

맥동형 직분사 분무건 시스템의 효율적인 사용을 위한 최적 분무 횟수 설정

박영식¹, 엄남용¹, 임상현¹, 박성민², 허재운^{3*}

¹강원도농업기술원 원예연구과, ²강원대학교 원예학과, ³강릉원주대학교 식물생명과학과

Optimal Water Spray Frequency for the Efficient Utilization of a Pulsatory Direct Water Spray Gun System for Peach Cultivation

Park, Y. S.¹, N. Y. Um¹, S. H. Lim¹, S. M. Park² and J. Y. Heo^{3*}

¹Horticultural Crops Research Unit, Gangwondo Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon, 24226, Korea

²Department of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Department of Plant Science, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

*Corresponding author: Heo, J. Y. (E-mail: jyheo@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

Received: 4 July 2018

Revised: 9 July 2018

Accepted: 9 July 2018

This study was conducted to select the optimal water spray number for the efficient utilization of a pulsatory direct water spray gun system. In order to accomplish the purpose of this research, we evaluated the impingement forces, according to different power pressures, distances, and water spray numbers per second, using a novel pulsatory direct water spray gun system. Based on the result of the basic test, the power pressure and distance of spray that can expect excellent performance were selected as 2 MPa and 1 m, respectively. Then, the flower and leaf bud thinning rate were investigated with different water spray numbers per second under four different flower developmental stages. The optimal water spray frequency for the use of the pulsatory direct water spray gun system was nine sprays per second at the flowering stage, because it resulted in 80% of the flower thinning rate and less than 8% of the leaf bud thinning rate. These results will be used for field applications, which could contribute to labor savings in peach cultivation.

Keywords: Flower developmental stage, Flower thinning, Leaf bud thinning, Peach

서론

국내에서 복숭아 생산량은 2016년을 기준으로 21만 톤으로서, 사과와 감귤과 함께 3대 과수 작물을 이루고 있다. 복숭아의 경우 가격과 품질 경쟁력을 가진 다양한 과수 작물들이 수입에 따라서 타격을 입고 있는 다른 과수 작물들과는 다르게, 국내 소비자들의 욕구를 충족시키는 품종들을 육성하고 보급하는 데 성공함에 따라서 재배 경쟁력을 유지하고 있는 과수 작물 중 하나로 꼽히고 있다(Choi et al., 2007; Jun et al., 2013). 이외에도 복숭아는 수확 후 장기 저장



기술의 부재로 인해서 수입산 복숭아에 따른 영향도 미미한 편이기 때문에 수입대체 재배 작물로서 재배면적과 생산량이 지속해서 증가할 것으로 기대를 모으고 있다.

복숭아에서 성목 당 개화 수는 25,000개 내외인 것에 비해서 수세유지와 고품질 복숭아 생산을 위한 최적 과실 수는 500개에 불과한 실정이다(Turkey and Einset, 1939; Myers, 1986). 따라서 농가에서는 산술적으로 봄철에 개화하는 꽃눈의 98% 이상을 생육 기간 동안 결과지로부터 제거할 필요성이 있다. 복숭아는 잎이 형성되기까지 전년도 영양분을 이용하여 꽃눈을 개화시키기 특성이 있기 때문에, 필요 없는 꽃눈의 경우 조기에 제거해야 우량한 과실을 생산해 낼 수 있고 다음 해 해거리에 따른 피해를 방지할 수 있다. 이에 복숭아 농가에서는 적화(개화기에 꽃 솎기) 또는 적과(착과 후 과실솎기)를 통해서 착과 조절을 필수적으로 수행하고 있다(Southwick and Fritts, 1994; Southwick et al., 1995). 과수 작물에서 일반적으로 이용되고 있는 착과 조절 기술로는 사람의 손을 이용하는 인력 적과, 도구를 이용한 기계 적과, 생장조절제 등을 이용하는 화학적 적과 방법이 있지만(Yoo et al., 2016; Theron et al., 2017), 복숭아의 경우 기계와 화학약품을 이용한 기술이 보편화 되어 있지 않아 인력적과에 의존하고 있는 문제점이 있다. 이는 착과조절이 복숭아 재배 과정 중에 소요되는 총 노동 투입 시간의 33% 이상을 차지하도록 만드는 주요 요인으로 작용하고 있다(Rural Development Administration, 2011). 최근 농촌의 노령화와 일손부족 현실을 고려하여 볼 때 착과 관리 작업에 필요한 노동력 해결과 더불어 비용을 절감 할 수 있는 대체기술의 개발이 절실한 실정이다. 복숭아에서 화학적 착과조절 기술은 불균일한 약제처리 효과와 기형과의 발생이 이미 문제화 된 바 있기 때문에 복숭아 재배의 경쟁력을 강화하기 위해서는 적화작업의 생력화가 가장 절실하게 요구되고 있다.

최근 본 연구팀에서는 복숭아 적화를 위한 생력화 방법으로서 직분사 분무건 시스템을 제시한 바 있다(Park et al., 2017). 직분사 분무건 시스템은 꽃눈을 정확하게 맞출 수 있을 뿐만 아니라 작업자가 꽃눈 제거 위치와 작업거리를 자유롭게 조절 할 수 있기 때문에 작업효율이 우수한 장점이 있다. 하지만 직분사 분무건 시스템은 복숭아 결과지의 탄성에 의해서 가지가 분사방향으로 휘어질 수 있는 여지가 있고 분사 시 반작용의 힘도 강하기 때문에 상황에 따라서는 꽃눈 제거 효율이 낮을 수 있고 작업자의 피로도도 높은 단점이 있을 수 있다. 따라서 본 연구팀에서는 작은 충격력으로도 꽃눈을 효율적으로 제거하고 작업자의 피로를 경감시킬 목적으로 맥동형 직분사 분무건 시스템을 개발하였으며, 본 연구는 새롭게 개발된 맥동형 직분사 시스템의 효율적인 이용을 위한 기본 조건과 초당 분사횟수를 설정하기 위해서 수행하였다.

재료 및 방법

맥동형 직분사 시스템의 구성

본 연구를 위해서 개발된 맥동형 직분사 분무건 시스템은 직분사 분무건과 수압부스터를 연결하여 사용하도록 제작되었다. 직분사 분무건은 손으로 쉽게 들고 작업 할 수 있도록 소형 권총형으로 개발하였으며, 물이 분사되는 노즐과 분사를 가능하게 하는 방아쇠 그리고 수압부스터와 연결하여 수압을 조절하고 지지하는 본체부분으로 구성하였다. 수압부스터는 작업자가 등에 맬 수 있는 형태로 개발하였으며, 동력분무기의 수압 호스를 연결하는 유입구와 맥동형으로 변환된 후 분사되는 유출구와 초당 분사횟수 및 직분사 정도를 조절할 수 있는 전자장치가 내장되도록 설계하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Construction of pulsatory direct water spray gun system.

맥동형 직분사 시스템의 성능 시험

개발된 맥동형 직분사 시스템과 관련된 성능은 동력분무기 압력, 분사거리와 맥동형 직분사시 초당 분사 횟수에 따라 조사된 분사충격량과 분사시 반작용의 힘을 측정하여 평가하였다. 본 실험에 이용된 동력분무기 압력과 분사거리는 1 MPa, 2 MPa, 3 MPa와 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m이었으며 맥동형 직분사의 초당 분사 횟수는 3회, 5회, 7회, 9회의 조건으로 설정되었다. 성능평가를 위해서 이용된 분사충격량은 디지털 저울을 지면과 직각으로 벽면에 설치한 후 분무건을 이용하여 10초간 분사하였을 때 계측된 최대 하중으로 도출하였다. 아울러 작업자의 피로도를 간접적으로 평가할 수 있는 분사시 반작용의 힘은 1 kg 용수철저울을 이용하여 측정하였다.

맥동형 직분사 시스템의 초당 분사횟수에 따른 적화 효율 검정

맥동형 직분사 시스템이 꽃눈 생육단계에 따라서 적화 작업 효율에 미치는 영향은 맥동형 직분사 시스템의 성능 시험을 통해서 파악된 결과를 기반으로 하여 2018년 3월 강원도농업기술원 과수시험연구포장에서 수삽으로 확보된 ‘천중도백도’의 결과지를 이용하여 검정하였다. 복숭아 꽃눈의 생육단계는 농촌진흥청 복숭아 생물계절조사 방법에 준하여 발아기, 분홍기, 풍선기 그리고 개화기로 구분하였으며, 각 생육단계별로 10개의 결과지를 1처리로 하여 3회 반복으로 실험을 수행한 후 평균값을 도출하였다. 목표 생육 단계에 이른 결과지는 테이블에서 45°의 각도로 고정된 후 개발된 맥동형 직분사 시스템을 이용하여 3초간 역방향으로 꽃눈과 꽃에 물을 분사하였으며 이후 Park et al. (2017)의 방법에 따라서 적화율과 적엽아율을 기준으로 최종적으로 적화작업의 효율성을 검정하였다.

결과 및 고찰

분사거리, 동력분무기의 압력 그리고 분사횟수와 같은 요인들이 분사충격량에 미치는 영향은 Fig. 2에 나타난 것과 같다. 분사충격량은 분사거리와 분사횟수에 따른 영향은 미비하거나 처리구간에 따라서 다소간의 차이를 보인 반면 최대 분사충격량의 범위는 분무건의 압력이 높아질수록 뚜렷하게 증가하는 것으로 나타났다. 대표적인 예로 3 MPa에서 최소 분사거리인 0.5 m와 최대 분사거리인 2.0 m 구간에서 분사충격량은 각각 0.43 - 0.48 kg과 0.40 - 0.45 kg 사이로, 분사거리에 따른 차이가 크지 않았다. 마찬가지로, 동력분무기 압력별 맥동형 횟수에 따른 충격력은 1 MPa와 2 MPa에서는 초당 분사횟수가 9회 일 때 최대값을 보였지만, 3 MPa에서는 초당 분사횟수가 5회일 때 최대값을 나타

내어 처리조건에 따라서 차이를 보일 수 있음을 확인할 수 있었다. 맥동형 직분사 분무건의 분사 후에 관찰된 압력별 최대 충격력의 범위는 1 MPa에서 0.13 – 0.18 kg, 2 MPa에서 0.34 – 0.38 kg, 3 MPa에서 0.40 – 0.48 kg으로 조사되어, 분무건의 압력에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다(Fig. 2). 0.4 kg 이상의 충격력은 수피에 상처를 야기하거나 불필요한 적엽을 야기하고, 0.2 kg 이하의 낮은 충격력은 적화율에 있어 큰 폭의 저하를 야기할 가능성이 있기 때문에, 분사충격량을 기준으로 볼 때는 2 MPa의 압력 범위에서 유용한 적화 효과를 볼 수 있을 것으로 판단되었다.

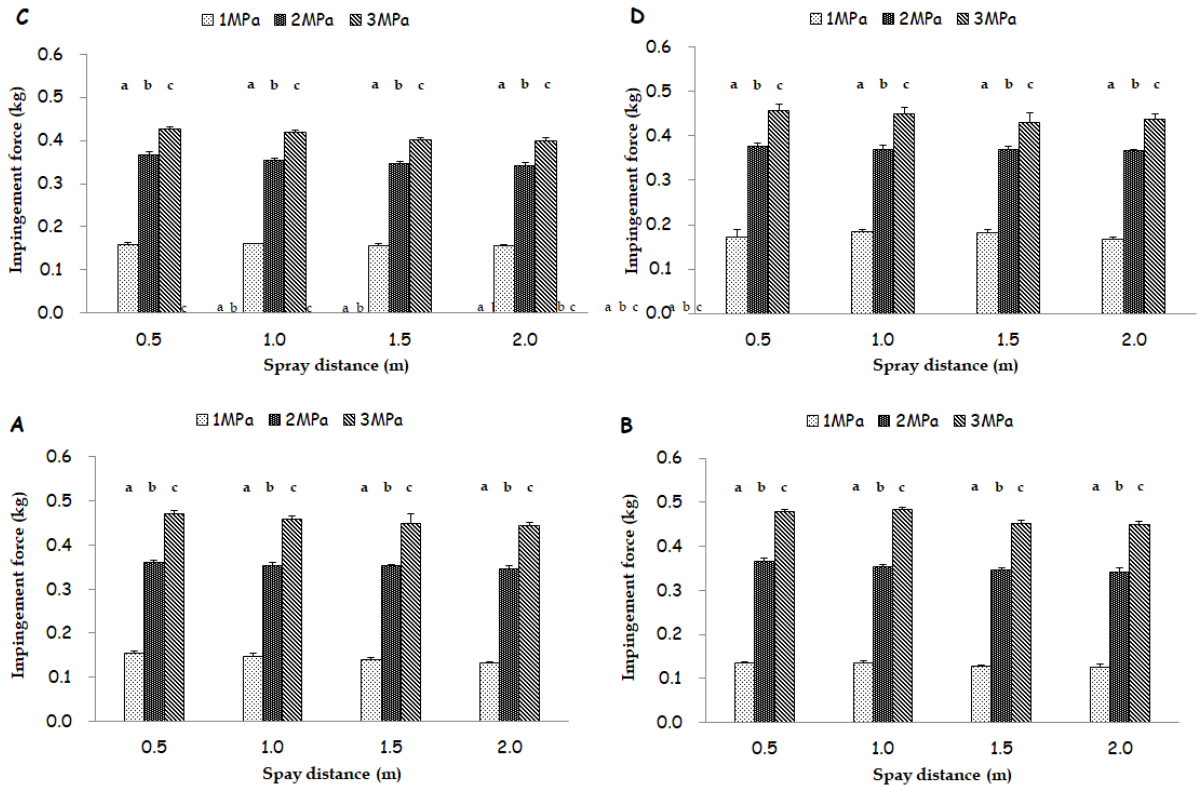


Fig. 2. Impingement forces measured from different distances, pressures, and water spray frequencies. A, Number of water sprays per second is 3; B, number of water sprays per second is 5; C, number of water sprays per second is 7; D, number of water sprays per second is 9. Letters indicate significant differences as determined by Duncan's test ($P < 0.05$).

아울러 2 MPa의 압력으로 초당 3회, 5회, 7회 그리고 9회 분무 시 반작용의 힘은 각각 0.73 kg, 0.58 kg, 0.37 kg과 0.42 kg로서 초당 7회와 9회 분무 시 반작용의 힘이 크게 줄어든 것으로 나타났다(Fig. 3). 이는 동일한 조건에서 직분사 시스템에서 나타나는 0.76 kg 보다도 낮은 수치로서(Data unpublished), 맥동형 직분사시 초당 분사횟수를 초당 7회 또는 9회로 조절하여 사용할 경우 작업자의 피로를 경감시킬 뿐만 아니라 유효한 적화 효과도 얻을 수 있는 것으로 기대할 수 있었다. 초당 분무건 분사 횟수에 따라서 분사충격량과 반작용의 힘이 달라질 수 있는 이유는 분사 시 한 개의 맥동형 분사를 균속도 개념에 적용함으로써 설명이 가능하다. Fig. 4의 우측 그림에서와 같이 맥동 주기가 길어지게 되면 $t_1 > t_2$ 가 되는데 이때 t_1 과 t_2 를 물의 질량으로 가정하고 운동에너지 공식 $E =$

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \begin{cases} E = \text{운동에너지} \\ m = \text{질량} \\ v = \text{분사되는 물의 속도} \end{cases} \text{에 대입할 시, 질량 } m \text{이 커지게 되면 이에 비례해서 운동에너지는 증가하고, 반작}$$

용으로 손에 주는 충격은 커지게 되는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 분무건에 가해지는 물의 압력이 높아지게 되면 분사 속도 v 가 증가하면서 운동에너지도 증가하게 되기 때문에, 분무건의 분사횟수가 다른 경우 분사 충격력과 반작용 힘에 있어서도 차이가 발생할 수 있는 것으로 판단되었다.

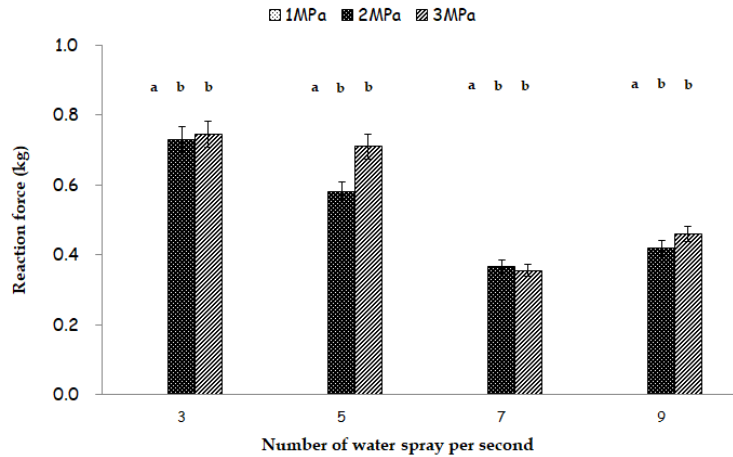


Fig. 3. Reaction force, according to the number of water sprays per second. The spray distance used for this experiment was 1 m. Letters indicate significant differences as determined by Duncan’s test ($P < 0.05$).

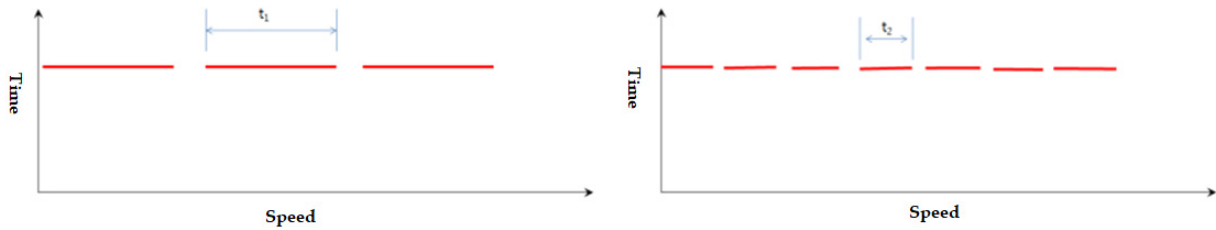


Fig. 4. Conceptual diagram for water spray in a pulsatory direct water spray gun system.

맥동형 분무건 시스템의 이용 시 압력 2 MPa, 분사거리 1 m의 분무 조건에서 분무횟수를 달리하였을 때 적화율은 성능평가에서 기대되었던 결과와 유사하게 꽃눈의 발육시기가 개화기에 가까워지고 초당 분사횟수가 증가될수록 높아지는 것으로 조사되었다. 고품질 복숭아의 생산을 위한 적화 비율은 나무의 수체 생육도에 따라서 다르지만 일반적으로 최소 60% 이상에서 최대 80% 이하로 보고되고 있다(Costa and Vizzottol, 2000). 60%의 적화율은 생육과정 중 낙과현상이 높게 나타날 수 있는 나무나 품종에서 적용될 수 있는 수치이기 때문에 정상적인 수체생육을 가진 나무의 경우에는 80% 수준에서 적화가 이루어지는 것이 이상적이다. 이를 기준으로 볼 때 발아기에 도달한 꽃눈에서의 적화율은 분사횟수에 상관없이 10% 이하에 불과하여 적화 효과를 기대하기 어려운 것으로 판단되었다. 분흥기, 풍선기 그리고 개화기의 단계에서도 분사횟수가 초당 3회 또는 5회로 조절되었을 때는 적화율이 60% 이하로 나타나 적화작업의 효율이 떨어지는 것으로 판단되었다. 하지만 분사횟수가 초당 7회 이상으로 조절될 경우에는 분흥기부터 개화기까지 효율적인 적화작업이 가능하고, 특히 풍선기와 개화기에 적화 작업을 수행할 경우에는 65.7 – 81.1% 사이의 적화율로 높은 실용성을 기대할 수 있었다(Table 1). 이외에도 적화과정에서는 적엽아율이 13% 이상으로 높아질 경우 조기엽 확보 부족에 따른 낮은 광합성으로 생산량이 악영향을 받을 수 있기 때문에 이에 대한 검증도 필요하다. 하

지만, 해당 처리구간에서의 적엽아율도 5.0–7.5% 범위로 나타나 맥동형 직분사 분무건 사용 할 경우 현장에서 효율적으로 이용될 수 있는 가능성이 큰 것으로 판단되었다(Table 2).

Table 1. Flower thinning rate according to different stages of flower development and number of water sprays per second

| Number of water spray per second ¹⁾ | Rate of flower thinning (%) | | | |
|--|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Bud sprouting | Bud growth | Balloon | Flowering |
| 3 | 0.0 ± 0.0a ²⁾ | 21.7 ± 1.7a | 35.3 ± 1.8a | 53.4 ± 1.9a |
| 5 | 0.0 ± 0.0a | 33.1 ± 1.1a | 42.5 ± 3.8a | 57.7 ± 3.6a |
| 7 | 1.0 ± 0.3a | 60.9 ± 2.4b | 65.7 ± 4.4b | 78.4 ± 3.1b |
| 9 | 1.4 ± 0.4a | 62.2 ± 3.2b | 73.3 ± 3.2b | 81.1 ± 2.3b |

¹⁾Power pressure and distance of spray used for this experiment are 2 MPa and 1 m, respectively.

²⁾Means ± SE with different letters in the same column are significantly different at p < 0.05.

Table 2. Leaf bud thinning rate according to different stage of flower development and number of water sprays per second

| Number of water spray per second ¹⁾ | Rate of leaf bud thinning (%) | | | |
|--|-------------------------------|------------|-----------|-----------|
| | Bud sprouting | Bud growth | Balloon | Flowering |
| 3 | 0.0 ± 0.0 | 0.0 ± 0.0 | 2.2 ± 1.8 | 4.8 ± 0.6 |
| 5 | 0.0 ± 0.0 | 2.1 ± 0.5 | 2.4 ± 3.8 | 5.1 ± 0.9 |
| 7 | 0.0 ± 0.0 | 1.7 ± 0.5 | 5.0 ± 4.4 | 6.3 ± 1.4 |
| 9 | 0.0 ± 0.0 | 3.1 ± 0.9 | 6.1 ± 3.2 | 7.5 ± 1.4 |

¹⁾Power pressure and distance of spray used for this experiment are 2 MPa and 1 m, respectively.

개발된 맥동형 분무건 시스템의 최적 분사 조건을 도출하기 위해서 동력분무기 압력과 분사거리, 분사횟수를 따른 분사충격을 측정한 결과 동력분무기 압력과 분무거리를 2 MPa와 1 m로 설정하였을 때 최적의 분사충격량을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 실제 성능평가를 통해서 도출된 결과를 이용하여 적화 효과를 검증한 결과에서도 개화시기에 따라서 적화 효율의 차이가 발생할 수 있지만, 개화기에 이르렀을 때 분사횟수를 초당 9회로 조절하여 적화 작업을 수행하게 되면 80% 수준의 적화율과 8% 이하의 적엽아율을 기대할 수 있어 효과적인 꽃눈 제거는 물론이고 고품질의 과실을 생산할 수 있는 가능성을 가질 수 있는 것을 확인 할 수 있었다. 본 연구를 통해서 확보된 기초자료는 차후 농가 실증시험을 위한 자료로 활용될 예정이며, 이는 국내에서 복숭아 적화작업 과정 동안 소요되고 있는 많은 노동력을 절감하는데 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 농림식품기술기획평가원의 첨단기술개발사업 지원(115101-03)으로 수행되었습니다.

인용문헌(References)

- Choi, D. J., Park, W. H., Kim, I. S., Cho, J. W., Sim, Y. G., Kim, S. J. (2007) Breeding of early season peach cultivar 'Miwhang' (*Prunus* sp.) with high quality. *Korean J Horti Sci Technol* 25:83.
- Costa, G., Vizzotto, G. (2000) Fruit thinning of peach trees. *Plant Growth Regul* 31(1):113-119.
- Jun, J. H., Kwon, J. H., Nam, E. Y., Chung, K. H., Yun, I. K., Yun, S. K., Kwack, Y. B., Kim, S. J., Kang, S. J. (2013) 'Yumi' peach. *HortScience* 48:1416-1417.
- Myers, S. C. (1986) Effect of thinning time on the subsequent development of fruit, shoots, and flower buds of peaches. *HortScience* 21:680-687.
- Park, Y. S., Heo, J. Y., Lee, W. K., Nam, J. S. (2017) Performance test of direct water spraying labor-saving system for flower and bud thinning of peach. *J Agric Life Sci* 51:161-170.
- Rural Development Administration (2011) Income reference of agro-products in 2011, Seoul, Korea.
- Southwick, S. M., Fritts, R. (1994) Commercial chemical thinning of stone fruit in California by gibberellins to reduce flowering. *Acta Horti* 394:135-147.
- Southwick, S. M., Weis, K. G., Yeager, J. T. (1995) Controlling cropping in 'Loadel' cling peach using gibberellin: effects on flower density, fruit distribution, fruit firmness, fruit thinning, and yield. *J Am Soc Horti Sci* 120:1087-1095.
- Theron, K. I., Steenkamp, H., Steyn, W. J. (2017) Efficacy of ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid) as a chemical thinner alone or combined with mechanical thinning for Japanese Plums (*Prunus salicina*). *HortScience* 1:110-115.
- Tukey, H. B., Einset, O. (1939) Effect of fruit thinning on size, color, and yield of peaches and on growth and blossoming of the tree. *Am Soc Horti Sci* 36:314-319.
- Yoo, J. G., Kang, B. K., Kim, D. H., Lee, J. W., Choi, I. M., Jung, H. Y., Choung, M. G., Lee, D. H., Choi, D. G. (2016) Effect of flower and fruit thinner on fruit set and fruit quality of 'Gamhong' apples. *Korean J Horti Sci Technol* 34:24-31.