



Research Article

Effects of impact by mechanical harvesting on storability of onions (*Allium cepa* L.)

기계수확 시 발생한 충격이 양파(*Allium cepa* L.)의 저장성에 미치는 영향

Young-Kyeong Kwon¹, Yong-Jae Lee^{1,2*}

권영경¹ · 이용재^{1,2*}

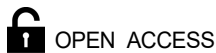
¹Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

²Life and Industry Convergence Research Institute, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

¹부산대학교 원예생명과학과, ²부산대학교 생명산업융합연구원

Abstract This study investigated the storability of onions according to manual and mechanical harvesting. Moreover, we simulated the onion-to-onion impact during the mechanical harvesting process and investigated the storability after artificially subjecting the onions to impact treatment. The onion harvesting methods included hand plucking + manual collection, digger + manual, and digger + mechanical collection. The maximum impact height during the mechanical harvesting process was 0.5 m. Immediately after harvesting, no significant difference in the bruise and wound rate among the harvesting methods was observed. Any increased bruise or wound rate because of mechanical harvesting was presumed to be influenced by soil conditions, such as the presence of gravel, and machine operation factors. Furthermore, the storability during the 8.5 months storage showed no significant difference according to the harvesting methods. In treatments by simulating the impacts during the mechanical harvesting process, the impact heights were 0.0 m (0.0 J), 0.25 m (0.86 J), 0.5 m (1.72 J), and 0.75 m (2.57 J), each performed once, and four times at the same position (3.43 J) and four times at different positions (3.43 J) at 0.25 m. Throughout all the treatments, there were no significant differences in the storability during the 8.5 months storage period.

Keywords harvesting method, impact, mechanical harvesting, onion, storage



Citation: Kwon YK, Lee YJ. Effects of impact by mechanical harvesting on storability of onions (*Allium cepa* L.). Korean J Food Preserv, 30(5), 811-821 (2023)

Received: July 24, 2023
Revised: September 21, 2023
Accepted: September 25, 2023

***Corresponding author**
 Yong-Jae Lee
 Tel: +82-55-350-5524
 E-mail: yjl@pusan.ac.kr

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. 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.

1. 서론

양파(*Allium cepa* L.)는 세계적으로 재배되는 작물 중 하나로 2020년 기준 세계 총생산량이 104,554,458 M/T이었다(FAOSTAT, 2020). 양파는 우리나라의 식생활에 많이 사용되고 있는 조미채소로(Cho 등, 2010) 단위 면적당 생산량과 1인당 연간 소비량이 매우 높다. 2022년 기준 우리나라 양파 총생산량은 1,196,563 M/T이었고 10 a당 생산량은 6.8 M/T(KOSTA, 2022), 2020년 기준 1인당 연간 양파 소비량은 24.1 kg이었다(MAFRA, 2021).

양파는 경운·정지, 파종·정식, 비닐 피복, 방제 그리고 수확 작업을 통해 생산된다. 2019년

기준 경운·정지, 비닐 피복 그리고 방제 작업 모두 기계화율이 80%를 넘었지만, 파종·정식 및 수확(굴취) 작업의 기계화율은 각각 14.0%, 24.6%로 낮았다(RDA, 2019). 특히 양파 수확 작업은 잎 절단, 비닐 제거, 굴취, 수집 등 여러 단계를 거쳐야 하므로 많은 노동력이 필요하다.

현재 국내 양파 수확 관련 기계는 크게 트랙터 부착형과 자주식으로 구분된다. 트랙터 부착형에는 양파 줄기 절단기, 굴취만 가능한 땅속작물 수확기, 굴취와 수집이 모두 가능한 수집형 수확기 등이 개발되어 있다. 자주식으로는 수집만 가능한 양파 수집기와 굴취와 수집이 모두 가능한 양파 수확기가 있다.

최근 농촌 지역의 고령화, 인력수급의 어려움 그리고 인건비 상승으로 양파 수확 작업에서의 기계화에 대한 요구가 커지고 있다. 하지만 그동안 몇몇 기계가 개발되어 보급되었으나 기계수확 과정에서 양파 구의 마찰과 충격으로 인한 품질 및 저장성 하락에 대한 우려로 기계화 보급에 어려움이 있다.

농산물의 기계수확 과정에서는 다양한 유형의 기계적 손상(mechanical stress)이 발생하는데, 이는 크게 마찰, 충격, 하중 3가지로 구분된다(Kays, 1991; Kim, 2018; Kim 등, 2001). 마찰에 의해서는 찰과상, 충격에 의해서는 압상과 파열, 하중에 의해서는 파열, 영구적 변형 등이 발생한다. 그리고 현장 조사를 통해 양파 기계수확 과정에서 가장 빈번하게 발생하는 손상은 양파와 양파 간 충격으로, 이를 통해 주로 압상이 발생한다는 결과를 얻었다. Herold 등(1998)은 양파가 수확 및 수확 후 처리 과정에서 매우 빈번하게 기계적 하중을 받고, 이는 저장 중 양파의 품질 저하와 부패로 이어질 수 있는 압상을 양파 표면과 내부에 발생시킨다고 하였다. 그리고 Opara와 Pathare(2014)는 원예산물의 30-40%는 수확 과정에서 발생하는 압상, 상해 등과 같은 기계적 손상에 의해 영향을 받을 수 있고, 이는 산업의 상당한 경제적 손실로 이어진다고 하였다. 따라서 농산물에 발생한 압상은 수확 및 수확 후 처리 작업의 기계화와 자동화를 제한하는 중요한 요소 중 하나이다(Opara 등, 2007).

이에 본 연구는 현장에서 행해지고 있는 인력수확과 기계수확을 비교하여 수확 방법에 따른 양파의 수확 후 품질 및 저장성을 조사하고 이와 더불어 양파 기계 수확 과정에서 많이 발생하는 양파와 양파 간 충격 상황을 모의하여 인위

적으로 충격처리 후 저장성을 조사하였다. 본 연구는 양파 기계수확 기술 개발 및 정립에 필요한 자료를 제공하고자 하였으며, 이를 통해 양파 수확 작업의 기계화 확대에 도움이 될 수 있기를 바란다.

2. 재료 및 방법

2.1. 인력 및 기계수확에 따른 양파의 저장성

2.1.1. 실험재료

경상남도 함양군의 자갈이 없는 논토양에서 재배된 '카타마루(*Allium cepa* L. var. Katamaru)' 품종을 2021년 6월 17일에 수확하여 실험에 사용하였다.

2.1.2. 수확 방법

수확 방법은 인력굴취 후 인력수집(Hand plucking + Manual collection, Ha+Ma), 기계굴취 후 인력수집(Digger + Manual collection, Di+Ma), 기계굴취 후 기계수집(Digger + Mechanical collection, Di+Me) 총 3가지였다(Fig. 1). 기계굴취는 신흥공업사의 양파 수확기 SH-1400WN 모델을 사용하였고(Fig. 1(B)), 굴취 속도는 0.5 m/sec, PTO(power take off)는 540, 엔진회전수는 1,500 rpm이었다. 기계수집은 컨베이어 방식의 Yanmar의 양파수집기(HP101T, LC)로 수거하면서 뒤따르는 태광공업의 동력운반차(TK-600TLD)에 장착된 톤백에 수집(Fig. 1(E)) 후 20 kg 그물망에 옮겼다. 이때 본 연구의 기계 굴취, 수집 과정에서 최고 충격 높이는 약 0.5 m였다. 모든 처리구의 양파는 20 kg 그물망에 담아 실험실로 이동하였고 바람이 잘 통하고 그늘진 곳에서 4주간 예건하였다. 예건 후 0.5±0.5°C, 65-95% RH 저온저장고에서 2021년 7월부터 2022년 3월까지 총 8.5개월간 저장하였다.

2.1.3. 압상률과 상해율 조사

압상률(bruise, %)은 충격이나 하중을 받은 부분의 외관이 평편하게 되어 육안으로 관찰 가능한 것을 압상구로 취급하여 백분율로 나타내었다. 압상은 직경 2 cm 미만, 2-2.5 cm, 2.5 cm 초과로 구분하였고, 한 양파에 여러 압상이 발생하면 직경이 가장 큰 압상을 조사하였다. 총압상률은 직경 2 cm 이상의 압상이 발생한 양파의 백분율로 나타



Fig. 1. The onion harvesting methods in this study. Hand plucking (A), mechanical digging (B), manual collection using meshes (C), mechanical collection consisting of picking up by conveyor belt (D) and gathering using ton bags (E).

내었다. 상해율(wound, %)은 양파 인편에 상처가 발생한 것을 상해구로 취급하여 백분율로 나타내었다. 수확 방법당 20 kg 그물망 3망을 3반복하여 수확 직후 1번 조사하였다.

2.1.4. 저장 중 손실률, 부패율 및 이상무름 증상 발생률 조사

손실률(loss, %)은 부패 및 이상무름 증상 발생 양파의 백분율로 나타내었다. 부패율(decay, %)은 부패 양파의 백분율로 나타내었고, 이상무름 증상 발생률(translucent scale of onion bulb, %)은 3개 이상의 인편에서 이상무름이 진행된 것을 이상무름 증상 발생 양파로 판단하여 백분율로 나타내었다. 이상무름 증상은 바깥 인편에서부터 시작되어 내부로 진행되었다. 총손실률, 부패율 그리고 이상무름 증상 발생률은 처리당 총 14망을 조사하였다.

2.1.5. 품질 측정

중량 감소율(weight loss, %)은 예건 후 및 저장 중 손실량을 수확 직후 중량에 대한 백분율로 나타내었다. 경도는 디지털 경도계(TRIPOD, GY-4, Hang-zhou, China)를 사용하여 양파의 적도 부위를 측정하였다. 양파의 외피를 제거하고 직경 8 mm의 탐침으로 10 mm까지 측정하여 최고값으로 나타내었다. 가용성 고형물 함량(soluble solid contents, SSC)은 당도계(PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)를 사용하여 양파의 2, 3번째 인편을 착즙하여 측정하였다. 중량 감소율은 수확 방법당 20 kg 그물망을 3반복하였다. 경도, 가용성 고형물 함량은 수확 방법당 양파 9구를 3반복하였다. 품질 조사는 예건 후 1번, 저장 8.5개월 동안 약 3개월 간격으로 수행하였다.

2.1.6. 호흡속도 측정

호흡속도는 예건 후 및 0.5°C 저온 저장 중인 양파를 25±0.5°C에서 equilibration 후 1.2 L 용기에 넣어 25°C에서 1시간 둔 후 용기의 기체를 취하여 thermal conductivity detector(TCD)가 장착된 gas chromatography(Clarus 500 GC, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)로 이산화탄소 농도를 측정하여 구하였다. CTR1 column을 사용하였고 carrier gas로 42 mL/min 속도의 헬륨이 사용되었다. Injector와 column의 온도는 60°C였고 detector의 온도는 150°C로 유지되었다. 호흡속도는 수확 방법당 양파 9구를 3반복하여 예건 후 1번, 저장 8.5개월 동안 약 3개월 간격으로 조사하였다.

2.1.7. 통계분석

실험 결과의 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc., USA)을 이용하여 품질 및 호흡속도는 이원분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였고 나머지 항목에서는 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 품질 및 수확 방법에 의한 평균값의 통계적 유의성은 Duncan's multiple range test를 이용하여 p<0.05 수준에서 검정하였다.

2.2. 충격의 강도, 횟수 및 위치에 따른 양파의 저장성

2.2.1. 실험재료

신흥공업사의 양파 수확기 SH-1400WN 모델을 사용하여 굴취 후 인력 수집하였고 나머지는 앞 실험과 동일하였다.

2.2.2. 실험처리

실험에서 목표로 하는 충격 높이(Table 1)를 각도

(θ_i)로 환산하여 pendulum 방식(Fig. 2)으로 충격처리하였다. 충격 높이는 양파 기계 수확 과정에서 발생하는 충격들을 사전 조사하여 설정하였다(Table 2). 아래는 각도 환산 시 사용한 공식으로 에너지보존법칙을 따랐다(Fu 등, 2020).

$$h = \frac{\left(\frac{m_p g l_p}{2} + m g l_p\right) \times (\cos \theta_f - \cos \theta_i)}{m g}$$

h는 설정 충격 높이, m_p 는 pendulum의 무게, m은 양파의 무게, g은 중력 가속도, l_p 는 pendulum 팔의 길이,

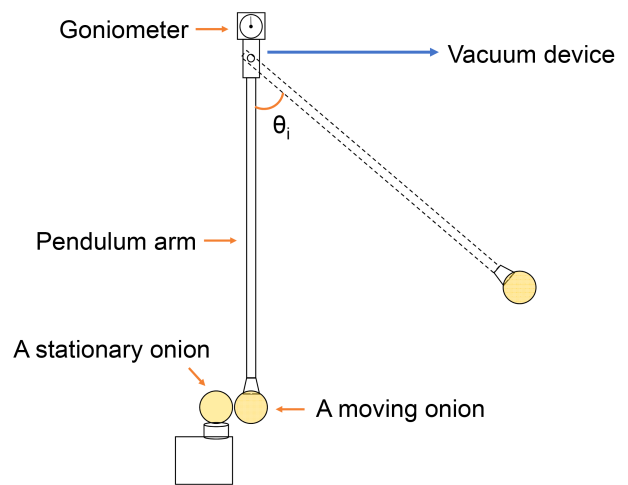


Fig. 2. A simple schematic presentation of pendulum-type impact test device used in this study. The tip of the pendulum arm is connected to a vacuum device with a light hose, allowing the onion to attach to the other side of the pendulum arm.

Table 1. Impact treatments in this study

Impact height (m)	The number of impacts	Impact location	Impact energy (J)
Increasing impact height			
0.25	1	-	0.86
0.5	1	-	1.72
0.75	1	-	2.57
Increasing the number of impacts and different impact locations			
0.25	4	Same location	3.43
		Different locations	3.43

Table 2. Potential onion impacting situations in this study and associated impact height

Situation	Potential impact height	Impact material
Mechanical digging	0-0.4 m	Onion, soil, steel
Mechanical collection	0.3-0.5 m	Onion, steel

$\cos\theta_i$ 는 수직축에 대한 충격 전 각도, $\cos\theta_f$ 는 양파-양파 간 충돌 후 수직축에 대한 pendulum의 각도이다. $\cos\theta_f$ 는 사전 실험에서 평균값을 구해 대입하였다.

충격에너지는 실험 시료의 평균 중량인 350 g 양파를 기준으로 설정 충격 높이에서 양파를 아래에 정지해있는 양파로 낙하시켰을 때 충격으로 양파가 흡수한 에너지이다. 충격에너지 공식은 아래와 같다(Fu 등, 2020; Opara 등, 2007).

$$E = m \times g \times h$$

E는 충격에너지, m은 양파 무게, g은 중력 가속도, h는 설정 충격 높이이다.

충격처리 후 바람이 잘 통하고 그늘진 곳에서 17-20일 예건 후 $0.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 65-95% RH 저온저장고에서 2021년 7월부터 2022년 3월까지 총 8.5개월간 저장하였다.

2.2.3. 손실률 및 품질 조사

손실률과 중량 감소율은 처리당 3반복하였고 경도, 가용성 고형물 함량은 처리당 3구를 3반복하였다. 그리고 충격의 강도에 따른 처리는 저장 전(예건 후) 1번, 저장 8.5개월

동안 약 2.5개월 간격으로 3번 총 4번 조사하였고, 충격의 횟수와 위치에 따른 처리는 저장 전, 저장 8개월 총 2번 조사하였다. 나머지는 앞 실험과 동일하였다.

2.2.4. 통계분석

앞 실험과 동일하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인력 및 기계수확에 따른 양파의 저장성

3.1.1. 수확 방법에 따른 압상률과 상해율

수확 직후 조사한 양파의 압상은 크기가 다양했다. 직경 2 cm 미만의 압상은 약 53-67%, 직경 2-2.5 cm는 약 30%, 직경 2.5 cm 초과는 약 5-12% 발생하였으며, 최대 압상은 직경이 약 4 cm였다(Table 3). 직경에 따른 압상률은 수확 방법 간 유의한 차이가 없었지만, 인력으로만 수확했을 때보다 기계를 이용해서 수확했을 때 직경 2 cm 이상의 압상이 더 많이 관찰되었다. 이는 양파 인력 굴취보다 기계 굴취, 수집 과정에서 압상이 추가적으로 발생한 것으로 보인다.

수확 직후 직경 2 cm 이상의 압상을 조사한 압상률은 수확 방법 간 유의한 차이가 없었지만 인력굴취 후 인력수집 33.5%, 기계굴취 후 인력수집 40.9% 그리고 기계굴취 후 기계수집 46.5%로 모든 수확 방법에서 30%를 넘었다(Table 3). 이는 양파가 굴취, 수집, 수송을 거치면서 압상이 많이 발생하는 것으로 보인다.

상해율은 수확 방법 간 유의한 차이가 없었다(Fig. 3). 본 연구는 자갈이 없는 논토양에서 재배된 양파를 기계 수확하

Table 3. Rate of bruise by diameter according to harvesting methods before storage

Harvest methods ¹⁾	Bruise diameter (cm)		
	<2	2-2.5	>2.5
Ha+Ma	66.5±5.3 ²⁾	27.7±4.7	5.8±1.7
Di+Ma	59.1±5.7	33.8±5.0	7.1±1.8
Di+Me	53.5±3.3	35.0±2.9	11.5±2.4
Pr>F	NS ³⁾	NS	NS

¹⁾Abbreviations are; Ha+Ma, hand plucking followed by manual collection; Di+Ma, using digger followed by manual collection; Di+Me, using digger followed by mechanical collection.

²⁾All values are represented as means±standard error.

³⁾NS indicates not significant between the means of the harvest methods at $p > 0.05$ ($n=9$).

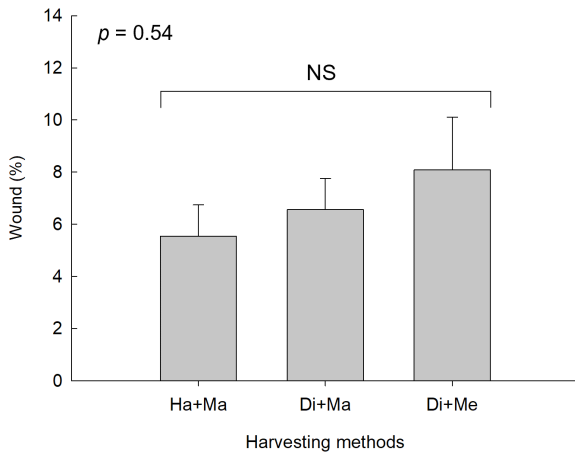


Fig. 3. Wound of onion according to harvesting methods immediately after harvest. Abbreviations are: Ha+Ma, hand plucking followed by manual collection; Di+Ma, using digger followed by manual collection; Di+Me, using digger followed by mechanical collection. NS indicates not significant between the means of the harvest methods at $p > 0.05$. Data are means \pm SE (n=9).

였는데, 만약 자갈이 함유된 토양에서 기계로 수확할 때에는 상해가 더 많이 발생할 수 있을 것으로 추측된다. 굴취 속도 0.5 m/sec, PTO(power take off) 540, 엔진회전수 1,500 rpm의 본 연구 조건에서 상해율은 5-8%였다. 본 연구에 사용된 양파 굴취기와 유사한 굴취기를 사용한 연구(Choi 등, 2021)에서 0.67 m/sec 속도로 작업했을 때 손상률(상해율)은 1.02%로 낮았는데, PTO 및 엔진회전수와 조사 시 손상의 기준이 제시되어 있지 않아 정확한 비교는 어렵다. 하지만 두 연구를 통해 볼 때 기계굴취로 인해 발생하는 손상은 상당히 적은 것으로 나타났다. 그리고 자주식 양파수확기로 굴취 및 수집 시 손상률은 엔진회전수가 1,800 rpm에서는 각각 8-10%, 6.7-7.8%였고 1,800 rpm

이하에서는 각각 4%, 4.5% 이하로 엔진회전수가 높을수록 양파의 손상률이 증가된다고 하였다(Jin 등, 2015). 이 또한 기계의 운전조건이 손상률에 상당한 영향을 미치고 있는 것을 보여주는 자료로 생각된다.

3.1.2. 저장 중 손실률, 부패율 및 이상무름 증상 발생률

저장 8.5개월 동안 발생한 총손실률은 인력굴취 후 인력수집 5.8%, 기계굴취 후 인력수집 8.0%, 그리고 기계굴취 후 기계수집 8.5%로, 기계를 이용해 수확했을 때가 인력만으로 수확했을 때보다 손실률이 높았지만, 수확 방법에 따른 유의한 차이는 없었다(Table 4).

손실의 대부분은 부패였고 부패율은 약 4-7%로 수확 방법에 따른 유의한 차이가 없었다(Table 4). 부패는 대부분 재배 중 감염에 의한 것으로 판단되었고 저장 5.5개월인 1월부터 저장 8.5개월인 3월까지 많이 발생하였다. 본 실험에서는 양파의 대표적인 저장 병해인 마른썩음병과 무름병이 주로 나타났다. 이러한 저장 병해는 대부분 재배 중 감염되어 저장 중 발병조건에 이르면 발병하게 된다(Cho 등, 2010). 그리고 모든 수확 방법에서 저장 전 압상률이 30%를 넘겼지만(Table 3), 저장 중 압상 부위로부터 시작된 부패는 없었다. 그리고 인력 또는 자주식 양파수확기로 수확한 양파를 상온에서 3개월 저장했을 때 처리 간 부패율은 유사하였다(Jin 등, 2015). 따라서 본 연구의 기계 굴취 및 기계 수집 과정에서 받은 충격 정도는 양파의 부패율에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

이상무름 증상 발생 양파는 저장 8.5개월인 3월 조사에서 관찰되었다. 이상무름 증상은 저장 중 발생하는 생리장해로 양파의 겉 인편 2-3매에서 갈변 및 무름 증상이 나타

Table 4. Loss, decay and translucent scale of onion according to harvesting methods for 8.5 months of storage

Harvest methods ¹⁾	Loss (%)	Decay (%)	Translucent scale of onion bulb (%)
Ha+Ma	5.8 \pm 0.8 ²⁾	4.6 \pm 0.6	1.2 \pm 0.4
Di+Ma	8.0 \pm 1.4	6.8 \pm 1.2	1.2 \pm 0.4
Di+Me	8.0 \pm 1.8	6.1 \pm 1.2	2.4 \pm 1.1
Pr>F	NS ³⁾	NS	NS

¹⁾Abbreviations are: Ha+Ma, hand plucking followed by manual collection; Di+Ma, using digger followed by manual collection; Di+Me, using digger followed by mechanical collection.

²⁾All values are represented as means \pm standard error.

³⁾NS indicates not significant between the means of the harvest methods at $p > 0.05$ (n=9).

나는 생리장해로 알려져 있다(RDA, 2021). 양파의 인편이 불투명한 정상 인편과 다르게 반투명하고 수침상(water-soaked)으로 보여 동해와 구별이 어렵고 이취가 없다(Crête 등, 1981; Solberg, 2015). 이상무름 증상은 수확 및 건조 시 양파 구 내의 CO₂ 농도가 높으면 저장 중 발생하는 것으로 알려져 있는데(Hoftun, 1993; RDA, 2021; Solberg, 2015), 양파에 충격이 가해지면 구 내의 CO₂ 농도가 증가하면서 장기저장 시 이상 무름이 발생할 수 있어 본 연구에서 중요하게 보았다. 이상무름 증상 발생률은 약 1-2.5%로 수확 방법에 따른 유의한 차이가 없었다(Table 4).

3.1.3. 수확 방법에 따른 품질 및 호흡속도

경도, 가용성 고형물 함량, 호흡속도는 저장 8.5개월까지

수확 방법 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 중량감소율은 저장 5.5개월 조사에서 수확 방법 간 유의한 차이가 있었지만 그 차이가 적었다(Fig. 4). 저장 기간이 경과하면서 모든 수확 방법에서 경도, 가용성 고형물 함량 그리고 중량은 감소하였고 호흡속도는 증가하였다(Fig. 4). 이는 선행연구 결과와 동일한 경향이었다(Kwon 등, 1999; Petropoulos 등, 2017; Rabinowitch와 Brewster, 1990; Ward, 1976). 경도는 저장 전과 비교해 저장 후 다소 감소하였지만, 저장 이후에는 감소율이 낮았다(Fig. 4). 가용성 고형물 함량은 저장 2.5개월인 9월 말까지는 저장 전과 유사하였지만, 저장 기간이 경과하면서 감소하였다. 호흡속도는 저장 기간이 경과하면서 3.7 mgCO₂/kg/h에서 36.0 mgCO₂/kg/h까지 증가하였다.

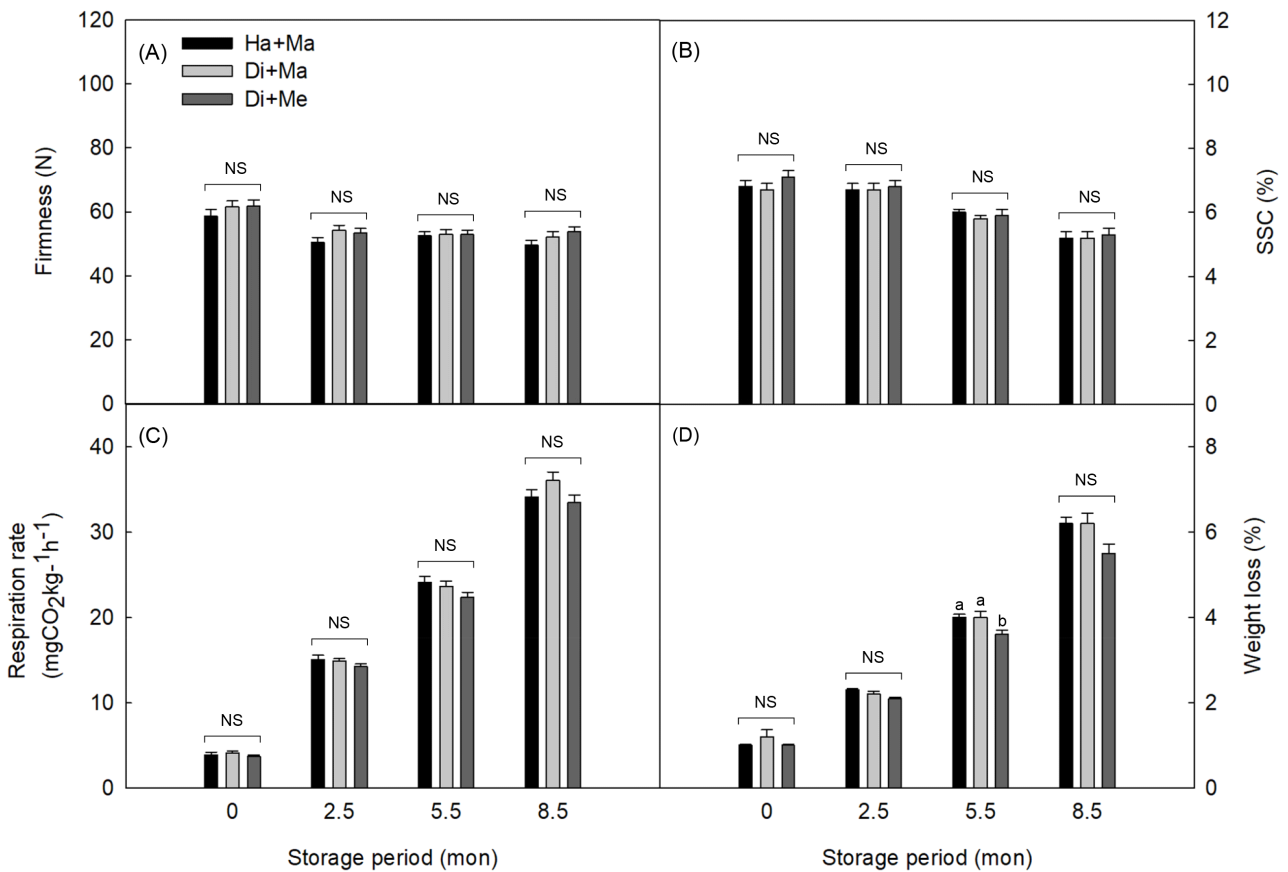


Fig. 4. Changes in firmness (A), soluble solid contents (B) and respiration rate (C) of onion according to harvesting methods during storage. Data are means±SE (n=27). Changes in weight loss (D) of onion during storage. Data are means±SE (n=3). Small letters on the figure indicate mean separation significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test. Values sharing the same letter are not significant different. NS indicates not significant.

3.2. 충격의 강도, 횟수 및 위치에 따른 양파의 저장성

저장 전과 저장 8.5개월 동안 총 4번의 조사에서 충격의 강도에 따른 손실률은 0-11.1%로 처리 간 유의한 차이가 없었다(Fig. 5). 저장 전과 저장 8.5개월 조사에서 0.25 m 강도로 다른 충격 위치 4회와 동일 충격 위치 4회의 손실률은 0-5.6%로 무처리와 유의한 차이가 없었다(Fig. 5). 손실은 모두 부패에 의한 것이었고, 부패는 주로 저장 병해인 마른썩음병과 무름병이었다. 따라서 기계수확을 모의한 본 실험의 양파 간 충격 정도는 양파의 손실률에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

저장 기간이 경과하면서 중량과 경도는 감소하였는데, 충격의 강도에 따른 처리 간 유의한 차이는 없었다(Fig. 5). 가용성 고형물 함량은 저장 기간이 경과하면서 감소하였으며

저장 6개월까지 충격의 강도에 따른 유의한 차이는 없었다(Fig. 5). 저장 8.5개월 조사에서 가용성 고형물 함량은 무처리가 6.3%로 유의하게 높았고 0.25 m 1회는 5.3%, 0.5 m 1회와 0.75 m 1회는 5.2%로 충격의 강도가 강할수록 가용성 고형물 함량이 낮았다. Herold 등(1998)과 Scherrer-Montero 등(2011)은 충격의 강도가 클수록 양파와 감귤류 과일의 CO₂ 호흡속도가 높다고 하였다. 따라서 양파가 충격을 받으면 호흡속도 증가로 인해 당을 많이 소모하게 되어 충격의 강도가 클수록 가용성 고형물 함량이 낮은 것으로 보인다.

저장 전 조사에서 0.25 m 다른 충격 위치 4회의 중량감소율은 1.4%로 1.1%인 무처리보다 유의하게 높았지만 저장 8.5개월에는 유의한 차이가 없었다(Fig. 6). 경도와 가용

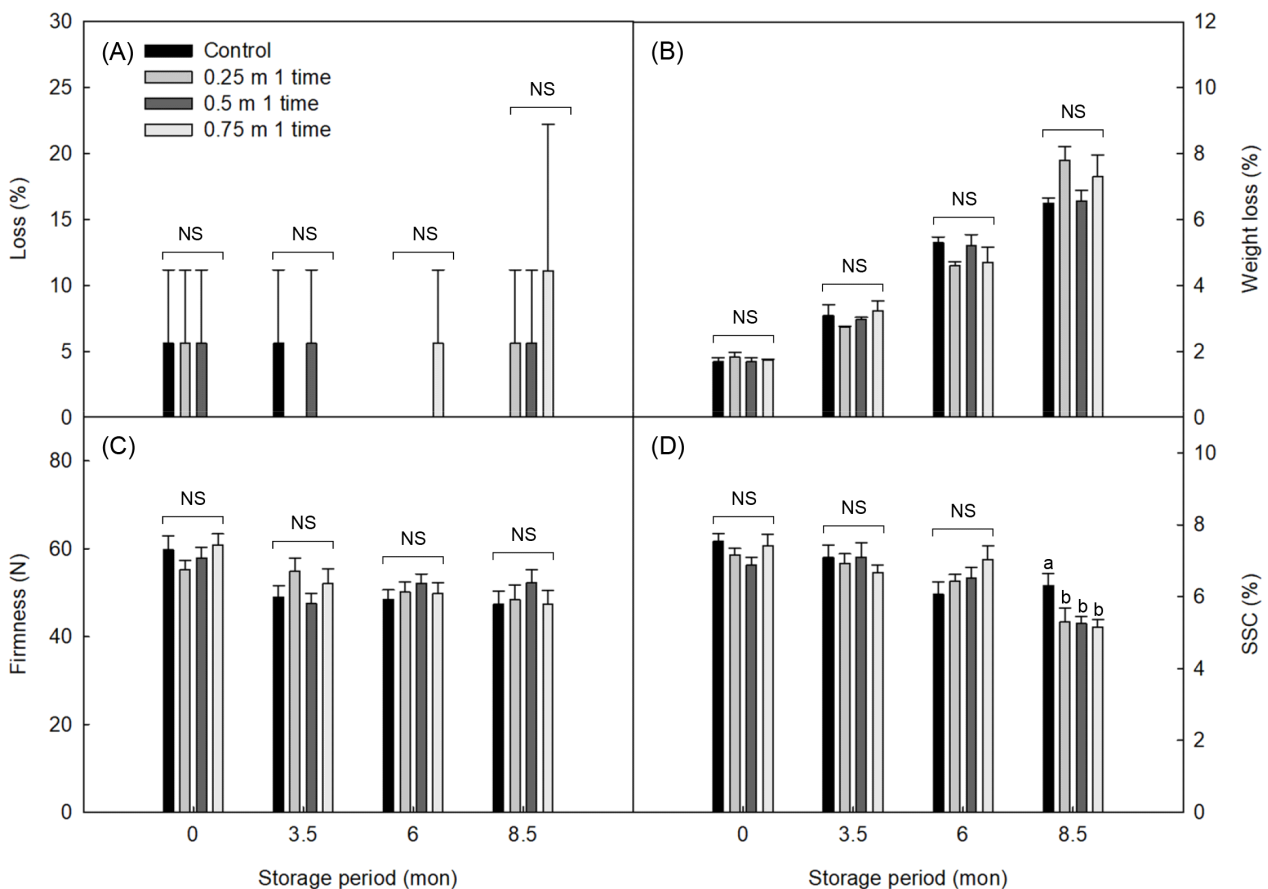


Fig. 5. Changes in loss (A) and weight loss (B) of onion with increasing impact height during storage. Data are mean±SE (n=3). Changes in firmness (C) and soluble solid contents (D) of onion with increasing impact height during storage. Data are mean±SE (n=9). Small letters on the figure indicate mean separation significance at p<0.05 by Duncan's multiple range test. Values sharing the same letter are not significant different. NS indicates not significant.

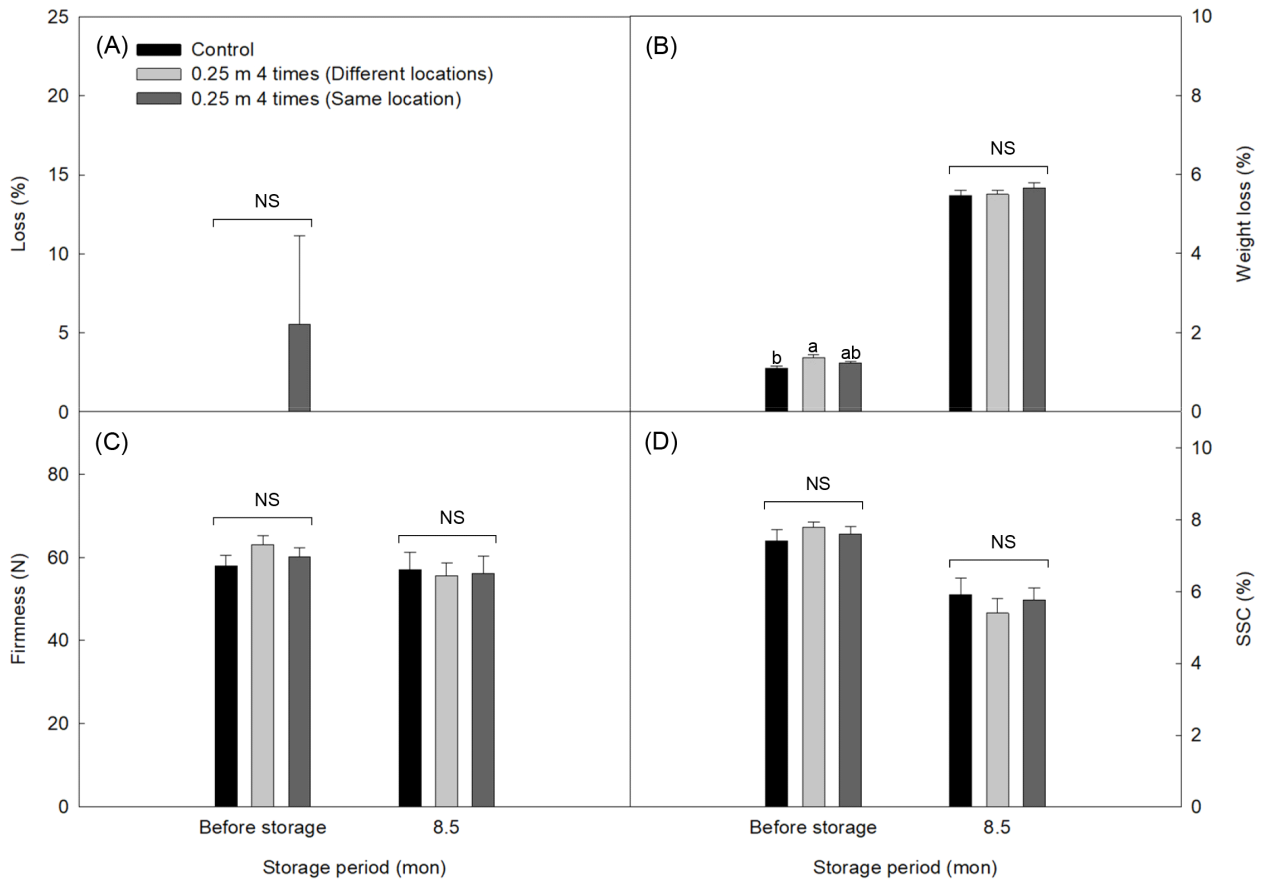


Fig. 6. Changes in loss (A) and weight loss (B) of onion with increasing the number of impacts and different impact locations during storage. Data are means \pm SE (n=3). Changes in firmness (C) and soluble solid contents (D) of onion with increasing the number of impacts and different impact locations during storage. Data are means \pm SE (n=9). Small letters on the figure indicate mean separation significance at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. Values sharing the same letter are not significant different. NS indicates not significant.

성 고형물 함량은 충격의 횟수와 위치에 따른 처리 간 유의한 차이가 없었다.

모든 처리에서 저장 8.5개월 동안 품질과 저장성은 처리 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 결론적으로 기계수확을 모의한 본 연구의 충격처리는 양파의 품질 및 저장성에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

4. 요약

본 연구는 인력수확과 기계수확 즉, 수확 방법을 달리한 양파와 기계수확 과정에서 발생하는 양파와 양파 간 충격을 모의하여 인위적으로 충격처리 한 양파의 품질 및 저장성을 평가하여 기계수확을 위한 자료를 얻고자 하였다. 수확방법

은 인력굴취 후 인력수집, 기계굴취 후 인력수집, 기계굴취 후 기계수집 총 3가지였다. 그리고 본 연구의 굴취 및 수집 과정에서의 최고 충격 높이는 0.5 m였다. 수확 직후 압상률과 상해율은 수확 방법 간 유의한 차이가 없었다. 만약 기계수확으로 압상이나 상해 발생이 증가한다면 그 원인은 토양에 함유된 자갈 등의 토양 조건과 속도 등의 기계 운전 조건이 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한, 저장 8.5개월 동안의 품질 및 저장성도 수확 방법 간에 차이가 나타나지 않았다. 모의 충격실험은 0.0 m(0.0 J), 0.25 m(0.86 J), 0.5 m(1.72 J), 0.75 m(2.57 J)에서 1회 처리와 0.25 m에서 동일위치 4회(3.43 J)와 다른위치 4회(3.43 J)를 pendulum 방식으로 충격처리하여 저장성을 조사하였다. 모든 처리에서 저장 8.5개월 동안 품질과 저장성은 처리 간에 유의한

차이가 나타나지 않았다. 결론적으로 본 연구의 양파 기계 수확은 인력수확과 품질 및 저장성에서 차이가 없었고, 기계수확을 모의한 충격처리도 양파의 품질 및 저장성에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 수확 기계의 제작과 기계수확 시 운전 조건에 대한 자료를 제공함으로써 향후 양파 수확 작업의 기계화 확대에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 지역특화기술개발사업(과제번호 PJ016168)의 지원에 의해 수행되었음.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kwon YK, Lee YJ. Methodology: Kwon YK, Lee YJ. Formal analysis: Kwon YK, Lee YJ. Validation: Kwon YK, Lee YJ. Writing - original draft: Kwon YK, Lee YJ. Writing - review & editing: Lee YJ.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Young-Kyeong Kwon (First author)

<https://orcid.org/0009-0000-3244-1685>

Yong-Jae Lee (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0002-1310-1383>

References

Cho J, Bae RN, Lee SK. Current research status of postharvest technology of onion (*Allium cepa* L.). Korean J Hort Sci Tech, 28, 522-527 (2010)

Crete R, Tartier L, Devaux A. Diseases of Onions in Canada. Agriculture Canada, Ottawa, Canada, p 23 (1981)

FAOSTAT. Statistics division. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Accessed Dec. 12, 2022.

Fu H, Karkee M, He L, Duan J, Li J, Zhang Q. Bruise patterns of fresh market apples caused by fruit-to-fruit impact. Agronomy, 10, 59 (2020)

Herold B, Oberbarnscheidt B, Geyer M. Mechanical load and its effect on bulb onions due to harvest and post-harvest handling. J Agric Engng Res, 71, 373-383 (1998)

Hoftun H. Internal atmosphere and watery scales in onion bulbs (*Allium cepa* L.). Acta Hortic, 343, 135-140 (1993)

Hussein Z, Fawole OA, Opara UL. Bruise damage susceptibility of pomegranates (*Punica granatum*, L.) and impact on fruit physiological response during short term storage. Sci Hortic, 246, 664-674 (2019)

Jin G, Park SH, Song EW, Choi KH, Yang HW, Kim HW, Kang TK. Development of Onion Harvester. Report of Rural Development Administration (2015)

Kays SJ. Postharvest Physiology of Perishable Plant Product. AVI Book, New York, USA, p 378-385 (1991)

Kim JH. Analysis of working condition of harvester by modeling physical properties of onion. MS Thesis, Kyungpook National University, Korea, p 28-36 (2018)

Kim MS, Jung HM, Seo R, Park IK, Hwang YS. Estimation of allowable drop height for oriental pears by impact tests. J Biosyst Eng, 26, 461-468 (2001)

KOSTA. Crop Production Survey (2022)

Kwon JH, Lee GD, Byun MW. Quality changes based on storage temperature and humidity of onion. Korean J Postharvest Sci Technol, 6, 143-147 (1999)

MAFRA. Main Statistics of Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (2021)

Opara L, Al-Ghafri A, Agzoun H, Al-Issai J, Al-Jabri F. Design and development of a new device for

- measuring susceptibility to impact damage of fresh produce. *N Z J Crop Hortic Sci*, 35, 245-251 (2007)
- Opara UL, Pathare PB. Bruise damage measurement and analysis of fresh horticultural produce: A review. *Postharvest Biol Technol*, 91, 9-24 (2014)
- Petropoulos SA, Ntatsi G, Ferreira ICFR. Long-term storage of onion and the factors that affect its quality: A critical review. *Food Rev Int*, 33, 62-83 (2017)
- Rabinowitch HD, Brewster JL. *Onions and Allied Crops: Volume I: Botany, Physiology, and Genetics*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, p 93-107 (1990)
- RDA. *Survey on the Utilization Status of Agricultural Machinery* (2019)
- RDA. *Development of Mechanization Technology System for Whole Process in Onion and Garlic Production*. Report of Rurla Development Administration, p 10-11 (2021)
- RDA. *Onion: Agricultural Technology Guide*. Jinhan M&B, p 171 (2021)
- Scherrer-Montero CR, Dos Santos LC, Andreazza CS, Getz BM, Bender RJ. Mechanical damages increase respiratory rates of citrus fruit. *Int J Fruit Sci*, 11, 256-263 (2011)
- Shafie MM, Rajabipour A, Mobli H. Determination of bruise incidence of pomegranate fruit under drop case. *Int J Fruit Sci*, 17, 296-309 (2017)
- Solberg SO. Translucent scale and leathery scale disorders of onion bulbs: Describing symptoms and causes. *Int J Veg Sci*, 21, 188-203 (2015)
- Unuigbo OM, Onuoha SN. Assessment of impact damage to apple fruits. *Niger J Technol*, 320, 137-140 (2013)
- Ward CM. The influence of temperature on weight loss from stored onion bulbs due to desiccation, respiration and sprouting. *Ann Appl Biol*, 83, 149-155 (1976)