bjornstad(1981)는 같은 품종이라도 M.9에 접목한 품종의 내동성은 M.26에 접목한 품종보다 내동성이 약하다고 하였고, Robinson *et al.*(2006)은 M.26에 접목한 사과나무의 신초생장 정지기가 M.9에 접목한 사과나무보다 늦어 M.26 대목에 접목한 사과나무의 동해가 심하였다고 하였다. 본 시험에서 ‘후지’의 정아 발아율이 급격하게 낮아진 온도는  $-35^{\circ}\text{C}$ 였으나, 앞선 보고들(Moran *et al.*, 2011; Robinson *et al.*, 2006; Westwood and Bjornstad, 1981)과 달리 대목별 내동성의 차이는 없었다(Table 4). 이는 M.9과 M.26의 과대지상 탄소 함량, 질소 함량 및 C/N율의 차이가 없었기 때문으로 추정되었다(Table 1).

한편, 과수의 내동성은 자발휴면 중에는 강하나 자발휴면이 타파되면 내동성이 급격하게 약해지는데(Kim *et al.*, 2007; Tromp, 2005), 사과나무를 포함한 낙엽과수는 보통 1월 내에 자발휴면이 타파된다(Kim *et al.*, 2006; Kweon *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2015). 본 시험에서 과대지는 1월 31일 이후에 채취하였기 때문에 자발휴면은 거의 타파되었다고 할 수 있었으며, 과대지 채취시기가

지날수록 정아 발아율이 감소하는 즉, 내동성이 감소하는 경향이 있었다(Table 4). 그러나 특이하게 3월 12일에 채취한 과대지의 정아 발아율은 2월 27일에 채취한 과대지보다 높은 경향이 있었다(Table 2). 이는 온대과수는 겨울철 저온에 의해 내동성이 강해지는 순화(acclimation) 과정을 거친 뒤, 봄이 되어 온도가 상승하면 내동성이 약해지는 탈순화(deacclimation) 과정을 거치지만, 탈순화 뒤에 다시 저온이 오면 내동성이 다시 강해지는 재순화(reacclimation)가 발생한다는 보고를 통해 봤을 때(Kang and Oh, 2004), 군위지역은 2012년 2월초(2월 3일)에 최저기온이  $-21.9^{\circ}\text{C}$ 까지 떨어진 뒤 3월초(3월 2일)에  $3.0^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하면서 탈순화가 진행되다가 3월 8일부터 3월 12일 사이에 다시 최저기온이  $-7.1^{\circ}\text{C}$ 까지 내려가면서 재순화가 되었기 때문으로 추정되었다(Fig. 1).

#### 3.2. 휴면 정도별 과대지의 내동성

본 시험에서  $-40^{\circ}\text{C}$  처리구의 과대지상 정아는 채취 시기에 관계없이 모두 고사하였다.  $-30^{\circ}\text{C}$  처리에서는 자발휴면기인 1월 22일에 정아 발아율이 43%이었으나 자발휴면 타파 초기인 2월 12일부터 모두 고사되기 시작하였다.  $-20^{\circ}\text{C}$  처리에서는 자발휴면 타파기인 2월 25일까지 정아 발아율이 50% 이상이었으나, 발아기인 3월 25일 이후부터 정아가 모두 고사하였다. 그러나 전해질 누출률은 채취시기가 늦고, 처리온도가 낮을수록 높아졌고, 수분손실률은 자발휴면 타파 초기인 2월 12일에 최저가 되었다가, 2월 12일 이후로 채취시기가 늦어질수록 높아졌다(Table 5).

이상의 ‘후지’/M.26 과대지의 시기별 내동성 결과를 종합해보면, 과대지는 휴면기(1월 22일부터 2월 25일까지), 발아기(3월 25일), 개화기(4월 22일) 순으로 생육이 진행될수록 내동성이 약해졌으며, 휴면기 중에는 자발휴면이 타파되기 전인 1월 22일에 내동성이 가장 강하였다(Table 5). 이는 휴면기에는 내동성이 증가하지만 휴면이 타파되면 내동성이 약해지며, 같은 휴면기간이라도 휴면 초기인 늦가을에는 내동성이 약하고, 휴면 중기에는 대단히 강하며, 휴면 후기인 이른 봄에는 다시 약해진다는 보고(Kim *et al.*, 2006; 2007; 2009) 및 ‘후지’의 11월 재배한계온도는  $-35.9^{\circ}\text{C}$ , 12월에는  $-37.7^{\circ}\text{C}$ , 이듬해 2월에는  $-33.8^{\circ}\text{C}$  정도였다는 보고(Palmer *et al.*, 2003)와 비슷하였다.

본 시험에서 자발휴면 타파 초기인 2월 12일 이후부터 내동성이 약해진 것(Table 5)은 낙엽과수의 수체 내 수분함량은 휴면 개시와 함께 점차 감소되어 최소를 유

**Table 5.** Sprouting of terminal bud, electrolyte leakage, and water loss based on the chilling temperature and dormancy level in bourse shoot of ‘Fuji’/M.26 apple tree in 2013

Sampling date	Sprouting (%)			Electrolyte leakage (%)			Water loss (%)		
	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C
1/22	0	43	77	18.6	13.1	10.5	0.64	0.60	0.31
2/12	0	0	60	26.8	26.0	15.6	0.28	0.29	0.17
2/25	0	7	57	44.2	36.7	17.8	0.38	0.37	0.27
3/25	0	0	0	63.6	39.2	16.4	0.87	0.55	0.62
4/22	0	0	0	78.7	77.4	49.6	1.85	2.69	2.96
ANOVA <sup>z</sup>									
Time (A)		***		***			***		
Temperature (B)		***		***			NS		
A x B		***		***			*		

<sup>z</sup> NS, \*, \*\*\* Non significant or significant at  $P = 0.05, 0.001, 0.001$ , respectively.

지하다가 자발휴면 완료기에 가까워지면서 급격히 증가하는데(Kim *et al.*, 2006), 수체 내 수분함량이 많을수록 과수의 내동성은 약해진다는 보고(Kang and Oh, 2004; Kim *et al.*, 2012), 겨울 동안 저온요구도가 전혀 충족되지 않은 사과나무의 과대지를 20~25°C에서 수삽하면 발아하는데 140~160일 정도가 소요되지만, 겨울 동안 저온요구도가 충족된 사과나무 과대지는 15일 이내로 발아하였다는 보고(Kweon *et al.*, 2013) 및 수분손실률이 자발휴면 타파 초기인 2월 12일 이후로 증가되었던 본 시험의 결과(Table 5)를 미루어 보아, 자발휴면 타파 후 수체 내 수분함량이 증가되었기 때문으로 생각되었다.

**3.3. 낙엽 정도별 과대지의 내동성**

수관 전체 낙엽율이 50%를 넘어 건전구보다 C/N을

이 낮았던 2013년 낙엽구의 정아 발아율은 건전구보다 낮았고, 전해질 누출률 및 수분손실률은 반대로 낙엽구가 건전구보다 높았다(Tables 2 and 6). 처리온도 별로는 -40°C 처리에서의 경우 정아 발아율은 건전구가 6.7%인데 반해 낙엽구는 발아된 과대지가 없었고, 전해질 누출률 및 수분손실률은 낙엽구가 건전구보다 높은 경향이 있었다. -30°C 처리에서의 정아 발아율은 건전구가 낙엽구보다 6~7배 정도 높았으나, 수분손실률 및 전해질 누출률은 낙엽구가 건전구보다 2배 정도 높았다. -20°C 처리에서는 낙엽구의 전해질 누출률 및 발아율은 건전구와 큰 차이가 없었으나 수분손실률은 낙엽구가 건전구보다 4배 정도 더 높았다(Table 6).

수관 전체 낙엽율이 20~30% 정도였던 2014년 낙엽구와 건전구의 탄소함량, 질소함량 및 C/N율은 시험구

**Table 6.** Sprouting of terminal bud, electrolyte leakage and water loss of bourse shoot was defoliated by Marssonina blight of ‘Fuji’/M.9 apple tree at chilling temperature in 2013

Treatment (Percent of defoliation) <sup>z</sup>	Sprouting (%)			Electrolyte leakage (%)			Water loss (%)		
	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C
Healthy (Under 10%)	6.7	40.0	63.3	33.5	25.6	15.3	0.25	0.31	0.21
Defoliation (Over 50%)	0.0	6.7	50.0	46.6	40.4	15.1	0.61	0.76	0.77
ANOVA <sup>y</sup>									
Time (A)		*		***			***		
Temperature (B)		***		***			NS		
A x B		NS		**			NS		

<sup>z</sup> Trees were defoliated by Marssonina blight in 2012, and sampling time of bourse shoots was early-January in 2013.

<sup>y</sup> NS, \*, \*\*, \*\*\* Non significant or significant at  $P = 0.05, 0.01, 0.001$ , respectively.

**Table 7.** Sprouting of terminal bud, electrolyte leakage and water loss of bourse shoot was defoliated by Marssonina bloch of 'Fuji'/M.9 apple tree at chilling temperature in 2014

Treatment (Percent of defoliation) <sup>z</sup>	Sprouting (%)			Electrolyte leakage (%)			Water loss (%)		
	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C
Healthy (Under 10%)	0.0	46.7	82.2	50.7	32.7	19.4	0.85	0.49	0.39
Defoliation (20~30%)	0.0	46.7	82.2	50.7	30.6	23.0	0.93	0.83	0.48
ANOVA <sup>y</sup>									
Time (A)		NS			NS			NS	
Temperature (B)		***			***			*	
A x B		NS			NS			NS	

<sup>z</sup> Trees were defoliated by Marssonina blotch in 2013, and sampling time of bourse shoots was early-February in 2014.

<sup>y</sup> NS, \*, \*\*\* Non significant or significant at  $P = 0.05, 0.001, 0.0001$ , respectively.

간에 차이가 없었으며(Table 2), 2014년 낙엽구의 정아 발아율, 전해질 누출률 및 수분손실률 역시 건전구와 차이가 없었다(Table 7). 처리온도 별로는 -40°C 처리에서의 경우 건전구와 낙엽구 모두 정아가 모두 고사하였고, 시험구간 전해질 누출률 및 수분손실률의 차이 역시 없었다. -30°C와 -20°C 처리에서 건전구와 낙엽구의 정아 발아율은 각각 46.7%, 82.2%로 동일하였고, 전해질 누출률 및 수분손실률 역시 시험구간에 차이가 없었다(Table 7).

Schupp *et al.*(2001)는 병해충 피해에 의해 수체 내 동화산물이 적어지면 내동성이 감소된다고 하였고, Seo and Noh(2010)는 적엽을 하지 않은 사과나무는 한계저온 이전까지 동해 증상이 나타나지 않았지만, 10월경에 78~84% 적엽을 한 나무에서는 한계저온 이전부터 동해 증상이 나타난다고 하였다. 또한, Park *et al.*(2013) 및 Sagong *et al.*(2011)은 갈색무늬병에 의해 10월말 수관 전체 잎이 30% 이상 낙엽이 되면 수체 내 축적되는 탄수화물의 양이 감소되어 이듬해 개화율 및 수체생장이 감소된다고 하였다. 본 시험 역시 수관 전체 낙엽율이 30% 미만인 낙엽구의 내동성은 건전구와 차이가 없었으며, 수관 전체 낙엽율이 50% 이상이 되면 과대지의 C/N율이 건전구보다 감소되면서 과대지의 내동성이 약해졌다(Tables 2, 6 and 7).

Kang and Oh(2004)는 식물의 내동성은 수체 내 탄수화물 함량이 많고, 질소의 함량은 반대로 적을수록 높아지는 것으로 알려져 있지만, 대부분의 경우 최적생장을 가져올 수 있는 수준으로 질소가 공급되면 낮은 수준으로 질소가 공급된 경우와 비슷한 내한성을 가질 수 있다

고 하였고, Schupp *et al.*(2001)은 가을철에 3.0%의 요소를 '후지' 사과나무에 엮면 시비를 하여도 내동성이 감소되지 않았다고 하였다. 본 시험에서 '후지' 사과품종의 과대지 내동성은 탄소 및 질소 함량보다는 탄소와 질소의 비율인 C/N율에 영향을 받는 것으로 나타났는데(Tables 2 and 6), 이는 탄수화물과 질소의 비율인 C/N율이 높을수록 '후지' 사과품종의 내동성이 커진다는 보고(Cheng, 2002; Cheng *et al.*, 2004)와 동일하였다. 즉, 사과나무의 내동성은 단순히 수체 내 탄수화물(탄소) 및 질소의 절대량에 의해서만 영향을 받는 것이 아니라 과수의 생장, 개화 및 결실에 관여하는 C/N율(Byun *et al.*, 2006)에 의해서도 영향을 받는다고 할 수 있었다.

한편, 2013년 건전구의 탄소 및 질소함량이 2014년 건전구보다 다소 높았는데(Table 2), 이는 나무 당 과실수의 차이(2013년: 70~80과, 2014년: 100~110과)에 의한 것으로 추정되었으며, 2013년 낙엽 시험구들의 과대지 C/N율이 2014년 낙엽 시험구들보다 낮았음에도 불구하고(Table 2), -40°C 처리에서 2014년 건전구의 정아는 모두 고사하였던 반면에, 2013년 건전구의 정아는 6.7% 정도 생존할 수 있었던 것(Tables 6 and 7)은 과대지의 자발휴면 정도 차이[2013년: 1월 7일(자발휴면기), 2014년: 2월 10일(자발휴면 타파 초기)]에 의한 것으로 생각되었다(Kim *et al.*, 2006; 2007; 2009).

#### 3.4. 수세 정도별 과대지의 내동성

사과나무의 수세에 따른 과대지의 정아 발아율은 수세가 정상인 시험구가 수세가 약한 시험구보다 높았으



**Table 8.** Sprouting of terminal bud, electrolyte leakage and water loss based on the chilling temperature and tree vigor in bourse shoot of ‘Fuji’/M.9 apple tree in 2014

Tree vigor (Average shoot length) <sup>z</sup>	Sprouting (%)			Electrolyte leakage (%)			Water loss (%)		
	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C	-40°C	-30°C	-20°C
Healthy (20~25 cm)	0.0	51.1	83.3	50.8	31.8	20.9	0.91	0.77	0.45
Weakness (15~20 cm)	0.0	34.4	68.9	56.6	32.7	24.1	1.30	1.00	0.48
ANOVA <sup>y</sup>									
Time (A)		*			**				NS
Temperature (B)		***			***				*
A x B		NS			NS				NS

<sup>z</sup> Standard of apple trees vigor was referred to Park *et al.*(2008), and sampling time of bourse shoots was early-February in 2014.

<sup>y</sup> Means separation within column by T-test at  $P=0.05$ .

나, 전해질 누출률은 반대로 수세가 약한 시험구가 더 높았고, 수분 손실률은 수세 시험구간에 차이가 없었다. 처리온도 별로는 정아 발아율의 차이가 뚜렷하였는데, -40°C 처리에서의 경우 2시험구 모두 정아가 모두 고사하였지만, -30°C 처리에서는 수세가 정상인 시험구의 정아 발아율이 51.1% 정도로 수세가 약한 시험구의 34.4% 대비 50% 정도 더 높았고, -20°C 처리에서는 수세가 정상인 시험구의 정아 발아율이 83.3% 정도로 수세가 약한 시험구의 68.9% 대비 21% 정도 더 높았다 (Table 8).

일반적으로 수체 내 탄수화물의 함량이 높을수록 내동성이 커지는 것으로 알려져 있는데(Kang and Oh, 2004; Schupp *et al.*, 2001), 본 시험에서는 과대지 내 탄소의 함량이 높았던 수세가 정상인 시험구의 내동성이 수세가 약한 시험구보다 높게 나타나 탄소 함량 역시 내동성에 영향을 미칠 수 있음이 확인되었다(Tables 3 and 8).

본 시험에서 수세가 약한 시험구의 탄소 함량이 수세가 정상인 나무보다 적었던 것(Table 2)은 사과나무의 착과수가 많을수록 수체 내 축적되는 탄수화물의 함량이 적어져 당년의 신초생장 및 이듬해 개화율이 감소된다는 보고(Sagong and Yoon, 2015) 및 착과를 시킨 사과나무의 신초, 주간 및 뿌리의 건물중은 착과를 시키지 않은 사과나무의 절반 정도였다는 보고(Forshey and Elfving, 1989)를 미루어 보아, 수세가 약한 시험구의 나무 당 착과수가 수세가 정상인 나무보다 많았기 때문으로 추정되었다.

#### IV. 요약 및 결론

본 시험의 결과를 종합해보면, M.9 대목의 접목한 사과나무의 수체 내 탄소 및 질소 함량이 M.26 대목에 접목한 사과나무와 차이가 없을 경우, M.9 대목의 과대지상 정아 내동성은 M.26 대목과 차이가 없었다(Tables 1 and 4). 즉, 국내 M.9을 이용한 고밀식 사과재배에서 문제 시 되는 동해는 M.9 대목 자체의 유전적인 문제가 아니라 토양 및 재배관리 기술 미흡에 의한 것으로 판단되었다(Yim and Yoon, 2010).

한편, 건전한 사과나무의 과대지상 정아는 휴면기에 -40°C에서도 생존할 수 있었으나(Table 6), 발아기와 개화기에는 -20°C에서 모두 고사하였으며(Table 5), 같은 휴면기라도 자발휴면이 타파되면 -30°C에서 심하게 고사하였다(Tables 4 and 5). 또한, 조기낙엽에 의해 과대지 내 C/N율이 감소되면 휴면기라도 과대지들은 -30°C에서 정아가 거의 모두 고사하였고(Tables 2 and 6), 과다결실에 의해 과대지 내 축적되는 탄소 함량이 적어지면 신초생장이 약해지면서 내동성이 감소되었다(Tables 3 and 8).

따라서, 국내에서 1~2월 기온이 -30°C 이하로 자주 내려가는 지역에 ‘후지’ 사과나무를 재배하면 꽃눈인 정아가 많이 고사하여(Tables 4 and 5), 이듬해에 해거리 혹은 과도한 영양생장에 따른 밀식장애가 발생할 위험이 높았으며, 1~2월경 기온이 -30°C 이하로 자주 내려가지 않는 지역이라도 과다결실 혹은 병해충 발생 등과 같이 재배관리가 미흡하면 동해가 심하게 발생할 위험이 높았으므로(Tables 6 and 8), ‘후지’ 사과나무의 동

해를 예방하기 위해서는 신초생장이 정상적으로 이루어 지도록 재배관리를 철저히 해야 할 것으로 생각되었다.

## 적 요

본 시험은 휴면 정도 및 탄소 함량이 사과나무의 과대 지 내동성에 미치는 영향을 밝히고자 실시하였다. 시험 재료는 M.26과 M.9에 접목된 성목기 '후지' 사과나무의 과대지였다. 과대지의 휴면 정도는 자발휴면기(1월 말), 자발휴면 타파 초기(2월초), 자발휴면 타파 후기(2월말), 발아기(3월말) 및 개화기(4월말)로 구분 하였다. 저온처리 범위는 0°C부터 -40°C 사이였다. 탄소 함량의 차이에 따른 내동성은 갈색무늬병에 의해 낙엽이 심하게 발생한 '후지'/M.9 사과나무(낙엽구)와 과다결실에 의해 평균 신초장이 20cm 이하였던 '후지'/M.9 사과나무(수세가 약한 시험구)를 대상으로 조사하였다. 결과를 살펴보면, 과대지의 내동성은 자발휴면 타파 후에 약해졌다. M.9와 M.26에 접목된 '후지' 사과나무 과대지의 탄소 함량의 차이는 없었으며, M.9과 M.26 대목에 접목한 사과나무 과대지의 내동성 차이는 없었다. 건전구에 비해 낙엽구의 과대지는 C/N율이 낮았고, 수세가 약한 시험구는 탄소 함량이 낮았다. 이러한 결과에 의해 낙엽구와 수세가 약한 시험구의 내동성은 건전구보다 약하였다.

## 감사의 글

본 논문은 2014년도 농촌진흥청 공동연구사업(과제 번호: PJ008224012014)에 의해 이루어진 것임.

## REFERENCES

- Byun, J. Y., S. S. Lee, K. S. Choi, and S. M., Kang, 2006: *Plant Physiology* (2nd Ed.). Byun, J. Y. (Eds.) Hyangmoonsha Press, Seoul, 173-177 and 360-361. (In Korean)
- Chae, J. C., S. J. Park, B. H. Kang, and S. H. Kim, 2006: *Principles of Crop Cultivation* (3rd ed.). Chae, J. C. (Ed.). Hyangmoonsha Press, Seoul, 132-133 and 217-218. (In Korean)
- Cheng, L., 2002: Growth performance of apple nursery trees in relation to reserve nitrogen and carbohydrates. *New York Fruit Quarterly* **10**(3), 15-18.
- Cheng, L., F. Ma, and D. Ranwala, 2004: Nitrogen storage its interaction with carbohydrates of young apple trees in response to nitrogen supply. *Tree Physiology* **24**, 91-98.
- Choi, Y. E. and C. Y. Park, 2010: Distribution of cold surges and their changes in the Joongbu Region, the Republic of Korea. *The Geographical Journal of Korea* **44**(4), 713-725. (In Korean with English abstract)
- Forshey, C. G and D. A. Elfving, 1989: The relationship between vegetative growth and fruiting in apples. *Horticultural Review* **11**, 252-255.
- Kang, S. M. and S. D. Oh, 2004: Freezing injury. *Fruit tree physiology in relation to temperature*. S. D. Oh (Eds.), Gilmogm Press, Seoul, Korea, 29-32, 35-36, 48-53, 77-81, and 86-92. (In Korean)
- Kim, D. A., S. W. Lee, and J. T. Lee, 1998: Ecology of Marssonina blotch caused by *Diplocarpon mali* on apple tree in Kyungpook, Korea. *Agricultural Research Bulletin of Kyungpook National University* **16**, 84-95. (In Korean with English abstract)
- Kim, J. H., J. C. Kim, K. C. Ko, K. R. Kim, and J. C. Lee, 2006: *General Pomology* (4th ed.). Kim J. H. (Ed.) Hyangmoonsha Press, Seoul, 35-38, 40-44, 147-148, 150-151, and 177-178. (In Korean)
- Kim, H. C., K. S. Bae, J. H. Bae, and T. C. Kim, 2007: Freezing hardiness according to dormancy level and low temperature in persimmon (*Diospyros kaki*). *Journal of Bio-Environment. Control* **16**(3), 269-273. (In Korean with English abstract)
- Kim, S. O., U. Chung, S. H. Kim, I. M. Choi, and J. I. Yun, 2009: The suitable region and site for 'Fuji' apple under the projected climate in South Korea. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(4), 162-173. (In Korean with English abstract)
- Kim, K. D., J. G. Lee, M. S. Ryu, D. L. Yoo, Y. S. Kwon, and J. N. Lee, 2012: Evaluation of cold tolerance of blueberry (*Vaccinium corybosum* L.) and diagnosis of freezing injury using timber moisture meter. *Journal of Bio-Environment. Control* **21**(4), 354-361. (In Korean with English abstract)
- Kweon, H. J., D. H. Sagong, Y. Y. Song, M. Y. Park, S. I. Kwon, and M. J. Kim, 2013: Chilling requirement for breaking of internal dormancy of main apple cultivars in Korea. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **31**(6), 666-676. (In Korean with English abstract)
- Kweon, H. J., D. H. Sagong, Y. Y. Song, M. Y. Park, and T. M. Yoon, 2014: Influence of low temperature and chilling time on freezing hardiness of apple dwarf-rootstocks and main cultivars in Korea. *Korea Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **16**(1), 59-71.

- (In Korean with English abstract)
- Lee, B. H. N., Y. S. Park, and H. S. Park, 2015: Changes in dormant phase and bud development of 'Fuji' apple trees in the Chungju area of Korea. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **33**(4), 501-510. (In Korean with English abstract)
- Moran, R. E., Y. Sun, F. Geng, and D. Zhang, 2011: Cold temperature tolerance of trunk and root tissues in One- or Two-year-old apple rootstocks. *HortScience* **46**(11), 1460-1464.
- Palmer, J. W., J. P. Privé, and D. S. Tustin, 2003: Temperature. *Apples; Botany, Production and Uses*, D. C. Ferree and I. J. Warrington (Eds.), CABI Publishing, Cambridge, MA, 218-227.
- Park, H. G., W. Moon, and S. K. Lee, 2002: *Horticultural science* (1st Ed.). Park, H. G. (Eds.) Kor. Natl. Open Univ. Press. Seoul, 154-155. (In Korean)
- Park, M. Y., J. K. Park, S. J. Yang, H. H. Han, I. K. Kang, and J. K. Byun, 2008: Proper tree vigor and crop load in high density planting system for 'Fuji'/M.9 apple trees. *Protected Horticulture and Plant Factory* **17**(4), 306-311. (In Korean with English abstract)
- Park, M. Y., D. H. Sagong, H. J. Kweon, Y. S. Do, Y. Y. Song, and D. H. Lee, 2013: Influence of seasonal incidence and defoliation degree of marssonina blotch on fruit quality and shoot growth of 'Fuji'/M.9 apple tree. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **31**(5), 523-530. (In Korean with English abstract)
- Park, Y. S., N. Y. Um, S. J. Lee, I. J. Kim, and S. Y. Lee, 2010: The freezing damage of the fruit tree in Gangwon. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **28**(Supply II), 81pp. (In Korean)
- Robinson, T. L., G. Fazio, H. S. Aldwinckle, S. A. Hoying, and N. Russo, 2006: Field performance of Geneva apple rootstocks in the eastern USA. *Sodinikystė IR Daržininkystė* **25**(3), 181-191.
- Sagong, D. H., H. J. Kweon, Y. Y. Song, M. Y. Park, J. C. Nam, S. B. Kang, and S. G. Lee, 2011: Influence of defoliation of marssonina blotch on vegetative growth and fruit quality in 'Fuji'/M.9 apple tree. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **29**(6), 531-538. (In Korean with English abstract)
- Sagong, D. H. and T. M. Yoon, 2015: Optimum crop load in different planting densities of adult 'Fuji'/M.9 apple tree for preventing biennial and stabilizing tree vigor. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* **33**(1), 1-10. (In Korean with English abstract)
- Schupp, J. R., L. Cheng, W. C. Stiles, E. Stover, and K. Lungerman, 2001: Mineral nutrition as a factor in cold tolerance of apple trees. *New York Fruit Quarterly* **9**, 9-12.
- Seo, H. H., and K. M. Noh, 2010: Countermeasure of meteorological disaster and wild animal damage. *Luxury strategy of apple*, Y. J. Yim (Ed.). Semyung Press, Suwon, Korea, 340-345. (In Korean)
- Tromp, J., 2005: Frost and plant hardiness. *Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production*. J. Tromp, J. T. Webster, and S. J. Wertheim (Eds.). Backhuys Publishers, Leiden, 74-83.
- Westwood, M. N., and H. O. Bjornstad, 1981: Winter injury to apple cultivars as affected by growth regulators, weed control method, and rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **106**(4), 430-432.
- Yim, Y. J., and C. K. Yoon, 2010: Dwarfing cultivation. *Luxury strategy of apple*, Y. J. Yim (Ed.). Semyung Press, Suwon, Korea, 57-63. (In Korean)
- Yu, Y. S., 2004: Dormancy. *Fruit tree physiology in relation to temperature*. S. D. Oh (Eds.), Gilmogm Press, Seoul, Korea, 123-125. (In Korean)