

송풍식 줄기절단기에 의한 적정 양파 잎 절단 시기 및 잔여 엽장에 따른 양파 저장 특성

민병규^{1*} · 손지영¹ · 이미진² · 문진성¹ · 백주희¹ · 서재철³ · 신정호⁴ · 권승귀⁵ · 홍순중^{6*} · 이상희⁷

¹경상남도농업기술원 양파연구소 농업연구사, ²경상남도농업기술원 환경농업연구과 농업연구사,

³경상남도농업기술원 양파연구소 기계운영주사, ⁴경상남도농업기술원 양파연구소 연구소장,

⁵(주)볼스 연구소장, ⁶국립한국농수산대학교 교양학부 교수, ⁷농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

Appropriate Working Period and Storage Characteristics Based on Residual Leaf Length of Onion (*Allium cepa* L.) Harvested with a Blower-type Stem Cutter

Byeonggyu Min^{1*}, Jiyoung Son¹, Mijin Lee², Jinseong Moon¹, Juhee Baek¹, Jaechoel Seo³,
Jungho Shin⁴, Seungwi Kwon⁵, Soonjung Hong^{6*}, and Sanghee Lee⁷

¹Agricultural Researcher, Onion Research Institute of Gyeongsangnamdo Agricultural Research and Extension Services, Changnyeong 50319, Korea

²Agricultural Researcher, Environmental Agricultural Research Department of Gyeongsangnamdo Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Korea

³Public Worker about Machine Operation, Onion Research Institute of Gyeongsangnamdo Agricultural Research and Extension Services, Changnyeong 50319, Korea

⁴Chief of Research Institute, Onion Research Institute of Gyeongsangnamdo Agricultural Research and Extension Services, Changnyeong 50319, Korea

⁵Chief of Research Institute, Bulls Corporation, Seongju 40053, Korea

⁶Professor, Education Department of Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

⁷Agricultural Researcher, Department of Agricultural Engineering in National Academy of Agricultural Sciences in Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Abstract. This study was conducted to determine the optimal working conditions when a recently developed blower-type onion stem cutter is utilized for cutting onion leaves at harvest time. The June 20 leaf cutting treatment group had the highest leaf dryness among the treatment groups (leaf dryness: 66.3%; leaf moisture content: 50.5%); the residual leaf length was 6.7 ± 3.5 cm. It is considered to have the best mechanical leaf cutting performance among the treatment groups because it is included in the optimal range of 4–10 cm. The average working speed of mechanical onion leaf cutting using the stem cutter was $0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, which is approximately 3.4 times faster than the average working speed of $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ in the human leaf cutting treatment group. This is expected to save approximately 2.6 hours compared to human labor (based on one person) when working on a 10a area using this machine. In addition, the incidence of damaged bulbs in the machine leaf cutting treatment group was 1.3%, compared to 0.0% in the manual leaf cutting treatment group. This suggests that the mechanical leaf cutting treatment group had a higher average onion bulb decay rate during storage than the manual leaf cutting treatment group. When the storage characteristics of each treatment group were examined, the decay rate by bulb part (leaf connected or root connected) after 8 months of storage was higher in the treatment group with a residual leaf length of less than 5.0 cm after mechanical leaf cutting than in the treatment with a residual leaf length of more than 5.0 cm. This is thought to be due to the fact that treatments with a residual leaf length of less than 5.0 cm are more susceptible to infection by pathogens that cause decay during storage than treatments with a residual leaf length of 5.0 cm or more. Based on the results of this experiment, performance target of the experimental machine (residual leaf length after operation: 5 cm), and existing research on the optimal residual leaf length for onion harvesting, it is recommended to cut onion leaves so that the residual leaf length is 5–10 cm when using the stem cutter.

Additional key words: damaged bulb ratio, degree of leaf dryness, onion stem cutting machine, weight loss rate

*Corresponding author: Byeonggyu Min, min1982@korea.kr;

Soonjung Hong, hsj43333@korea.kr

Received November 22, 2023; Revised January 22, 2024;

Accepted January 23, 2024

서 론

양파(*Allium cepa* L.)는 고추, 마늘과 함께 우리나라의 주요 조미 채소이며, 건강식품에 대한 선호도 증가 등에 의해 1인당 연간 소비량은 매년 증가하는 추세이다. 농촌인구 감소 및 고령화로 인해 농촌 일손 부족 문제가 심화되고 있고, 인건비는 지속적으로 상승하고 있어서, 생산비 절감을 위한 양파 농작업의 기계화, 자동화가 시급한 실정이다. 2021년 양파의 재배 단계별 기계화율은 경운·정지(100%), 방제(99.0%), 비닐 피복(90.6%), 수확(25.8%), 파종·정식(16.1%)의 순으로 높았으며, 수확 단계와 파종·정식 단계의 기계화율이 가장 낮았다(KOSIS, 2021). 또한 양파의 수확은 엽 절단, 구굴취, 수집 및 멀칭 비닐 제거의 단계로 구성되고, 인력 수확 시 10a당 80-90시간 정도의 장시간이 소요되므로 수확 단계별 기계화 촉진이 필요한 실정이다.

양파 수확 작업에는 줄기절단기, 굴취기, 수집기 등이 사용되고 있는데, 양파 줄기절단기의 경우에는 Lepori와 Hobgood (1970)에 의해 롤러식, 벨트식, 송풍식 등 3종류의 기종이 보고되었다. 롤러식 줄기절단기는 구가 단단한 양파 품종에 주로 적용되며, 구 경도가 낮은 우리나라 대부분의 재배 품종에는 적합하지 않다. 그리고 벨트식 줄기절단기는 양파를 굴취한 직후 엽 절단 시 주로 적용되는 방식으로서 굴취 3일 이후의 건조한 잎을 절단하는 우리나라의 양파 재배 방식에는 적합하지 않다. 송풍식 줄기절단기의 경우 기계에서 자체적으로 바람을 발생시켜 양파 잎을 지면에서 세운 다음 절단 날을 이용하여 양파 잎을 절단하는 방식으로 작동한다. 국내 여러 업체에서 송풍식 줄기절단기를 개발하고 있으나, 기존에 국내에서 개발·보급된 송풍식 줄기절단기는 절단 높이가 불균일하고, 두둑 가장자리의 엽 절단율이 낮으며, 작업 시 먼지가 많이 발생하는 등의 문제점이 있어서 기계 성능의 개선이 필요하다.

지금까지 송풍식 양파 줄기절단기의 기계적인 성능 보안을 목표로 한 연구 결과는 Carson과 Williams(1969), Chesson 등(1977), Kim 등(2006)에 의해, 줄기절단기 작업에 적합한 마늘, 양파의 엽 수분함량 조건 구명 관련 연구 결과는 Kim 등(2018), Lee 등(2018)에 의해 각각 보고되었다. 작업 시기별 양파 엽 절단 성능 관련 연구 결과는 최근 Lee 등(2023)에 의해 보고된 적이 있으나 향후 기계 이용도 향상을 위해서는 다양한 포장 환경에서 지속적으로 구명되어야 할 필요가 있다. 또한 엽 절단 작업 후 양파 품질 및 저장성 변화 등에 관한 연구 결과는 아직까지 보고된 적이 없다.

따라서 본 연구는 국내에서 개발된 송풍식 줄기절단기를 수확기 양파 엽 절단에 활용할 경우, 기계 이용 효율성을 최대화하기 위해서 적정 작업 시기, 작업 방법별 성능, 손상구 발생 정

도 및 작업 후 잔여 엽장에 따른 저장성 등을 평가하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 양파 줄기절단기 작업 시기

실험 품종은 중만생종인 명품(*Allium cepa* L. cv. Myeongpum)을 사용하였다. 실험 지역은 경남 창원군 내 양파 재배 포장(논, 식양토)이고, 실험 기종은 트랙터 부착형 송풍식 양파 줄기절단기(BG-1200SC, Bulls Co., Seongju, Korea)를 이용하였다. 트랙터는 35kW의 기종을 사용했으며, 실험 기종의 작업 조건은 트랙터 인출 동력(PTO)은 750rpm, 엔진 회전수는 1,500rpm이었다.

Kim 등(2013)은 수량 특성 및 저장성 등을 고려한 경남지역에서의 중만생종 양파 수확 적기를 엽 건조 정도가 30%에 해당되는 6월 10일경으로 보고하였다. 또한 Lee(2015)는 중만생종 양파 재배 시 식물체가 90% 도복되고, 엽 건조 정도가 30-50%에 도달하는 6월 10일경이 수확 적기이며, 장마가 내습하는 6월 20일까지는 양파 수확을 완료하는 것이 적절하다고 보고하였다. Lee 등(2018)은 양파 식물체의 수분 함유량에 따라 엽 기계 절단 시 줄기절단 저항에서 차이가 발생한다고 언급했고, Kim 등(2018)은 마늘 잎의 함수율에 따라 엽 절단력에서 차이가 발생한다고 보고했다. 이를 통해 줄기절단기를 이용한 양파 엽 절단 시 엽 수분 함량에 따라 절단 성능에 차이가 있을 것으로 생각된다. 또한 Kim 등(2013)은 수확시기가 늦어질수록 양파 잎의 양분 및 수분이 구로 축적되고, 이로 인해 잎이 마르며, 구가 커진다고 보고했다.

이러한 보고들을 토대로 처리 시기를 양파 수확 적기와 인접한 6월 8일, 6월 13일, 그리고 양파 수확 적기 이후에 해당되는 6월 20일의 3시기를 두었다. 또한 처리별 엽 건조 정도, 엽 수분함량, 처리 후 잔여 엽장 및 엽장별 식물체 비율 등을 주요 조사항목으로 선정하여 조사하였다.

엽 건조 정도는 처리별 30개의 식물체를 대상으로 초장과 엽 선단 고사장을 농작물 생육 조사 표준 매뉴얼(RDA, 2014)에 의거하여 측정 후 아래의 식으로 산출하였다.

$$C = \{A / (A + B)\} \times 100$$

A : 엽 선단 고사장(cm), B : 초장(cm), C : 엽 건조 정도(%)

또한 엽 수분함량은 처리별 30개의 식물체 잎을 채취한 다음 건조기(SH-407C, Seyoung Scientific Co., Seoul, Korea)를 이용하여 80°C에서 24시간 정도로 식물체 내 수분 함량이

최소화될 수 있도록 충분히 건조한 후 아래의 식을 이용하여 산출하였다.

$$C = \{(A - B) / A\} \times 100$$

A : 건조 전 엽중량(g), B : 건조 후 엽중량(g), C : 엽 수분함량(%)

처리 후 잔여 엽장은 구 시작점으로부터 엽 선단까지의 길이를 cm 단위로 측정하였다. 처리 후 엽장별 식물체 비율은 본 실험 기종의 목표 성능으로 설정된 엽 절단 길이 5cm를 기준으로 설정하여, 5.0cm 미만, 5.0cm 이상의 두 범위로 나누어 해당 비율을 측정하였다. 실험구는 단구제로 배치하였다.

2. 양파 엽 절단 방법별 작업 속도 및 손상구 발생 정도

양파 ‘명품’의 엽 절단 방법으로는 기계 엽 절단과 인력 엽 절단(대조구)의 두 처리구를 두었으며, 실험구는 단구제로 배치하였다. 실험 시기는 <1. 양파 줄기절단기 작업 시기> 실험 결과 작업 적기로 구명된 6월 20일이었으며, 처리별 작업 속도, 손상구 발생률 등을 조사하였다.

처리별 작업 속도는 일정한 길이의 엽 절단 작업에 소요되는 시간을 측정한 후 아래의 식을 이용하여 산출하였다.

$$C = (A / B) \times 100$$

A : 처리 길이(m), B : 소요시간(s), C : 작업 속도(m·s⁻¹)

참고로 인력 엽 절단 처리구에서는 인력 1명이 작업하는 것을 기준으로 측정하였다.

손상구 발생률은 처리별 30개의 구를 수집한 다음, 내부까지 상처가 발생한 구 개수를 조사한 후 아래의 식으로 산출하였다.

$$C = (A / B) \times 100$$

A : 손상구 수(개), B : 전체구 수(개), C : 손상구 발생률(%)

3. 엽 절단 방법별 양파 구 저장성 평가

양파 ‘명품’의 저장성은 3시기(양파 저장 2개월 후, 5개월 후, 8개월 후)에 걸쳐서 측정하였으며, 구 중량 감소율, 구 내부위별 부패율 및 누적 부패율을 조사하였다. 인력 엽 절단 처리 및 기계 엽 절단 처리를 수행한 후 처리별 양파 구 시료를 반복 당 30개씩 3반복으로 수집하였다. 반복은 처리구 내 위치

별로 설정하여 동일 위치에서의 시료 수집을 가능한 피할 수 있게 하였다. 특히 기계 엽 절단 처리구에서는 본 실험 기종의 성능 목표로 설정된 작업 후 잔여 엽장 5cm를 기준으로 하여, 처리 후 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 구와 5.0cm 이상인 구로 나누어 시료를 수집하였다. 저장고 내 시료 저장 온도 및 습도는 각각 0 - 5°C, 60 - 70%였다.

중량감소율은 조사 시기, 처리별 시료의 생체중을 측정하여 아래의 식으로 산출하였다.

$$C = \{(A - B) / A\} \times 100$$

A : 저장고 입고 시 시료 생체중(kg), B : 조사 시기의 시료 생체중(kg), C : 중량 감소율(%)

구 부위별 부패율은 구 기부(경엽부 연결부위) 및 정부(근부 연결부위)의 2부위로 나누어 조사 시기, 처리별 부패구 수를 측정하여 아래의 식으로 산출하였다. 또한 누적 부패율은 저장고 입고 후 조사 시기까지의 부패율을 누적하여 산출하였다.

$$C = (A / B) \times 100$$

A : 부패구 수(개), B : 전체구 수(개), C : 부패율(%)

결과 및 고찰

1. 양파 줄기절단기 작업 시기

수량 및 저장성 등을 고려한 중만생종 양파의 수확 적기는 엽 건조 정도가 30%에 도달한 시기(Kim 등, 2013) 또는 식물체 도복률은 90% 이상이고, 엽 건조 정도는 30 - 50%(Lee, 2015)에 도달한 시기로 보고되고 있다. 이 시기 이전에 수확할 경우 양파 구에 양분이 충실하게 축적되지 않아서 구 품질 및 저장성이 감소하고, 이 시기 이후에 수확할 경우에는 잦은 강우 및 고온으로 인해 구 품질 및 저장성이 감소한다(Lee, 2015). 6월 8일 처리구, 6월 13일 처리구, 6월 20일 처리구의 엽 건조 정도는 각각 23.6%, 44.0%, 66.3%로서 시기가 경과할수록 증가하였으며, 엽 수분함량은 각각 90.1%, 81.1%, 50.5%로서 시기가 경과할수록 감소하였다(Table 1). 이는 수확시기가 늦어질수록 잎의 양분 및 수분이 구로 축적되므로 잎이 마르고, 구가 커진다고 보고한 Kim 등(2013)의 실험 결과와 일치하였다. 따라서 본 실험에서는 양파의 엽 건조 정도를 고려하여 수확 적기를 판정할 경우, 6월 8일에서 6월 13일 사이에 양파가 수확 적기에 도달된 것으로 생각된다.

그러나 해당 시기의 엽 절단 처리 시, 평균 잔여 엽장은 각각

Table 1. Principle characteristics by leaf cutting date.

Leaf cutting date (month. day)	Degree of leaf dryness (%)	Leaf water content (%)	Average residual leaf length (cm)	Plant ratio by residual leaf length (%)	
				below 5.0 cm	above 5.0 cm
6. 8	23.6	90.1	17.9±10.3	0	100
6. 13	44.0	81.1	26.0±11.5	0	100
6. 20	66.3	50.5	6.7±3.5	37.5	62.5

17.9±10.3cm, 26.0±11.5cm로서 본 실험에서 목표로 설정한 5cm보다 길었다. Kim 등(2006)은 송풍식 줄기절단기를 이용하여 양파 잎을 절단할 때 적정 잔여 엽장은 4-6cm라고 보고하였고, Kim 등(2013)은 양파 저온 저장 시 저장 중 부패율을 낮추기 위한 적정 잔여 엽장은 5개월 이내 저장 시에는 4cm 이상, 7개월 이상 장기 저장 시에는 7cm 이상으로 보고하였다. 또한 Park 등(1999)은 양파 상온 저장 시 부패율 및 흑색곰팡이병 발생률을 낮추고, 저장 후 출하 시 작업 효율성을 향상할 수 있는 수확기의 적정 잔여 엽장을 10cm로 보고하였다. 이를 통해 해당 처리구의 평균 잔여 엽장은 적정 범위를 벗어난 것으로 생각되며, 해당 시기의 양파 잎 절단 처리는 부적절한 것으로 판단된다. 반면 6월 20일 절단 처리구에서는 평균 잔여 엽장이 6.7±3.5cm로서, 양파 수확 시 적정 잔여 엽장으로 보고(Kim 등, 2006; Kim 등, 2013; Park 등, 1999)된 4-10cm의 범위에 포함되므로 해당 시기의 양파 잎 절단 처리는 적절한 것으로 판단된다. 이는 6월 8일 및 6월 13일 절단 처리구의 식물체 엽 수분함량은 각각 90.1%, 81.1%로서 6월 20일 절단 처리구의 50.5%보다 높았으며, 이로 인해 식물체의 잎이 무거워서 기계의 자체 송풍에 의한 엽 직립이 제대로 이루어지지 않은 것으로 생각된다. 따라서 엽 길이가 적정 길이보다 길게 절단되었으며, 결과적으로는 기계 절단 작업 성능이 불량한 것으로 판단된다. 반면 6월 20일 절단 처리구는 식물체 엽 수분 함량이 비교적 낮아 가벼우므로 기계의 자체 송풍에 의한 식물체의 직립이 쉬워서 엽 길이가 적정 길이에 가깝게 절단되었고, 이로 인해 기계 절단 작업 성능이 처리구 중 가장 우수한 것으로 생각된다. 그러나 양파 줄기절단기의 작업 적기에 해당하는 6월 20일은 식물체의 엽 건조 정도가 66.3%로서 Kim 등(2013)과 Lee(2015)가 보고한 양파 수확 적기보다 늦으므로, 고품질의 양파 생산 및 양파 후작물로 재배하는 비의 적기 이양 등을 고려했을 때에는 작업이 더 빨리 이루어질 수 있도록 기계 성능의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

Kim 등(2018)은 마늘 줄기절단기 개발을 위한 줄기 절단 실험에서 엽 수분함량이 다른 3처리(85%, 70%, 60%)의 마늘잎을 인장압축기를 이용하여 2차(1차: 절단 높이 15cm, 2차: 절단 높이 5cm)에 걸쳐 절단할 때 식물체 엽 수분함량이 가장 높

은 85% 처리구에서 2차에 걸쳐 절단할 경우 처리구 중 가장 절단 효율이 높았다고 보고하여 본 실험의 양파 엽 수분함량이 낮을수록 기계 절단 성능이 높다는 결과와는 다소 달랐다. 반면 Lee 등(2023)은 양파 엽 수분함량이 75% 정도로 높았을 때는 두둑 가장자리의 엽 절단 성능이 낮았으나, 엽 수분함량이 60% 정도로 낮았을 때는 엽 절단 성능이 높은 것으로 보고하여 본 실험 결과와 유사한 경향을 보였다.

2. 양파 잎 절단 방법별 작업 속도 및 손상구 발생 정도

기계 엽 절단 처리구의 작업 속도는 0.17m·s⁻¹로서, 인력 엽 절단 처리구의 0.05m·s⁻¹보다 3.4배 정도 빨랐다(Table 2). 이를 10a 면적 작업 기준으로 환산할 경우 기계 엽 절단 처리구에서는 1.1시간, 인력 엽 절단 처리구에서는 3.7시간이 각각 소요되었다. Hong 등(2023)이 보고한 송풍식 줄기절단기를 이용한 양파 잎 절단 시 10a당 0.6시간이 소요된다는 점에 비해서는 작업 시간이 다소 많이 소요되었으나 정밀한 실험 수행을 위해서 기계가 정상적인 속도보다 천천히 작동되었다는 점을 고려하면 실제 작업 시에는 10a당 1시간 내의 빠른 속도로 작업이 가능할 것으로 판단된다. 또한 해당 기계로 10a 면적을 작업할 경우, 인력 작업(1인 기준)에 비해 2.6시간 정도를 절감할 수 있을 것으로 생각된다.

처리별 손상구 발생률은 기계 엽 절단 처리구에서 1.3%로서 인력 엽 절단 처리구의 0.0%에 비해 높은 결과를 보였으며, 이로 인해 양파 줄기절단기 이용 엽 절단 시 손상구 발생을 최소화할 수 있는 작업 조건을 추후 지속적으로 구명해야 될 것으로 판단된다.

Table 2. Working velocity and ratio of damaged bulb by leaf cutting method.

Leaf cutting method	Working speed (m·s ⁻¹)	Ratio of damaged bulb ^y (%)
Mechanical	0.17	1.3
Manpower ^z	0.05	0.0

^yBased on one person.

^z(a / b) × 100, where a: number of damaged bulbs, b: number of total bulbs.

3. 엽 절단 방법별 양파 구 저장성 평가

중량감소율은 저장 기간이 경과될수록 증가하는 경향이었다(Table 3). 저장 시기별 처리 간 중량감소율은 유의한 차이가 없었으나 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구에서 저장 2개월, 5개월, 8개월 후의 중량감소율은 각각 1.2%, 9.2%, 11.4%로서 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구의 0.8%, 4.1%, 7.0%보다 높았다. 양파 중량 감소의 가장 큰 요인은 수분의 증산과 부패이며(Lee, 1984), 양파 구의 잔여 엽장이 1 - 10cm 일 경우에는 저장 중 중량감소율은 유사한 것으로(Kim 등, 2013) 보고되어 있다. 본 실험에서는 비록 유의한 차이는 없었으나 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구에서 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구보다 전 조사 시기의 중량 감소율이 높았으므로 향후 추가적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

구 기부(경엽부 연결부위) 부패율은 저장 5개월 후에 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구에서 1.7%로서 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구와 인력 엽 절단 처리구의 0.0%에 비해 높았으나 저장 2개월 후 및 저장 8개월 후에는 처리 간 유사한 결과를 보였다(Table 4). 비록 처리 간 유의한 차이는 없었지만 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구의 부패율은 저장 2개월 및 5개월 후에 각각 1.7%, 0.0%로서, 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구의 부패율인 5.0%, 1.7%보다 낮았다. 반면 저장 8개월 후의 부패율은 5.2%로서 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리

구의 부패율인 4.3%보다 높아 상호 역전된 결과를 보였다.

구 정부(근부 연결부위) 부패율은 저장 2개월 및 5개월 후 조사 시에는 처리별 유의한 차이는 없었으나, 저장 8개월 후에는 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구에서는 8.6%로서 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구의 1.2% 및 인력 엽 절단 처리구의 1.8%보다 높은 결과를 보였다(Table 5).

저장 8개월 후의 구 전체 부패율은 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구에서 13.8%로서 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구의 5.5%보다 더 높았다(Table 6). 이는 엽 절단 길이가 짧을수록 부패발생 원인 병원균의 구 내부로의 감염이 용이하여, 장기 저장 시 부패 다발생의 원인이 된다는 보고(Kim 등, 2013)에 따라 잔여 엽장이 짧을수록 부패 발생 원인 병원균의 감염이 촉진되어 장기 저장 시 부패율이 증가되는 것으로 판단된다. 또한 인력 엽 절단 처리구의 부패율은 3.5%로서 잔여 엽장 5.0cm 미만인 기계 엽 절단 처리구의 13.8%에 비해 유의하게 낮았고, 잔여 엽장 5.0cm 이상인 기계 엽 절단 처리구의 5.5%에 비해서도 유의한 차이는 없었으나 낮은 수치를 보였다. 이러한 원인으로서는 기계 엽 절단 처리구에서는 엽 절단용 칼날이 양파 구에 손상을 입힐 수 있는데 반해, 인력 엽 절단 처리구에서는 이러한 구의 손상이 비교적 적었기 때문에 장기 저장 시 부패율이 낮은 것으로 생각된다(Table 2).

본 실험 결과 잔여 엽장을 실험 기종의 성능 목표인 5cm보

Table 3. Weight loss rate of bulb by leaf cutting method and storage period.

Leaf cutting method	Residual leaf length (cm)	Weight loss rate of bulb by storage period ^y (%)		
		2 months	5 months	8 months
Mechanical	< 5.0	0.8 a ^z	4.1 a	7.0 a
Mechanical	≥ 5.0	1.2 a	9.2 a	11.4 a
Manpower	4.9 ± 2.1	0.7 a	4.6 a	7.0 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

^y{(a - b) / a} × 100, where a: bulb fresh weight when entering storage, b: bulb fresh weight at the time of measurement.

Table 4. Decay rate of bulb part connected to leaf by leaf cutting method and storage period.

Leaf cutting method	Residual leaf length (cm)	Decay rate by storage period ^y (%)			Accumulated decay rate by storage period ^x (%)		
		2 months	5 months	8 months	2 months	5 months	8 months
Mechanical	< 5.0	1.7 a ^z	0.0 b	5.2 a	1.7 a	1.7 a	6.9 a
Mechanical	≥ 5.0	5.0 a	1.7 a	4.3 a	5.0 a	6.6 a	11.0 a
Manpower	4.9 ± 2.1	1.7 a	0.0 b	1.7 a	1.7 a	1.7 a	3.3 a

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

^y(a / b) × 100, Where a: number of decayed bulbs at the time of measurement, b: number of total bulbs.

^x(a / b) × 100, Where a: accumulated number of decayed bulbs from entering storage to measurement time, b: number of total bulbs.

Table 5. Decay rate of bulb part connected to root by leaf cutting method and storage period.

Leaf cutting method	Residual leaf length (cm)	Decay rate by storage period ^y (%)			Accumulated decay rate by storage period ^x (%)		
		2 months	5 months	8 months	2 months	5 months	8 months
Mechanical	< 5.0	1.7 a ^z	0.0 a	8.6 a	1.7 a	1.7 a	10.3 a
Mechanical	≥ 5.0	0.6 a	0.0 a	1.2 b	0.6 a	0.6 a	1.8 b
Manpower	4.9±2.1	1.7 a	0.0 a	1.8 b	1.7 a	1.7 a	3.5 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

^y(a / b) × 100, Where a: number of decayed bulbs at the time of measurement, b: number of total bulbs.

^x(a / b) × 100, Where a: accumulated number of decayed bulbs from entering storage to measurement time, b: number of total bulbs.

Table 6. Decay rate of bulb total part by leaf cutting method and storage period.

Leaf cutting method	Residual leaf length (cm)	Decay rate by storage period ^y (%)			Accumulated decay rate by storage period ^x (%)		
		2 months	5 months	8 months	2 months	5 months	8 months
Mechanical	< 5.0	3.3 a ^z	0.0 b	13.8 a	3.3 a	3.3 a	17.1 a
Mechanical	≥ 5.0	5.6 a	1.7 a	5.5 b	5.6 a	7.3 a	8.5 b
Manpower	4.9±2.1	3.3 a	0.0 b	3.5 b	3.3 a	3.3 a	5.1 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

^y(a / b) × 100, where a: number of decayed bulbs at the time of measurement, b: number of total bulbs.

^x(a / b) × 100, Where a: accumulated number of decayed bulbs from entering storage to measurement time, b: number of total bulbs.

다 길게 절단하는 것이 저장성이 좋을 것으로 판단된다. 그러나 너무 길게 절단할 경우에는 저장 후 시장 출하시 추가적인 엽 절단이 필요하고, 이로 인해 별도의 작업 노력 및 비용이 부가될 우려가 있을 것으로 생각된다. Kim 등(2006)은 송풍식 줄기절단기를 이용하여 양파 잎을 절단할 때 적정 잔여 엽장은 4-6cm라고 보고하였고, Kim 등(2013)은 양파 저온 저장 시 저장 중 부패율을 낮추기 위한 적정 잔여 엽장은 5개월 이내 저장 시에는 4cm 이상, 7개월 이상 장기 저장 시에는 7cm 이상으로 보고하였다. 또한 Park 등(1999)은 양파 상온 저장 시 부패율 및 흑색곰팡이병 발생률을 낮추고, 저장 후 출하시 작업 효율성을 향상할 수 있는 수확기의 적정 잔여 엽장을 10cm로 보고하였다. 따라서 본 실험에 사용된 줄기절단기를 이용하여 양파 잎을 절단할 경우, 잔여 엽장은 5-10cm 정도가 적정할 것으로 판단된다.

적 요

최근 국내에서 개발된 송풍식 양파 줄기절단기를 수확기 양파 엽 절단에 활용할 경우 적정 작업 조건을 구명하기 위해서 이 실험을 수행하였다. 처리구 중 식물체 엽 건조가 가장 많이 진행된(엽 건조 정도: 66.3%, 엽 수분함량: 50.5%) 6월 20일 엽 절단 처리구에서 평균 잔여 엽장은 6.7±3.5cm로서 작업 후 적정 잔여 엽장에 해당되는 범위인 4-10cm에 포함되므로

기계 엽 절단 성능이 처리구 중 가장 우수한 것으로 판단된다. 줄기절단기 이용 양파 엽 기계 절단 시 평균 작업 속도는 0.17m·s⁻¹였는데, 이는 인력 엽 절단 처리구의 평균 작업 속도인 0.05m·s⁻¹보다 3.4배 정도 빨랐으며, 이를 통해 해당 기종을 이용하여 10a 면적을 작업할 경우에는 인력 작업(1인 기준)에 비해 2.6시간 정도를 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 기계 엽 절단 처리구에서의 손상구 발생률은 1.3%로서 인력 엽 절단 처리구의 0.0%에 비해 높았는데, 이로 인해 기계 엽 절단 처리구가 인력 엽 절단 처리구보다 저장 중 양파 구 부패율이 평균적으로 높았던 것으로 판단된다. 처리별 저장 특성을 살펴보면, 저장 8개월 후 구 부위(기부, 정부)별 부패율은 기계 엽 절단 후 잔여 엽장이 5.0cm 미만인 처리구에서 잔여 엽장이 5.0cm 이상인 처리구보다 높았다. 이는 잔여 엽 길이가 5.0cm 미만인 처리구에서는 5.0cm 이상인 처리구보다 저장 중 구 부패를 유발하는 병원균의 감염이 쉬우므로 장기 저장 시 부패율이 높은 것으로 생각된다. 본 실험 결과와 실험 기종의 성능 목표(작업 후 잔여 엽장: 5cm) 및 양파 수확 시 적정 잔여 엽장에 관한 기존의 연구결과 등을 종합적으로 고려할 경우, 본 실험에 사용된 줄기절단기 이용 양파 엽 절단 시 양파의 적정 잔여 엽장은 5-10cm 정도일 것으로 판단된다.

추가 주저어: 구손상률, 잎마름정도, 양파줄기절단기, 중량 감소율

사 사

이 논문은 농림식품기술기획평가원(IPET) 기술사업화지원 사업(과제번호: 122035022HD040)의 지원으로 제작되었음.

Literature Cited

- Carson W.M. Jr., and L.G. Williams 1969, Design and field testing of an experimental onion toppler. *Trans ASAE* 12:228-230. doi:10.13031/2013.38805
- Chesson J.H., H. Johnson Jr., C.R. Brooks, R.G. Curley, P.F. Burkner, and R.M. Perkins 1977, Mechanical harvesting investigations for fresh market onions. *Trans ASAE* 21:838-842. doi:10.13031/2013.35398.
- Hong S.J., P. Yee, D.H. Kang, H.C. Kim, S.H. Lee, S.P. Moon, B.G. Min, Y.J. Nam, S.G. Kwon, and D.G. Kim 2023, A study on the onion stem cutting prototype attached to a tractor. *J Korean Acad Ind Soc* 24:247-255. (in Korean) doi:10.5762/KAIS.2023.24.7.247
- Kim D.H., S.N. Yoo, Y.T. Kim, and Y. Choi 2006, A fundamental study on air blast onion toppler. In *Proceedings of the Korean Society for Agricultural Machinery Conference*. *Korean Soc Agric Mach* 11:95-100. (in Korean)
- Kim H.D., I.J. Ha, S.K. Hwang, J.T. Lee, S.Y. Lee, S.D. Lee, B.G. Min, J.S. Moon, J.C. Seo, and C.W. Rho 2013, Studies on improvement of long-term storage in onion. *Rural Development Administration (RDA), Korea*, pp 6-10. (in Korean)
- Kim J.H., S.M. Woo, D.D. Uyeh, M.G. Yu, and Y.S. Ha 2018, Analysis of garlic stem strength for development of cutting machine. 2019 ASABE Annual International Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). doi:10.13031/aim.201900955
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) 2021, Database about field crop mechanization rate, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=143&tblId=DT_143004N_025&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=K1_14&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do. Updated 27 January 2023.
- Lee J.T. 2015, Onion. *Deulnyeok*, Korea, pp 237-240.
- Lee S.H., Y. Choi, D.K. Choi, S.P. Moon, Y.J. Nam, and S.G. Kwon 2023, Analysis of performance of improved onion stem-cutter. *J Biosyst Eng* 28:161. (in Korean)
- Lee S.Y., C.W. Han, H.J. Park, and G.Y. Kweon 2018, A fundamental study for pre-harvest treatment system with an onion stem cutter and a plastic mulch wrapper. *J Agric Life Sci* 52:151-162. (in Korean) doi:10.14397/jals.2018.52.5.151
- Lee W.S. 1984, Studies on improvement of storability of onion bulbs. *J Korean Soc Hortic Sci* 25:272-232. (in Korean)
- Lepori W., and P. Hobgood 1970, Mechanical harvester for fresh market onions. *Trans ASAE* 13:517-519. doi:10.13031/2013.38651
- Park S.W., Y. Kwon, and E.Y. Ko 1999, Effect of stem length and thickness on storability during common storage of onions. *Korean J Hortic Sci Technol* 17(2):225. (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA) 2014, Standard manual of agricultural crop growth measurement. RDA, Korea, pp 19-26.