

ENGINEERING

Effects of planting density on the production of pepper for mechanized production operation

Su-Ji Kwak, Jae-Woong Han, Eun-Ji Kwak, Woong Kim*

Division of Bio-Industry Engineering, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

*Corresponding author: kimw017@kongju.ac.kr

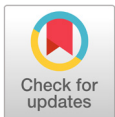
Abstract

As a solution to the rural shortage of labor, mechanization crop production is necessary, but in some cases, the mechanization can cause problems such as a decrease in products due to the expansion of the necessary moderate workspace. The purpose of this study was to compare the yields of pepper by the planting-density for the mechanization of pepper cultivation. Experiments were done with three planting-density levels of $900 \times 300 \text{ mm}^2$ (A-T), $1200 \times 450 \text{ mm}^2$ (B-T), and $1500 \times 600 \text{ mm}^2$ (C-T). In the analysis of growth, the highest values in plant height and thickness and the number of branches were observed with the B-T. C-T showed the highest values in the number of green-pepper and red-pepper and weight of the green-pepper and red-pepper, followed by B-T and A-T. In the analysis of growth, it was concluded that the proportion of the pepper body to the total length increased as the planting-density decreased. C-T had the biggest maximum diameter of the body, followed by B-T and A-T. On the other hand, A-T had the biggest minimum diameter of the body, followed by B-T and C-T. It was judged that the larger the planting-density was, the shorter the length was and the thicker the form was. As a result of measuring the chromaticity, there was no significant statistical difference in quality. Based on the experiment results, the ranking in total yields was in the order of C-T, B-T, and A-T. The reduced planting-density seemed to increase the productivity, while the labor intensity and time were reduced due to the improvement of the working environment.

Keywords: mechanization of pepper production pepper, planting density, planting distance

Introduction

농림축산식품부 주요통계에 따르면 우리나라를 대표하는 음식인 김치의 필수 양념인 고추의 1인당 연간소비량은 1990년도에 1.8 kg, 2005년도에 2.2 kg, 2013년 3.7 kg으로 지속적인 증가 추세이다. 또한 전체 채소 재배면적의 19.6%를 차지해 채소 중 가장 큰 재배 면적을 차지하고 있고 전체 채소 생산액의 27%를 점유하고 있으며 3조원에 달하는 관련산업의 규모 등의 근거로 고추는 전체 농산물 중 벼 다음으로 자리를 차지하고 있는 주요 작물이라고 할 수 있다(Choi et al., 2010). 세계적으로 널리



OPEN ACCESS

Citation: Kwak SJ, Han JW, Kwak EJ, Kim W. 2018. Effects of planting density on the production of pepper for mechanized production operation. Korean Journal of Agricultural Science. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180083>

DOI: <https://doi.org/10.7744/kjoas.20180083>

Received: April 11, 2018

Revised: October 24, 2018

Accepted: November 13, 2018

Copyright: © 2018 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이용되고 있는 양념 채소이자, 우리나라에서도 중요한 위치를 차지하고 있음에도 불구하고 생산량 부족으로 많은 양을 수입에 의존하고 있는 고추(Shim et al., 2018)는 주요 작목 중의 하나임에도 재배 면적이 매년 5% 이상씩 감소하고 있으며, 재배 면적의 감소는 농촌 노동력 감소와 인건비 상승 등에 따른 고추 생산 비용 증가와 중국산 등 수입산 고추의 국내 시장 진입 증가 등에 따른 것으로 향후 우리나라 고추 산업의 지속적인 성장의 걸림돌이 되고 있다(Hong and Kim, 2013).

고추 재배는 일반적으로 육묘, 포장준비, 정식, 관리 작업, 수확 작업, 수확 후 포장작업 순으로 이루어지는데 노지 재배의 총 노동시간 2,436시간/ha 중 기계화가 진행된 포장작업 작업시간은 581시간으로 총 노동시간의 약 23%를 차지하고 있으며, 대부분 인력에 의존하고 장시간 허리를 구부려 작업을 하기 때문에 노동 강도가 강한 작업에 속하는 육묘, 정식 및 수확 작업은 1,525시간으로 총 노동시간의 약 62.7%를 차지하고 있다(Choi et al., 2010).

대부분의 농가에서는 작업공간을 최소화하여 작물의 재배면적 비율을 높이고, 작물 간의 재식거리도 최소한으로 하여 많은 주수를 이식하는 것으로 작물을 재배함으로써 생산량을 높여 경제성을 증대시키려 하고 있다. 그러나 많은 주수의 이식으로 인한 경제성을 높이기 위한 방안은 경제성이 높아진다는 보장도 없을뿐더러 불필요한 노동력을 초래할 뿐이다. 또한 재배면적을 최대화하기 위하여 최소한으로 존재하는 작업공간은 농작업기 등 기계의 투입을 불가능하게 만들어 더욱 큰 노동력을 요구하게 된다.

농촌의 인구감소와 농촌의 인구 고령화 현상 등으로 인한 노동력 부족 현상을 해소하고, 농작업의 효율성을 증대시키기 위해서는 농업 기계의 투입 등 기계화 및 첨단화의 도입이 절대적으로 필요한 실정이다. 기계화를 위하여 필요한 적정 작업 공간의 확보는 조간간격 및 재식거리 증대로 재식밀도가 작아지게 됨으로 노지 재배에 비해 상대적으로 재배 공간이 한정되어 있는 시설재배의 경우 생산량 감소 등의 문제가 야기될 수도 있다.

이에 고추 재배의 기계화를 위한 최소한의 작업공간을 위한 적정 재식밀도의 제시가 필요한 것으로 판단하였으며, 고추 재배의 기계화를 위한 최소한의 작업 공간 마련 및 적정 재식밀도를 결정하기 위한 판단의 근거를 제시하기 위하여 재식밀도에 따른 생산량을 비교 분석하고자 하였다.

Materials and Methods

실험재료

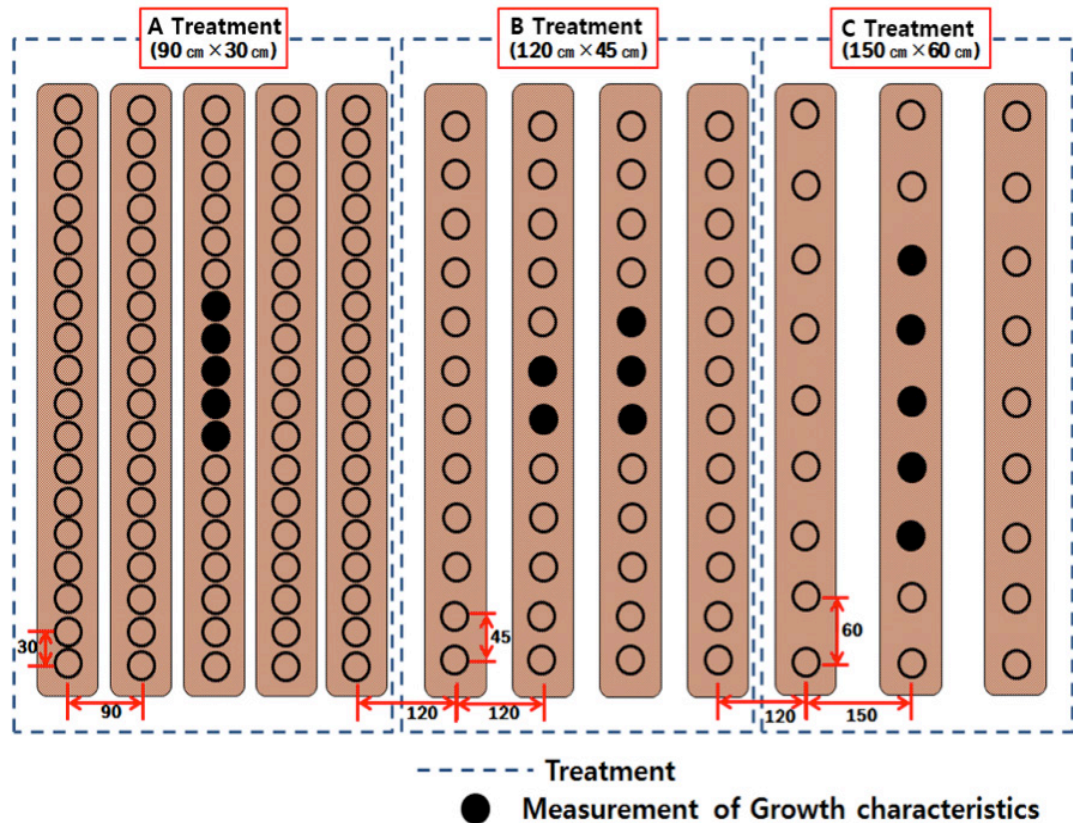
노지에서 재배되는 고추의 경우 시설에서 재배되는 고추보다 여러 병해의 발생 가능성이 크며, 고온 다습한 기후와 잦은 비 등의 이상기후는 각종 병해의 주요요인으로 작용하게 된다. 특히 고추에 가장 큰 피해를 입히는 병해로 연평균 수량 손실이 15~60%에 이르는 병해인 탄저병은 빗물로 전파(RDA, 2008)되는데 이는 수확량 감소로 이어지고 불안정한 생산량으로 작물의 가격 상승 등을 초래하게 된다. 이에 병충해에 따른 영향을 최소화하고자 시설하우스에서 재배를 실시하였으며, 본 연구에 사용한 시설은 단동형 비닐하우스로 폭×길이×높이(8 m × 24 m × 2.2 m)의 시설에 두께 0.1 mm 필름을 피복하였다. 시험에 사용된 고추는 'PR산울립(Takii, Korea)' 품종을 사용하여 2016년 5월 중순에 정식하였다.

실험방법

재배관리, 병해충 방제, 관수와 시비기준은 고추 표준 영농 교본(RDA, 2008)을 따랐고, 추비는 정식 후 20일 간격으로 실시하였다. 재식 밀도는 고추재배의 일관기계화를 추진함에 있어 관리기 중심이 30%로 대형기계 보다는 관리기 등 소형 기계 중심으로의 일관기계화 추진을 바라는 농가의 이전 설문조사 결과(Choi et al., 2010)을 토대로 관리기 투입을 고려한 재식거리로 판단한 일반 농가의 재식거리인 A처리구 900 × 300 mm²와 B처리구 1200 × 450 mm², C처리구 1500 × 600 mm²로 하였으며, Table 1 및 Fig. 1과 같다. 생육측정 항목 중 무게 측정은 전자저울(GF-4000 and GF-600, A&D Company,

Table 1. Experimental treatments varying interrow spacing and planting distance.

Treatments	Interrow spacing (cm)	Planting distance (cm)
A Treatment (A-T)	90	30
B Treatment (B-T)	120	45
C Treatment (C-T)	150	60

**Fig. 1.** Treatment of interrow space and planting distance.

Japan)을 사용하여 측정하였고, 길이, 굵기 등에 해당하는 항목은 버니어캘리퍼스(CD-15CPX, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 농산물 건조기(INBD-150E, Hansung, Korea)를 사용하여 건조 후 건물중을 측정하였으며, 색도는 색도측정기(CR-300, Minolta, Japan)를 사용하였다.

고추 생육 특성

2016년 5월 중순 정식 후 2016년 9월 초에 일시 수확하여 각 고추의 생육특성을 알아보기 위하여 처리구별 5주를 선택하여 고추의 생육발달의 지표가 되는 초장, 경경, 분지수를 측정하였다(An et al., 2012). 지면에서 최장엽(가장 긴 잎)의 첨단(끝부분)까지의 길이인 초장과 지면과 접촉된 부분의 줄기의 직경인 경경, 원래의 줄기에서 갈라지는 가지의 개수인 분지수를 측정하였다.

주당 청과와 숙과의 비율을 파악하고자 주당 청과수와 청과중, 주당 숙과수와 숙과중을 측정하였으며 청과는 익지 않은 녹색 상태의 고추를 의미하고, 숙과는 익은 상태로 적색 상태의 고추를 의미하며 각각의 개수를 청과수와 숙과수로, 각각의 총 중량을 청과중과 숙과중으로 지칭하였다. 주당 청과수와 숙과중은 일시 수확 후 주당 청과수와 숙과수를 분리하여 개수

를 파악하였고, 각각의 청과와 숙과의 총 무게를 측정하였으며 줄자를 사용하여 초장을 측정하였다.

고추 과실의 생육특성을 알아보기 위하여 처리구 당 숙과 10개체를 선별하여 Fig.2와 같이 각각의 과실 길이(L1), 꽃자루 길이(L2), 과실 최대 지름(D1), 과실 최소 지름(D2), 무게(W), 건물중(D.W)을 측정하였다(Lee et al., 2000; Lee et al., 2013). 과실 길이 측정값과 꽃자루 길이 측정값을 이용하여 과실의 전체 길이(L1 + L2)를 산출하고, 산출한 전체 길이를 이용하여 전체 길이 중 과실의 비율(L1/(L1 + L2))을 산출하였다. 건물중은 농산물 건조기에서 70°C로 72시간 건조한 뒤 무게를 측정하였다.

고추 품질 측정

재식밀도에 따른 품질의 차이를 알아보기 위하여 색도 측정을 실시하였으며, 처리구 당 숙과 10개체를 선별하여 각각의 색도를 3반복 측정한 뒤 평균값을 사용하였다. L값은 명도를 의미하며, 값이 클수록 밝음을 의미하고, a값은 red와 green의 정도를 의미하는 값으로 (+)값은 red 값의 정도를, (-)값은 green 값의 정도를 의미하며, b값은 yellow와 Blue의 정도를 의미하는 값으로 (+)값은 yellow 값의 정도를, (-)값은 Blue 값의 정도를 의미한다.

통계처리

통계분석은 SAS프로그램 (SAS 9.2, SAS Institute Inc., USA)을 이용하였다. 분산분석 (ANOVA)을 실시하였으며, 평균 간 비교는 Duncan의 다중범위검정을 이용하여 유의성을 검증하였다.

Results and Discussion

고추 생육 특성

고추 생육 측정 결과는 Table 2와 같다. 초장과 경경, 분지수 모두 B처리구에서 가장 큰 값을 나타냈으나, 초장 값을 제외하고 유의적인 차이는 존재하지 않았다. 주당 청과수와 숙과수 및 주당 청과중과 숙과중은 C처리구, B처리구, A처리구의 순으로 높게 나타났다. 이는 재식거리가 넓을수록 수확과수의 양이 유의적으로 증가되었다는 이전 연구와 일치하였다 (Manchanda et al., 1988; Decoteau and Graham, 1994; Locascio and Stall, 1994; Kim et al., 1999)

고추 과실의 생육 측정 결과는 Table 3과 같다. 과실의 길이는 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 크게 나타났고 이는 재식거리가 넓으면 과장이 길어진다는 이전 연구결과와 일치하였다 (Manchanda et al., 1988; Mwamba at al., 1995). 꽃자루의

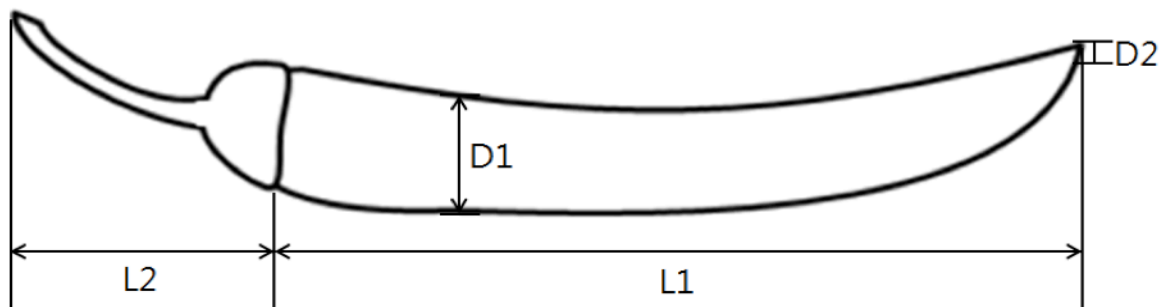


Fig. 2. Measurement of growth characteristics of peppers. L1, length of body; L2, length of calyx; D1, maximum diameter of body; D2, minimum diameter of body.

Table 2. Growth characteristics of the pepper plants.

Treatments	Plant height	Plant thickness	Number of branches	Green pepper		Red pepper	
				Number	Weight	Number	Weight
A Treatment (A-T)	130.82b	15.15a	20.60a	12.60b	74.66b	26.80b	217.33b
B Treatment (B-T)	152.18a	19.05a	22.80a	33.40ab	211.55ab	41.80a	418.08a
C Treatment (C-T)	144.12ab	18.50a	17.80a	52.40a	327.91a	44.80a	473.83a
Significance	**	*	*	*	**	***	***

a, b: Means in a column with different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

*, **, *** non-significant or significant at $p = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

Table 3. Growth characteristics of the pepper fruits.

Treatment	L1	L2	D1	D2	W	D.W
A Treatment (A-T)	87.80b	38.13b	19.25b	5.35a	10.01b	1.92b
B Treatment (B-T)	107.27a	44.20a	23.91a	4.64ab	16.69a	3.30a
C Treatment (C-T)	118.04a	36.37b	25.52a	4.23b	20.13a	3.91a
Significance	***	**	***	*	***	***

L1, length of body; L2, length of calyx; D1, maximum diameter of body; D2, minimum diameter of body; W, weight; D.W, dry of weight.

a, b: Means in a column with different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

*, **, *** non-significant or significant at $p = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

길이는 B처리구, A처리구, C처리구 순으로 크게 나타났다. 고추의 전체 길이 중 과실이 차지하는 비율은 C처리구 76.45%, B처리구 70.81%, A처리구 69.72%로 재식밀도가 작아질수록 전체 길이 중 과실이 차지하는 비율이 커지는 것으로 나타났다.

과실의 최대 지름은 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 크게 나왔으며, 과실의 최소 지름은 A처리구, B처리구, C처리구 순으로 크게 나왔으며 재식밀도가 큰 수준에서 고추는 상대적으로 길이가 짧고 굵은 형태를 띠고, 재식밀도가 작은 수준일수록 길이가 길고 굵기가 얇은 모양의 형태를 띠는 것으로 판단되었다. 과실과 꽃자루를 포함한 고추의 전체 무게는 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 나타났으며, 건물중 측정 결과도 동일하게 나타났다.

고추작업의 기계화를 위하여 재식밀도를 낮게 하는 것이 고추의 전체 수확량, 과실량 및 중량 등에서 관행방법보다 좋은 것으로 나타나 기계화를 통한 이점을 고려하여 재식거리를 넓게 조절할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

고추 품질 평가

처리구당 10개체를 선별하여 색도 측정을 진행하였으며, 색도 측정 결과는 Table 4와 같다. L^* , a^* , b^* 의 측정 값 모두 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 높은 값을 나타냈으나 유의 차는 존재하지 않았다. 재식밀도에 따른 품질의 차이는 없는 것

Table 4. Chromaticity characteristics of the red pepper fruits.

Treatment	L^*	a^*	b^*
A Treatment (A-T)	36.43a	35.90a	16.65a
B Treatment (B-T)	36.81a	35.97a	17.48a
C Treatment (C-T)	37.40a	36.60a	18.41a
Significance	*	*	*

L^* , Brightness; a^* , Degree of red and green; b^* , Degree of yellow and blue.

a: Means in a column with different letters are significantly different by Duncan's multiple range test at $p = 0.05$.

*, **, *** non-significant or significant at $p = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

으로 판단되었다.

고추 생산성 비교

재식거리를 넓게 재배하면 작업자가 작업 시 관리가 수월하고, 작물 사이가 넓기 때문에 공기 유동이 원활 해져 병충해 관리가 용이한 장점을 가지고 있으나, 재식밀도가 너무 높으면 단위 면적당 수확량이 줄어들기 때문에(Chae et al., 2014) 재식 밀도 결정시 작업의 편리성과 경제성을 고려하여 결정하는 것이 적합하다. 재식밀도에 따른 A처리구, B처리구, C처리구의 실험 결과 값을 토대로 500 m²에서 고추를 재배한다고 가정하여 생산성을 비교하였다. 처리구 별 정식 가능한 주수는 A처리구 4,800주, B처리구 3,200주, C처리구 2,400주로 적과와 청과의 총 수확량은 A처리구 199.12 kg, B처리구 397.05 kg, C처리구 466.56 kg의 수확이 가능할 것으로 예상되며, 총 수확량은 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 많을 것으로 나타났다. 기존 농가의 재식거리인 A처리구는 재식 가능한 주수가 많기 때문에 그만큼 더 많은 노동력을 초래하게 되고, 좁은 작업공간으로 인한 작업 및 관리가 상대적으로 어려우며 농기계 사용이 제한되기 때문에 작업의 강도가 더 높아지게 된다.

본 실험결과에 따르면 재식거리를 넓힘으로 정식 가능한 주수가 감소되어 재식밀도가 감소되었으나, 생산성은 더 높아지는 결과를 얻었으며, 이에 작업환경 개선으로 인한 작업 강도 및 노동 시간을 감소시켜 줄 수 있을 것으로 판단하였다.

Conclusion

농촌의 노동력 부족 현상의 해결방안인 기계화를 위해서 필요한 적정 작업 공간의 확보로 인하여 초래될 수 있는 생산량 감소 등의 문제를 파악하고, 고추 재배의 기계화를 위한 최소한의 작업 공간 마련을 위한 재식 밀도에 따른 고추의 생육특성과 품질 분석 및 생산량을 비교 분석하고자 단동형 비닐하우스에서 'PR산울림(Takii, Korea)' 품종을 사용하여 관리기 투입을 고려한 일반 농가의 재식거리인 A처리구(900 × 300 mm²)와 B처리구(1200 × 450 mm²), C처리구(1500 × 600 mm²)로 하여 실험을 진행하였다.

재식밀도에 따른 고추의 생육특성 분석, 고추 과실의 생육특성 분석, 고추 과실의 품질 분석을 실시하여 최종적으로 재식 밀도에 따른 생산성을 비교 및 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

고추의 생육 특성 분석 결과, 초장과, 경경, 분지수 모두 B처리구에서 가장 큰 값을 나타냈으나 유의적인 차이는 존재하지 않았고, 1주당 청과수와 숙과수 및 청과중과 숙과중의 측정값은 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 높은 값을 나타냈다.

고추 과실의 생육 분석 결과 과실의 길이는 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 크게 나타났고, 꽃자루의 길이는 B처리구, A처리구, C처리구 순으로 크게 나타났으며 이에 재식밀도가 작아질수록 전체 길이 중 과실이 차지하는 비율이 커지는 것으로 판단할 수 있었다. 과실의 최대 지름은 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 크게 나왔으며, 과실의 최소 지름은 A처리구, B처리구, C처리구 순으로 크게 나와 재식밀도가 큰 수준일수록 길이가 짧고 굵은 형태를 띠는 것으로 판단할 수 있었다. 과실과 꽃자루를 포함한 고추의 총 무게는 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 나타났으며, 고추의 색도 측정 결과 재식밀도에 따른 품질의 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

실험 결과 값을 토대로 생산량을 비교한 결과 총 수확량은 C처리구, B처리구, A처리구 순으로 많을 것으로 나타났으며, 재식밀도가 감소되었으나 생산성은 더 높아지는 결과로 나타났고, 작업 환경 개선으로 인한 작업 강도 및 노동시간을 감소시켜 줄 수 있을 것으로 판단하였다.

Acknowledgment

This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2017.

References

- An CH, Lim JH, Kim YH, Jung BK, Kim JW, Kim SD. 2012. Effects on the soil microbial diversity and growth of red pepper by treated microbial agent in the red pepper field. *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology* 40:30-38. [in Korean]
- Choi Y, Jun HJ, Lee CK, Lee CS, Yoo SN, Suh SR, Choi YS. 2010. Development of a mechanical harvesting system for red pepper(I)-Surveys on conventional pepper cultivation and mechanization of pepper harvesting-. *Journal of Biosystems Engineering* 35:367-372. [in Korean]
- Chae SY, Park DK, Lee HJ, Kwak JH, Lee WM, Cho MC, Chun H, Yang EY. 2014. Evaluation of proper environmental condition, seedling production method, and planting distance for pepper in rain shelter greenhouse. *Journal of Agriculture & Life Sciences* 45:79-83. [in Korean]
- Decoteau DR, Graham HAH. 1994. Plant spatial arrangement affects growth, yield, and pod distribution of cayenne peppers. *Horticulture Science* 29:149-151.
- Hong SJ, Kim SH. 2013. The analysis on the production and consumption of red-pepper in Korea. *CNU Journal of Agricultural Science* 40:405-410. [in Korean]
- Kim HS, Pae DH, Choi DJ, Jang KS, Cho JL, Kim T. 1999. Growth, yield and quality of tunnel-cultured red pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by plant spatial arrangement. *Horticulture Environment and Biotechnology* 40:657-661. [in Korean]
- Locascio SJ, Stall WM. 1994. Bell pepper yield as influenced by plant spacing and row arrangement. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119:899-902.
- Lee SG, Choi CS, Lee JG, Jang YA, Nam CW, Lee HJ, Suh JM, Kang JS. 2013. Influence of daytime temperature on the time required for fruit harvest and yield of hot pepper. *Journal of Environment Science International* 22:1181-1186. [in Korean]
- Lee TK, La WJ, Lee SK, Song DB. 2000. Physical properties of red pepper. *Journal of Agriculture and Biosystems Engineering* 5:285-290. [in Korean]
- Manchanda AK, Bhopal S, Singh B. 1988. Effect of plant density and nitrogen on growth and fruit yield of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Indian Journal Agriculture* 33:445-447.
- Mwamba DK, Itulya FM, Waithaka K. 1995. Influence of spacing and phosphorus fertilization on fresh yields of sweet peppers. *East African Agriculture and Forestry Journal* 61:191-197.
- Shim SW, Kim HJ, Park JY, Bae TM, Min JH, Lee JS, Kim SJ, Hwang YS. 2018. Effect of natural anti-microbe chemicals, chitosan and stevia, on the growth, yield, and quality of chili peppers. *Korean Journal of Agricultural Science* 45:19-27. [in Korean]
- RDA (Rural Development Administration). 2008. Standard Cultivation Guidebook. RDA, Jeonju, Korea. [in Korean]