

신선편이 가공용 결구상추의 원료 관리 체계 구축에 관한 연구

Development of Post-harvest Management System of
Lettuce for Fresh-cut Processing

연구기관
한국식품연구원

농림수산식품자료실



0017665

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “신선편이 가공용 결구상추의 원료 관리 체계 구축에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2009년 4월 24일

주관연구기관명 : 한국식품연구원

주관연구책임자 : 최 정 희

세부연구책임자 : 김 동 만

연 구 원 : 정 문 철

연 구 원 : 김 병 삼

연 구 원 : 박 형 우

연 구 원 : 홍 석 인

연 구 원 : 김 일 수

연 구 원 : 김 현 기

요 약 문

I. 제 목

신선편이 가공용 결구상추의 원료 관리 체계 구축

II. 연구개발의 목적 및 필요성

생활패턴의 변화에 의해 신선편이 농식품의 수요가 증가하면서 결구상추의 소비도 최근 급증하고 있는 추세다. 신선편이 식품에 대한 기술개발은 1990년대 초반에 신선편이 식품에 대한 수요가 급증하면서 1990년대 이후에 활발히 진행되고 있다. 대관령원예농협을 비롯한 국내 기업에서 결구상추를 신선편이 제품으로 가공하여 fast-food 관련 기업에 공급하고 있으며 일본으로의 수출도 시도하고 있는 등 신선편이 시장은 앞으로 급성장할 것으로 예상된다.

결구상추를 포함한 주요 작물에 대한 수확 후 관리 기술에 대한 보편적인 메뉴얼은 주로 미국의 주요 재배지의 현실을 바탕으로 정립되었으며 후발 국가들은 이를 응용하여 적용하고 있다. 농산물의 품질변화는 작물 고유의 생리특성에 의해 좌우되므로 동일한 작물일지라도 재배기간 동안의 환경 및 품종에 따라 차별화된 관리 기술이 적용되어야 한다. 우수한 품질을 생산하기 위해 재배환경을 조절하는 것이 바람직하나 이를 조절하는 것이 어려운 노지재배 작물의 경우 수확된 상태에서 품질의 특성을 분석하여 저장이나 가공시의 변화를 예측하여 선별하기 위한 기초 자료를 축적하고 있는 단계에 있다. 사과 의 경우 선별된 몇 개의 품질 지표를 이용하여 VIS/NIR 기술로 판정하기 위한 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 저장력 향상을 위해 수확된 원료의 품질 상태와는 관계없이 일련의 단위 기술들을 적용하는 수준이며, 수확된 농작물의 품질 특성을 고려한 수확 후 관리 체계 및 저장 중 원료의 품질 상태가 신선편이 가공품의 품질에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 상태이다. 따라서 신선편이 제품의 고품위화 및 안정적인 물량을 지속적으로 공급할 수 있는 원료의 저장 및 관리 시스템과 신선편이 가공시 신선도 향상을 위한 기술을 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

결구상추의 저장력과 신선편이 가공시 품질을 고려한 수확기 기준을 설정하기 위해, 결구 정도를 관찰하여 60% 미만 결구율을 미숙구, 70~80% 결구율은 적숙구, 90% 이상 결구율은 과숙구로 분류하여 수확하였다. 1차 실험은 2006년 8월 강원도 고령지 지역에서 재배된 ‘유레이크’ 품종을 적숙과 과숙 상태에서 수확하여 0.03mm PE 필름으로 포장 한 다음 플라스틱 상자에 12 포기씩 2단으로 적재하여 5°C에 저장하였다. 2차 실험은 2007년 10월 충청북도 지역에서 재배된 ‘시크라멘트’ 품종을 미숙, 적숙, 및 과숙 상태에서 수확한 후 1차 실험과 같은 방법으로 포장 및 저장하였으며 저장 기간 중 품질 변화를 비교·조사 하였다. 또한 2차 실험에서는 수확직후 신선편이 가공한 실험구와 3주간 저장된 원료로 신선편이 가공한 후 품질변화를 비교·조사 하여 결구정도가 신선편이 제품의 신선도에 미치는 영향을 구명 하였다. 수확 방식에 따른 저장력의 차이를 구명하고 수송 및 저장에 사용되는 상자의 재질 및 수확 후 원료의 적재 방식을 개선하여 저장 중 품질 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 현재 고령지 지역에서 재배되고 있는 주 품종인 ‘유레이크’와 ‘텍사스 그린’의 신선편이 가공 적합성이나 원료로서의 저장성을 비교하였고, 하절기의 고령지 지역의 고온다습한 기상 조건이 품질에 미치는 영향을 조사하였으며, 수확시 강우의 유무에 따른 예냉 효과를 분석하였다. 고온다습한 환경에서 재배된 하절기 결구상추를 위한 포장 기술을 확립하기 위해 PE film의 두께별 효과 및 과습 방지를 위한 천공에의 영향을 조사 하였으며, 산소에 의한 원료의 갈변 및 부패를 지연시키기 위해 진공 포장 및 질소충진 포장 기술을 적용한 후 원료의 저장력과 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 신선편이 결구상추의 유통기간 중 갈변을 경감시키기 위해 high CO₂ MAP 조건을 설정하는 연구를 수행하였고 이 때 PPO, PAL, total phenol 물질의 변화를 분석하여 갈변 현상과의 관계를 구명하였다.

하절기 고온다습한 환경에서 재배되는 결구상추는 저장력이 상대적으로 약할 뿐 아니라 저장 중 생리장해 발생이 잦고 원료에 따라 저장력의 차이가 매우 크므로, 신선편이 가공을 위한 원료의 저장력 및 신선편이 가공적성을 예측할 수 있는 품질 인자를 개발하고자 재배 중 형성된 품질 특성과 저장 중 품질 변화와의 상관성을 분석하였다. 1차 연구는 고령지 지역에서 하절기에 수확된 ‘유레이크’ 품종을, 2차 연구는 충청북도 지역에서 가을에 수확된 ‘시크라멘트’ 품종을 대상으로 실험을 실시하였다. 수확당시의 품질 특성으로는 결구정도, 가용성 당함량, 전도도, 무기질 함량(N, Ca, Mg), 수용성 당함량 (glucose, fructose), chlorophyll 함량, 잎과 줄기의 경도, 잎과 줄기의 색을 측정하였으며, 5°C에서 5주 동안 저장하면서 1주일 간격으로 부패, 갈변, 신선편이 가공수율, 경도, 신선편이 가공 후 갈변 및 품질 변화를 측정 후 수확직후의 품질 특성과 저장 중 품질 변화와의 상관성 분석을 실시하여 예측 인자를 선정하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

결구상추는 미숙한 상태에서 수확할 경우 조직감이 연한 장점이 있으나 저장 중 부패가 크게 발생하고, 과숙한 상태에서 수확할 경우 갈변이 증가하므로 결구가 70~80% 형성된 적숙 상태에서 수확하는 것이 매우 중요하다. 미숙구는 전도도가 증가하고, 과숙구는 신선편이 가공시 폐놀 화합물의 함량이 증가하는 특징을 나타내었다. 적숙과 미숙구는 절잎의 줄기부터 갈변이 진행되었으나 과숙구의 갈변은 결구 내부에서 시작되어 점차 전체적으로 번지는 양상을 보였는데 이는 호흡으로 생성된 이산화탄소가 결구 내부에 축적된 것이 원인으로 추측되었다. 결구상추는 수확 적기 이후에 수확할 때 저장 중 축적된 이산화탄소에 의해 잎맥 부위가 붉게 변색되는 등 이산화탄소 장애가 쉽게 나타나는 작물로 알려져 있다. 결구상추의 포기엽은 결구엽을 물리적 충격으로부터 보호하여 부패를 감소시키고 결구엽의 수분 손실을 억제하므로 수확시 제거하지 않는 것이 바람직하며, 수확된 결구상추를 플라스틱 박스에 적재할 때 2단으로 적재하지 않고 1단으로 적재하면 물리적 충격이 감소되어 부패와 갈변이 감소하였다. 스티로폼 상자는 결구상추가 받는 충격을 완화시킬 것으로 기대하였으나 저장기간 동안 호흡열과 이산화탄소가 축적되어 부패 및 갈변이 급격히 증가하였다. ‘텍사스 그린’ 품종은 ‘유레이크’ 품종에 비해 갈변과 부패가 적게 발생하는 장점이 있으나, 강한 조직감 때문에 신선편이 제품으로서의 소비자 선호도는 낮았다.

고온다습한 시기에 고령지에서 재배된 결구상추는 조직이 약하고 저장 중 갈변과 부패가 심하게 발생하며, 강우량이 낮은 시기에 재배되면 저장성도 향상되었다. 평균 온도가 급격히 낮아진 9월 이후에 재배된 결구상추는 경도와 신선편이 가공 수율이 다시 낮아지는 경향이었다. 하절기 고령지 지역에서 재배된 결구상추는 건조한 날 수확하면 예냉시 갈변 억제 효과가 미미하게 나타났으나, 우기에 수확한 결구상추는 진공 예냉을 통해 수분이 제거되어 저장 중 부패가 억제되었다. 그러나 주름 부분이 붉게 변하고 조직이 반투명해지는 저온장해 증상이 나타나기도 하므로 우기에 수확한 경우에는 예냉 온도를 관행보다 상승시킬 필요가 있는 것으로 판단되었다.

결구상추 원료 저장시 PE 필름 포장하면 원료의 품질 뿐만 아니라 신선편이 제품의 갈변 또한 감소되었다. 원료 저장시 천공한 필름으로 포장하면 원료가 가지는 가공수율에는 영향이 없으나 신선편이 제품의 갈변과 연화가 증가하므로 천공하지 않은 필름을 사용하는 것이 바람직하였다. 원료 저장시 품질 유지를 위해 진공 포장 하거나 질소 충전 포장하여 저산소 조건을 부여하면 원료 자체의 품질에 미치는 영향은 유의적이지 않으나 신선편이 가공 후 갈변 증상은 PE 필름 포장한 것에 비해 억제되는 효과가 있었다. 질소충진 포장보다 진공포장이 더 효과적이었다. 그러나 저 산소 조건이 3주 이상 길어지면 스트레스 장애를 입어 원료와 신선편이 가공 제품의 갈변과 부패가 오히려 급격히 증가하

므로 이 포장 방식은 신선편이 가공을 위한 단기저장 목적에 알맞으며 원료의 저장 기간은 2주 이내로 제한하여야 한다. 수 회 수행한 실험 결과에 의하면 2주 이상 저장된 원료를 사용할 때에는 원료 자체의 품질의 우수성과는 관계없이 신선편이 가공 후 갈변이 빠르게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 신선편이 결구상추에 고농도 CO₂ MAP 처리하면 PPO과 PAL 활성이 낮게 유지되어 갈변이 억제된다. 이러한 효과는 CO₂ 수준이 높을수록 좋으나 이취가 발생하고 조직의 연화가 심해지므로 10 kPa이 가장 효과적이었다.

고령지 지역에서 재배되는 '유레이크' 품종의 품질 특성 중 총 초기 경도 값이 저장 중 부패 정도와 높은 상관성이 있었다. 저장 중 품질 변화와 상관성을 나타내는 품질 인자 중 경도는 현장적용이 가장 용이하다고 판단되었다. Texture analyzer로 측정된 측정치를 기준으로 4 N 을 기준으로 이하인 경우와 이상인 경우 부패율의 차이가 매우 높았다. 이를 휴대용 경도계 측정값으로 환산하여 0.55 kgf를 부패 예측을 위한 기준치로 제시할 수 있었다. 경도 측정은 복잡한 분석 기술을 필요로 하지 않으므로 현장에서 사용하기가 용이하므로 저장 중 부패정도를 예측하기 위한 인자로 사용하기에 적합하였다. 이 외 결구상추의 Mg 함량은 저장 중 부패와 갈변과 높은 상관성을 나타내었다.

SUMMARY

I. Title

Development of post-harvest management system of head lettuce based on the raw material characteristics for fresh-cut processing

II. Objectives and Significance

Consumer demand on fresh-cut products increased due to changes of life style. Accordingly consumption of lettuce increasing rapidly. Research of technology on the fresh-cut products was undergoing actively in late 1990's after rapid increasing of demand on fresh-cut products in early 1990's. Domestic companies have been supplying processed fresh-cut lettuce to fast food related companies and trying to export it to Japan. So, it is expected that fresh-cut products market will be growing rapidly.

Postharvest technology manual of main crops including lettuce was substantiated based on actual field conditions of United States. And less developed countries were applying this manual. As the quality changes of agricultural products depend on the intrinsic physiological properties of the crop, differentiated manual should be applied according to circumstance and breed during cultivation for the same crop. Producing crop with good quality, it is necessary to control cultivation circumstances. However, we are in the stage of accumulating the basic data to analyze quality characteristics of crop and to predicting the quality changes during fresh cut processing and storage for the cultivated crop in the field which is difficult to control cultivation circumstances. For the apple, research on evaluating the quality changes during storage using VIS/NIR technology with few selected quality factors is undergoing. In domestic level, successive unit technology was applied to extend the shelf life of crop regardless of quality of harvested crop. There is only a few of research on the fresh-cut product quality depending on the postharvest technology and harvested crop. Therefore, this study was carried out to develop technology extending the shelf life of

fresh-cut crop and to develop management and storage system of raw material, which can give high quality fresh-cut products and stable supply of continuous quantity.

III. Contents and Scope

Research of maturity index establishment considering processability of fresh-cut lettuce was carried out. Effect on the quality changes during storage depending on box materials and stacking method, and shelf life of lettuce with harvesting methods were investigated. Shelf life of raw material and fresh-cut processability of the main cultivars of lettuce cultivated in high land, and effect of humid and hot weather conditions in high land during summer on the quality of lettuce, and effect of precooling on with or without rain, were investigated. To establish packaging technology of lettuce cultivated at hot and humid condition in summer, the effect of thickness and perforation of PE film on the quality of lettuce were investigated. Also, the effect of vacuum packaging and nitrogen-filling packaging method for delaying browning and decay on the quality of raw material and shelf life of fresh-cut lettuce were investigated. To reduce browning of lettuce during distribution, high CO₂ MAP condition was established. Relationship between high CO₂ MAP condition and browning of lettuce were identified by analyzing changes of quality factors such as PPO, PAL and total phenolic compounds. Lettuce cultivated at hot and humid condition in summer have relatively low shelf life and abundant physiological disorder and high shelf life gap between unity. Therefore, to develop the quality factors predicting the shelf life and processability of fresh-cut products, correlation between quality characteristics during cultivation and quality changes during storage was analyzed.

IV. Results and Recommendation

Decay during storage increased when lettuce was harvest at immature stage. Over-mature lettuce showed more severe browning during storage. Lettuce should be harvested at mature stage (70~80% of head formation) to have a good quality as a raw material for fresh-cut processing after storage. Electrolyte leakage increased in immature lettuce during storage. Total phenolic compound increased in over-mature

lettuce after fresh-cut processing, which seems to be a cause of higher browning. Wrapper leaves protect head leaves from the physical shock. Harvesting of lettuce including wrapper leaves, therefore, lead to the decrease of decay and water loss in head leaves. In general, lettuces was stacked in two layers in plastic box after harvest. This harvesting practice lead to a lot of problem such as decay and browning because of physical shock by collision between crops and packing box, or among crops. By simple change of this practice into one layer stacking in plastic box, we could keep lettuce in good quality during storage and after fresh-processing. When lettuce was stacked in styrene box expected to absorb physical shock, the decay and browning rather increased due to the accumulation of a respiratory heat and carbon dioxide inside of the box. Cultivar 'Texas green' has a good point; decay and browning during storage was lower than cultivar 'U-lake', a main cultivar in high-land, Korea. Hard texture of cultivar 'Texas green', however, was weak point for fresh-cut product. Cultivar 'U-lake' with soft texture got the higher preference for the fresh-cut product in spite of rapid decay and browning.

Lettuces grown under the high temperature and humidity during summer season was decayed easily. When lettuces was grown after finishing rainy season, quality was improved. The effect of precooling depends on the weather condition, especially, the rain. On a fine day, precooling did not show the exact effect on the change in quality during storage. If lettuce was harvested in the rain, the decay might be reduced by vacuum precooling. Chilling injury symptom might be possible by precooling of lettuce harvested in rainy day because of rapid drop of crop temperature.

By use of PE film packaging, quality of lettuce during storage was improved and browning after fresh-cut processing was inhibited additionally. Vacuum packaging or nitrogen-filling packaging of lettuce could be used for short-term storage (less than 2 weeks) of raw lettuce scheduled to be used for fresh-cut processing. These packaging methods impart the crops extremely low oxygen condition. Long-term storage under this condition could rather cause browning and decay. By high CO₂ MAP, the PPO and PAL activity of fresh-cut product decreased, and consequently browning was inhibited. The effectiveness of high CO₂ MAP increased with the CO₂ level. Off-flavour and softening of tissue, however, limited CO₂ level to 10 kPa.

The aspect of change in decay during storage of cultivar 'U-lake' cultured in high land in Korea had a high correlation with the hardness at harvest. Lettuce with lower hardness than 4 N showed an increasing tendency in decay during storage. We

could showed 0.55 kgf as a standard value for decay prediction which is transferred to the measurement value of a portable hardness tester from the measurement value of texture analyzer at KFRI. The hardness measurement is easy to be applied in the fields. Also, the Mg content of lettuce showed a high correlation with the decay and browning during storage. However, this quality index could not be applied in 'Texas green'.

CONTENTS

Chapter 1. Outline of Research Project	.....
Chapter 2. States of the Art Report	.....
Chapter 3. Research Performed and Results	.....
Section 1 Material and Method	.....
Section 2 Result and Discussion	.....
1. Effect of maturity on the quality of lettuce	.....
2. Improvement of postharvest managing practice	.....
3 Evaluate of quality characteristics of main cultivars in high land	.....
4 Effect of climate condition on the quality of lettuce	.....
5 Evaluate of effectiveness of precooling according to climate condition	.....
6 Development of packaging technique of lettuce for fresh-cut processing	.....
7 Effect of high CO ₂ MAP on the browning of fresh-cut product	.....
8 Evaluation of prediction index for the change of quality	.....
Chapter 4. Research Attainments and Contributions to Related Fields	.....
Chapter 5. Application Plans for Research Products	.....
Chapter 6. Science and Technology Information from Abroad	.....
Chapter 7. Reference	.....

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 수행 방법

제 2 절 연구 내용 및 결과

1. 결구정도가 저장력 및 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향 구명
2. 수확 방법 및 원료의 적재 방식 개선 연구
3. 결구상추의 품종별 품질 특성 조사
4. 재배기간 중 기상 조건이 품질에 미치는 영향 조사
5. 수확시 강우에 따른 예냉 효과 분석
6. 원료의 저장력 및 신선편이 제품의 신선도 향상을 위한 포장 기술 개발
7. High CO₂ MAP에 의한 신선편이 결구상추의 갈변 억제 효과 구명
8. 저장력 및 신선편이 가공적성 예측 지표 설정

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7 장 참고문헌

제 1 장 연구개발과제의 개요

생활패턴의 변화에 의해 신선편이 농식품의 수요가 증가하면서 결구상추의 소비도 최근 급증하고 있는 추세다. 신선편이 식품에 대한 기술개발은 1990년대 초반에 시작되어 신선편이 식품에 대한 수요가 급증하는 1990년대 이후에 활발히 진행되고 있다. 주로 신선편이 가공시 박피 및 절단에 의한 변색 억제와 안전성 확보를 위한 연구와 포장기술 개선을 통한 신선도 연장에 관한 연구가 이루어져 왔다.

결구상추를 포함한 주요 작물에 대한 수확 후 관리 기술에 대한 보편적인 매뉴얼은 주로 미국의 주요 재배지의 현실을 바탕으로 정립되었으며 후발 국가들은 이를 응용하여 적용하고 있다. 농산물의 품질변화는 작물의 고유의 생리특성에 의해 좌우되므로 동일한 작물일지라도 재배기간 동안의 환경 및 품종에 따라 차별화된 관리 기술이 적용되어야 한다. 우수한 품질을 생산하기 위해 재배환경을 조절하는 것이 바람직하나 이를 조절하는 것이 어려운 노지재배 작물의 경우 수확된 상태에서 품질의 특성을 분석하여 저장이나 가공시의 변화를 예측하는 기술이 필요하다. 미국을 비롯한 선진국에서는 수확된 작물의 품질특성과 저장 중 품질 변화에 대한 연구가 수년간 진행되었으며 이를 통해 축적된 기본적인 자료들을 이용하여 현재는 수확기를 판정하거나 저장력 및 가공성을 예측하여 선별 단계에 적용하기 위한 시스템을 개발하려는 시도가 이루어지고 있다. 또한 사과와 같은 CA 저장시 발생할 수 있는 내부갈변 발생 여부를 수확 직후에 예측할 수 있는 기술 개발도 진행 중에 있다.

이에 비해 국내에서는 현재까지 주로 저장 온도, 포장방식, MA 저장에 의한 저장력 강화 등에 관한 연구가 이루어져 왔으며, 신선편이 가공에 대한 연구로는 미생물 번식 억제, 세척 방식, 포장 등에 관한 연구들이 주를 이루고 있다. 즉, 수확된 원료의 품질 상태와는 관계없이 단위 기술들을 적용하여 저장력을 증강시키고자 하는 노력들이 이루어지고 있는 실정이며, 수확된 농작물의 품질 특성을 고려한 수확 후 관리 체계 및 저장 중 원료의 품질 상태가 신선편이 가공품의 품질에 미치는 영향에 대한 연구는 전무한 상태이다.

신선편이 가공에 사용되는 원료를 안정적으로 공급하기 위해서는 수확된 작물의 품질 상태를 고려하여 단기 저장 또는 장기 저장의 계획을 수립하는 것이 매우 중요하다. 현재는 저장력을 예측할 수 있는 기준이 제시되지 않은 상태이므로 원물이 가지고 있는 저장력 및 가공성과는 관계없이 선입선출의 관행이 이어지고 있다. 기상이변 등으로 인해 원료 공급이 중단되어 계약된 물량을 납품할 수 없게 되거나 계절적 요인에 의해 원료의 가격이 급등하여 원가가 상승하는 것이 본 사업의 안정성을 위협하는 중요한 요인이 되고 있으므로 일정량의 원료를 안정적으로 확보할 수 있는 수확 후 관리 기술이 요구된다. 그러나 신선편이 농식품의 품질 향상을 위해 가공 기술에 대한 연구 및 시설 보장이 꾸

준히 이루어져 선진국 수준의 기술력을 보유하고 있는데 비해, 원료관리 측면에는 관행적인 방식을 그대로 답습하는 상태이며, 원료의 품질이 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향에 대한 연구는 미진한 상태이다. 원료의 품질 관리가 불량한 경우 신선편이 제품의 연화 및 변색이 빨라지므로 원료의 선택 및 관리 기준이 정립되어야 할 것이다. 따라서 신선편이 제품의 고품위화 및 안정적인 물량을 지속적으로 공급할 수 있는 원료의 저장 및 관리 시스템 그리고 신선편이 가공시 품질 변화 예측 기술을 개발하고자 본 연구를 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내의 결구상추의 재배 역사는 삼국시대(6~7세기)부터 시작된 것으로 추정되는데 생활패턴의 변화에 의해 신선편이 농식품의 수요가 증가하면서 결구상추의 소비도 최근 급증하고 있는 추세다. 신선편이 식품에 대한 기술개발은 1990년대 초반에 시작되어 신선편이 식품에 대한 수요가 급증하면서 1990년대 이후에 활발히 진행되고 있다. 주로 신선편이 가공시 박피 및 절단에 의한 변색 억제와 안전성 확보를 위한 연구가 비교적 많았고 포장기술 개선을 통한 신선도 연장 등에 관한 연구가 이루어져 왔다.

신선편이식품 시장의 확대 및 안정적 경영을 위해서는 일정수준 이상의 농산물을 안정적으로 공급할 수 있는 체계 확립과 가공 과정에서의 위생적 관리가 필수적이다. 미국의 경우 *Salmonella*, *E. coli* O157, *Shigella*, *Campylobacter*, *B. cerues* 순으로 발생건수가 보고되었으며, 그 사례는 최근까지도 꾸준히 발생되어 2004년 FDA 보고에 의하면 유통 중인 칸타루프, 멜론, 벨 페퍼 등의 신선편이식품에서 *Listeria monocytogenes* 가 검출된 바 있으며 2008년에는 토마토의 *Salmonella*에 의한 식중독 사건이 언론을 통해 알려진 바 있다. 신선편이식품에 존재하는 미생물을 포함한 오염물질은 재배단계에서부터 수확 후 까지 가축이나 야생동물의 분뇨, 오염된 관수, 비위생적 운송 관리, 가공공정, 저장시설 등 다양한 작업 과정에서 오염될 수 있다(Beuchat 과 Ryu, 1997; Brackett, 1999).

신선편이식품의 안정성 확보를 위해 세척 및 살균 공정에서의 처리기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는데 주로 세척과정에서 이루어지고 있으며 현재까지는 주로 수돗물을 사용한 세척을 하거나 chlorine 용액을 세척수로 사용하고 있다. 그러나 chlorine은 신선편이 농식품의 표면 살균 효과가 매우 작다고 보고되고 있다(Xu, 1999). Nicholl 등 (2004)은 신선편이 결구상추를 대상으로 세척효과 실험을 한 결과 tap water와 chlorine 모두 세척 직후에는 microbial population을 경감시키는 효과를 나타내지만 5°C에서 3일 후에는 다시 증가하므로 그 효과가 매우 제한적이고 낮은 것으로 판단하였다. 발암물질 형성과 미생물의 저항성 증가에 대한 우려 때문에 현재 신선편이 가공 공정 중 세척 및 살균수로서 가장 흔히 사용되고 있는 chlorine에 대한 문제제기가 증가하고 있어 이를 대체할 수 있는 살균 물질이나 대체 기술에 대한 요구가 커지고 있다.

Ozone은 살균효과를 가지는 동시에 잔류가 적어 식품에 사용할 수 있는 살균제로서의 가능성이 높게 평가받고 있다(Guzel-Seydim 등, 2004). Chlorine과 ozone을 신선편이 상추의 세척처리에 사용하여 효과를 비교해 본 결과 2.5 mg L⁻¹ ozone 처리와 100 mg L⁻¹ chlorine 처리가 가장 효과적인 것으로 보고되고 있다(Garcia 등, 2003). Izumi (2007)에 의하면 ozone 용액 사용 시 양배추에서는 대장균군이 효과적으로 제어되고 갈변에는 영향이 없었으나 상추에서는 미생물 감소 효과가 나타나지 않고 오히려 유통 중 갈변이 증가되는 결과를 초래하였다. Olmez와 Akbas (2009)에 의하면 2 ppm ozone 수가 유기산을

처리한 것에 비해 안전성 확보 및 선호도 유지에 긍정적인 효과가 있다고 한다. 이 외에 많은 연구자들에 의해 ozone에 의한 살균 효과가 보고되고 있으나(Beltran 등, 2005; Singh 등, 2002), 갈변 등의 품질 변화를 일으키지 않고 살균 효과를 증대시킬 수 있는 안정적 기술에 대한 모색이 계속되고 있다. 화학물질을 대체할 수 있는 방안을 찾기 위한 노력이 계속되고 있는 가운데, Allend 등 (2007)은 bacteriocin용액에 의해 *Listeria monocytogenes*가 1.2-1.6 log units 정도 감소되나 4°C에서 7일 동안 저장한 후에는 그 효과가 매우 미미하였다고 보고하고 있다. 결구상추를 신선편이 가공하기 전 단계에서 pre-washing 하여 2중으로 세척하면 미생물 억제 효과가 증대되고 절단부위에서 발생하는 갈변도 억제되어 외관이 향상된다(Baur 등, 2005). Pre-washing 온도를 50°C로 상승시키면 chlorine 사용 유무에 관계없이 PAL synthesis가 억제되고 포장 내부의 O₂가 소모되고 CO₂가 축적되는 속도가 빨라져 신선도 유지에 긍정적 영향을 미친다.

신선편이 결구상추의 유통 중 안전성 확보를 위해 gamma irradiation 처리를 적용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. Zhang 등 (2006a, 2006b)에 의하면 1.0 kGy의 γ irradiation 처리시 박테리아와 총균이 감소되는 효과를 나타내며 갈변을 발생시키는 역할을 하는 주요 인자로 알려진 polyphenoloxidase 활성과 vitamin C의 파괴 또한 억제되며 품질에 대한 선호도도 매우 높게 유지되는 효과가 있다고 한다. Kim 등 (2006) 또한 1 kGy gamma irradiation 처리시 결구상추의 세균 오염을 제어할 수 있으며 irradiation 처리에 의한 장해나 선호도 하락 등의 부정적 영향은 없다고 밝히고 있다. 신선편이 결구상추에 녹차 추출물을 처리하면 일반적으로 사용하는 chlorine 처리구에 비해 갈변과 선호도에 있어서는 큰 차이를 보이지 않으나 항산화활성은 높게 유지하는 효과가 있다. Martin-Diana 등 (2008)이 녹차 추출물이 가지는 신선편이 결구상추의 갈변 억제 효과를 연구한 결과 0.5 g 100 mL⁻¹ and 1.0 g 100 mL⁻¹ 함량을 처리할 때 ascorbic acid 와 carotenoid 의 손실이 억제되는 효과가 있었으며 갈변에 대해서는 녹차 추출물에 함유된 polyphenols에 의해 오히려 증가되었다. 녹차 추출물이 나타내는 이러한 부정적인 영향은 heat-shock 처리에 의해 감소될 수 있으나 녹차 추출물 처리와 heat-shock 병합처리 또한 ascorbic acid 와 carotenoids 등 항산화 물질의 함량을 감소시키는 부정적인 영향을 나타낸다.

신선편이 제품에 식중독을 일으키는 세균은 포장된 상태에서도 생육이 가능한데 Carrasco 등(2009)에 의하면 신선편이 결구상추의 유통 온도가 5°C 이하로 낮으면 *Listeria monocytogenes*의 생장이 더디어 약 5.6일 정도의 생육이 지연되나 13°C에서 유통할 때에는 즉시 성장하며, 신선편이 결구상추 포장시 4.65~6.2% CO₂, 2.1~4.3% O₂의 공기로 치환하여 유통하면 일반 포장에 비해 *L. monocytogenes*의 생장이 억제된다.

Vinegar(acetic acid)는 오랫동안 식품유래 병원균을 감소시키기 위한 목적으로 사용되어온 물질인데, Chang과 Fang (2007)은 이 물질을 신선편이 결구상추에 접종된 *E. coli* O157:H7에 대해 억제효과 여부를 조사하였는데 5% acetic acid (pH 3.0)가 함유된

vinegar를 5분간 처리시 감소 효과가 있었다고 보고하였다. 이상과 같이 화학적 혹은 비 화학적 살균방식은 적정 조건을 설정하여 사용하면 살균효과가 나타나기는 하지만 처리 후 시간이 지나면 미생물의 증식력이 회복되는 문제를 가지고 있다. Allende 등(2008)은 chlorine과 시중에 판매되고 있는 5가지의 살균제를 신선편이 결구상추에 적용한 후 미생물과 관능지수에 미치는 영향을 살펴보는 실험을 수행하였다. 모든 살균제가 순수한 물에 세척한 것에 비해 살균효과는 나타내었지만, 세척이 끝난 신선편이 제품은 저온저장 기간 동안 미생물 생장이 급속히 이루어져 세척전의 상태와 유사한 수준 혹은 그 보다 더 증가한 수준의 미생물 수를 나타내었다. 모든 처리구에서 저장 8일 후 $6\sim 8 \log g^{-1}$ 의 미생물이 검출되었는데도 불구하고 관능평가에 의한 선호도 평가시 좋다 혹은 매우 좋다는 평가를 얻었다. 따라서 chlorine을 포함한 다양한 살균수의 살균력은 소비자가 소비하는 단계에서의 미생물적 안전성과 선호도에 대한 정보를 거의 내포하지 못한다는 것을 의미한다.

신선편이형태로 가공된 이후에는 원물상태에 비해 호흡이 크게 증가하는 것이 일반적이다. 이러한 호흡을 억제하여 신선도를 연장시키기 위해서는 저온유통은 필수적이며 포장 단계에서의 적절한 처리기술이 적용될 수 있을 것이다. Massignan 등 (2006)은 'Iceberg' 와 'Romaine' 두 품종을 신선편이 가공한 후 저장 및 유통 시 포장재의 종류가 호흡에 미치는 영향 및 갈변 등 품질에 미치는 영향을 살펴본 결과 비교 분석한 다섯 가지 포장 종류 중 polyolefines계 필름 중 한 종류가 작물의 호흡을 억제시키는 효과를 나타내었으나, 이러한 호흡률의 차이가 신선편이 제품의 색변화에 미치는 영향은 없었다고 보고한 바 있다. 더욱 적극적인 기술로서 Escalona 등 (2006)에 의하면 10 kPa CO₂ 조건에서 호흡속도가 20~40% 억제되며 20 kPa 이상에서는 생리장해에 의해 호흡이 증가하는 경향이였으며 이 때 산소 수준이 높을수록 호흡이 억제된다. 따라서 10~20 kPa CO₂를 신선편이 결구상추의 포장에 적용할 때 호흡이 억제되는 효과 외에 혐기호흡의 위험이 있으므로 이를 방지하기 위해 80 kPa O₂ 조건과 병행하면 결구상추의 호흡을 억제하는데 효과적이다. 그러나 호흡 억제가 반드시 갈변을 억제하는 효과를 가져오는 것은 아니므로 신선편이 제품의 갈변을 억제하기 위해서는 직접적인 갈변 억제 기술을 적용할 필요가 있다.

신선편이 가공시 발생하는 물리적 상처에서 발생한 wound signal은 인접한 조직으로 전해지면서 다양한 생리적 반응을 일으키게 되는데 phenylalanine ammonia lyase (PAL)의 합성, chlorogenic acid를 포함한 soluble phenolic compounds의 축적, 그에 따른 조직의 갈변이 그 대표적인 현상이다. 따라서 신선편이 농식품은 원재료 상태에서보다 갈변이 빠르게 진행되고 유통기한이 단축되는 원인이 되고 있다. 결구상추에서 분리한 polyphenol oxidase (PPO)는 40°C, pH 7.0에서 가장 높은 활성을 보이며, ascorbic acid, cysteine, oxalic acid and citric acid 중 cysteine에 의해 가장 효과적으로 억제되는 특성을 가진다(Altunkaya와 Gokmen, 2008). Ascorbic acid와 cysteine은 결구상추의 항산화능

을 증가시키는 반면 citric acid와 oxalic acid는 항산화능에 영향을 미치지 못한다. 따라서 결구상추의 phenolics는 ascorbic acid와 cysteine을 처리함으로써 산화가 억제되므로 갈변억제 효과가 있을 것으로 판단된다. 에틸렌 작용 억제제인 1-methylcyclopropene (1-MCP)를 결구상추에 처리하면 phenolic compounds의 축적이 감소하고 에틸렌 처리에 의해 유도된 갈변이 억제된다(Saltveit, 2004). 그러나 이와는 달리 신선편이 가공시 절단에 의한 상처부위에서 발생하는 phenolic 함량의 증가는 1-MCP 처리에 의해 영향 받지 않았다. 신선편이 가공시 생기는 물리적 상처에 의한 갈변을 일으키는 원인물질인 phenolic compounds와 phenylpropanoid metabolism에 대해 에틸렌과 물리적 상처는 독립적인 역할을 하는 것으로 이해되는 부분이다. Rico 등(2008)은 10초 동안 수증기의 분사 처리할 때 조직감이 유지되고 갈변을 억제하는 효과가 있다고 보고하였다. 처리 시간이 길수록 갈변관련 효소의 활성이 낮아지고 luminosity (L^*)와 greenness ($-a^*$), 관능평가 지수 (외관, 상품성, 갈변정도)등이 향상되나 vitamin C와 carotenoids 함량이 감소되는 경향이 있으므로 10초 동안의 처리가 7일~10일 정도의 유통에 적합한 조건으로 제시되었다. 그러나 신선편이 결구상추를 50°C에 1분 처리하면 갈변 관련 효소인 polyphenol oxidase와 peroxidase 활성은 억제되는 반면 pectin methyl esterase의 활성은 증가하여 조직이 연화되는 문제가 발생한다. 고농도 calcium lactate (3%) 용액에 같은 방법으로 처리하면 신선편이 결구상추의 저장 중 호흡속도가 감소되나 greenness와 luminosity가 감소하는 부정적 영향도 함께 나타난다. 1.5% calcium lactate 용액을 50°C 조건에서 처리하면 chlorine을 사용할 때에 비해 신선도가 향상되고 갈변이 억제되며 (Belen 등, 2005), 신선편이 결구상추에 nitric oxide gas를 훈증 하거나 (2,2-(hydroxynitrosohydrazino)- bisethanamine; DETANO) 용액에 침지하는 방식으로 처리하면 갈변이 억제된다(Wills 등, 2008). 이때 훈증 방식은 1시간의 처리 시간이 소요되는 반면 DETANO에 침지하는 방식은 처리시간도 5분으로 매우 짧을 뿐 아니라 훈증방식은 신선편이 결구상추의 신선도 유지 기간을 70% 연장한 반면 침지방식은 100% 연장하여 효과가 더욱 향상되고 안정적인 것으로 알려져 있다.

Choi 등 (2005)은 100 mM의 n-alcohols vapor을 처리하였을 때 물리적 상처로 인한 갈변을 40~60% 억제시킬 수 있다고 보고하였다. Alcohol 종류별 효과는 ethanol에서 7-carbon alcohol인 heptanol로 갈수록 효과가 증가하였고 더 이후로는 감소하여 1-octanol과 1-nonanol은 효과가 낮았다. 2-isomers와 3-isomers를 1-alcohol과 같은 농도로 처리하면 효과적이지 않고 그보다 농도를 5배 이상 높일 경우에는 동일한 효과가 발생하였다. 이러한 alcohol 처리는 절단 후 2시간 이내에 실시할 때 갈변억제 효과가 있으며 6시간 이후에 실시하면 효과가 나타나지 않는다.

CA, MA, MAP 등에 N_2 대신 Ar으로 치환하면 미생물 생육을 감소시키고 신선도가 연장되는 효과가 있다고 보고되었다(Berne, 1994; Day 와 Day, 1996). CA 저장고의 환경도 N_2 대신 Ar을 이용할 때 mature-green 토마토의 후숙이 지연되는 효과가 있다

(Lougheed와 Lee, 1991). Ar과 He은 N₂와 마찬가지로 세포나 효소 등에 대한 영향은 없으나 O₂, CO₂, 그리고 C₂H₄의 확산을 변화시키는 역할을 하는 것으로 추측되는데 N₂ 대신 He으로 치환할 경우 확산을 증가시키고 작물 내외부의 O₂ 농도의 차이를 감소시켜 저 산소 CA 조건에서 작물의 internal O₂ 부족 현상을 극복할 수 있게 하는 결과를 가져올 수 있다. 그러나 Jamie와 Saltveit(2002)에 의하면 결구상추는 90% Ar + 2% O₂ 조건에 저장할 때 갈변억제 효과를 기대할 수 없었다.

선택적 가스 투과성이 있는 필름을 적용한 MA(modified atmosphere) 포장기술은 저장 중 기체 조성을 인위적으로 조절해야 하는 CA(controlled atmosphere) 저장 방식에 비해 간편한 방법으로 농산물의 호흡과 수분증산을 억제하는 효과가 있는 방법이다. MA는 제한적 투과성 필름을 사용하여 과채류 상품 주변의 대기환경을 저농도 O₂(<8%)와 고농도 CO₂(>1%)로 조절 유지하여 농산물의 호흡을 억제시키며, 신선도를 연장시킬 수 있다. 이전의 연구에서 MA 포장재 내부에 형성된 저 O₂ 및 고 CO₂ 조건으로 인해 복숭아 과실의 연화, 부패, 저온장해 등의 변화가 억제되었고(Fernandez-Trujilio 등, 1999), 사과에는 에틸렌 생성이 억제되며 경도, 적정산도의 유지와 생리적 장해발생 억제에 효과적임이 발표되었다(Chung 등 1999, Lidster 등 1980). Kim 등(1999)의 연구에서 감의 장기 저장 시 CO₂ 농도가 높을수록 부패과 발생이 억제된다고 보고하였으며, 결구상추도 저농도의 O₂, 고농도의 CO₂ 조건에서 호흡과 부패, 갈변 등이 억제된다(Fonseca, 2002). 그러나 포장 내부에 CO₂가 과도하게 축적되면 brown stain이 발생되고(Lee, 2007) 1% 이하의 O₂는 혐기적 호흡으로 인한 off-flavor가 발생할 수 있다(Farder, 2003). 또한 MA 저장은 조건이 적당하면 매우 우수한 저장력을 발휘하나 때로는 포장내의 과습으로 인한 생산물의 부패와 부적합한 가스조성으로 생리장해를 초래하는 등의 양면성을 가지고 있다(Lee, 1997).

결구상추의 재배기간 중 형성된 품질 인자로서 수확 후 저장력을 예측하기 위한 연구 중 광합성의 결과물인 엽록소를 예측인자로 개발하기 위한 연구가 진행되었다. Schofield 등(2005)은 결구상추의 생육 중 어떤 원인으로든 스트레스를 받으면 광합성 작용에 부정적인 영향을 끼쳐 궁극적으로 저장력을 결정짓는다는 가정 하에 chlorophyll fluorescence (CF)를 측정하여 저장력과의 관계를 알아보고 수확시 저장력을 예측하는 indicator로 삼고자 하였다. CF는 결구상추의 부위별로 측정치가 상이하나 동일 부위를 측정할 때에는 거의 비슷한 수준의 측정치를 나타낸다. CF 측정치는 'Ithaca 989' 품종에서는 저장 중 외관 및 부패의 변화의 양상과 매우 높은 상관관계를 나타내었지만 'Salinas 88 Supreme' 품종은 상관성이 없었다. 그러나 두 품종 모두 rib discoloration과의 상관성은 매우 높았다. 따라서 CF를 저장성을 예측할 수 있는 indicator로 사용하기 위해서는 품종간 조사가 이루어져야 하며 두 품종에서 rib discoloration과의 상관성은 높게 나타났으므로 이를 다른 품종에 적용할 수 있는 가능성이 높은 것으로 기대된다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 수행 방법

하절기에 고령지 지역에서 재배되는 결구상추의 신선편이 가공을 위한 원료로서의 가치를 향상시키고 재배이력 및 기상환경에 관계없이 수확된 결구상추의 저장력 및 신선편이 가공성을 예측할 수 있는 인자를 개발하기 위해 본 연구를 수행하였다.

결구상추의 저장력과 신선편이 가공시 품질을 고려한 수확기 기준을 설정하기 위해, 결구 정도를 관찰하여 60% 미만 결구율을 미숙구, 70~80% 결구율은 적숙구, 90% 이상 결구율은 과숙구으로 분류하여 수확하였다. 1차 실험은 2006년 8월 강원도 고령지 지역에서 재배된 '유레이크' 품종을 적숙과 과숙 상태에서 수확하여 0.03 mm PE 필름으로 포장한 다음 플라스틱 상자에 12 포기씩 2단으로 적재하여 5°C에 저장하였다. 2차 실험은 2007년 10월 충청북도 지역에서 재배된 '시크라멘트' 품종을 미숙, 적숙, 및 과숙 상태에서 수확한 후 1차 실험과 같은 방법으로 포장 및 저장하였으며 저장 기간 중 품질 변화를 비교·조사 하였다. 또한 2차 실험에서는 수확직후 신선편이 가공한 실험구와 3주간 저장된 원료로 신선편이 가공한 후 품질변화를 비교·조사 하여 결구정도가 신선편이 제품의 신선도에 미치는 영향을 구명 하였다.

관행적으로는 결구상추를 수확할 때 신선편이 가공의 재료가 될 결구엽에 추가로 포기엽(wrapper leaf)을 1~2매 붙여 수확하는 것이 보통이나 꺾임에 의한 중량 증가와 신선편이 가공 과정에서의 폐기물 발생량이 증가한다는 이유로 포기엽을 완전히 제거하고 결구엽만 수확하기도 한다. 이러한 수확 방식의 장·단점에 대한 의견은 분분하나 포기엽이 결구엽의 저장중 품질 변화에 미치는 영향에 대해서는 비교·분석된 바 없으므로 이에 대한 자료를 현장에 제공하여 활용케 하기 위해 실험을 수행하였다. 고령지 지역에서 재배된 '유레이크' 품종을 관행 적기에 포기엽을 2매 남기고 수확한 실험구와 포기엽은 완전히 제거한 후 결구엽만 수확한 실험구를 각각 5°C에 두어 6주 동안 저장하면서 부패, 신선편이 가공수율, 갈변, 중량감소 및 경도의 변화를 비교·조사하였다. 또한 결구상추의 부패 및 갈변은 주로 물리적 자극에 의한 상처에서 비롯되므로 이를 최소화하기 위해 수확 후 수송 및 저장에 사용되는 상자의 재질 및 원료의 적재 방식을 개선하여 저장 중 품질 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 현장에서는 일반적으로 플라스틱 상자에 12 포기씩 2단으로 적재하는데 이 때 원료와 상자, 그리고 원료와 원료 사이의 마찰에 의해 물리적 상처가 발생된다. 이러한 관행적 적재 방식을 대조구로 설정한 후 플라스틱 상자에 6 포기씩 1단으로 적재하는 실험구와 물리적 상처를 최소화할 수 있을 것으로 기대되는 스티로폼 상자에 1단 적재하는 실험구를 두어 저장 중 품질의 변화를 비교·분석하였다.

국내에서는 결구상추의 신선편이 가공을 위한 품종이 별도로 도입되어 있지 않고 기존에 원물 자체로 유통하기 위한 목적으로 재배되어 온 품종을 그대로 신선편이 가공에 이용하고 있는 실정이다. 현재 국내에 도입되어 재배되고 있는 주 품종은 ‘유레이크’, ‘텍사스 그린’, ‘시크라멘트’, ‘시스코’이며 이 중 ‘시크라멘트’와 ‘시스코’는 겨울철 재배에 적합하며 여름철 재배는 주로 고령지 지역에서 ‘유레이크’와 ‘텍사스 그린’이 재배되고 있으며 이 중 ‘유레이크’ 품종이 더 많이 재배되고 있다. 현재 재배되고 있는 품종의 신선편이 가공 적합성이나 원료로서의 저장성에 대한 검토가 필요하므로 이 두 품종을 관행적기(결구율 80%)에 수확한 후 저장력 및 가공 특성을 비교하였다.

하절기의 고령지 지역은 미국이나 일본의 결구상추 주산지에 비해 고온다습한 환경이므로 이러한 기상 조건이 품질에 미치는 영향을 조사하기 위해 동일 포장에서 재배된 ‘유레이크’ 품종을 8월 27일부터 10월 10일까지 4회 수확한 후 이의 품질 특성 및 저장 중 품질 변화를 비교하였다. 또한 하절기에 고령지 지역에서 재배된 ‘유레이크’ 품종을 오전 10시에 수확한 후 플라스틱 상자에 2단으로 12포기씩 적재한 후 진공 예냉 장치(VCH-4P-07W, Kanaden, Japan)를 이용하여 결구상추의 중심 품온이 5°C로 하강할 때까지 예냉한 후 5°C 저장고에 보관하였다. 1차 실험은 맑은 날 시료를 수확한 후 예냉 처리 하였으며, 2차 실험은 비가 온 후 시료를 수확하여 실험에 사용하였다. 저장기간 및 신선편이 제품의 품질을 조사하여 하절기 고령지 지역에서 재배된 결구상추의 예냉 효과를 강우의 유무에 따라 비교 분석하였다.

결구상추의 수확 후 포장 기술을 확립하기 위해 현장에서 실용적으로 사용할 수 있는 PE film을 두께를 달리하여 (0.03, 0.05, 0.08 mm) 포장한 후 저장력 및 신선편이 가공적성에 미치는 효과를 분석하였다. 또한 하절기에 재배되는 결구상추는 강우가 잦아 결구의 내·외부가 과습할 경우가 많으므로 각 필름에 친공 처리하여 수분의 이동을 자유롭게 하여 효과를 비교하였다. 또한 원료 저장시 산소의 농도를 낮춰 저장력을 높이기 위해 진공 포장하거나 질소충진 포장하여 원료의 저장력 뿐 아니라 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 신선편이 제품은 세척 과정을 통해 미생물 제어가 가능하지만 많은 연구자들의 보고에 의하면 유통 중 미생물의 생육이 재개되면서 지속적인 감균 효과가 이루어지지 못하며 미생물 증식에 의해 갈변 증상이 더욱 심화되는 결과를 초래하므로 유통기간 중 미생물 증식과 갈변을 경감시키기 위해 high CO₂ MAP 조건을 설정하는 연구를 수행하였고, 이 때 PPO, PAL, total phenol 물질의 변화를 분석하여 갈변 현상과의 관계를 구명 하였다.

국내에서는 하절기에 고령지 지역에서만 결구상추의 재배가 가능한데 고온다습한 기상 환경과 집중호우에 의해 재배가 불가능한 시기에는 원료공급이 중단되는 문제가 발생된다. 따라서 단경기에 활용할 수 있는 원료를 확보하기 위해서는 저장기술이 뒷받침 되어야 한다. 하절기에 재배되는 결구상추는 저장력이 상대적으로 약할 뿐 아니라 저장 중 생리장해 발생이 잦고 원료의 상태에 따라 저장력의 차이가 상당히 크다. 현재는 수확된 원

료의 저장력을 예측할 수 있는 방법이 없으므로 원료의 저장력에 관계없이 선입 선출 방식으로 신선편이 가공에 사용하고 있다. 따라서 결구상추의 재배 중 형성된 품질 특성과 저장력과의 관계를 분석하여 저장력을 예측할 수 있는 품질 인자를 개발하고자 하였다. 1차 연구는 고려지 지역에서 하절기에 수확된 ‘유레이크’ 품종을, 2차 연구는 충청북도 지역에서 가을에 수확된 ‘시크라멘트’ 품종을 대상으로 실험을 실시하였다. 수확당시의 품질 특성으로는 결구정도, 가용성 당함량, 전도도, 무기질 함량(N, Ca, Mg), 수용성 당함량 (glucose, fructose), chlorophyll 함량, 잎과 줄기의 경도, 잎과 줄기의 색을 측정하였으며, 5°C에서 5주 동안 저장하면서 1주일 간격으로 부패, 갈변, 신선편이 가공수율, 경도, 신선편이 가공 후 갈변 및 품질 변화를 측정하고 수확직후의 품질 특성과 저장 중 품질 변화와의 상관성 분석을 실시하여 예측 인자를 선정하였다.

중량감소율 (Weight loss)

중량 감소율은 초기 중량에 대한 저장 시 측정된 중량의 차이를 측정하여 초기 중량에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

색도 (Colour)

시험구당 3개씩 무작위로 선택하여 줄기 부분 4회, 잎 부분 4회 반복 측정하였다. 시료의 측정 부위에 색차계(CR-400, Minolta, Japan)의 광조사 부위를 밀착시켜 측정하였으며, Hunter L 및 a, b 값으로 나타내었다. 색차계의 표준편(L=97.75, a=-0.49, b=1.96)을 사용하여 색차계를 보정한 후 색 측정에 이용하였다.

경도 (Hardness)

경도는 Texture Analyser (TA-XT2, Stable Micro System, UK)를 사용하여 측정하였다. 측정은 지름이 2mm인 probe를 사용하여 rupture를 측정하였고 경도는 처음 피크 값을 N 단위로 나타내었다. 결구상추의 겉잎의 줄기부분을 채취하여 5회 측정하였다.

가용성 고형물 함량 (Soluble solids content)

시험구당 3개의 결구상추를 무작위로 선택하여 가용성 고형물 함량으로 당도를 나타내었다. 시료를 믹서에 갈아 착즙한 후 당도계(N-1E, Atago, Japan)를 사용하여 측정하여 °Brix로 나타내었다.

전도도 (Electrolyte leakage)

겉잎의 아랫부분을 borer로 punching하여 10조각을 준비한 후 35°C의 0.4 M mannitol 용액 40 mL에 넣어 35°C에서 3시간 동안 저장한 후 여과하여 전도도계(Model 1230 Multi-meter, Thermo Orion, USA)를 사용하여 측정하였고, 이를 냉각 후 해동하여 같

은 방법으로 전도도를 측정한 뒤 총 전해물질 누출에 대한 백분율로 나타내었다.

엽록소함량 (Chlorophyll)

시료 2 g에 80% acetone 25 mL 첨가하여 homogenizer (ULTRATURRAX)로 2분간 균질화한 후 5°C 암소에서 보관하였다. 4시간 후 추출액을 여과하여 UV-VIS spectrophotometer에서 645 nm와 663 nm에서 흡광도를 측정하였으며 엽록소의 함량은 다음과 같은 식을 통해 환산하였다.

$$\text{Total Chlorophyll (mg L}^{-1}\text{)}=7.22\text{OD}_{663}+2.03\text{OD}_{645}$$

부패 및 갈변율 (Decay & Browning)

부패율(decay)은 시료의 불가식 부위(겉잎, 심지 등)를 제외한 무게를 초기치로 삼았으며 이 무게에 대한 부패된 무게를 측정하여 백분율로 나타내었다. 갈변율(browning)도 결구상추의 불가식 부위를 제외한 무게에 대한 갈변된 부분의 무게를 측정하여 백분율로 나타내었다.

갈변정도

신선편이 결구상추의 절단 부위를 2 cm 두께로 자른 후 2 g을 취하였다. 20 mL의 증류수를 첨가하여 35°C의 water bath에서 2시간 동안 추출하여 여과(Whatman No. 2)한 뒤 spectrophotometer(V530, Jasco, Japan)로 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

신선편이 가공수율 (Fresh-cut processing yield)

불가식 부위와 갈변, 부패된 부위를 제거하고 신선편이 제품으로 상품성이 있는 결구잎의 무게를 전체 무게에 대한 백분율로 나타내었다.

수용성 당함량 (Soluble sugar content)

시료 5 g을 250 mL의 공전 플라스크에 취하고 약 50% 에탄올 용액 100 mL을 가한 후 환류 냉각기에서 약 1시간 동안 추출하여 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과한 후 고속 액체크로마토그래피로 분석했다. 컬럼은 carbohydrate 컬럼을, 검출기는 RI detector를 사용하였으며 이동상 용매는 $\text{CH}_3\text{CN}:\text{H}_2\text{O}$ (80:20, v/v)를 1.0 mL min^{-1} 속도로 하여 분석하였다.

무기원소 함량

시료 2.5 g을 취해 10배 희석하여 시료가 든 자기 도가니를 전열기 위에서 예열한 뒤, 500°C 전기로에서 2시간 이상 회화시켰다. 실온으로 냉각한 후 재에 증류수 10방울 정도를 떨어뜨려 재를 적셔 날리지 않도록 한 다음 희질산 3 mL를 넣었다. 열판에서 가열하여

질산을 완전하게 건조시키고 이를 500°C 전기 회화로에서 1시간 동안 회화시킨 다음 냉하고 다시 도가니에 회염산 10 mL를 천천히 가하여 재를 녹였다. 고속 액체크로마토그래피용 증류수를 이용하여 50 mL로 정용한 후, 무회분 여과지로 여과하여 원자흡광분석기를 사용하여 Ca, Mg 함량을 분석하였다. 총질소(N) 함량은 semi-micro Kjeldahl 방법 (Eastin, 1978)으로 분석하였다.

포장재 내부의 기체 조성변화

용기 내부의 가스를 gas-tight syringe로 채취하여 gas chromatography(GC-14A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 산소와 이산화탄소의 농도 변화를 조사하였다. 분석 조건은 column: CRT-1(Altech Associates Inc., USA), detector: TCD, column temp.: 35°C, injection temp.: 60°C, detector temp.: 60°C, carrier gas: He(50 mL min⁻¹)이었다.

수분함량 (Water content)

수분함량 분석은 상압가열 건조법을 이용하였다. 칭량접시를 항량이 되도록 가열한 후 칭량접시에 겉잎과 심지를 제거한 결구상추를 잘게 다져 약 8 g 담아서 무게를 잰 후 105°C dry oven에서 4~5시간 시료를 가열한 뒤 30분 방냉 후 무게 변화를 측정하였고 항량이 될 때까지 반복하여 건조 전후의 중량차이를 수분량으로 산출하여 백분율로 나타내었다.

Total phenolic compounds

절단 부위에서 1 cm 두께로 잘라낸 시료 10 g을 70% methanol 60 mL를 가하여 균질화 한 후 상온에서 1시간 동안 추출하여 Whatman No. 2 여과지로 여과하였다. 이 용액 1 mL에 0.2 N Folin-Ciocalteu 용액 5 mL를 첨가하여 상온에서 30초간 반응시킨 후 15 mL의 2% Na₂CO₃을 넣고 100 mL로 정용한 뒤 상온에 2시간 동안 반응시킨 뒤, spectrophotometer(V-530, JASCO Co., Japan)로 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준 물질로서 gallic acid (Sigma, Co., USA)을 사용하였다.

PPO(Polyphenol oxidase) activity

절단 부위에서 1 cm 두께로 잘라낸 시료 10 g을 50 g의 PVPP (polyvinylpyrrolidone)이 함유된 pH 7.0의 50 mM 인산완충용액 40 mL를 첨가하여 마쇄한 후 여과하였다. 이 여과액을 12,000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상등액을 조효소로 사용하였다. 조효소액 0.1 mL에 20 mM L-DOPA 기질용액 2.9 mL 을 가하여 420 nm에서 반응시켜 1분과 2분 사이의 0.001의 흡광도 변화량을 1 unit 으로 표기하였다.

PAL(Phenylalanine ammonia lyase) activity

신선편이 결구상추의 절단 부위로부터 1 cm씩 잘라 시료 4 g 취하여 5 mM β -mesh(MES hydrate) 와 0.4 g의 PVPP가 함유된 pH 8.5의 50 mM borate buffer 15 mL을 첨가하여 여과한 뒤 20,000 rpm 20분간 원심 분리하였다. 상등액을 조효소로 사용하였으며 조효소액에 100 mM L-phenylalanine 0.55 mL을 가하여 40°C에서 60분간 반응시킨 후 320 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준품은 cinnamic acid (Sigma, Co., USA)를 사용하였다.

관능검사

신선편이 결구상추의 관능 평가를 하기 위하여 미리 훈련된 패널 5명을 대상으로 하여 외관, 갈변, 부패, 조직감, 향미 및 전반적인 기호도에 대하여 조사하였다. 평가항목에 따라 very good (9점), good (7점), mild (5점), bad (3점), very bad (1점)와 very strong (9점), strong (7점), mild (5점), weak (3점), very weak (1점)의 9점 척도법으로 평가하였다.

통계 처리

자료의 통계처리는 statistical analysis system(SAS) program에 의해 ANOVA검정과 Duncan's multiple range test 방법을 이용하여 실험군의 평균값 간에 유의수준 $p < 0.05$ 에서 유의성을 검정하였다.

제 2 절 연구 내용 및 결과

1. 결구정도가 저장력 및 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향 구명

결구상추의 저장력과 신선편이 가공시 품질을 고려한 수확기 기준을 설정하기 위해 본 실험을 실시하였다. 속도는 결구 정도를 관찰하여 60% 미만 결구율을 미숙구, 70~80% 결구율은 적숙구, 90% 이상 결구율은 과숙구로 분류하여 수확하였다(Fig. 1). 1차 실험은 2006년 8월 강원도 고령지 지역에서 재배된 '유레이크' 품종을 적숙 및 과숙 상태에서 수확하여 30mm PE 필름으로 포장 한 다음 플라스틱 상자에 12 포기씩 2단으로 적재하여 5°C에 저장하였다. 2차 실험은 2007년 10월 충청북도 지역에서 재배된 '시크라멘트' 품종을 미숙, 적숙, 및 과숙 상태에서 수확한 후 1차 실험과 같은 방법으로 포장 및 저장하였으며 저장 기간 중 품질 변화를 비교·조사 하였다. 또한 2차 실험에서는 수확직후 신선편이 가공한 실험구와 3주간 저장된 결구상추를 원료로 사용하여 신선편이 가공한 실험구의 저장 중 품질변화를 비교·조사 하였다.

결구상추는 저장 중 부패 및 잎맥 부위를 중심으로 발생하는 갈변이 품질 손실의 가장 큰 요인으로 알려져 있다(Schofield 등, 2005). *Botrytis* spp.와 *Sclerotinia* spp.가 결구상추의 부패를 일으키는 주요 원인균으로 알려져 있고(Fiume과 Fiume, 2005) 이외에 *Enterobacter*, *Erwinia*, *Pseudomonas*와 같은 박테리아도 품질 열화의 원인이 된다(Allende 등, 2006). 1차 실험 결과 적숙기와 과숙기에 수확한 경우 저장 2주째까지 부패 정도가 유사한 수준이었다. 저장 3주 후 적숙구의 경우 13.5%의 부패율을 나타내었으나 과숙구는 이보다 낮은 6.4%의 부패율에 그쳤다. 2차 실험에서 저장 3주까지 숙기에 따른 부패율의 차이는 미미하였으나 저장 4주 후에는 적숙구의 부패율은 1.7%인 반면 미숙구의 부패율은 100%로 모든 시료가 부패되어 저장이 불가능하였으며 적숙구는 5주 후 100%의 부패율을 나타내었다. 과숙구는 저장 4주 동안 적숙구와 유사한 수준의 부패율을 보였다. 따라서 결구상추는 미숙할수록 부패가 빠르게 증가하는 것으로 판단되었다(Fig. 2). 결구상추의 저장기간에 따른 갈변율은 Fig. 3와 같다. 적숙구의 갈변율은 저장 4주 까지 10% 내외로 변화가 적었으나 과숙구는 저장 3주 이후 급격히 증가하여 4주 후 갈변율이 30.2%로 매우 높았다. 2차 실험에서 과숙구의 갈변율은 저장 3주째 10%를 넘어 적숙구의 3.9%, 미숙구의 3.0%보다 3배 정도 높은 갈변율을 나타내었다. 미숙구와 적숙구는 저장 기간동안 갈변율이 크게 증가하지 않은 반면 과숙구는 저장 3주부터 갈변율이 증가하여 4주째에는 100%의 갈변율을 나타내었다. 적숙과 미숙구는 겉잎의 줄기부터 갈변이 진행되었으나 과숙구의 갈변은 결구 내부에서 시작되어 점차 전체적으로 번지는 양상을 보였다(Fig. 4). 이는 호흡으로 생성된 이산화탄소가 결구 내부에 축적된 것이 원인으로 추측되었다. 결구상추는 수확 적기 이후에 수확할 때 저장 중 축적된 이산화탄소에

의해 잎맥 부위가 붉게 변색되는 등 이산화탄소 장해가 쉽게 나타나는 작물로 알려져 있다(Davis 등, 1997; Rappaport와 Wittwer, 1956; Ryder, 1999).

각 속도에서 수확된 결구상추를 저온저장 하면서 일주일 간격으로 신선편이 제품으로 가공하여 가공 수율을 조사하였다. 가공수율은 수확즉시 가공할 때에 비해 저장기간이 길 수록 가공 수율이 점차 낮아지는 결과를 나타내었다. 특히 2차 실험에서는 미숙구 또는 과숙구의 경우 4주 후 가공이 불가능하였는데 미숙구는 부패가, 과숙구는 갈변이 100% 발생한 것이 원인이었다. 부패와 갈변이 가장 적었던 적숙구는 4주간 저장된 원료를 사용하여 신선편이 제품으로 가공 할 때 33.4%의 가공 수율을 유지하였다(Fig. 5). 저장 산물의 생체 중량이 5~10%까지 줄어들면 상품성을 상실하게 된다. 1차 실험 결과 적숙구와 과숙구는 저장 5주 후 중량 감소율은 각각 1.8%와 1.7%로 비슷하였고, 2차 실험 결과에서도 적숙구와 과숙구의 중량 감소율은 큰 차이 없었으며, 3주간의 저장 기간 동안 미숙구의 중량 감소는 적숙구와 과숙구에 비해 낮은 경향을 보였다(Fig. 6). 일반적으로 결구상추는 잎이 연약하여 쉽게 씹을 수 있고 조직감과 향취 때문에 90% 이상 샐러드용으로 사용되고 있다(Kim 등, 1995). 1차 실험결과 결구상추 잎의 경도는 적숙구와 과숙구 사이에 유의적 차이가 없었다. 2차 실험 결과 미숙구가 4.9 N로 적숙구와 과숙구 보다 낮게 측정되었으며 적숙구와 과숙구의 경도는 유사한 수준으로 1차 실험결과와 일치하였다(Fig. 7). Yoon 등(2007)에 따르면 결구 형성 초기 시점의 결구상추의 경도가 3.0 N 이었던 반면 결구가 성장하면서 출하 시점에서는 약 6.0 N으로 증가되었다. 경도는 저장기간 중 거의 변하지 않았으나 수분 손실로 겉잎의 조직이 질겨지는 현상이 발생하기도 하였다. 결론적으로 결구상추의 경도는 미숙기에 수확된 결구 잎의 조직이 연하였고 적숙기를 기준으로 수확기가 더 늦어질 경우에도 잎의 경도는 더 이상 증가하지 않았다.

2차 실험에서는 미숙, 적숙, 과숙 상태에서 수확한 결구상추를 각각 3주간 5°C에 저장한 후 신선편이 가공하여 5°C에 보관하면서 품질 변화를 측정하여 수확직후 신선편이 가공한 경우와 비교하였다. 신선편이 결구상추의 중량 감소는 5°C 유통 온도에서 3일 후까지 2% 이하의 중량 감소를 나타내었고 그 이후에는 중량 감소가 더 이상 발생하기 없었으며 저장 3주된 원료를 사용하여 신선편이 가공한 경우 수확직후 가공한 경우에 비해 중량감소가 크게 발생하는 경향이었으나 그 차이는 그리 크지 않았다(Fig. 8). 수확직후 신선편이 한 경우 저장 초기에 당도가 하락하였고, 3주 저장한 원료를 사용한 경우 저장기간 중 당도의 변화가 없었다(Fig. 9). 원료의 속도가 신선편이 제품의 갈변에 미치는 영향은 없었으나 신선한 원료를 사용할 때에 비해 저장된 원료를 사용하여 가공된 경우에는 신선편이 가공 후 유통 기간 중 갈변 증상이 더 급격히 나타났다(Fig. 10).

결구상추는 미숙한 상태에서 수확할 경우 조직감이 연한 장점이 있으나 저장 중 부패가 크게 발생하였고, 과숙한 상태에서 수확할 경우 저장 중 갈변이 상대적으로 크게 발생하였다. 이러한 원인에 의해 적숙 상태가 아닌 경우 저장된 원료를 이용하여 신선편이 가공할 때 가공수율이 급격히 감소하는 결과가 발생된다. 따라서 결구상추는 적숙구(70~

80% 결구)에 수확하여 저장 할 때 저장 중 부패 및 갈변의 발생이 적어 저장에 유리하며 신선편이 가공을 위한 원료로서의 상품가치가 유지되는 것으로 판단되었다. 또한 수확 시 결구 정도와는 관계없이 신선편이 가공에 사용되는 원료가 장기간 저장된 경우에는 신선편이 제품의 절단면에서 발생하는 갈변이 급증되므로 신선편이 가공을 위한 원료는 장기 저장된 것을 사용하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

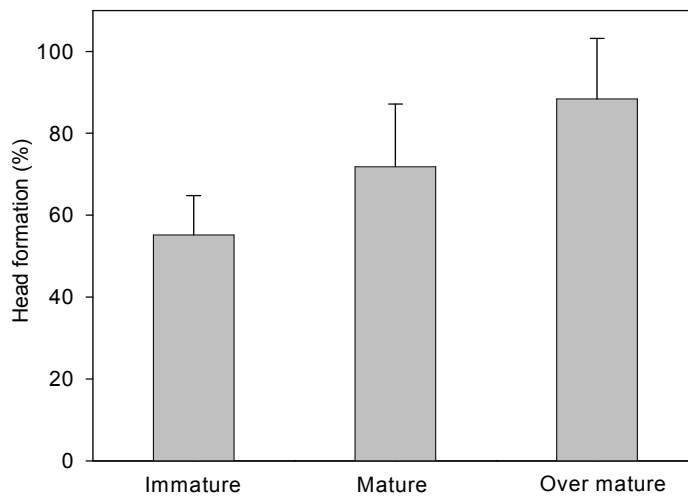


Fig. 1. The rate of head formation of head lettuce in immature, mature, or over-mature stage at harvest. Data are means±SE (n=3).

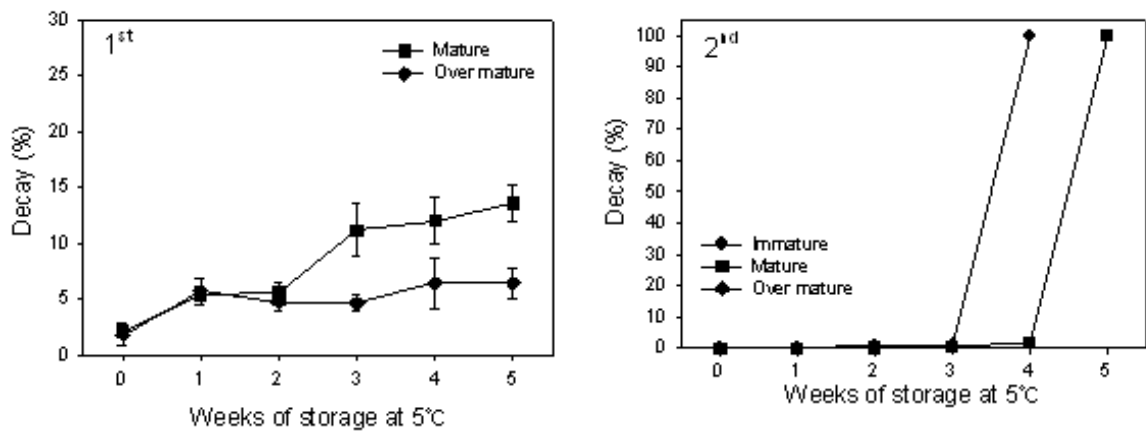


Fig. 2. Effect of maturity at harvest on the change in decay of head lettuce during storage at 5°C. Data are means±SE (n=3). 1st test was done with lettuces cultured in Kangwon-do, Korea, and harvested in August, 2006. 2nd test was done with lettuces cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

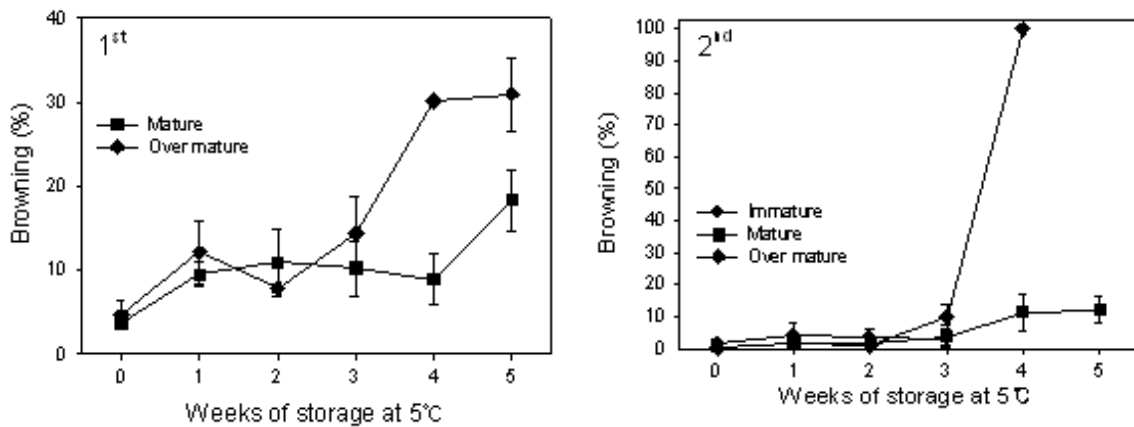


Fig. 3. Effect of maturity at harvest on the change in browning of head lettuce during storage at 5°C. Data are means±SE (n=3). 1st test was done with lettuces cultured in Kangwon-do, Korea, and harvested in August, 2006. 2nd test was done with lettuces cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.



Fig. 4. Picture presentation of browning in inner part of head lettuce harvested at over-mature stage during storage at 5°C.

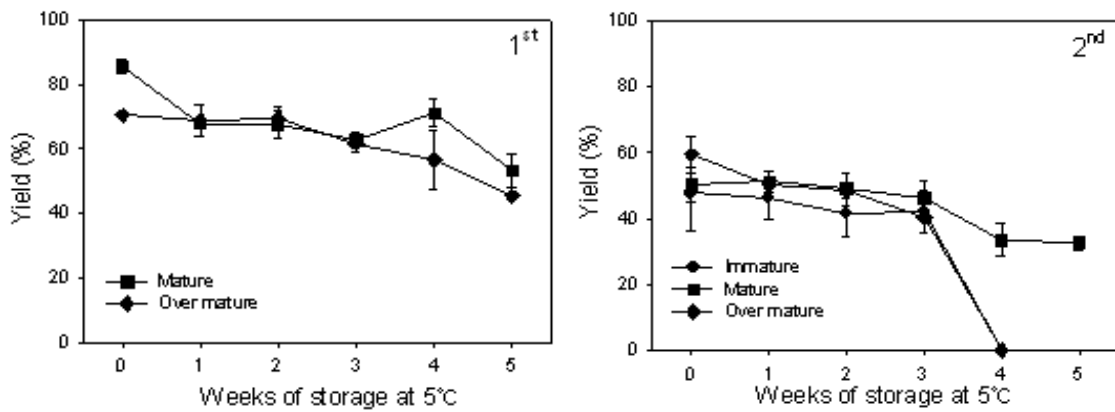


Fig. 5. Effect of maturity at harvest on the change in fresh-cut processing yield of head lettuce during storage at 5°C. Data are means±SE (n=3). 1st test was done with lettuces cultured in Kangwon-do, Korea, and harvested in August, 2006. 2nd test was done with lettuces cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

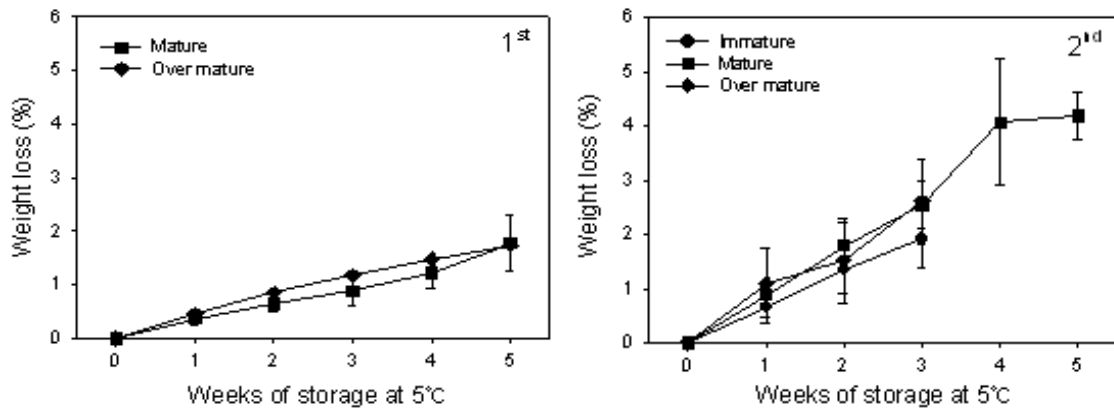


Fig. 6. Effect of maturity at harvest on the change in weight loss of head lettuce during storage at 5°C. Data are means \pm SE (n=3). 1st test was done with lettuces cultured in Kangwon-do, Korea, and harvested in August, 2006. 2nd test was done with lettuces cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

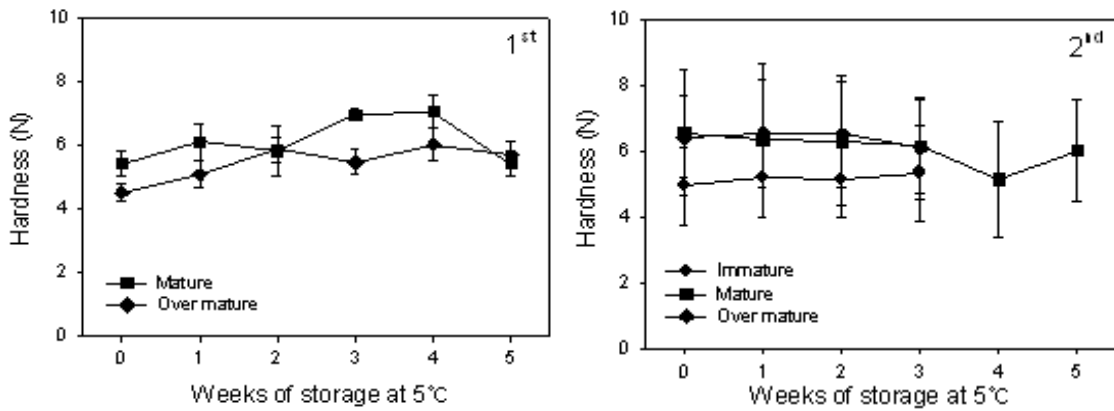


Fig. 7. Effect of maturity at harvest on the change in hardness of head lettuce during storage at 5°C. Data are means \pm SE (n=3). 1st test was done with lettuces cultured in Kangwon-do, Korea, and harvested in August, 2006. 2nd test was done with lettuces cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

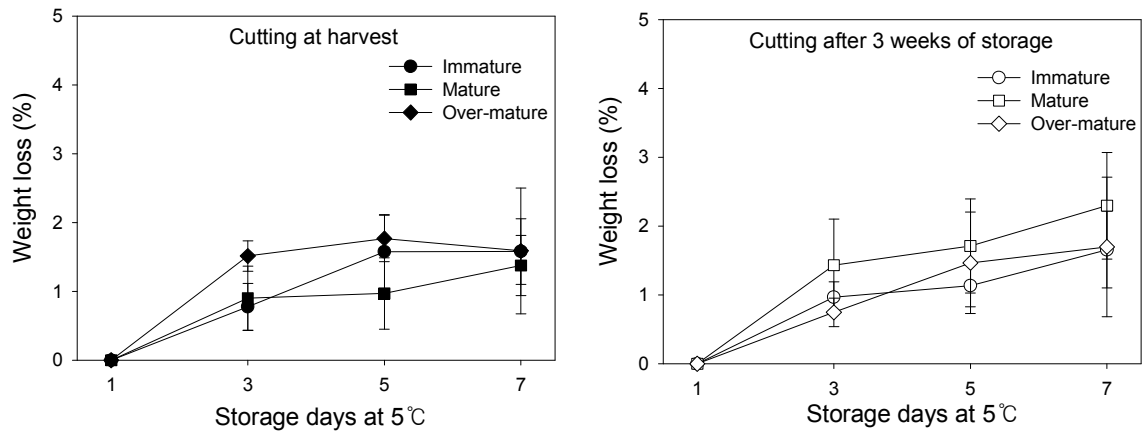


Fig. 8. Effect of storage period of whole lettuce harvested at immature, mature, or over-mature stage on the weight loss of fresh-cut product during storage at 5°C. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

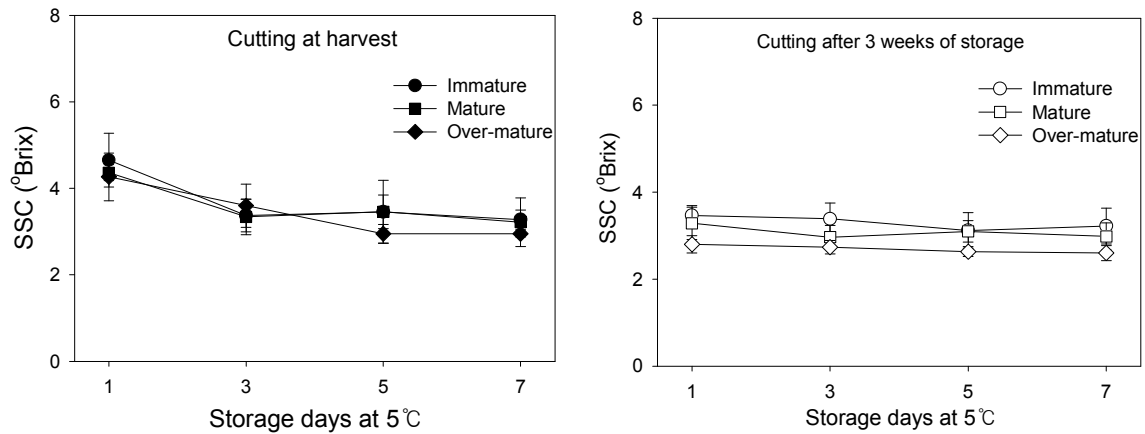


Fig. 9. Effect of storage period of whole lettuce harvested at immature, mature, or over-mature stage on the SSC of fresh-cut product during storage at 5°C. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

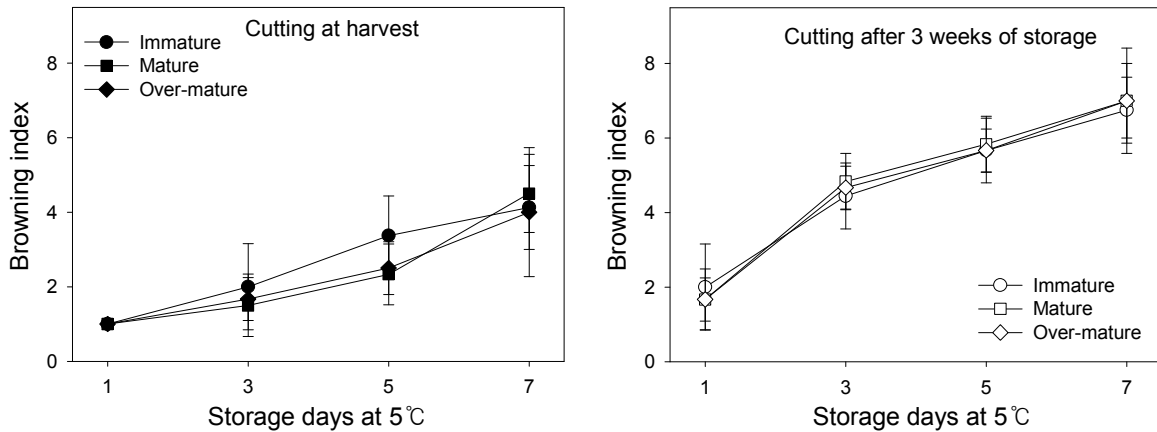


Fig. 10. Effect of storage period of whole lettuce harvested at immature, mature, or over-mature stage on the browning of fresh-cut product during storage at 5°C. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do, Korea, and harvested in October, 2007.

과숙과 미숙 상태의 결구상추가 가지는 품질 특성을 비교하기 위해 결구 정도가 현격히 다른 미숙구(50%)와 과숙구(90%)를 수확한 후 신선편이 제품으로 가공하여 저장하면서 품질변화 정도를 비교하였다. 수확직후 각 실험구의 전도도, 경도, 갈변, 부패, total phenolic compounds를 측정하였으며 신선편이 한 후 5°C에 저장하면서 3일 간격으로 갈변, 부패 등의 신선도 변화 양상을 조사하였다. 90% 숙도의 결구상추의 경도는 6.5 N으로 미숙기에 수확된 결구상추의 3 N보다 2배 이상 높았다(Fig. 11). 원료의 전도도는 미숙구가 약 30%로서 과숙구보다 약 2배 높아 미숙구의 세포막 건전도가 과숙구에 비해 낮은 상태임을 알 수 있었다(Fig. 12). 이와 같이 숙도가 다른 두 원료를 사용하여 신선편이 가공한 후 5°C에 6일간 보관하면서 갈변 정도를 측정한 결과 90% 숙도에서 수확한 과숙구의 갈변이 더 빠르게 발생하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 13). 갈변은 신선편이 제품의 신선도를 좌우하는 중요한 요인이 되며 주로 phenol성 화합물이 polyphenol oxidase에 의하여 산화되어 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 신선편이 제품의 저장 중 페놀화합물 함량의 변화를 살펴본 결과 과숙구(숙도 90%)의 페놀화합물 함량이 원료 상태에서는 크게 다르지 않으나 신선편이 가공 후 저장기간 중 미숙구에 비해 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다(Fig. 14). 신선편이 제품의 저장 중 과숙구에서는 저장 6일 동안 부패가 발생하지 않은 반면 미숙구에서는 3일 후 부터 부패가 발생하기 시작하여 6일 후에는 부패 정도가 매우 높았다(Fig. 15). 신선편이 제품의 품질 변화를 육안으로 관찰하면 과숙구는 저장 3일 후 부터 절단면의 갈변이 발생하여 6일 후엔 그 정도가 매우 심하였고, 미숙구는 절단면의 갈변은 미미하게 발생하지만 부패로 인해 상품성이 상실되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 16).

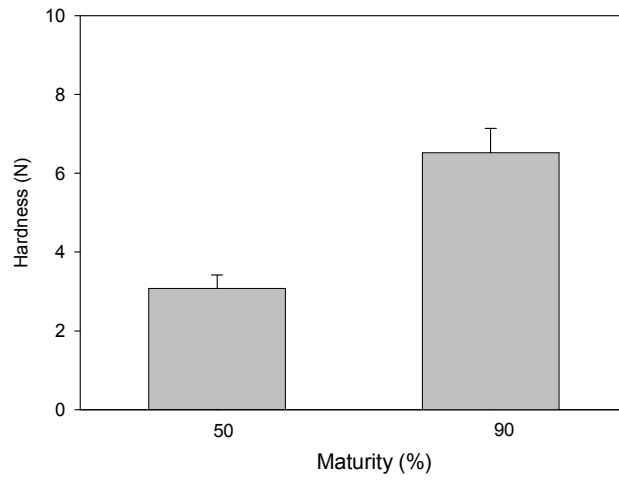


Fig. 11. The hardness of lettuce harvested at immature (50%) and over-mature (90%) stages.

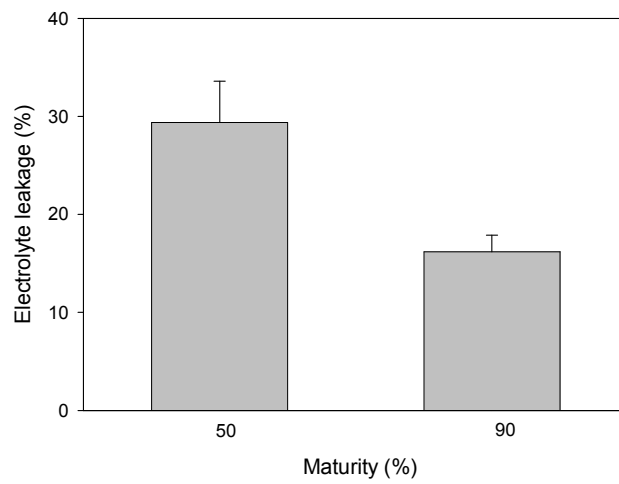


Fig. 12. The electrolyte leakage of lettuce harvested at immature (50%) and over-mature (90%) stages.

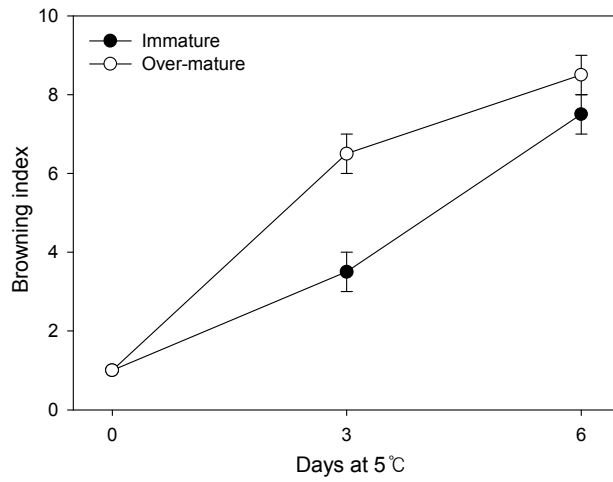


Fig. 13. The change in browning of fresh-cut products processed with immature of over-mature whole lettuce during storage at 5°C.

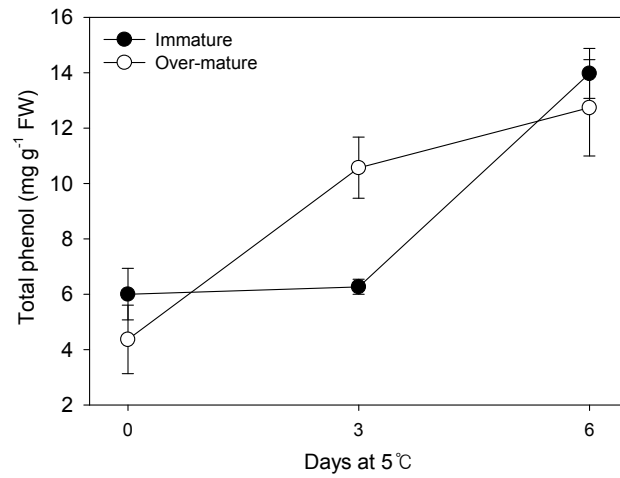


Fig. 14. The change in total phenol of fresh-cut products processed with immature of over-mature whole lettuce during storage at 5°C.

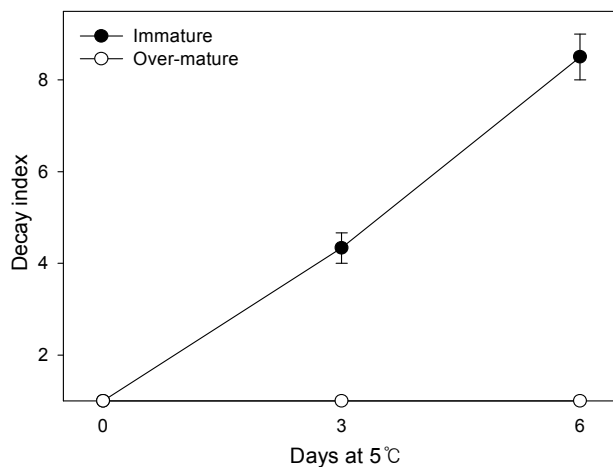


Fig. 15. The change in decay of fresh-cut products processed with immature of over-mature whole lettuce during storage at 5°C.

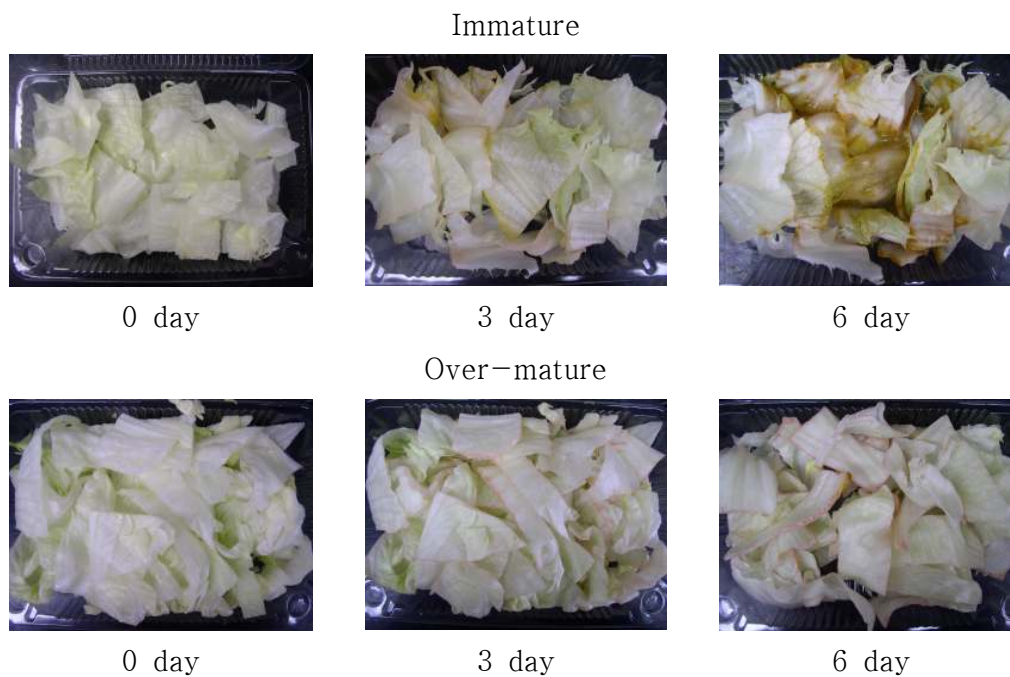


Fig. 16. Picture presentation of fresh-cut products processed with immature of over-mature whole lettuce during storage at 5°C.

2. 수확 방법 및 원료의 적재 방식 개선 연구

결구상추를 수확할 때 신선편이 가공의 재료가 될 결구엽에 포기엽(wrapper leaf)을 2매 붙여 수확하는 것이 보통이나 포기엽에 의한 중량 증가와 신선편이 가공 과정에서의 폐기물 발생량이 증가하는 이유로 포기엽을 완전히 제거하고 결구엽만 수확하기도 한다. 포기엽의 유무가 원료의 저장력에 미치는 영향에 대해서는 비교·분석된 바 없으므로 이에 대한 자료를 현장에 제공하여 수확 후 관리에 적용하기 위해 본 실험을 수행하였다. 고령지 지역에서 재배된 ‘유레이크’ 품종을 관행적기에 포기엽을 2매 남기고 수확한 실험구와 포기엽을 완전히 제거한 후 결구엽만 수확한 실험구를 각각 5°C에 두어 6주 동안 저장하면서 부패, 신선편이 가공수율, 갈변, 중량감소 및 경도의 변화를 비교·조사하였다.

포기엽을 남기고 수확한 경우 결구엽만 수확한 실험구에 비해 저장 중 부패가 높게 발생하였다(Fig. 1). 결구상추의 수확 및 운송 과정에서 포기엽이 수확과정이나 운송시 물리적 자극을 직접 받기 때문에 이러한 결과가 나타나는 것으로 추측된다. 그러나 포기엽을 남기고 수확한 경우에는 저장 중 포기엽에서만 부패가 발생하고 내부의 결구엽은 물리적 충격으로부터 보호되므로 부패가 매우 적게 발생하므로 결구엽의 품질은 우수하게 유지되었다. 이에 반해, 포기엽을 완전히 제거하고 결구엽만 수확한 경우에는 결구엽 자체가 부패되는 결과를 초래하였다. 저장기간 동안 1주일 간격으로 꺼내어 신선편이 가공한 후 신선편이 제품의 중량을 측정하여 원료의 총 중량에 대한 백분율로 환산하는 방법으로 신선편이 가공 수율을 측정하였다. 이 때 원료의 총 중량은 두 실험구 모두 결구엽의 중량만을 측정하였다. 결구엽만 수확한 경우 수확 또는 운송시에 입은 물리적 상처 및 부패로 인해 수율이 초기부터 80%에 머물렀으며 포기엽을 붙여 저장한 경우에는 이보다 수율이 조금 높은 경향이였다(Fig. 2).

저장 중 수율의 변화를 살펴보면 포기엽을 제거한 실험구의 수율이 3주 후부터 급격히 낮아지는 경향을 보였으며, 포기엽과 함께 수확한 실험구는 수율의 감소가 완만하여 상대적으로 수율이 높게 유지되었다. 결구상추는 저장 기간 동안 주륜 부위를 중심으로 갈변이 발생하는데 포기엽을 남겨 수확한 실험구는 포기엽 부위에서 초기부터 갈변 증상이 관찰되었으나 이는 신선편이 가공에 사용될 부분이 아니므로 신선편이 가공을 위한 원료로서 문제가 되지 않았고, 저장 후기에는 포기엽의 유무에 따른 갈변의 차이가 없었다(Fig. 3). 포기엽을 완전히 제거하고 결구엽만 저장한 경우 저장 중 중량감소가 더 증가하였으며, 포기엽이 결구엽의 수분손실을 억제하는 기능을 하는 것으로 나타났다(Fig. 4).

저장 5주후부터는 결구엽만 저장한 실험구의 경도가 증가하는데 이는 수분 손실에 의해 조직이 질겨진 것이 원인인 것으로 판단되었다(Fig. 5). 따라서 결구상추의 수확시 포기엽을 완전히 제거하지 않고 1~2매 정도를 남겨 수확하면 수확 후 작업 과정에서 발생하는 물리적 자극으로부터 결구엽을 보호하고 저장 기간 중 결구엽에서 발생하는 수분

손실을 억제함으로써 부패와 중량감소를 경감시킬 수 있었다.

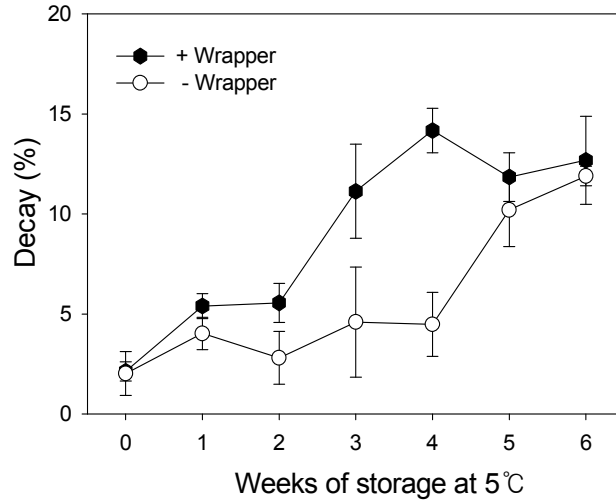


Fig. 1. Effect of wrapper leaf on the change in decay of lettuce during storage at 5°C.

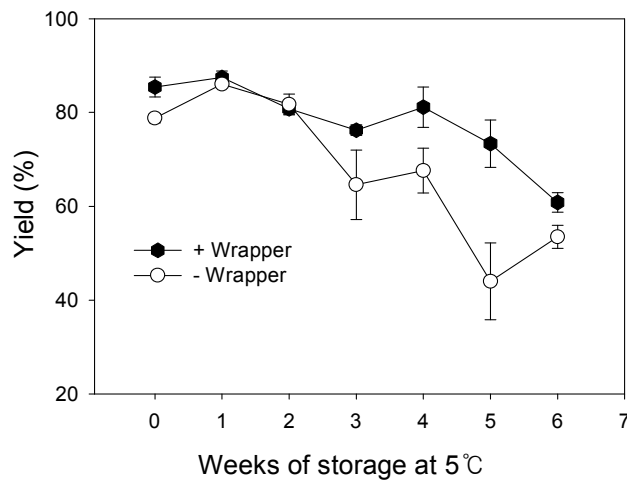


Fig. 2. Effect of wrapper leaf on the change in fresh-cut processing yield of lettuce during storage at 5°C.

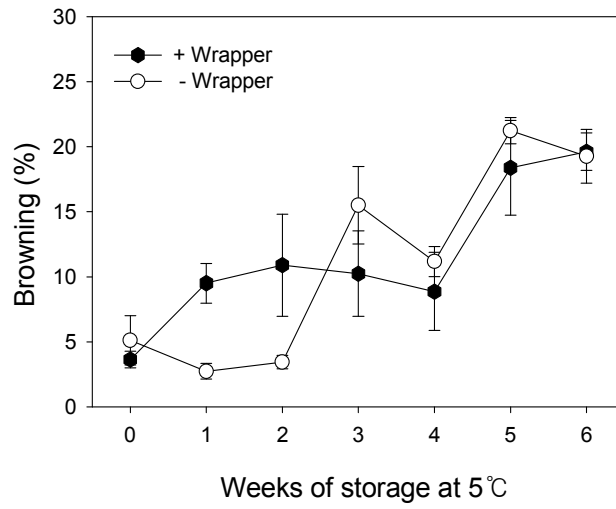


Fig. 3. Effect of wrapper leaf on the change in browning of lettuce during storage at 5°C.

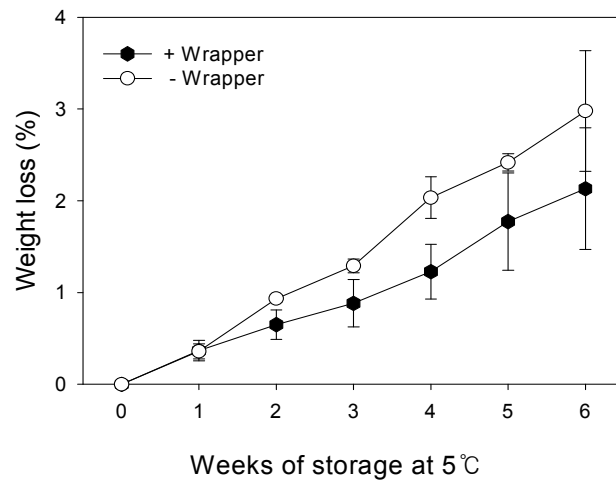


Fig. 4. Effect of wrapper leaf on the change in weight loss of lettuce during storage at 5°C.

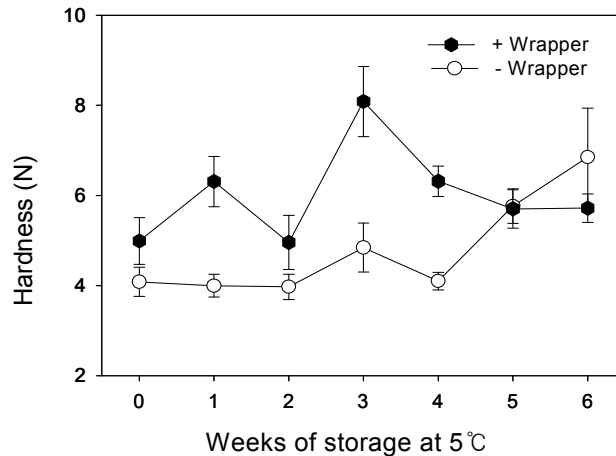


Fig. 5. Effect of wrapper leaf on the change in hardness of lettuce during storage at 5°C.

결구상추의 부패 및 갈변은 주로 물리적 자극에 의한 상처에서 비롯되므로 이를 최소화하기 위해 수확 후 수송 및 저장에 사용되는 상자의 재질 및 적재 방식을 개선하여 저장 중 품질 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 현장에서는 일반적으로 플라스틱 상자에 12 포기씩 2단으로 적재하는데 이 때 원료와 상자, 그리고 원료와 원료 사이의 마찰에 의해 물리적 상처가 많이 발생된다. 이러한 현행 방식을 대조구로 설정한 후 플라스틱 상자에 6포기씩 1단으로 적재하는 실험구와 물리적 상처를 최소화할 수 있을 것으로 기대되는 스티로폼 상자에 6포기씩 1단 적재하는 실험구를 두어 저장 중 품질의 변화를 비교·분석하였다. 이 때 결구상추는 선행연구의 결과를 적용하여 포기엽을 2매 남기고 수확한 것을 사용하였다. 예상한 바와 같이 플라스틱 상자에 2단으로 적재할 경우 부패, 갈변, 가공수율, 중량 감소가 크게 발생하였으며 동일 재질의 상자에 1단으로 적재할 경우 이러한 품질 변화가 억제되는 효과가 있었다.

결구상추의 부패율은 저장기간 동안 지속적으로 증가하여 대조구의 경우 6주 후에는 15%의 부패율을 나타내었는데 플라스틱 상자에 1단 적재한 실험구는 이제 비해 부패가 억제되는 효과가 나타났다(Fig. 6). 스티로폼 박스에 1단 적재한 실험구는 대조구에 비해 부패가 억제되는 효과가 없었고 저장 6주 후에는 오히려 100%의 부패율을 나타내었다. 플라스틱 상자에 1단 적재할 때 대조구에 비해 저장기간 중 갈변 발생이 경감되는 효과가 있었고 스티로폼 상자에 1단 적재한 경우에는 저장 2주 후까지는 플라스틱 상자에 1단 적재한 처리구와 같은 수준의 갈변율을 나타내었으나 3주후부터 갈변율이 증가하여 5주 후에는 가장 높은 갈변율을 나타내었다(Fig. 7). 신선편이 가공수율은 저장 초기 동안

에는 상자의 재질 및 적재 방식에 관계없이 비슷한 수준이었으나 저장 5주 후 부터는 스티로폼 상자에 1단 적재한 실험구의 가공수율이 급격히 감소하여 50% 이하로 가장 낮았다(Fig. 8). 이는 스티로폼 상자에 적재할 때 부패와 갈변이 증가한 것이 원인이 되었다. 결구상추는 수분 손실량이 증가하면 외관과 조직감이 나빠지므로 이를 최소화하는 것이 중요하다. 본 실험구 중 플라스틱 상자에 2단 적재한 경우 중량감모가 가장 컸다(Fig. 9). 결구상추의 경도는 최외엽(1st leaf)과 제2외엽(2nd leaf)을 대상으로 측정하였는데 수확 후 운송 및 저장에 사용하는 상자의 재질 및 원료의 적재 방식에 따른 영향이 없는 것으로 나타났다(Fig. 10). 외부의 충격을 완화할 수 있는 스티로폼 상자를 사용할 경우 물리적 충격이 경감되어 저장력이 향상될 것으로 기대하였으나 저장 초기의 품질유지 수준은 플라스틱 상자에 1단 적재한 실험구와 유사한 정도에 머물렀으며 저장 후기에는 부패 및 갈변 정도가 오히려 급격히 증가하여 저장기간이 가장 짧았다. 통기구가 많이 확보된 플라스틱 상자는 상자 내부와 외부간에 공기의 흐름이 원활하나 스티로폼 상자의 경우 통기구가 있다 하더라도 상자 내부와 외부의 공기 흐름이 제한적으로 이루어지므로 저장기간이 길어지면 작물의 호흡열과 호흡에 의해 발생한 이산화탄소가 상자 내부에 축적되어 급격한 품질 하락을 일으키는 원인으로 작용할 것으로 추측된다. 따라서 플라스틱 상자에 12포기씩 2단으로 적재하는 관행방식을 개선하여 6포기씩 1단으로 적재할 때 물리적 상처를 억제하여 부패를 줄이고 갈변을 감소시키는 효과가 있다. 특히, 신선편이 가공을 위한 원료 저장시 결구잎만을 수확하여 저장할 때에는 1단 적재방식이 신선편이 가공수율을 높이는 효과가 더욱 클 것으로 예상된다.

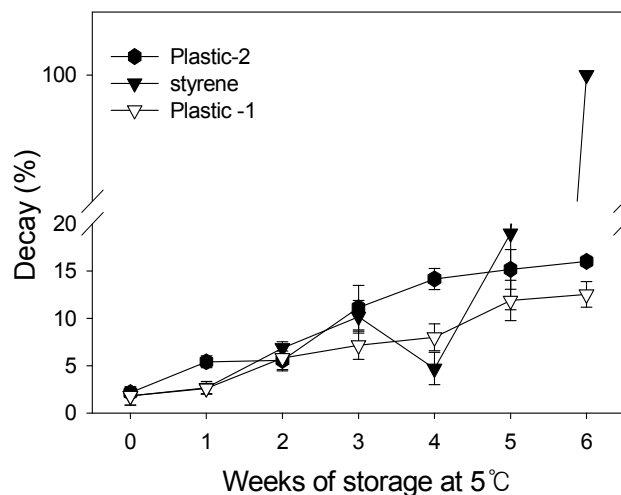


Fig. 6. Effect of packing box material and loading type on the decay of lettuce during storage at 5°C.

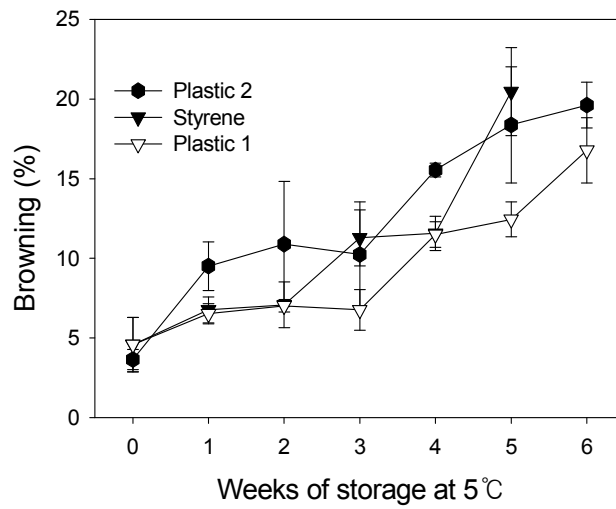


Fig. 7. Effect of packing box material and loading type on the browning of lettuce during storage at 5°C.

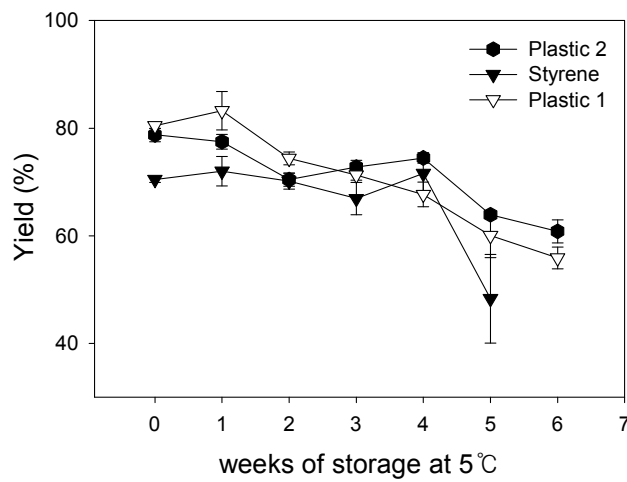


Fig. 8. Effect of packing box material and loading type on the fresh-cut processing yield of lettuce during storage at 5°C.

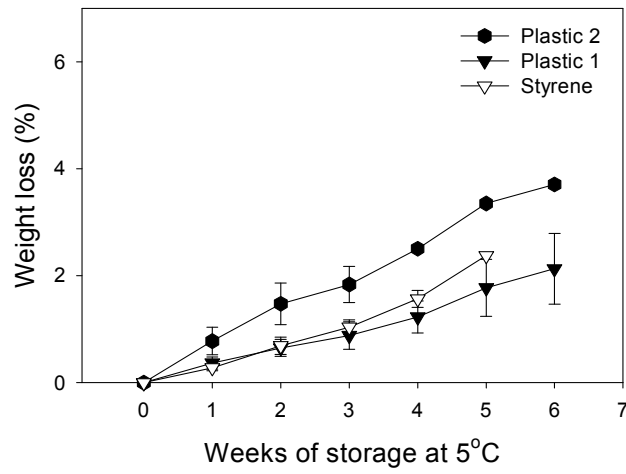


Fig. 9. Effect of packing box material and loading type on the weight loss of lettuce during storage at 5°C.

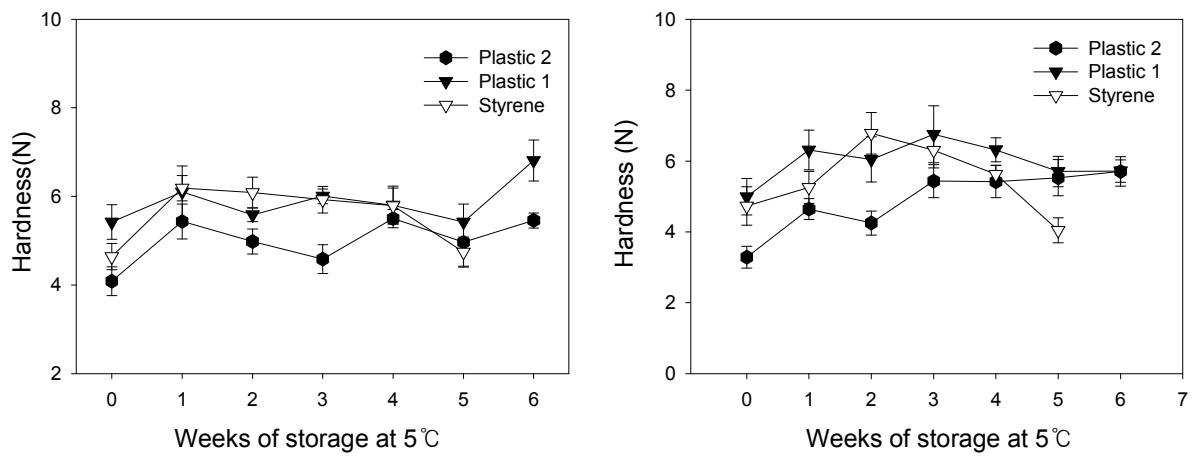


Fig. 10. Effect of packing box material and loading type on the hardness in 1st(left) and 2nd(right) leaves of lettuce during storage at 5°C.

3. 결구상추의 품종별 품질 특성 조사

국내에서는 결구상추의 신선편이 가공을 위한 품종이 별도로 도입되어 있지 않고 기존에 원물 자체로 유통하기 위한 목적으로 재배되어 온 품종을 그대로 신선편이 가공을 위한 원료로 사용하고 있다. 현재 국내에 도입되어 재배되고 있는 주 품종은 ‘유레이크’, ‘텍사스 그린’, ‘시크라멘트’, ‘시스코’이며 이 중 ‘시크라멘트’와 ‘시스코’는 겨울철 재배에 적합하며 여름철 재배는 주로 고령지 지역에서 ‘유레이크’와 ‘텍사스 그린’이 재배되고 있으며 두 품종 중 ‘유레이크’ 품종이 주로 재배되고 있다. 현재 재배되고 있는 품종의 신선편이 가공 적합성이나 원료로서의 저장성에 대한 검토가 필요하므로 이 두 품종을 적기(결구율 80%)에 수확한 후 저장력 및 가공 특성을 비교하였다.

두 품종 모두 저장 중 중량 감모 수준은 유사하였다(Fig. 1). 저장 중 원료에 발생하는 갈변율은 두 품종간 차이가 있었는데 ‘유레이크’ 품종에 비해 ‘텍사스 그린’ 품종이 저장 기간 중 갈변이 적게 발생하였다(Fig. 2). 경도를 각각 측정한 결과 ‘텍사스 그린’ 품종의 경도가 더 높았고 두 품종 모두 저장 중 경도의 변화는 없었다(Fig. 3). 저장 중 부패율은 조직이 연한 ‘유레이크’ 품종이 상대적으로 더 높았는데 저장 2주 동안에는 부패가 발생하지 않으나 3주 후부터 부패가 급증하였다. 이에 비해 ‘텍사스그린’ 품종의 부패는 낮은 수준이었다(Fig. 4). ‘텍사스 그린’ 품종은 저장 기간 동안 상대적으로 가공 수율이 높게 유지되는 반면 ‘유레이크’ 품종의 가공 수율은 저장 2주 후부터 급격히 하락하였다(Fig. 5). ‘유레이크’ 품종의 신선편이 가공 수율이 저장 기간이 길어질수록 상대적으로 급격히 낮아지는 것은 저장 중 갈변과 부패 발생이 더 높은 것이 원인이었다. 저장 중의 품질 인자의 변화를 살펴본 결과에 따르면 ‘텍사스 그린’ 품종이 현재 고령지 지역에 주로 재배되고 있는 ‘유레이크’ 품종에 비해 조직이 단단하고 갈변과 부패가 느리게 진행되므로 신선편이 가공에 이용하기가 더 우수한 것으로 보이나 신선편이 제품으로서 소비자 선호도에 대해서는 별도의 검토가 필요하였다. 따라서 신선편이 제품에 대한 소비자 선호도 조사를 실시한 결과 ‘유레이크’ 품종에 대한 선호도가 더 높았으며(Fig. 6), 이에 대한 이유에 대해서는 ‘유레이크’ 품종이 가지는 연한 조직감 때문이라는 답이 대다수를 차지하였다(자료 미제시). ‘텍사스 그린’ 품종은 조직이 강하고 저장 중 품질 변화가 적다는 장점이 있으나 강한 조직감 때문에 신선편이 가공 제품으로서의 선호도는 낮아지는 단점을 가지고 있었다.

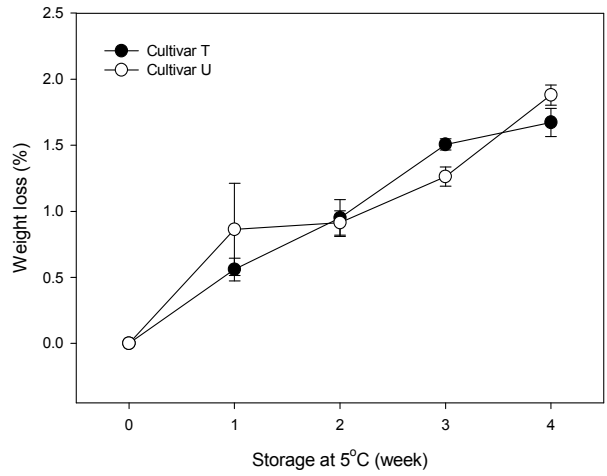


Fig. 1. Effect of cultivars on the change in weight loss of lettuce during storage at 5°C.

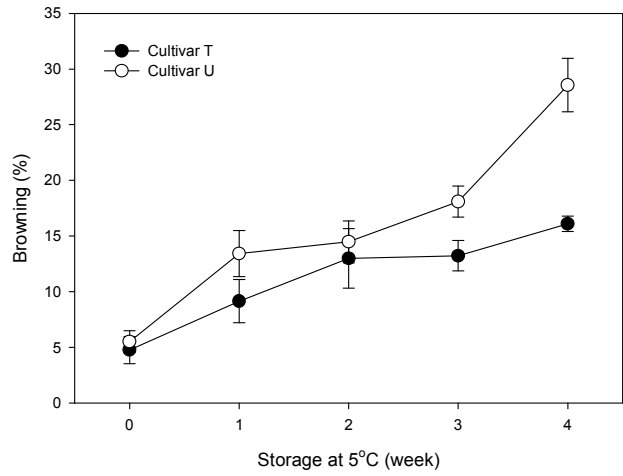


Fig. 2. Effect of cultivars on the change in browning of lettuce during storage at 5°C.

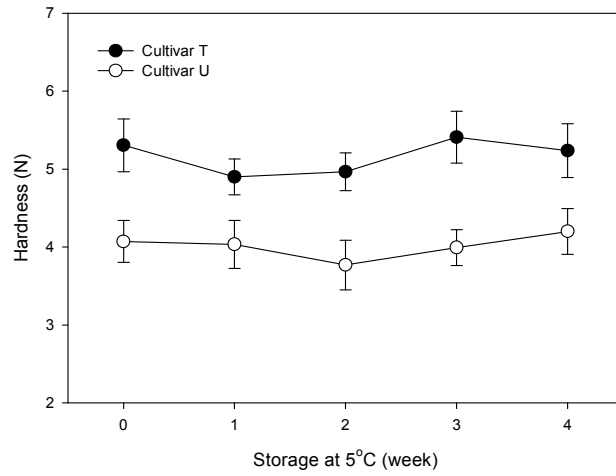


Fig. 3. Effect of cultivars on the change in hardness of lettuce during storage at 5°C

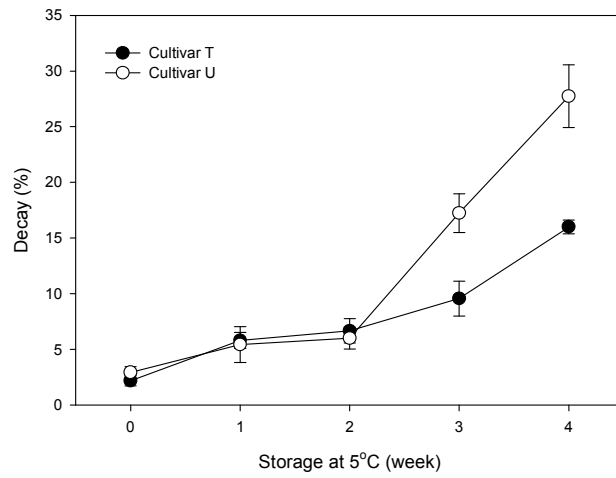


Fig. 4. Effect of cultivars on the change in decay of lettuce during storage at 5°C.

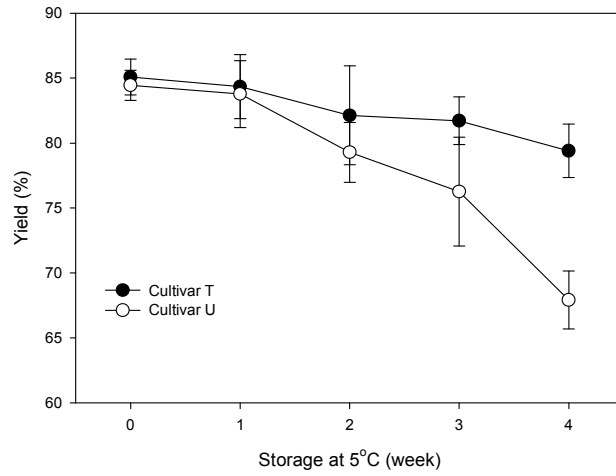


Fig. 5. Effect of cultivars on the change in yield after fresh-cut processing of lettuce during storage at 5°C.

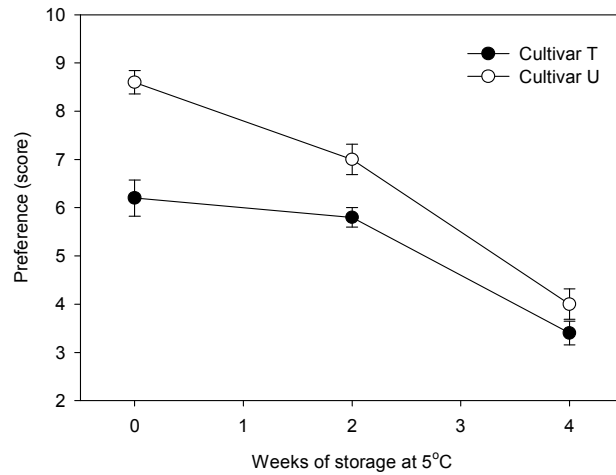


Fig. 6. Effect of cultivars on the preference of fresh-cut product processed with whole lettuce stored for 4 weeks at 5°C.

4. 재배기간 중 기상 조건이 품질에 미치는 영향 조사

결구상추는 일반적으로 파종 후 정식까지 약 30~35일 소요되고 정식 후 약 30~40일이 지나면 결구가 완성되어 수확된다. 본 연구에서는 결구상추의 재배기간 중 기상 조건이 품질 특성과 저장력에 미치는 영향을 살펴보기 위해 6월 15일, 6월 27일, 7월 15일, 8월 2일에 파종한 후 각각 7월 15일, 7월 30일, 8월 20일, 9월 5일에 정식하였으며 결구가 완성된 8월 29일, 9월 6일, 9월 21일 및 10월 10일에 수확한 후 5°C에 저장하면서 품질 변화를 비교·조사하였다(Table 1). 고령지 지역의 6월 이후 하절기 동안의 평균 온도, 최고 온도, 및 강우량을 조사하고 재배기간 동안의 기상 조건이 수확 후 저장력에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

8월 27일에 수확한 실험구의 정식 후 생육기간인 7월 중순~8월 하순 동안은 평균온도와 낮 최고 온도가 매우 높았고 8월 하순부터 평균온도가 낮아지기 시작하여 10월 10일 수확한 실험구의 정식 후 생육기간인 9월 5일 이후에는 낮 최고 온도 및 평균 온도가 현저히 낮아지는 경향이였다(Fig. 1). 따라서 8월 27일에 수확한 결구상추는 고온기에 10월 10일 수확한 결구상추는 저온기에 재배된 것으로 추정할 수 있었다. 강수량의 변화를 살펴보면 6월 말부터 강수량이 증가하기 시작하여 7월 한 달 동안 집중 강우 현상이 나타났고 7월말부터는 강수일이 적고 강수량도 매우 낮아 건조한 기후를 보였다. 수확된 결구상추의 경도는 저장 중 변화가 거의 발생하지 않았고 4주 후 경도를 비교한 바에 따르면 8월 27일과 9월 6일 수확된 결구상추는 9월 21일과 10월 10일에 수확한 결구상추의 경도에 비해 매우 낮은 결과를 나타내었다(Fig. 2). 고온다습한 환경에서 재배된 두 실험구(8월 27일, 9월 6일 수확)의 경도가 가장 낮고 강수량이 적어진 시기에 재배된 9월 21일 수확구의 경도가 가장 높았으며 그 후 평균온도가 낮아진 시기에 재배된 10월 10일 수확구의 경도는 다시 낮아지는 경향이였다. 각 수확된 결구상추의 4주간 저장 후 갈변 정도를 조사한 결과 8월 27일에 수확한 결구상추는 17%의 갈변을 보였으며 9월 6일 이후 수확한 세 실험구는 이에 비해 약 50% 정도 갈변이 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3). 저장 5주 후 부패율을 살펴보면 8월 27일과 9월 6일에 수확한 결구상추는 100%에 가까운 부패율을 보였고 9월 21일과 10월 10일에 수확한 결구상추는 10% 이내의 부패율을 나타내어 수확기에 따른 차이가 매우 큰 결과를 보였다(Fig. 4). 따라서 고온 다습한 환경이 저장 중 부패율에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 판단할 수 있었다. 결구상추의 신선편이 가공시 가공 수율은 8월 27일 수확할 때 50% 이하로 가장 낮았으며 9월 6일과 9월 21일 수확한 경우 가공 수율이 높았고 그 후 10월 10일 수확한 경우 다시 가공 수율이 다시 낮아지는 결과를 나타내었다(Fig. 5). 고온기에 재배될 경우 재배 중 병충해 위험 및 생리장해 발생을 우려하여 수확기를 앞당겨 미숙 상태에서 수확할 경우 결구가 채 형성되지 않은 상태로 수확하게 되는 경우가 있다. 이러한 상태의 결구상추를 신선편이 가공하면 준비단계에서 제거해야 하는 속잎이 적어 신선편이 가공 수율은 오히려 높게 나타나

기도 하지만, 본 실험에서는 고온기에 수확한 실험구는 부패 및 갈변이 현격하게 높게 발생하여 가공 수율이 낮은 결과를 나타내었다. 저장 4주 후 중량 감모율을 비교해 보면 8월 27일에 수확한 결구상추가 가장 높은 3.5%의 중량 감소를 나타내었고 그 이후에 수확한 실험구는 중량감소가 매우 낮았으나 9월 21일 수확한 결구상추는 2.5%의 중량감소를 보였다(Fig. 6).

Table. 1. The cultivation schedule of crisp head lettuce at high land in Korea.

과종	정식	수확
6월 15일	7월 15일	8월 27일
6월 27일	7월 30일	9월 06일
7월 15일	8월 20일	9월 21일
8월 02일	9월 05일	10월 10일

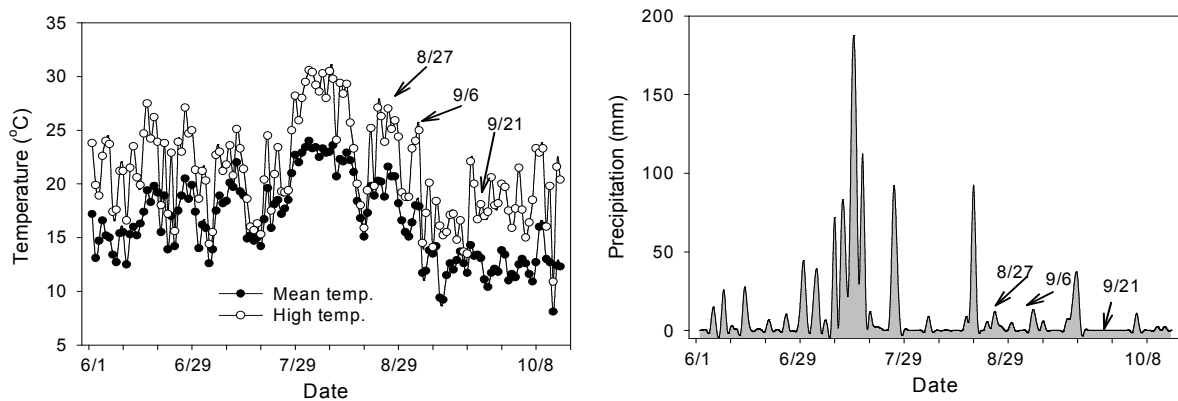


Fig. 1. Change in temperature and precipitation during summer season at high-land in Korea.

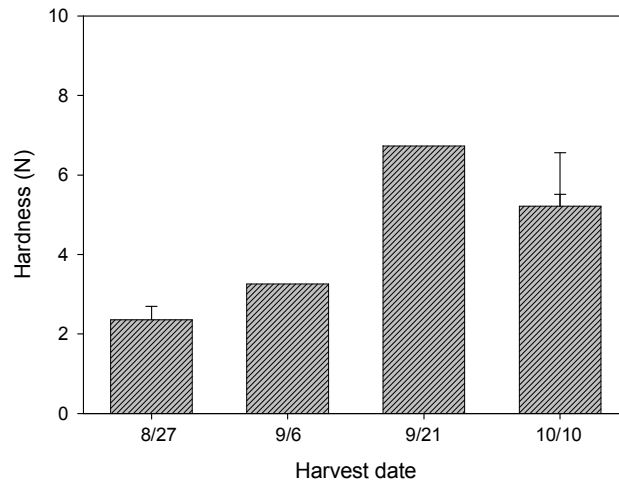


Fig. 2. Hardness of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C when harvested at different dates.

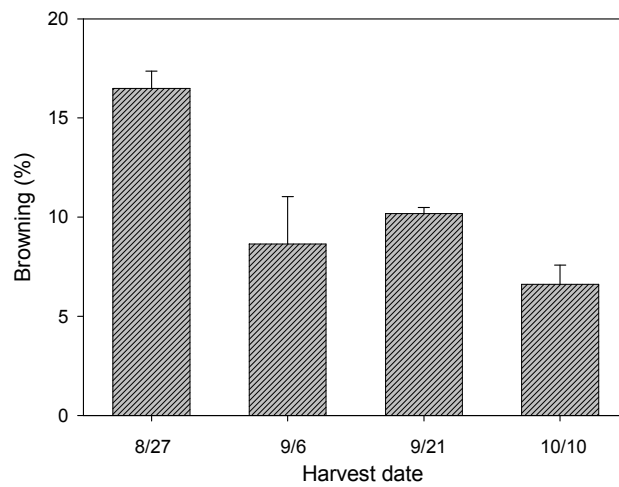


Fig. 3. Development of browning of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C when harvested at different dates.

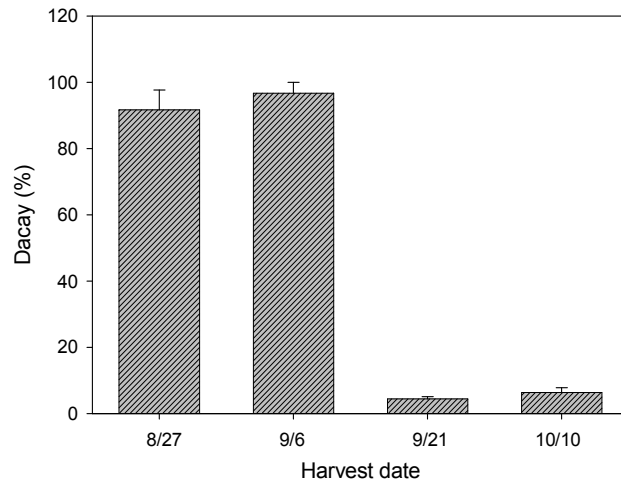


Fig. 4. Development of decay of lettuce after 5 weeks of storage at 5°C when harvested at different dates.

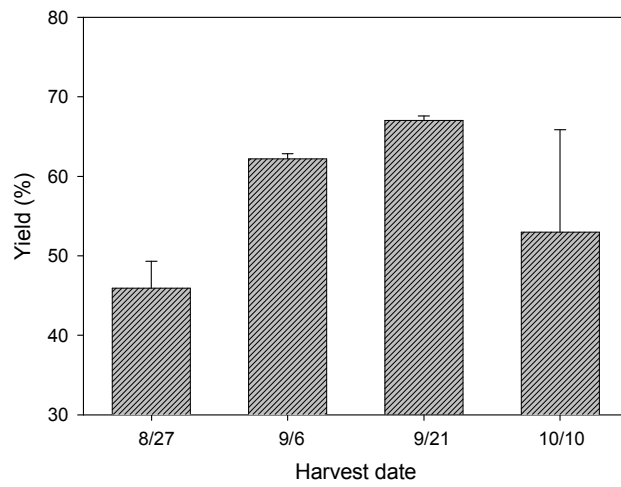


Fig. 5. Yield rate of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C when harvested at different dates.

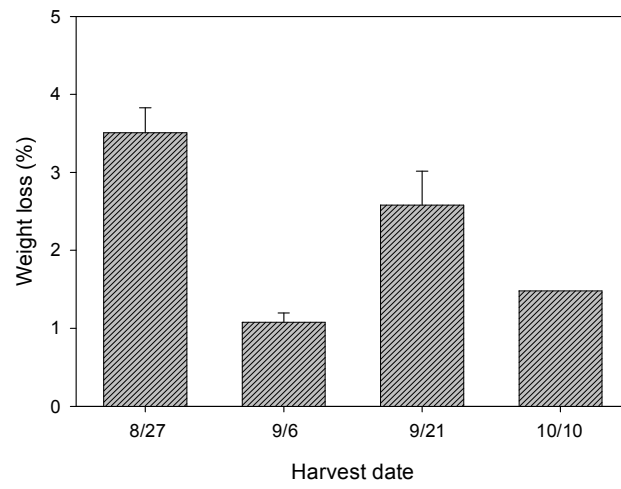


Fig. 6. Weight loss of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C when harvested at different dates.

5. 수확시 강우에 따른 예냉 효과 분석

하절기에 고령지 지역에서 재배된 '유레이크' 품종을 오전 10시에 수확한 후 플라스틱 상자에 2단으로 12포기씩 적재한 후 진공 예냉 장치(VCII-4P-07W, Kanaden, Japan)를 이용하여 결구상추의 중심 품온이 5°C로 하강할 때 까지 예냉한 후 5°C 저장고에 보관하였다. 1차 실험은 맑은 날 수확한 시료를 수확한 후 예냉 처리 하였으며 이 때 초기 품온은 19°C였다. 2차 실험은 비가 온 후 수확하여 실험에 사용하였으며 이 때 초기 품온은 17°C였다. 예냉 하지 않은 무처리구는 수확 직후 5°C 저온저장고에 보관하였으며 저장기간 중 품질 변화를 측정하여 하절기 고령지 지역에서 재배된 결구상추의 예냉 효과를 수확시 기상상태에 따라 비교 분석하였다. 결구상추의 저장 중 품질을 측정하는 인자로는 갈변, 중량감모, 부패, 가공수율을 측정하였고 저장된 원료를 사용하여 신선편이 가공한 후 5°C에서 3일간 저장한 후 갈변 정도를 비교하였다.

저장기간 중 원료의 갈변발생 정도를 측정한 결과 맑은 날 수확하여 예냉한 1차 실험구에서는 저장 초기에는 갈변율의 차이가 없었으나 4주 이후에는 무처리구의 갈변이 조금 더 심한 결과를 보였고, 비가 온 후 수확한 2차 실험구에서는 예냉 처리구에서 주로 결구상추의 주륜 부위가 갈변되는 현상이 나타났으며 저장 2주 이후에는 예냉 유무에 관계없이 갈변이 증가하는 결과를 나타내었다(Fig. 1). 기상이 양호한 때에 수확한 결구상추는 예냉시 중량감모가 상대적으로 적은 경향을 보였고 비가 온 후 수확한 결구상추는 예냉이 중량감모에 미치는 영향이 없었다(Fig. 2). 맑은 날 수확한 1차 실험구의 부패율은 예냉에 의한 영향이 없었으나 비가 온 후 수확한 경우에는 예냉 처리한 실험구에서 부패율이 감소되었다(Fig. 3). 비가 온 후 수확한 결구상추는 결구내부에 수분이 과다한 채 저장되므로 저장기간이 길어지면 과잉수분에 의해 부패가 증가하는 경향이 있으며, 진공 예냉시에는 품온의 온도가 하강하는 효과 뿐 아니라 수분이 제거되는 효과도 있어 부패가 억제된다. 고령지 지역은 하절기에 강우가 잦은 지역이므로 비가 온 후 수확을 하는 경우에는 진공 예냉을 하거나 혹은 필름 포장을 지연하는 방법으로 수분을 제거한 후 포장하는 것이 바람직 할 것으로 판단되었다. 원료의 저장에 따른 신선편이 가공 수율의 변화를 조사한 바에 의하면 일기가 양호한 때에는 예냉한 것이 우수하였고 강우 후에 수확한 경우에는 영향이 없었다(Fig. 4). 원료를 저장하면서 1주일 간격으로 꺼내어 신선편이 가공한 후 3일 동안 저장한 후에 갈변 정도를 조사한 결과 일기가 양호한 때에 수확한 시료에서는 예냉시 갈변이 소폭 경감되었으나 강우 후에 수확한 경우에는 오히려 예냉 처리구의 갈변이 더 높게 나타났다(Fig. 5). 강우 후에 예냉할 때 결구상추 옆의 주륜 부분이 붉게 변화하고 조직이 반투명해지는 증상이 관찰되었다(Fig. 6). 비가 온 후 수확된 결구상추는 잉여 수분이 진공예냉 동안 증발하면서 품온이 빠르게 떨어지므로 저온장해가 발생하여 신선편이 제품의 갈변을 증가시킨 원인이 된 것으로 추측된다. 따라서 비가 온 후 수확한 결구상추를 예냉할 때에는 건조한 상태에서 수확한 결구상추를 예냉할 때 보다 예

냉 온도를 높여 실시해야 할 것으로 추측된다.

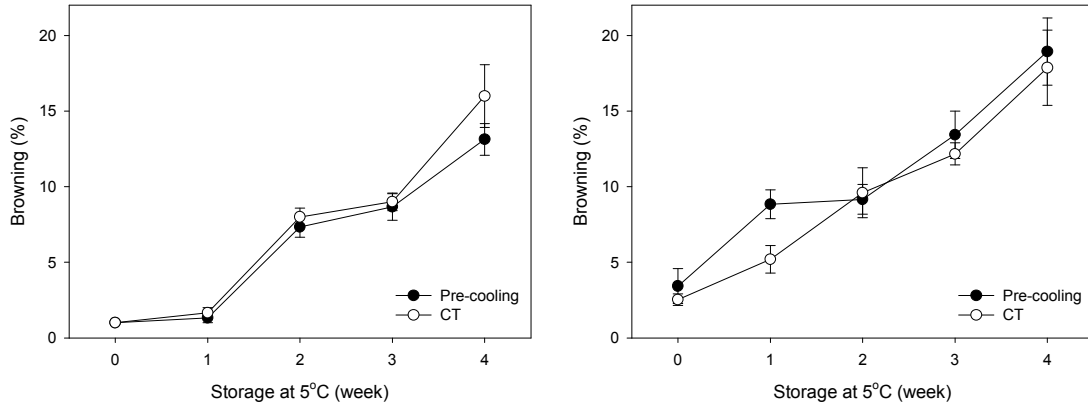


Fig. 1. Effect of pre-cooling after harvest on the decay of lettuce during storage at 5°C. Lettuces were harvested in sunny day (left) and rainy day (right).

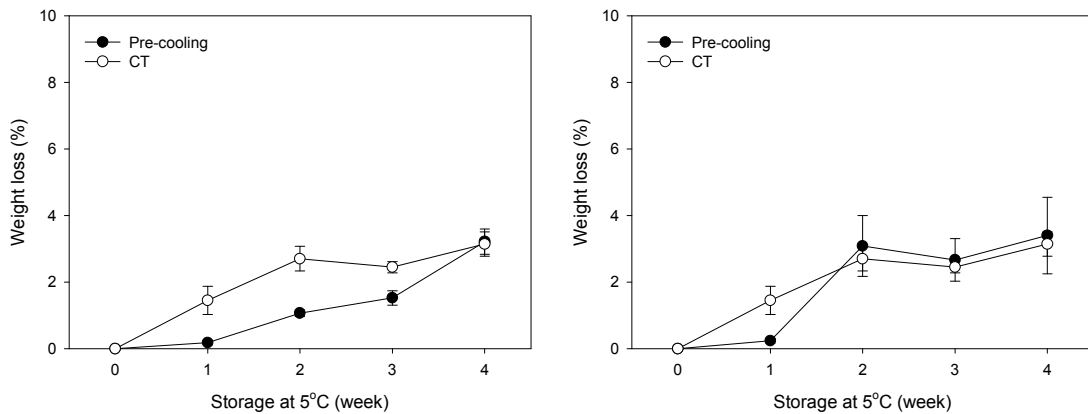


Fig. 2. Effect of pre-cooling after harvest on the decay of lettuce during storage at 5°C. Lettuces were harvested in sunny day (left) and rainy day (right).

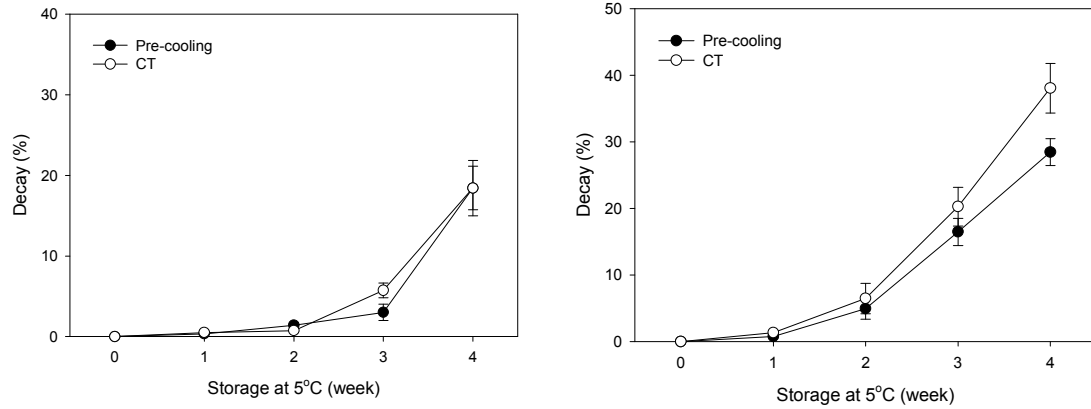


Fig. 3. Effect of pre-cooling after harvest on the decay of lettuce during storage at 5°C. Lettuces were harvested in sunny day (left) and rainy day (right).

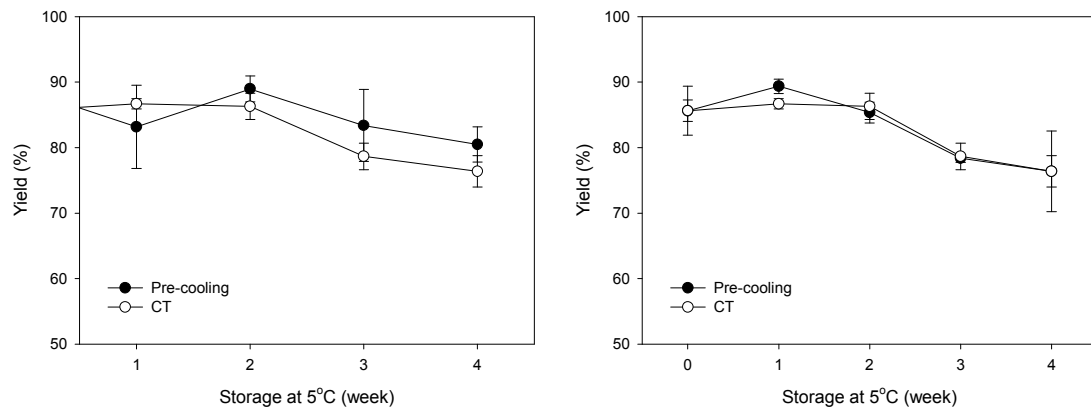


Fig. 4. Effect of pre-cooling after harvest on the fresh-cut processing yield of lettuce during storage at 5°C. Lettuces were harvested in sunny day (left) and rainy day (right).

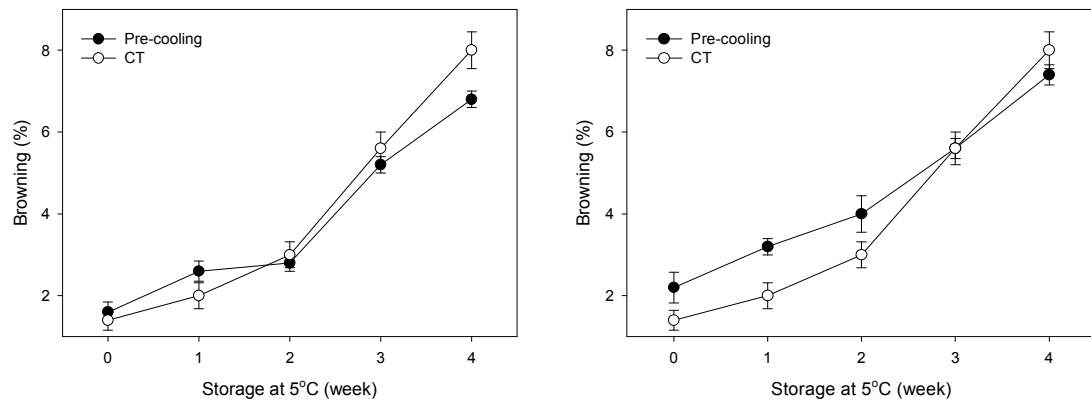


Fig. 5. Effect of pre-cooling after harvest on the browning of fresh-cut products after 3 days at 5°C. Whole lettuces were harvested in sunny day (left) and rainy day (right) and then used for fresh-cut processing after storage for 0, 1, 2, 3, and 4 weeks at 5°C.



Fig. 6. Development of injury symptom after pre-cooling treatment when lettuce was harvested in rainy day.

6. 원료의 저장력 및 신선편이 제품의 신선도 향상을 위한 포장 기술 개발

농산물은 저장·유통 시 온도 및 습도 조절이 부적절할 경우 수분손실, 연화, 변색 등에 의한 품질저하가 급속히 일어나며, 포장내부의 과습이 부패를 촉진하고 농산물의 호흡작용에 의한 부적합한 가스조성으로 생리장해가 나타날 수 있다. 기체 투과가 용이한 polyethylene (PE) 필름을 이용한 MA (modified atmosphere) 저장은 포도(Nam 등, 1997), 토마토, 자두(Smith 등, 1987), 홍고추(Bae 등, 2003), 청매실(Cha와 Chung, 2002), 생강(Choi 와 Kim, 2002) 및 딸기(Kim 등 1993)등의 여러 작물에 널리 적용되고 있다(Lee와 Kim, 2007). 선택적 가스 투과성이 있는 필름을 적용한 MA 저장기술은 저장 중 기체 조성을 인위적으로 조절해야 하는 CA (controlled atmosphere)저장 방식에 비해 간편한 방식으로서, 농산물의 호흡작용에 의해 포장 내부의 산소 농도가 감소하고 이산화탄소 농도는 증가하여 농산물의 호흡과 수분증산을 억제하여 농산물의 신선도 유지 효과를 갖는 매우 경제적인 방법이다. 또한 대기 중에 존재하는 질소, 이산화탄소 및 산소를 이용하기 때문에 친환경적이며, 농산물의 안정성이 매우 높은 것으로 알려져 있다(Cha와 Kim, 2001). Lee 등(2006)은 농산물의 저장·유통 시 포장에 의해 상추의 중량감소, 갈변 및 변색 등이 억제되어 엽채류의 상품성을 유지하는데 효과적이라고 보고한 바 있다. 결구상추 또한 MA 저장에 의해 수확 후 노화현상이 지연되고 저온장해가 억제된다고 보고되었다(Tanielian과 Wolff, 1988). 결구상추는 신선편이 제품에 관한 연구는 활발히 이루어지고 있으나 원물에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다. 포장 필름의 두께에 따른 저장력을 연구한 앞선 연구 결과에서 플라스틱 필름으로 포장하여 저장했을 때 무포장구에 비해 선도유지에 효과적임을 알 수 있었으나, 포장재의 두께가 지나치게 두꺼우면 호흡장해로 인해 선도유지에 오히려 좋지 않은 영향이 나타날 수 있다고 보고하였다(Cha와 Chung, 2002). 이는 포장 내부에 CO₂가 과도하게 축적되면 brown stain이 발생되고, 낮은 O₂ 환경에 의해 혐기 호흡으로 인한 off-flavor가 발생될 수 있기 때문이다. 따라서 농산물의 포장 시 내부 기체조성이 적절한 환경으로 조성될 수 있는 필름 두께를 선정해야 한다. 본 연구에서는 결구상추를 수확한 후 PE 필름의 두께를 달리하여(0.03, 0.05, 0.08mm) 포장한 후 저장 중 포장 내부의 기체조성, 부패율, 신선편이 가공수율, 갈변, 중량감소, 전도도, 엽록소 함량 및 경도 등의 저장 중 품질인자의 변화를 일주일 간격으로 조사하였다.

저온 저장 4주 후 결과를 살펴보면 무처리구의 부패율이 가장 높고 포장한 PE 필름의 두께가 두꺼울수록 부패가 억제되는 경향이 있었으나 유의적 차이는 없었다(Fig. 1). 포장하지 않고 저장할 경우 겉잎의 부패가 심하게 발생하는 것을 관찰할 수 있었으나(Fig. 2), 본 연구는 신선편이 가공을 위한 원료의 수확 후 관리 기술을 개발하기 위한 목적으로 수행되었으므로 부패율을 측정할 때 불가식 부위(겉잎, 속심 등)는 제거한 후 측정하였으므로 겉잎의 부패는 측정치에 반영되지 않아 포장구와 무처리구간 부패율 차이가 없

는 것으로 나타났다. 저장기간 동안 1주일 간격으로 꺼내어 신선편이 가공수율을 측정하였는데 결구잎의 총 중량에 대한 불가식 부위를 제외한 신선편이 가공 후 상품의 중량을 백분율로 나타내었다. 이 때 사용된 결구상추의 가공수율은 매우 낮아 초기의 수율이 약 45% 수준이었으며 저장함에 따라 이 가공수율은 지속적으로 감소하였다(Fig. 3). 가공수율은 포장의 유무나 PE film 두께에 따른 차이가 없었다. 포장하지 않고 저장한 무처리구의 경우 포장구에 비해 결잎의 부패가 높았으나 신선편이 가공시 제거되는 부분이므로 부패 정도가 가공수율에 미치는 않았다. 결구상추는 저장 기간 중 주륜 부위를 중심으로 갈변이 발생되어 저장 및 신선편이 가공시 상품성에 문제를 가져오는데 무포장의 결구상추는 저장 2주 이후 갈변이 급격히 증가하여 저장 4주째 약 18%까지 증가하였으며, PE 필름으로 포장한 결구상추는 필름의 두께와는 상관없이 갈변율이 크게 억제되는 결과를 보였다(Fig. 4). 결구상추의 중량 감소는 무포장의 경우 저장 1주째부터 급격히 발생하였으며 저장 4주 동안 30% 이상의 손실이 발생하여 상품성에 크게 영향을 주었으며, PE 필름으로 포장하여 저장한 결과 포장재의 두께와 상관없이 중량 감소가 효과적으로 억제되는 결과를 보였다(Fig. 5). 저장 중 경도의 변화는 없었다(Fig. 6). 전도도는 식물세포의 세포막의 건전도를 판단할 수 있는 간접적인 인자로 사용될 수 있는데, 본 실험에서 전도도의 변화를 측정한 결과 저장초기인 수확 직후에는 10%에 불과하였지만 저장기간 동안 급격히 증가하는 추세를 보였으며, 포장하지 않은 대조구의 증가폭이 가장 컸고 포장하여 저장한 경우 전도도의 증가가 억제되는 결과를 나타내었다(Fig. 7). 결구상추 잎의 엽록소 함량은 저장 초기부터 크게 감소하였는데, 무포장의 경우 초기 함량이 $25 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$ 이었으나 저장 4주째 약 $7 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$ 로 감소하였다(Fig. 8). 이에 비해 PE 필름으로 포장한 실험구는 엽록소 함량이 무처리구에 비해 높게 유지되는 결과를 보였다. 저장 중 결구상추의 수분 함량을 측정한 결과 대조구의 수분 함량은 점차 낮아지나 PE 필름 포장구는 저장 중 수분함량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 9). 저장기간 동안의 품질 변화가 신선편이 가공 후 품질에 미치는 영향을 조사하기 위해 4주 동안 저온 저장된 원료를 이용해 신선편이 가공한 후 수확직후 가공한 상품과 품질을 비교하였다. 신선편이 가공된 제품은 5°C 에 일주일간 저장하며 2일 간격으로 품질 특성을 조사하였다. 당도와 중량 감소는 원료의 저장 중 포장의 유무에 의한 영향이 없었지만(Fig. 10, 11), 외관으로 관찰한 갈변, spectrophotometer로 측정한 갈변 수치, 그리고 전도도는 포장하여 저장한 원료를 사용할 경우 억제되는 결과를 보였다(Fig. 12-14). 따라서 결구상추는 필름의 두께와는 상관없이 PE 필름으로 포장하여 저장할 때 원료의 저장력을 증진시킬 수 있었다. 또한 저장된 원료를 사용하여 신선편이 가공 할 경우 갈변이 급격히 진행되는데, 원료 저장시 PE film으로 포장하여 저장된 원료를 사용하면 신선편이 제품의 갈변을 억제하는 효과가 있었다. 또한 0.08 mm의 두꺼운 필름을 사용하여 포장한 경우에도 장해현상은 발생하지 않았다.

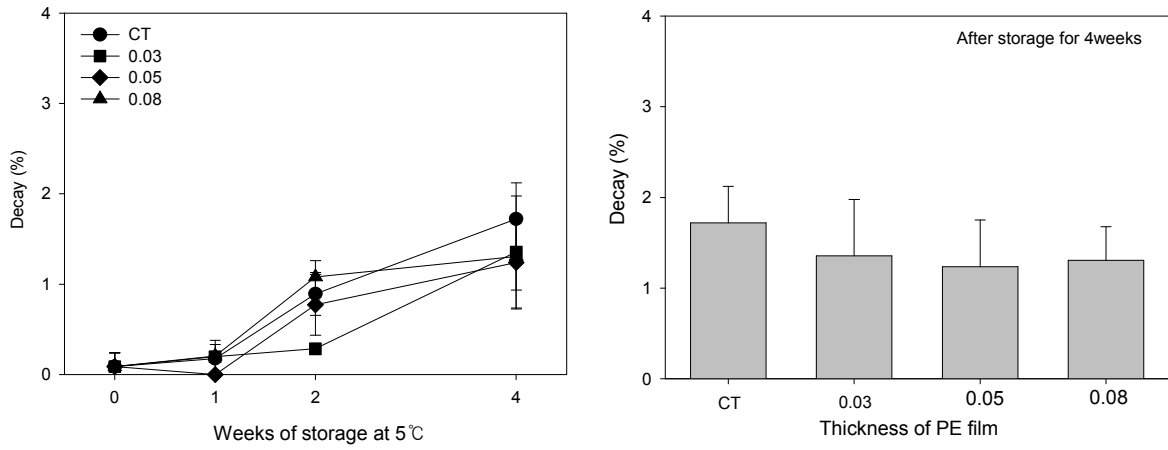


Fig. 1. Effect of thickness of PE film on the change in decay of lettuce during storage at 5°C.



Fig. 2. Effect of PE film packaging on the quality of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C.

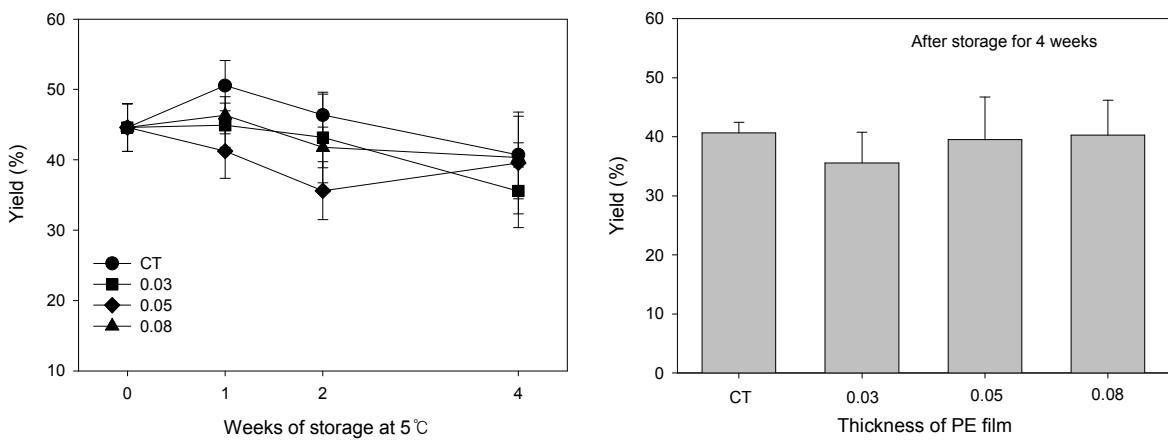


Fig. 3. Effect of thickness of PE film on the change in fresh-cut processing yield of lettuce during storage at 5°C.

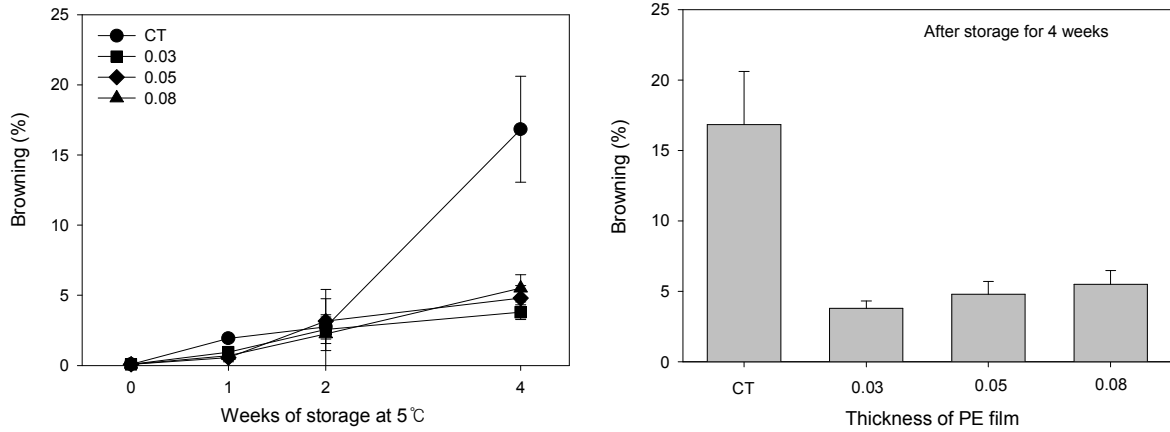


Fig. 4. Effect of thickness of PE film on the change in browning of lettuce during storage at 5°C.

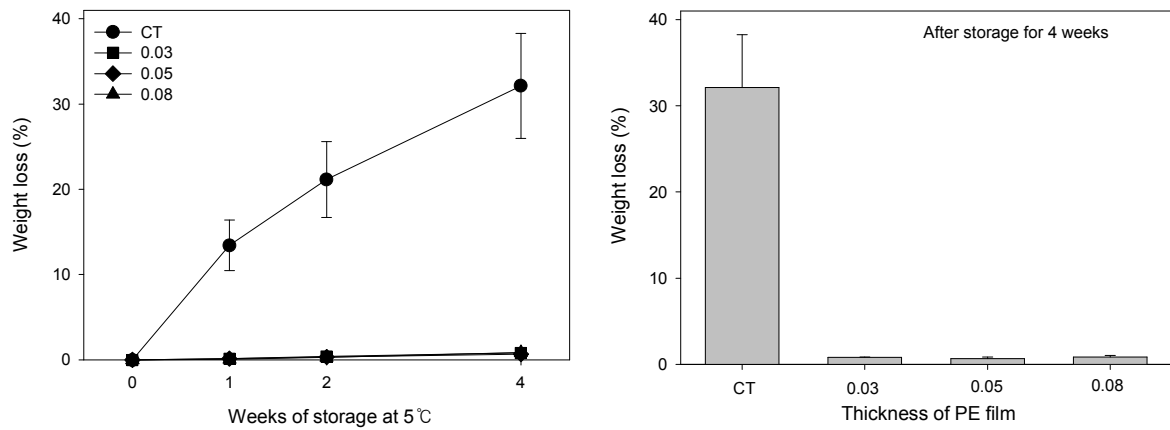


Fig. 5. Effect of thickness of PE film on the change in weight loss of lettuce during storage at 5°C.

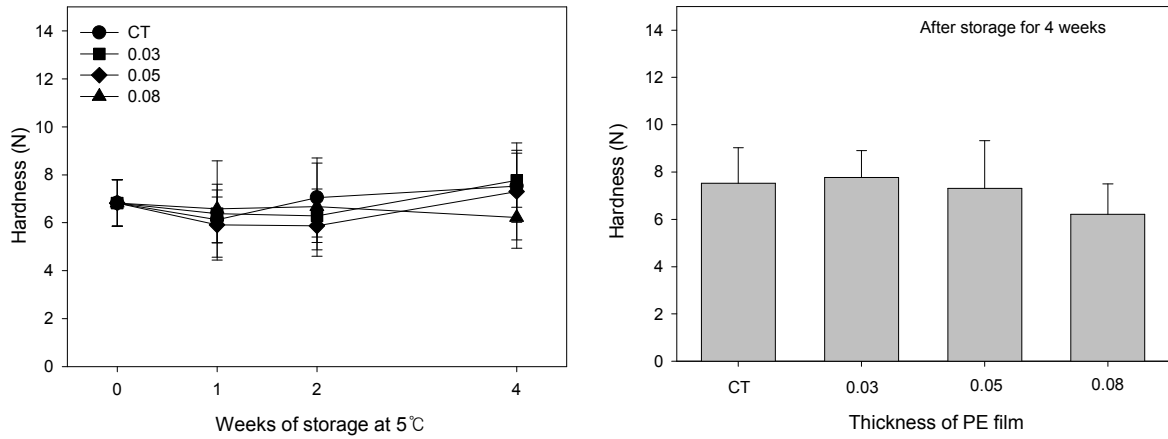


Fig. 6. Effect of thickness of PE film on the change in hardness of lettuce during storage at 5°C.

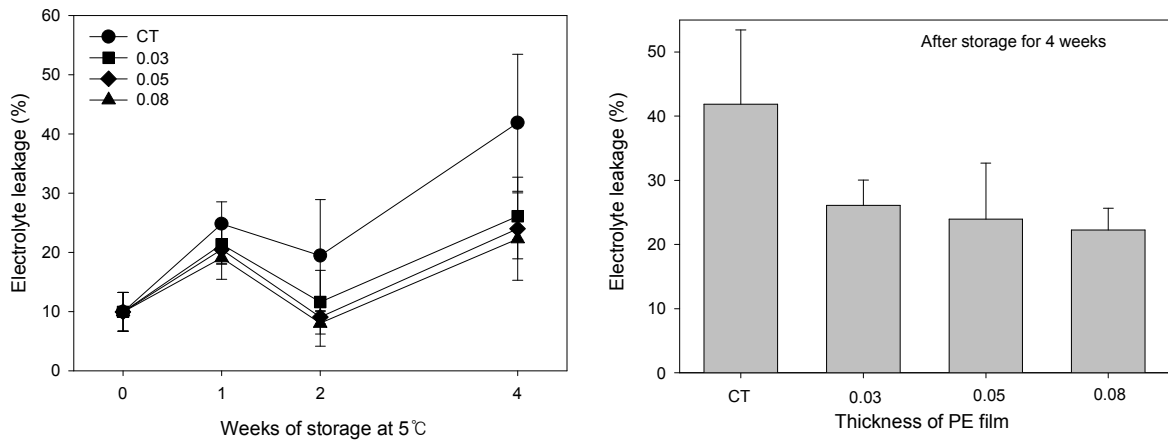


Fig. 7. Effect of thickness of PE film on the change in electrolyte leakage of lettuce during storage at 5°C.

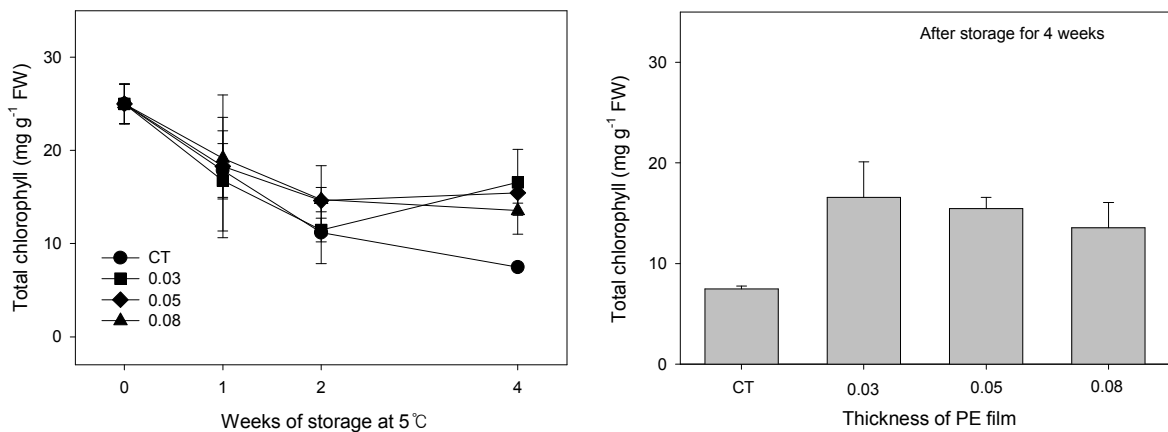


Fig. 8. Effect of thickness of PE film on the change in total chlorophyll content of lettuce during storage at 5°C.

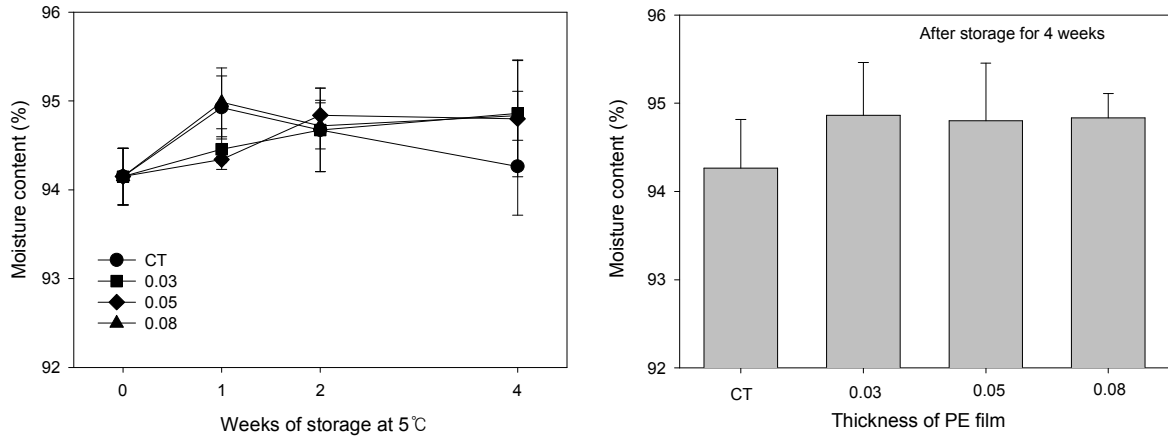


Fig. 9. Effect of thickness of PE film on the change in moisture content of lettuce during storage at 5°C.

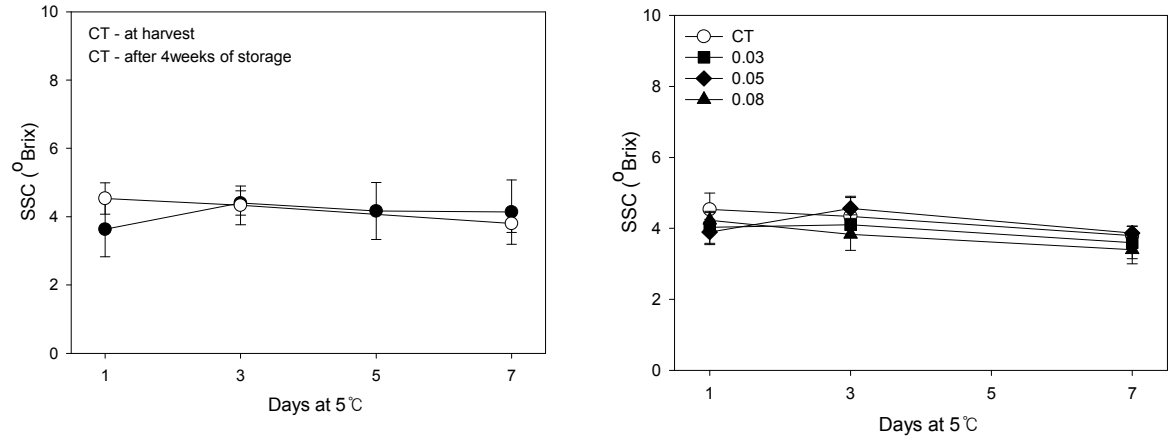


Fig. 10. Effect of thickness of PE film on the change in SSC of fresh-cut product during storage of whole lettuce at 5°C.

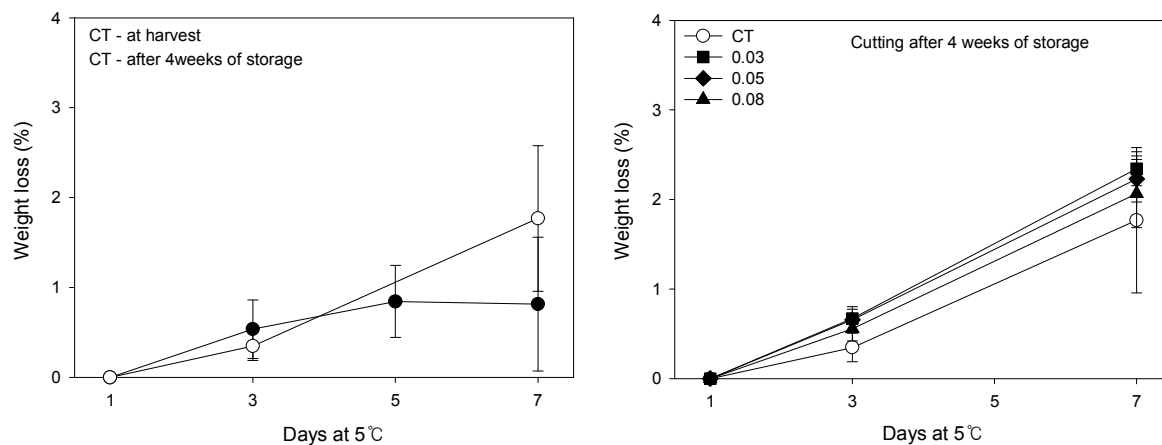


Fig. 11. Effect of thickness of PE film on the change in weight loss of fresh-cut product during storage of whole lettuce at 5°C.

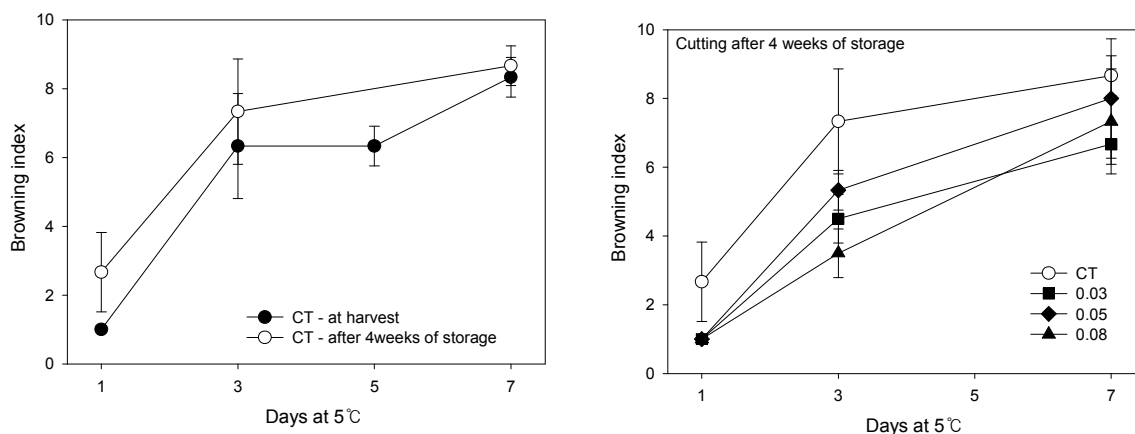


Fig. 12. Effect of thickness of PE film on the change in browning index of fresh-cut product during storage of whole lettuce at 5°C.

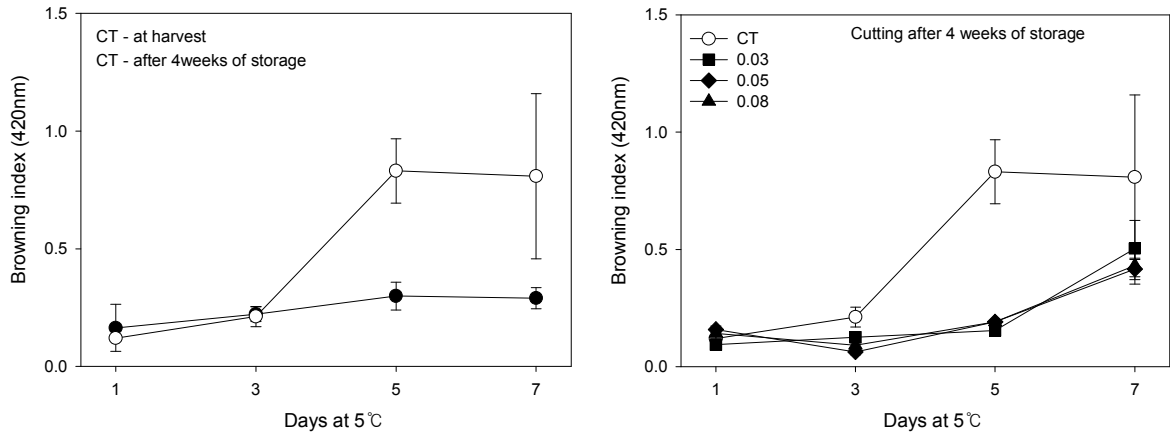


Fig. 13. Effect of thickness of PE film on the change in browning index(420nm) of fresh-cut product during storage of whole lettuce at 5°C.

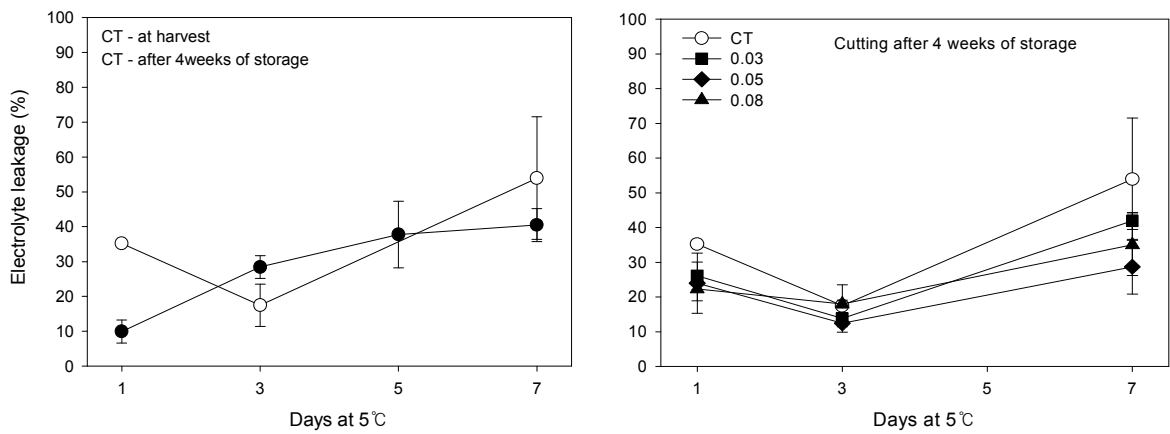


Fig. 14. Effect of thickness of PE film on the change in electrolyte leakage of fresh-cut product during storage of whole lettuce at 5°C.

하절기에 재배되는 결구상추는 강우가 잦아 결구의 내·외부가 과습할 경우가 많으므로 각 필름에 천공 처리하여 수분의 이동을 자유롭게 하여 효과를 비교하였다. 원료 저장 시 사용한 0.03, 0.05, 0.08 mm PE 필름에 천공 한 처리구와 천공하지 않은 처리구로 나누어 저장력에 미치는 영향을 조사하였다. 천공한 포장재로 포장하여 저장할 경우 저장 중 주름을 중심으로 발생하는 갈변 현상 및 부패가 더 심하여 외관이 불량하였다(Fig. 15). 그러나 이러한 외관의 변화와는 달리 부패율을 측정한 결과 천공한 필름으로 포장하여 저장한 경우 부패가 더 효과적으로 억제되는 경향을 보였다. 포장 필름의 두께가 두꺼울수록 필름의 천공에 의한 부패 억제 효과가 증가하는 경향이 있어 천공한 0.08 mm 필

름으로 포장한 경우 저장 중 결구상추의 부패억제 효과가 가장 컸다(Fig. 16). 포장재의 천공 여부가 갈변 현상과(Fig. 17) 가공 수율에 미치는 영향은 없었고(Fig. 18), 저장 중 중량 감모는 필름에 천공할 경우 크게 증가하였으며(Fig. 19), 경도 및 전도도는 포장재의 천공 여부에 의해 영향 받지 않았다(Fig. 20).

이상과 같은 조건으로 4주간 장기 저장된 원료를 사용하여 신선편이 가공한 후 유통 중 신선도 변화를 측정하였다. 천공한 필름으로 포장하여 저장할 경우 신선편이 가공 후 갈변이 더 증가하는 경향이 있었으며(Fig. 21), 전도도와 중량감모는 필름의 천공 여부에 따른 유의적 차이가 없는 것으로 보인다(Fig. 22). 천공하지 않은 포장재로 포장하여 저장한 원료를 사용할 때 유통 중 조직감이 우수하게 유지되었고 원료 저장시 사용한 포장재의 천공 여부가 신선편이 제품의 당도에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다(Fig. 23). 따라서 PE film을 사용하여 결구상추를 저장할 때 천공의 유무가 원료 자체의 품질에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타나지만 천공된 필름으로 포장하여 저장한 원료를 사용하여 신선편이 가공하면 제품의 갈변과 연화가 증가하는 경향이 있으므로 결구상추의 저장시 천공하지 않은 PE film을 사용하는 것이 좋다.

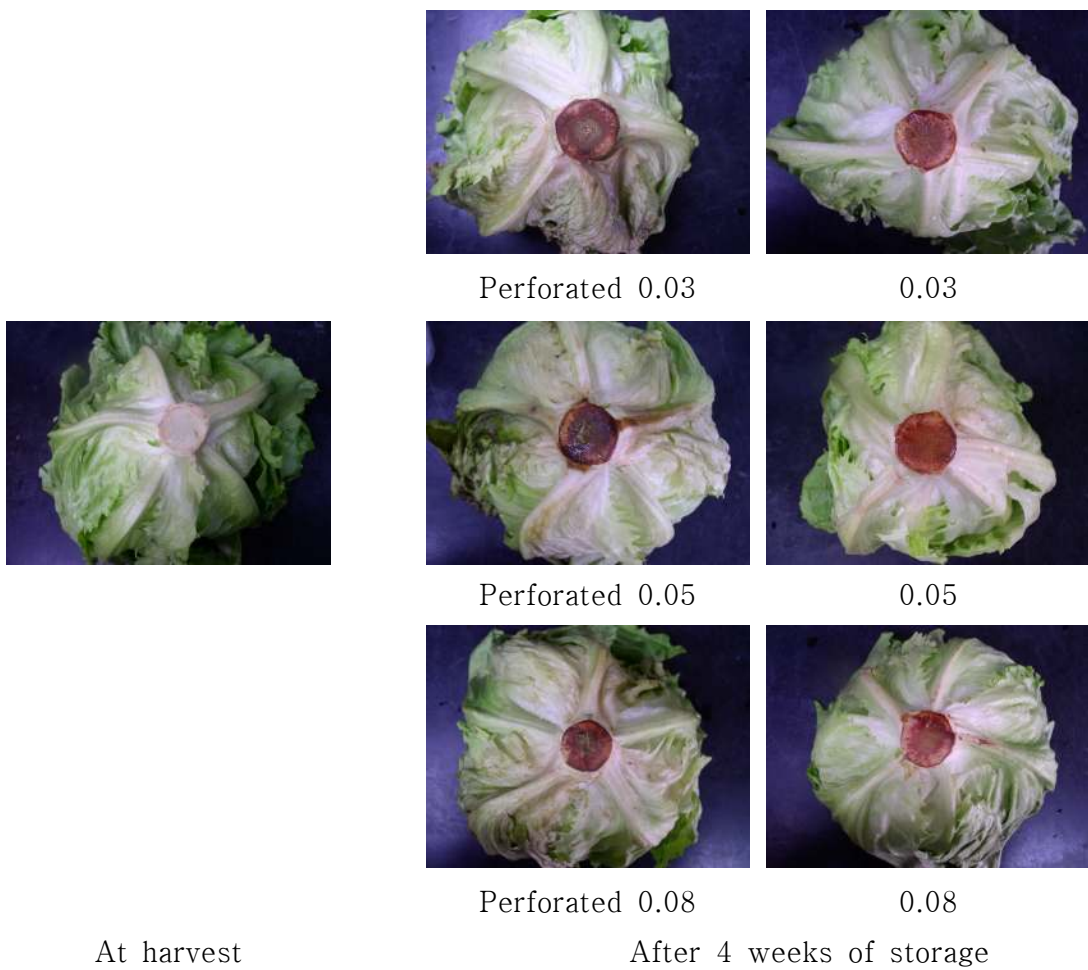


Fig. 15. Effect of perforation in PE film on the change in appearances of lettuce during storage at 5°C.

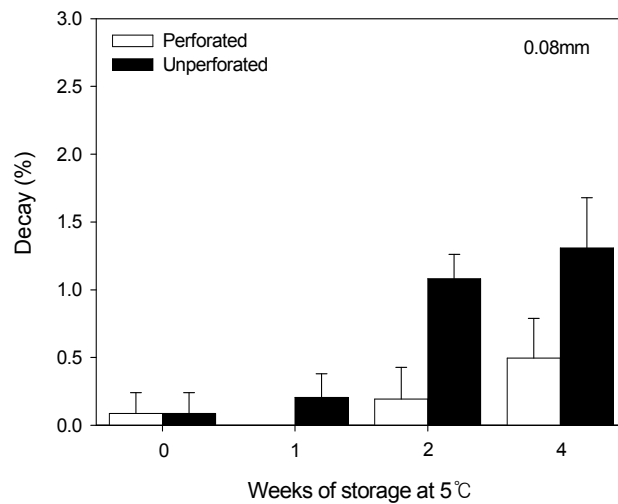
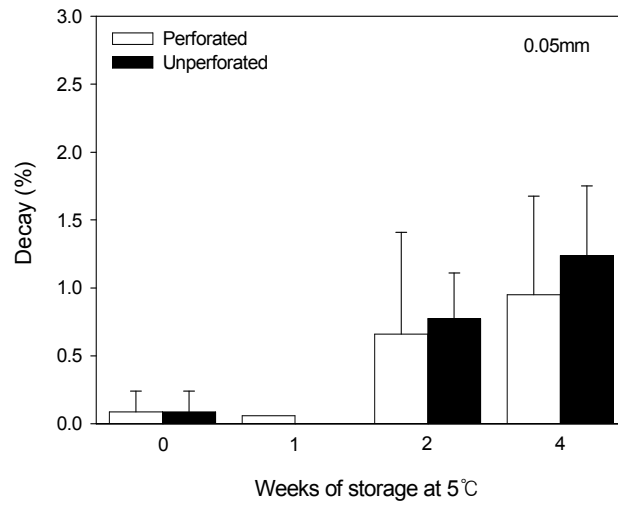
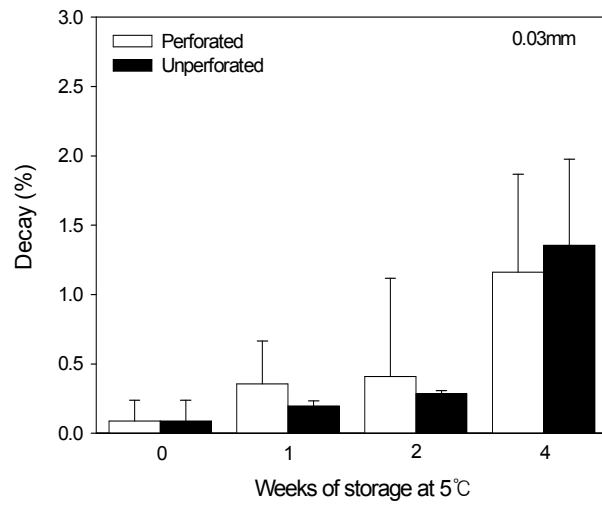


Fig. 16. Effect of perforation in PE film on the decay of lettuce during storage at 5°C.

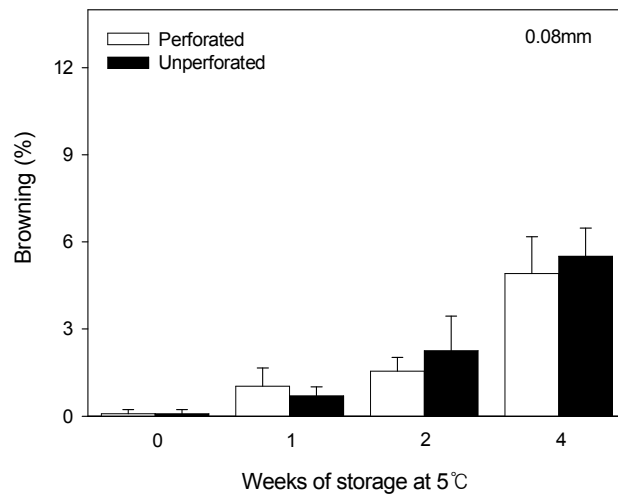
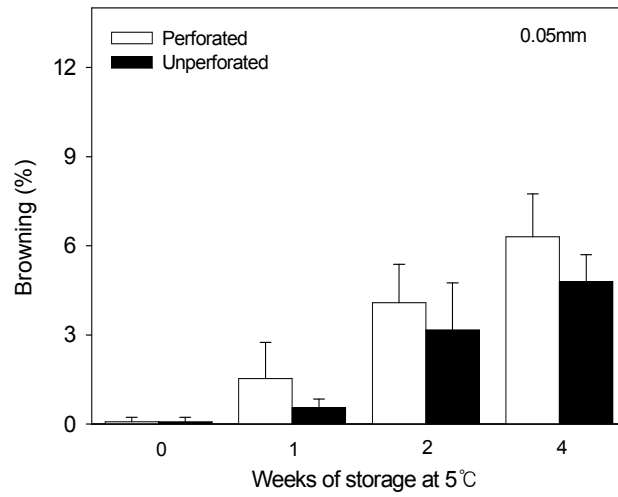
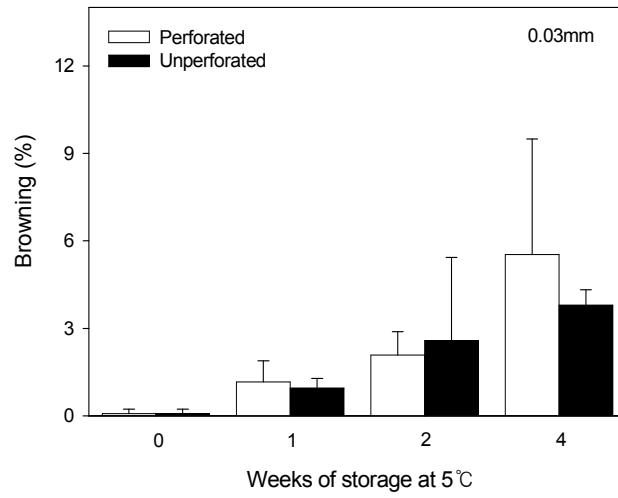


Fig. 17. Effect of perforation in PE film on the browning of lettuce during storage at 5°C.

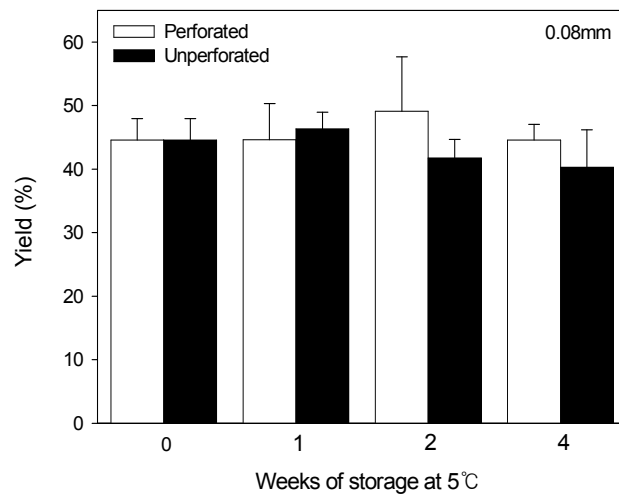
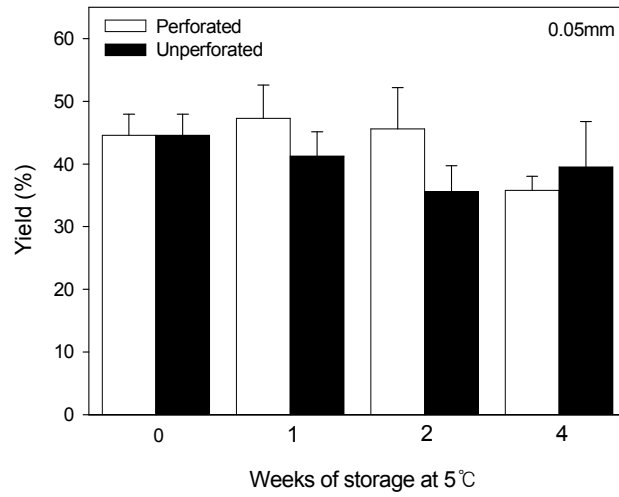
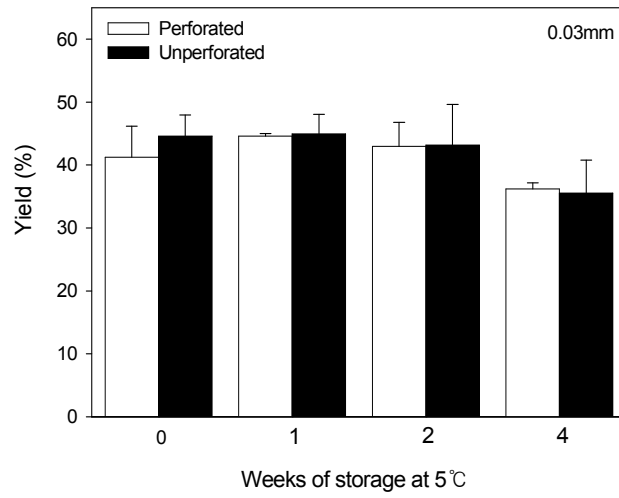


Fig. 18. Effect of perforation in PE film on the fresh-cut processing yield during storage of whole lettuce at 5°C.

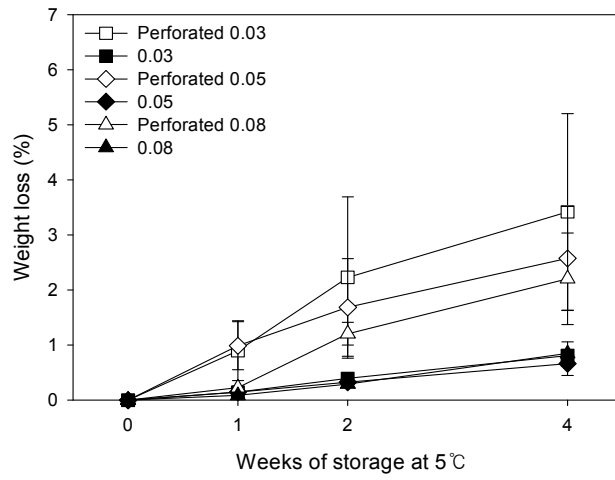


Fig. 19. Effect of perforation in PE film on the weight loss of lettuce during storage at 5°C.

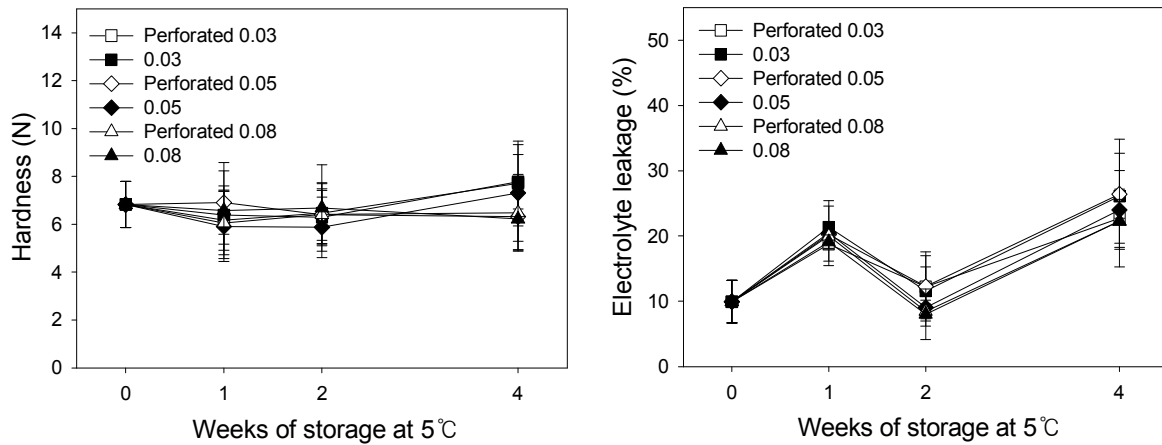


Fig. 20. Effect of thickness of PE film on the change in hardness and electrolyte leakage of lettuce during storage at 5°C.

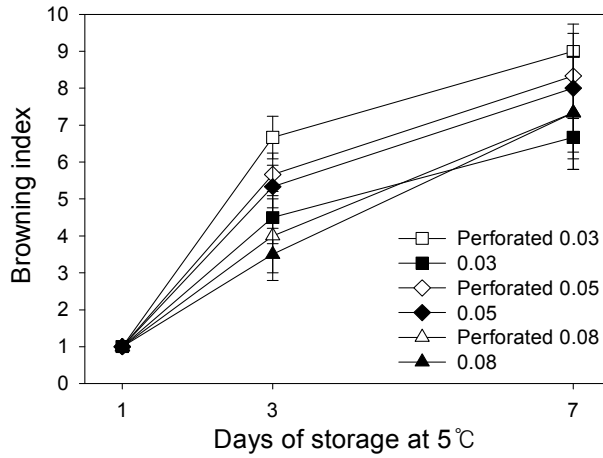


Fig. 21. Effect of perforation in PE film on the browning index of fresh-cut product when processed with whole lettuce after 4 weeks of storage at 5°C.

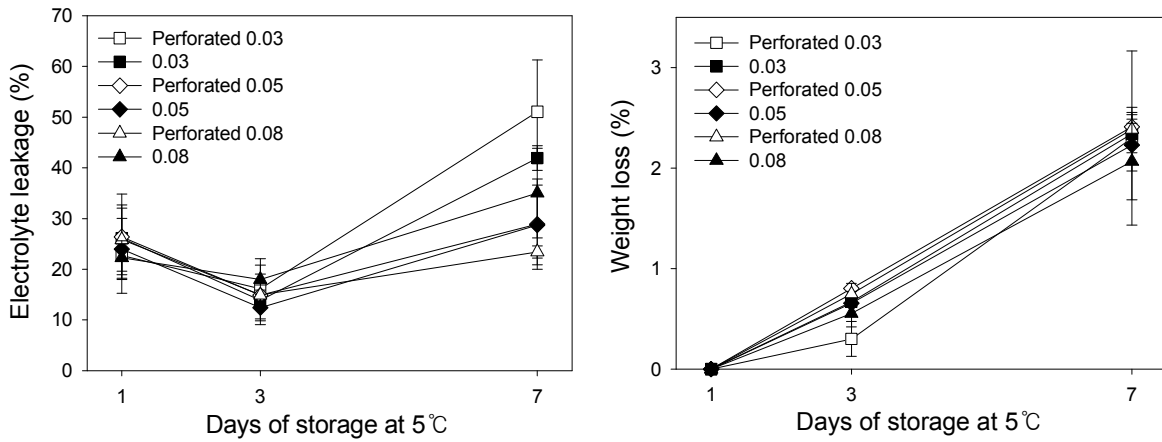


Fig. 22. Effect of perforation in PE film on the electrolyte leakage and weight loss of fresh-cut product when processed with whole lettuce after 4 weeks of storage at 5°C.

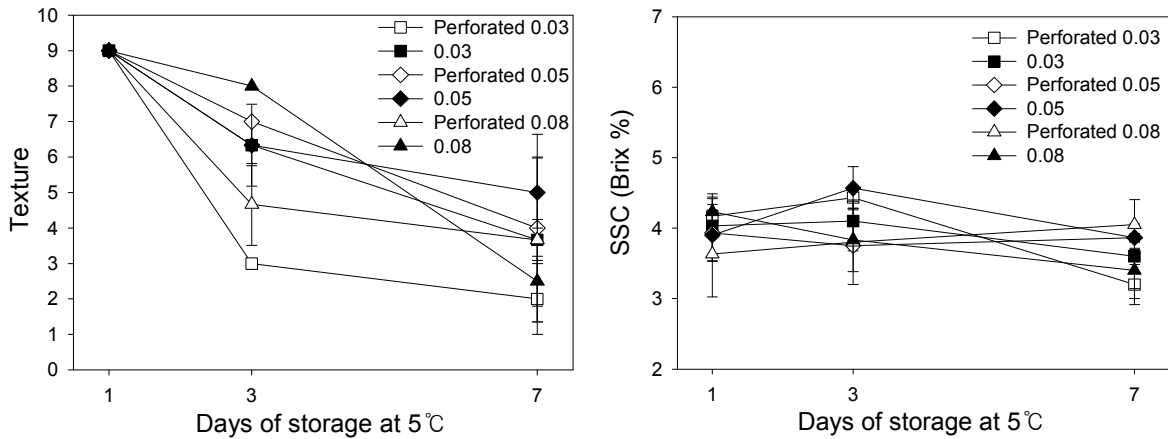


Fig. 23. Effect of perforation in PE film on the texture and SSC of fresh-cut product when processed with whole lettuce after 4 weeks of storage at 5°C.

결구상추 저장시 산소의 농도를 낮춰 저장력을 높이기 위해 진공 포장하거나 질소충진 포장하여 원료의 저장력 뿐만 아니라 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 관행적기에 수확한 결구상추를 세 그룹으로 나누어 진공필름에 포장하여 진공 처리한 진공포장구(vacuum), 포장재 내부를 질소로 충전한 질소충진 포장구(nitrogen), 0.05 mm PE 필름으로 포장한 대조구(control)를 5°C에 두어 저장 중 품질변화를 비교 조사하여 그 효과를 검증하고자 하였다. 일주일 간격으로 부패, 갈변, 중량감소, 신선편이 가공수율, 경도, 및 전도도의 변화를 조사하였으며 저장된 원료를 사용하여 신선편이 가공하였을 때 신선도 유지 효과를 살펴보기 위해 저장 2주 및 3주 후 신선편이 가공하여 5°C에 보관하면서 2일 간격으로 부패, 갈변, 전도도의 변화를 측정하였다.

원료를 진공 포장할 때 저장 중 부패가 크게 억제되었는데 저장 기간 동안 10% 이내로 매우 낮게 유지되었다. 대조구과 질소충진 포장구는 3주까지는 진공 포장구와 유사한 수준으로 낮은 부패를 보이나 4주 이후에는 100% 부패율을 나타내었다(Fig. 24). 질소충진 포장구와 PE 필름 포장구는 4주 후 갈변이 매우 심한 반면 진공 포장구는 4주 이후에도 갈변이 매우 낮았다(Fig. 25). 이때 갈변 증상은 부패에 의해 더 가속화되는 경향이 있었으므로 부패가 심한 두 처리구는 갈변율도 높게 나타났다. 중량 감소는 모든 포장구에서 매우 낮은 정도에 그쳤으며 그 중 진공 포장시 중량 손실율이 가장 낮았다(Fig. 26). 신선편이 가공 수율은 3주까지는 실험구간에 차이가 없었으나 4주후에는 갈변과 부패가 100% 발생한 PE 필름 포장구와 질소충진 포장구는 신선편이 가공이 불가능하였다(Fig. 27). 이는 부패 및 갈변이 겉잎에서만 나타난 것이 아니라 속잎까지 진행된 것을 의미한다. 진공 포장한 경우 저장 중 연화가 조금 빠른 경향이 있었으나 유의적 차이는

없었다(Fig. 28). 저장 3주 동안 전도도가 증가하는 경향이었는데 진공 포장 하거나 질소 충전 포장시 3주후 무처리구에 비해 높은 전도도를 나타내었다(Fig. 29). 진공 포장할 경우 위에서 살펴본 바와 같이 부패와 갈변이 억제되는 효과가 나타난 반면 3주 후 결구의 내부에 갈변 증상이 나타났고 질소충진 포장구에서는 주름 부위가 갈변되고 물러지는 증상이 나타났다(Fig. 30). 이러한 증상은 처리구의 모든 시료에서 일반적으로 나타나는 것은 아니지만 대조구에서는 이러한 증상이 관찰되지 않았다. 원료를 2주간 저장한 후 신선편이 가공하여 5°C에 5일간 보관한 후 갈변 정도를 관찰한 결과 진공 포장구는 갈변이 거의 발생하지 않아 갈변억제 효과가 매우 뛰어났으며 질소충진 포장구도 PE 필름 포장구에 비해 갈변이 효과적으로 억제되는 결과를 나타내었다(Fig. 31, 32). 원료를 3주간 저장한 후에는 진공 포장구의 갈변이 억제되는 경향을 나타내었으나 연화가 심하였다(Fig. 33). 2주간 저장한 원료를 사용하여 가공된 신선편이 제품의 부패는 진공 포장구에서 소폭 증가하는 경향이었고 3주 동안 저장한 원료를 사용한 경우에는 PE 필름 포장구에 비해 질소충진 및 진공 포장한 실험구가 부패 속도가 크게 높았다(Fig. 34). 원료를 진공 포장하거나 질소충진 포장하면 3주 후에는 조직이 더 빠르게 부패하는 것을 알 수 있었다. 또한 전도도도 2주 저장한 원료에서는 차이가 없으나 3주 저장한 원료는 질소충진 포장구나 진공 포장구가 대조구에 비해 높았다(Fig. 35). 이는 결구상추 저장시 질소를 충전하거나 진공 처리를 하여 저 산소 조건이 장기간 지속되면 스트레스 장애가 발생하는 것으로 추측된다.

결구상추를 신선편이 가공을 위한 원료로 사용하기 위해 저장할 때는 진공 포장하면 원료의 신선도를 우수하게 유지할 수 있을 뿐 아니라 신선편이 가공시 갈변 증상도 억제시킬 수 있을 것으로 기대되었다. 진공 포장시 결구잎의 내부에 갈변이 진행되나 이는 신선편이 가공시 제거되는 부분이므로 문제가 되지 않았다. 그러나 저장 기간이 2주 이상이 되면 조직의 부패가 오히려 심해진다. 그러나 신선편이 가공을 위한 원료는 2주 이내의 저장이 바람직하므로 이 기간 동안에는 진공 포장이 유효할 것으로 판단된다. 질소충진 포장도 대조구에 비해 신선편이 제품의 갈변을 억제하는 효과가 있었고 조직의 경도는 진공 포장구에 비해 높게 유지되는 경향이었다.

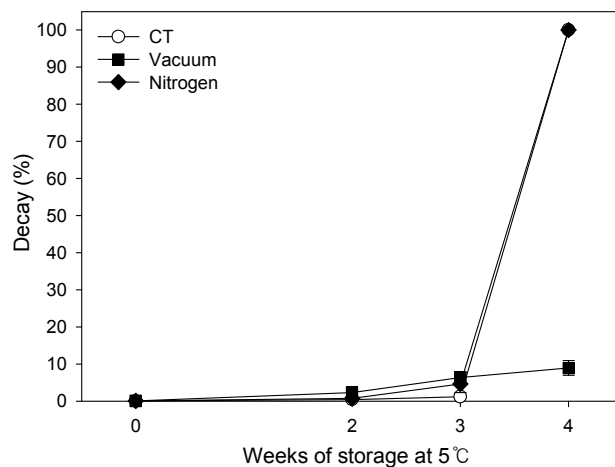


Fig. 24. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging on the change in decay of lettuce during storage at 5°C.

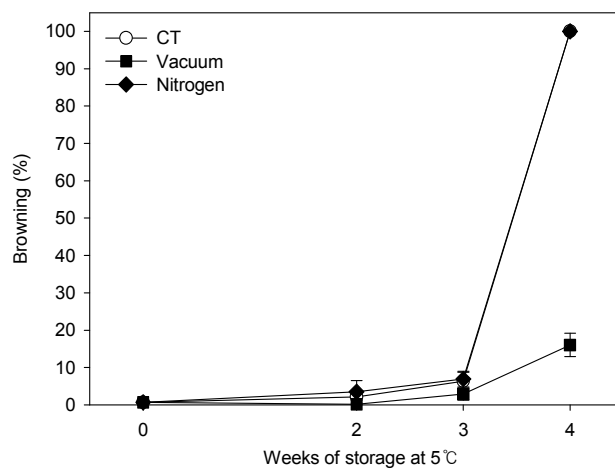


Fig. 25. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging on the change in browning of lettuce during storage at 5°C.

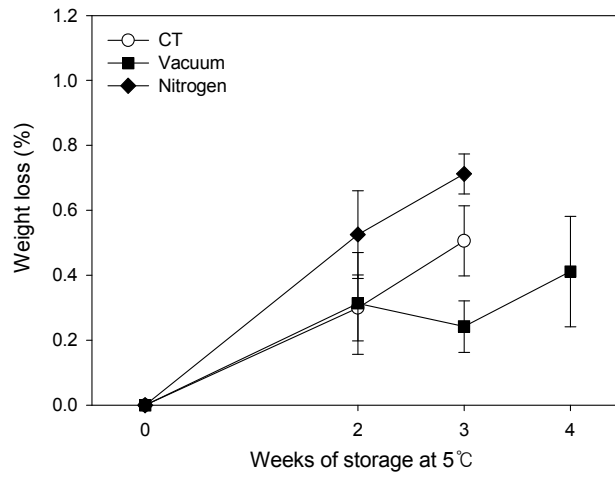


Fig. 26. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging on the change in weight loss of lettuce during storage at 5°C.

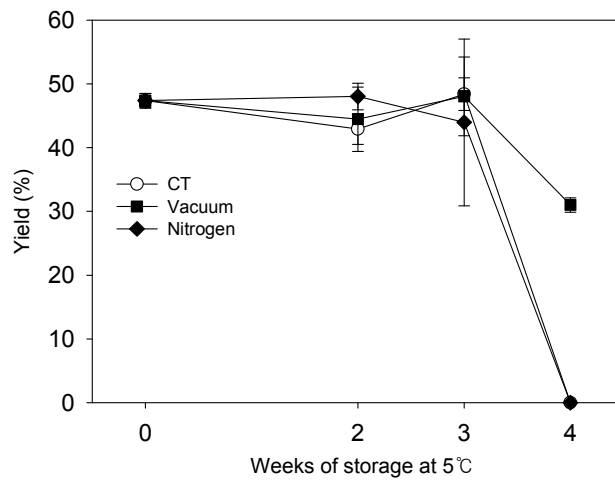


Fig. 27. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging on the change in fresh-cut processing yield of lettuce during storage at 5°C.

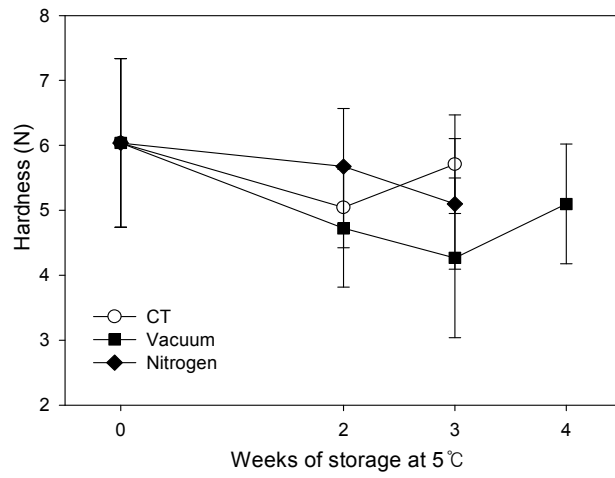


Fig. 28. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging on the change in hardness of lettuce during storage at 5°C.

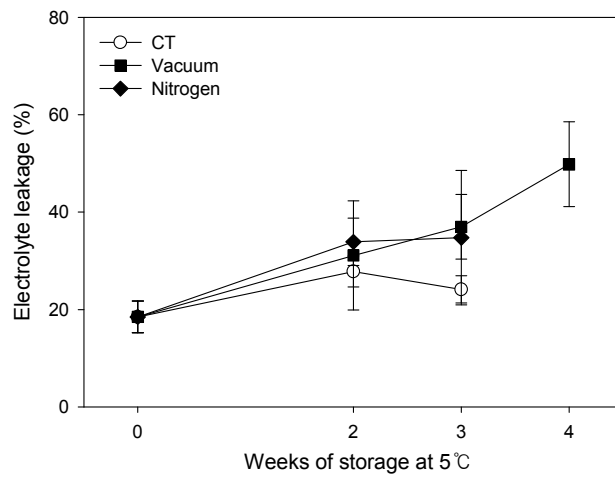


Fig. 29. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging on the change in electrolyte leakage of lettuce during storage at 5°C.



Fig. 30. Development of injury in lettuce after 3 weeks at 5°C by vacuum-packaging(left) or vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging (right).

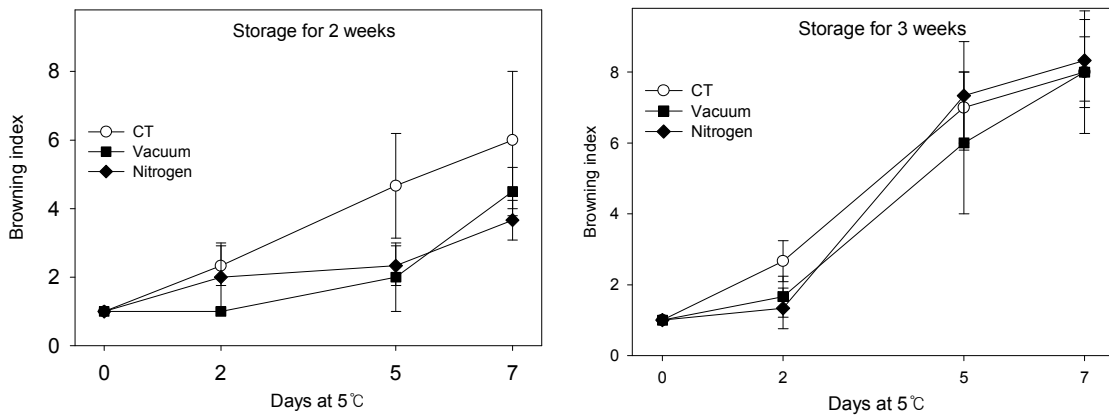


Fig. 31. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging of lettuce on the change in browning of fresh-cut products during storage at 5°C.



Fig. 32. The quality of fresh-cut products processed from stored lettuce for 2 weeks at 5°C after 5 days at 5°C. Lettuces were stored with PE film (left), vacuum (center), or nitrogen-filling (right) packaging.



Fig. 33. The quality of fresh-cut products processed from stored lettuce for 3 weeks at 5°C after 5 days at 5°C. Lettuces were stored with PE film (left), vacuum (center), or nitrogen-filling (right) packaging.

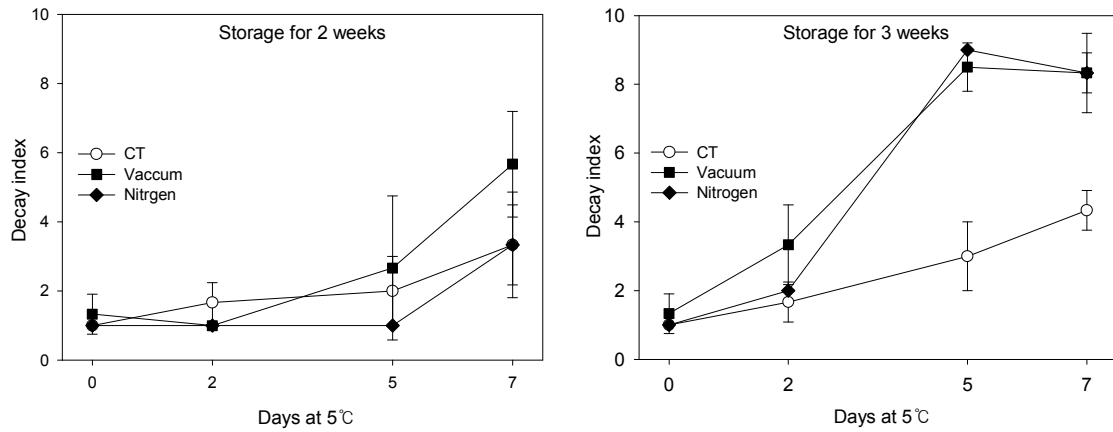


Fig. 34. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging of lettuce on the change in browning of fresh-cut products during storage at 5°C.

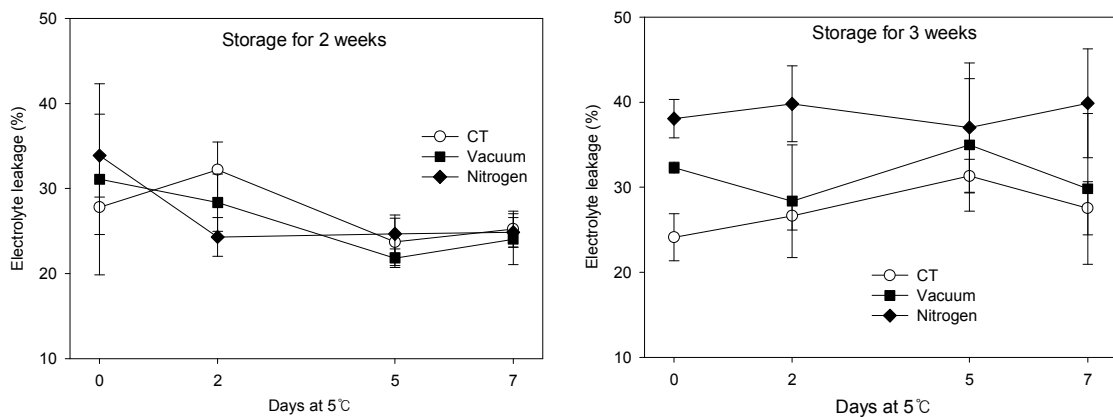


Fig. 35. Effect of vacuum-packaging and nitrogen-filling packaging of lettuce on the change in browning of fresh-cut products during storage at 5°C.

7. High CO₂ MAP에 의한 신선편이 결구상추의 갈변 억제 효과 구명

신선편이 제품의 갈변을 억제하여 신선도를 연장할 수 있는 high CO₂ MAP 조건을 구명하고 갈변현상과 관련된 물질의 변화를 살펴보았다. 수확된 결구상추는 겉잎과 속심 등의 불가식 부위와 푸른 잎 부분을 제거한 뒤 5×5 cm 크기로 잘라 신선편이 제품으로 가공하였다. 약 100 g 씩 22cm×15cm×5cm 크기의 플라스틱 용기에 담아 30 mm의 OPP(oriented polypropylene)필름을 이용하여 가스혼합기가 부착된 가스충전포장기(Vacuum packing machine, Pocket60, Technovac, Italy)로 포장한 후 10°C 저장고에서 저장하면서 4일 동안 1일 간격으로 품질변화를 조사하였다. 처리에 이용한 active MAP 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Concentration of CO₂, O₂ and N₂(%) of high CO₂ MAP treatments.

	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
CT	0	20	80
10 kPa	10	5	85
20 kPa	20	5	75
40 kPa	40	5	55
60 kPa	60	5	35

Yang 등(2007)은 CO₂ 농도가 높아지면 저장 산물의 호흡률이 감소되며, 저장 산물의 에틸렌 생성이 억제되거나 지연된다고 하였다. 본 실험에서 전처리 CO₂ 농도가 높을수록 호흡이 억제되어 포장재 내부의 CO₂ 농도 변화가 크지 않았다. 포장재 내의 산소 농도는 호흡에 의해 소모가 되어 감소하는 경향이였다. 무처리구의 저장 초기 산소 농도는 20%에서 4일 후 12.6%로 감소하였고 CO₂ 농도는 7.0%로 증가하였다. 무처리구가 가스 처리구와 비교하여 호흡이 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있었으며, 처리구의 산소 농도는 3일 이후 거의 혐기적 수준으로 낮아졌다(Fig. 1). 일반적으로 전도도는 과일, 채소의 품질 저하 및 저온장해 정도를 파악하는데 사용되어 왔으며(Jiang 등, 2001) 식물의 상처 및 세포막 붕괴의 간접적인 지표로 사용되고 있다(Biedinger 1991, Hong 등, 2000). 저장 기간 동안 신선편이 결구상추의 전도도는 점진적으로 증가하였으며 CO₂ 농도가 40 kPa 이상인 처리구는 저장 1일 이후 급격히 증가하여 저장 2일 이후 전도도는 약 50%로 세포막의 붕괴가 심하게 진전되었음을 예측할 수 있었다(Fig. 2). 반면 대조구의 전도도는 저장 2일 이후 28%였으며, 4일 후의 전도도는 30.5%로 저장기간 동안 증가 정도가 가장

낮았다. 40 kPa 이상의 처리구는 세포의 심한 손상을 유발하여 전도도의 증가를 촉진시킨 것으로 해석되며 10 kPa과 20 kPa CO₂ 처리구는 전도도 수준이 대조구와 유사하였다. Fresh-cut 결구상추의 갈변은 중요한 품질변화 요인 중의 하나로 절단면을 중심으로 나타나며 핑크색에서 진한 갈색으로 전개되는 양상을 나타낸다. 본 실험에서의 갈변지수는 절단면으로부터 샘플을 취하여 분석에 사용하였다. 신선편이 과채류의 갈변은 포장 내부의 산소 농도와 밀접한 관계가 있어 O₂ 농도를 증가시킬수록 갈변정도가 증가하며, Symth 등(1998)은 상추 저장 시 5°C에서 산소 농도 0.3~0.5 kPa를 유지하면 갈변이 지연된다고 보고하였다. 무처리구는 저장 2일 째 갈변지수가 초기의 2배가량 증가하여 갈변이 심하게 진전되었으나 고 CO₂ MAP 처리구는 저장 기간 동안 산소 농도가 낮게 유지되어 절단면의 갈변이 크게 억제되었고, 특히 CO₂ 처리 수준이 20 kPa 이상인 처리구의 갈변억제 효과가 높은 것으로 나타났다(Fig. 3). 고 CO₂ MAP 저장시 세포막의 변화가 큰 것으로 추측되나 갈변 억제효과는 컸다. 갈변 관련 물질인 총 페놀함량을 측정한 결과 무처리구가 저장 중 함량이 미미하게 증가하였고 20 kPa 이상의 CO₂ 처리구는 큰 변화가 없었다(Fig. 4). 본 실험의 결과는 fresh-cut 엽상추, escarole 상추, rocket 상추의 페놀함량을 조사한 Elena 등(2007)에서의 결과와 유사하였다. Polyphenol oxidase(PPO)는 구리를 함유하고 있는 효소로서 σ -quinones를 생성시키는 반응을 촉진시키며, quinones 류는 중합되어 짙은 갈색 또는 적색의 중합물을 만들어 갈변을 일으킨다(Rodriguez 등, 2001, van 등, 1997). 이러한 이유로 PPO 활성은 저장 중 과실, 채소류의 품질변화를 나타내는 중요한 척도로 사용된다. CO₂ 처리 농도에 따른 PPO 활성은 Table 2와 같다. PPO 활성은 저장 2~3일째 까지 증가하다 감소하는 경향을 보였다. 무처리구의 초기 PPO 활성은 20.0 unit에서 저장 2일 째 33.9 unit로 크게 증가한 반면 20 kPa 이상의 CO₂ 처리구의 PPO 활성은 거의 변화가 없었다. 갈변 가능성의 지표로 사용되는 PAL 활성을 분석하였다. CO₂ 처리 농도가 고농도일수록 PAL 활성은 억제되었으며 특히 40과 60 kPa CO₂를 처리한 경우 fresh-cut 결구상추는 저장 기간 동안 PAL 활성의 변화가 거의 없었다. 반면 무처리구의 PAL 활성은 크게 증가하였다(Fig. 5). 위의 실험에서 고농도의 CO₂가 PPO, PAL 활성을 억제하였으며 이에 의해 갈변도 억제됨을 알 수 있었다.

소비자들이 느끼는 신선편이 결구상추의 품질에 대한 선호도를 알아보기 위해 5명의 패널을 대상으로 관능검사를 실시하였다(Table 3). 무처리구의 갈변지수는 저장 2일 만에 상품성이 소실(5점 이상)되었으나 10 kPa 이상의 CO₂ 처리구는 저장 4일 동안 5점 이하로 갈변이 미약하였다. 20 kPa CO₂를 처리한 경우에는 갈변 효과가 우수하였으나 4일 후에는 이취가 대조구에 비해 증가하기 시작하였다. 이취발생은 처리된 CO₂ 수준이 높을수록 강한 경향을 나타내었다. 외관 역시 갈변지수와 마찬가지로 CO₂ 처리구가 높게 유지되었다. CO₂ 처리에 따른 조직감은 큰 차이가 없었으나 40 kPa 이상의 고농도를 처리할 때 신선편이 결구상추의 연화가 발생하여 부패가 심해졌으며 조직감도 약해지는 경향이 나타났다. 이는 전도도가 고농도 CO₂에 의해 커지는 것과 일치하는 결과이다. 따라서

신선편이 결구상추에 10 kPa CO₂ MAP 처리시 PPO와 PAL 활성이 억제되고 갈변이 경감되어 유통 중 신선도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

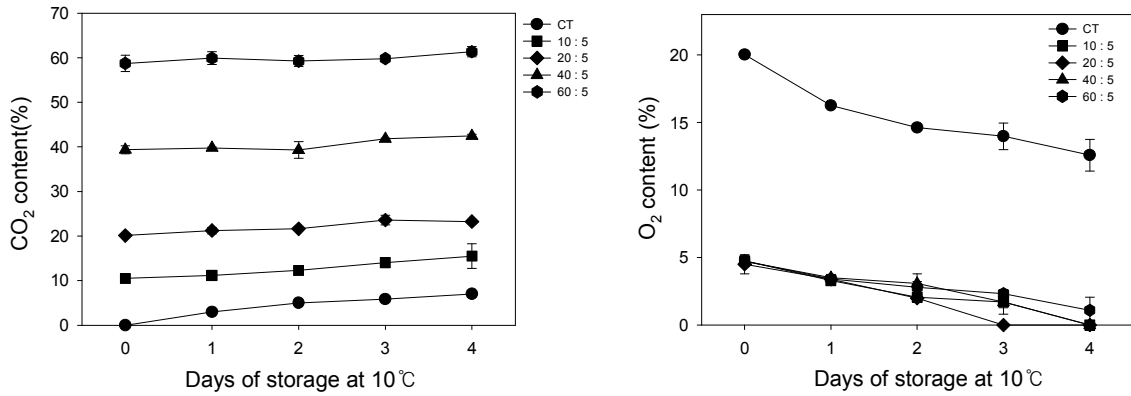


Fig. 1. Changes of carbon dioxide and oxygen concentration inside packaging of fresh-cut lettuce during storage at 10°C for 4 days.

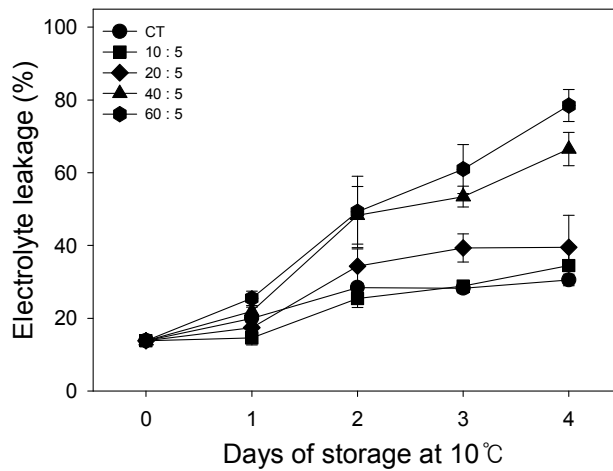


Fig. 2. Change of electrolyte leakage of fresh-cut lettuce by high CO₂ MAP treatment during storage at 10°C for 4 days.

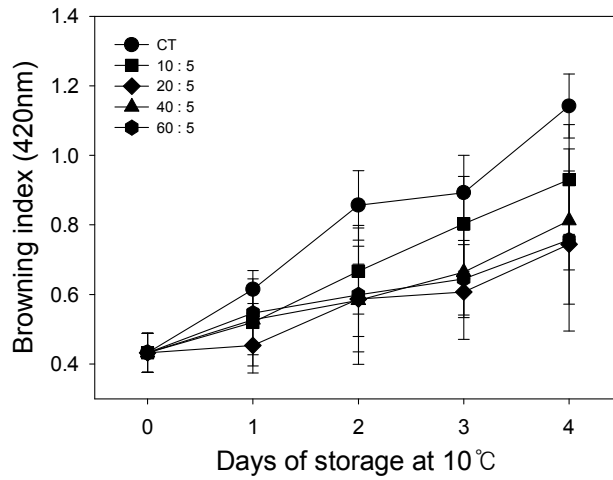


Fig. 3. Change of browning index of fresh-cut lettuce by high CO₂ MAP treatments during storage at 10°C for 4 days.

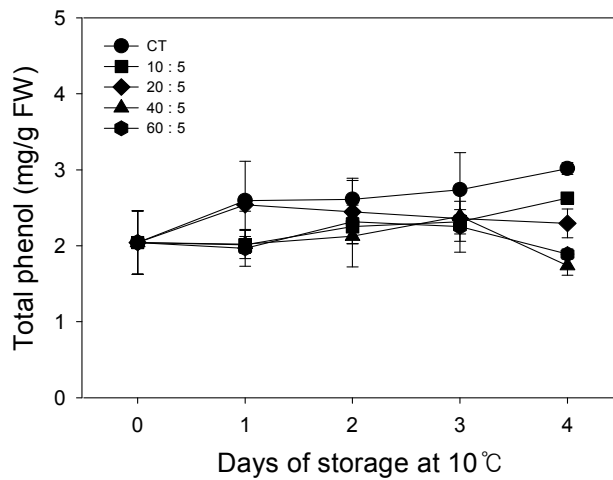


Fig. 4. Change of total phenol content of fresh-cut lettuce by high CO₂ MAP treatments during storage at 10°C for 4 days.

Table 2. Change of PPO activity of fresh-cut lettuce by high CO₂ MAP treatments during storage at 10°C for 4 days.

Treatment	Control	10 kPa	20 kPa	40 kPa	60 kPa
0day	^z 20.0+3.0 ^a	20.0+3.0 ^a	20.0+3.0 ^a	20.0+3.0 ^a	20.0+3.0 ^a
PPO activity (UNIT)					
1day	27.1+4.1 ^a	24.4+1.6 ^a	23.2+4.7 ^a	23.0+2.7 ^a	18.4+2.2 ^a
2day	33.9+2.0 ^a	32.1+4.4 ^a	24.3+1.3 ^{ab}	24.1+4.3 ^{ab}	19.6+1.0 ^b
3day	33.3+3.6 ^a	26.0+4.1 ^{ab}	20.8+3.6 ^{bc}	25.4+4.2 ^{abc}	14.9+2.1 ^c
4day	18.1+3.4 ^a	20.9+2.3 ^a	22.9+2.0 ^a	17.5+1.7 ^a	17.0+2.5 ^a

^z : Values followed by different letters in the same row indicate significant difference during storage. Upper case letters indicate difference between treatments

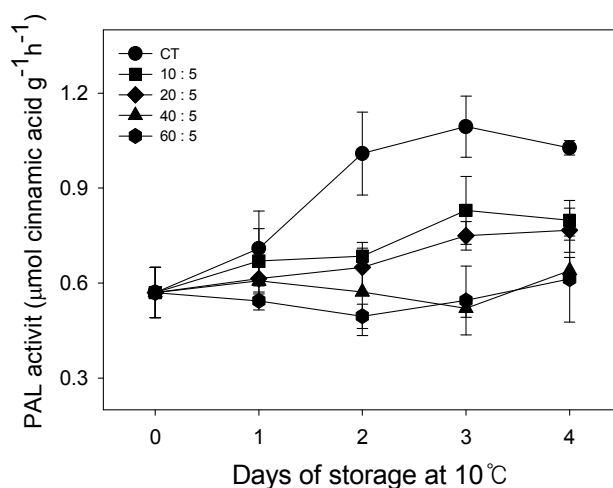


Fig. 5. Change of PAL activity of fresh-cut lettuce by high CO₂ MAP treatments during storage at 10°C for 4 days.

Table 3. Change of sensory properties of fresh-cut lettuce by high CO₂ MAP treatments during storage.

	days	Control	10:5	20:5	40:5	60:5
Appearance ¹	0	^z 9.00 ^a	9.00 ^a	9.00 ^a	9.00 ^a	9.00 ^a
	2	3.66 ^c	7.66 ^{ab}	9.00 ^a	7.33 ^b	7.66 ^a
	4	1.66 ^c	5.33 ^{ab}	6.33 ^a	5.00 ^{ab}	3.66 ^{bc}
Off-flavor ¹	0	1.00 ^c	1.00 ^c	1.66 ^{bc}	2.33 ^b	7.66 ^a
	2	2.66 ^c	1.00 ^d	1.33 ^d	4.66 ^b	7.66 ^a
	4	3.33 ^c	1.33 ^{cd}	5.00 ^b	9.00 ^a	9.00 ^a
Browning ²	0	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a
	2	6.00 ^a	2.66 ^b	1.00 ^c	1.00 ^c	1.00 ^c
	4	8.66 ^a	4.66 ^b	1.33 ^c	1.66 ^c	1.66 ^c
Decay ²	0	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a	1.00 ^a
	2	1.00 ^b	1.00 ^b	1.00 ^b	1.00 ^b	2.00 ^a
	4	1.66 ^{cd}	1.00 ^d	2.00 ^c	4.66 ^b	5.66 ^a
Texture ²	0	9.00 ^a	9.00 ^a	8.66 ^{ab}	8.66 ^{ab}	8.00 ^b
	2	7.33 ^{bc}	8.66 ^a	8.00 ^b	6.66 ^c	7.00 ^{bc}
	4	7.66 ^a	6.33 ^a	7.33 ^a	3.66 ^b	2.66 ^b
Overall acceptability ¹	0	8.66 ^a	9.00 ^a	8.00 ^b	6.33 ^c	5.00 ^d
	2	5.00 ^b	7.33 ^a	8.00 ^a	5.66 ^b	3.00 ^c
	4	1.33 ^b	5.33 ^a	4.66 ^a	2.33 ^b	1.66 ^b

^z : Values followed by different letters in the same row indicate significant difference during storage. Upper case letters indicate difference between treatments

¹ : 1 very bad, 3 bad, 5 mild, 7 good, 9 very good

² : 1 very weak 3 weak 5 mild 7 strong 9 very strong

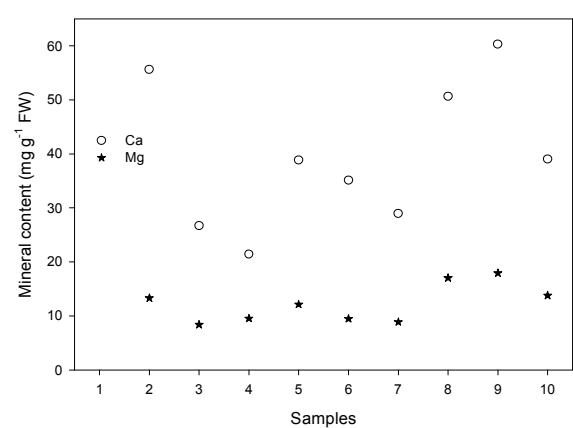
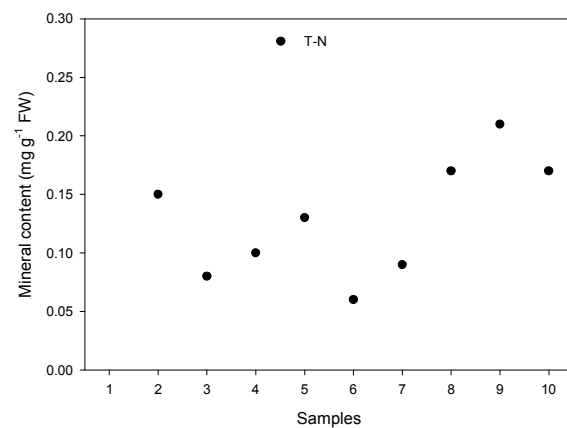
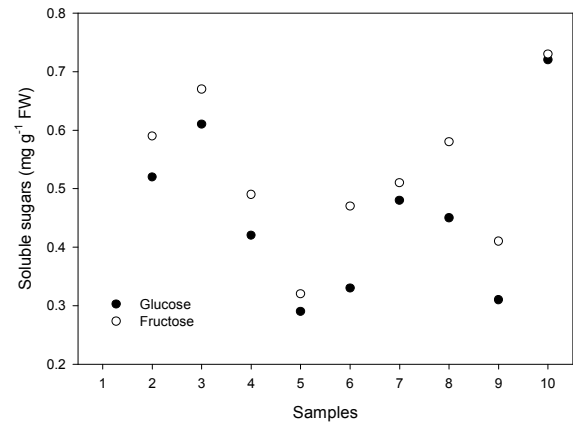
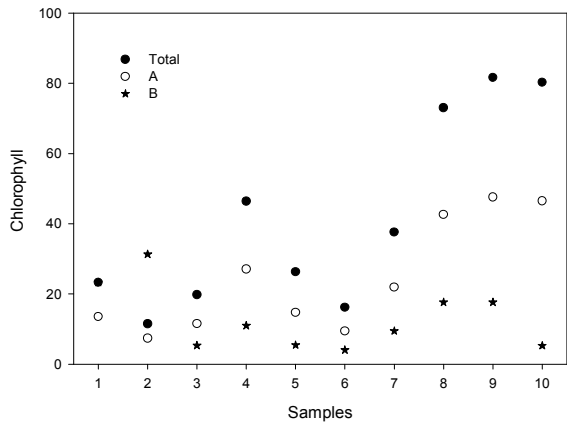
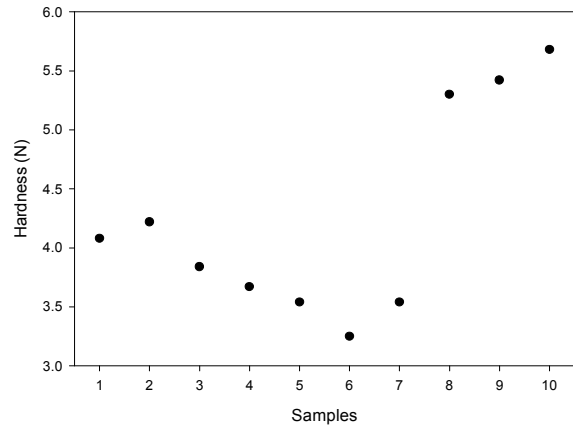
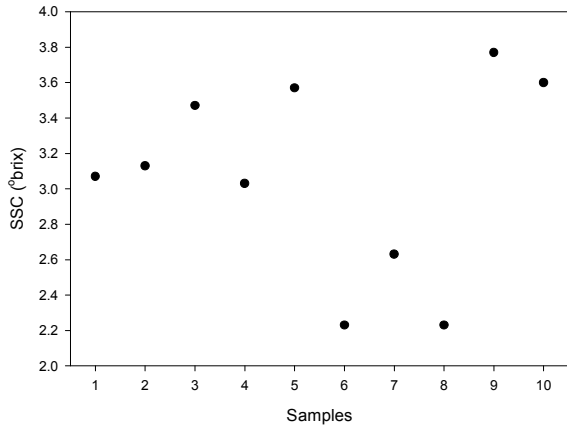
8. 저장력 및 신선편이 가공적성 예측 지표 설정

신선편이 농식품의 안정적 생산을 위해서는 원료의 안정적 확보가 중요하다. 국내에서는 하절기에 고령지 지역에서만 결구상추의 재배가 가능한데 고온다습한 기상환경과 집중호우에 의해 생산이 불가능한 시기에는 원료공급이 불가능한 문제가 발생된다. 따라서 단정기에 활용할 수 있는 원료를 확보하기 위해서는 저장기술이 뒷받침 되어야 한다. 하절기에 재배되는 결구상추는 저장력이 상대적으로 약할 뿐 아니라 저장 중 생리장해 발생이 잦고 원료의 상태에 따라 저장력의 차이가 상당히 크다. 현재는 수확된 원료의 저장력을 예측할 수 있는 방법이 없으므로 원료의 저장력에 관계없이 선입 선출 방식으로 신선편이 가공에 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 결구상추의 재배 중 형성된 품질 특성이 수확 후 저장력과 관련이 있을 것으로 기대하고 수확된 결구상추의 품질 특성과 저장력과의 관계를 구명하여 저장력을 예측할 수 있는 인자를 개발하고자 하였다.

고령지 지역에서 재배된 '유레이크' 품종의 결구상추를 10회에 걸쳐 수확한 후 수확 당시의 품질 특성으로는 결구정도, 가용성 당함량, 전도도, 무기질 함량(N, Ca, Mg), 수용성 당함량 (glucose, fructose), chlorophyll 함량, 잎과 줄기의 경도, 잎과 줄기의 색을 측정하였다(Table 1). 각 수확된 결구상추는 5°C에서 5주 동안 저장하면서 1주일 간격으로 부패, 갈변, 신선편이 가공수율, 경도, 신선편이 가공 후 갈변을 측정한 후 수확직후의 품질 특성과 저장 중 품질 변화와의 상관성을 구명하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 결구상추는 저장 중 주로 부패, 갈변, 수율, 조직감의 변화가 신선편이 가공을 위한 원료로서의 가치를 결정짓는 요인이 되므로 특히 이들의 변화를 예측할 수 있는 수확직후의 품질 특성을 구명하고자 하였다.

수확시 측정된 각 품질인자의 분포를 살펴보면 가용성 당 함량은 2.23~3.77 °brix, 최외엽의 경도는 3.25~5.68 N, total chlorophyll 함량은 11.51~81.67 ug g⁻¹ FW, chlorophyll a 함량은 7.39~47.60 ug g⁻¹ FW, chlorophyll b 함량은 5.29~31.35 ug g⁻¹ FW, glucose 함량은 0.29~0.72 mg g⁻¹ FW, fructose 함량은 0.32~0.73 mg g⁻¹ FW, N 함량은 0.06~0.21 mg g⁻¹ FW, Ca 함량은 21.43~60.32 mg g⁻¹ FW, Mg 함량은 8.39~17.93 mg g⁻¹ FW, 숙도를 판단하는 근거가 되는 결구 정도는 60~85%, 전도도는 27.08~71.98%, 줄기와 잎의 Hunter L 값은 각각 58.39~64.91과 46.32~61.97, Hunter a 값은 각각 -8.72~-3.34와 -18.06~-14.44, Hunter b 값은 7.82~16.25와 20.27~29.02의 범위를 나타내었다(Fig. 1). 본 연구에서 잎의 경도를 측정할 때 결구잎의 최외엽(1st leaf) 뿐만 아니라 제 2외엽(2nd leaf)과 제 3외엽(3rd leaf)의 경도도 측정하였는데 최외엽의 경도와 제 2외엽의 경도는 거의 유사한 값(비례상수; 1.19)을 보였으며 경도의 추이도 매우 높은 상관성을($r^2=0.909$) 보였다(Fig. 2). 제 3외엽은 경도 수준이 최외엽에 비해 1 N 정도 낮은 경향이었고($Y=0.87+0.67X$) 최외엽의 경도와 상관성은 제 2외엽에 비해 낮았다($r^2=0.630$). 따라서 최외엽의 경도의 경향은 제 2외엽과 제 3외엽의 경도 정도를 대표하는

것으로 취급하여 저장력과의 상관성은 최외엽의 경도만을 품질지표로 사용하여 분석하였다.



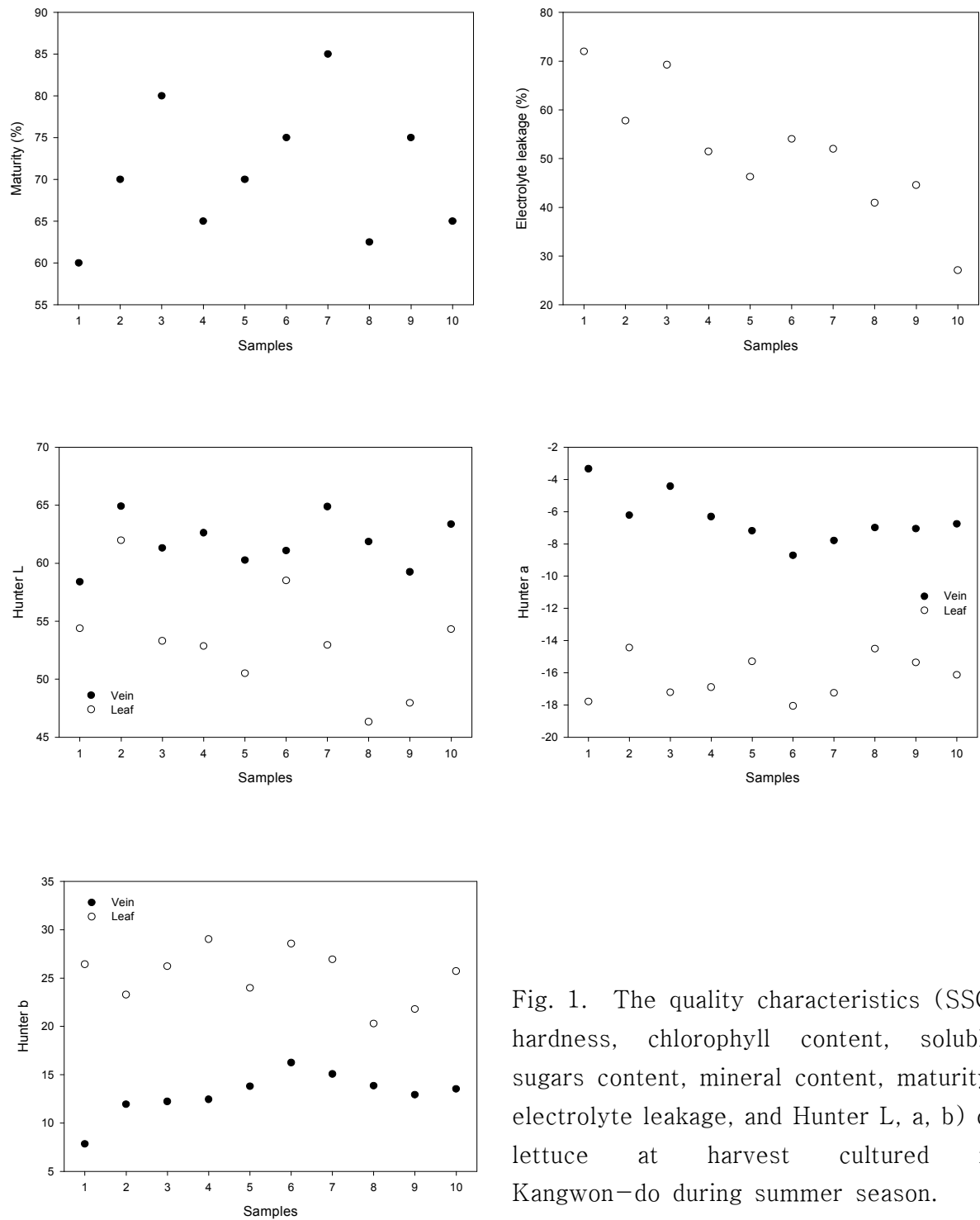


Fig. 1. The quality characteristics (SSC, hardness, chlorophyll content, soluble sugars content, mineral content, maturity, electrolyte leakage, and Hunter L, a, b) of lettuce at harvest cultured in Kangwon-do during summer season.

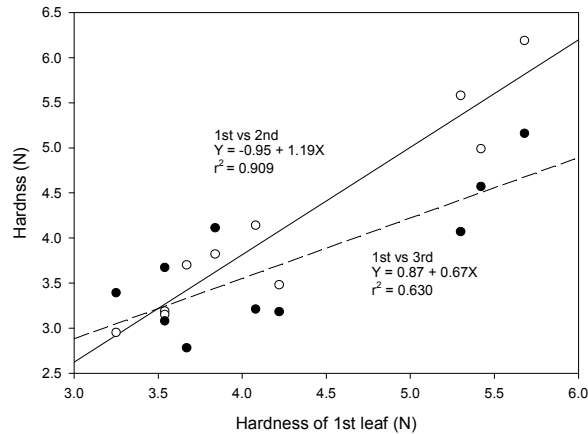


Fig. 2. The regression equations of the hardness of 2nd and 3rd leaf with the hardness of 1st leaf of lettuce at harvest.

결구상추는 저장 초기에는 3% 이내의 부패율을 보이다가 저장 4주 후엔 부패율 정도의 차가 발생하여 4~20%의 분포를 나타내었으며, 5주 이후에는 10개의 실험구중 7개의 실험구가 100%의 부패율을 나타내었다(Table 1). 저장 4 주 동안은 부패에 있어 비교구 간에 큰 차이가 없었으며 대부분 10% 이내의 부패에 머물렀고 1개의 실험구만이 20%의 부패를 보였다. 10% 이내의 부패율은 거의 대부분 결구엽을 감싸고 있는 포기엽에서 나타나며, 이 부위는 신선편이 가공시 제거되는 부위이므로 신선편이 가공 수율에는 거의 영향을 미치지 않는다. 따라서 5주후 저장이 가능한 것과 가능하지 않은 것의 구별이 생기기 시작하는 것으로 판단하여 이를 예측할 수 있는 인자를 결정 하였다. 이 중 부패와 상관성이 있는 품질 인자는 N 함량, Mg 함량, 총엽록소 함량, 엽록소 a 함량, 경도 등 5 가지 항목이었다(Fig. 3, Table 4). 결구상추의 결잎의 N 함량과 Mg 함량이 저장 중 결구상추의 부패 정도와 높은 상관성을 보였는데 N의 경우 0.66의 결정계수를 나타내었고 Mg의 경우 0.72의 결정계수를 나타내었다. 재배시 질소 비료를 과다하게 시비하면 연화를 촉진하고 부패를 심화시키는 것으로 알려져 있는데 본 실험 결과에서는 질소함량이 낮을수록 부패가 높게 나타나며, 0.16 mg g⁻¹ FW 이상에서는 저장 중 부패가 낮게 나타나는 결과를 보였다. 결구상추의 엽록소 함량도 부패와 상관성이 있는 것으로 나타났는데 총엽록소와 엽록소 a 함량이 부패와의 상관성을 나타내는 결정계수는 동일하게 0.56이었다. 수확직후의 경도와 저장 5주 후의 부패율 사이에 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 결정계수는 0.74로서 가장 높았다. 본 연구 결과를 살펴보면 경도 4.0 N을 경계로 이보다 경도가 높은 결구상추는 5주 동안의 저장기간 동안 부패율이 20% 이내로 매우 낮았으며 이보다 경도가 낮은 결구상추는 5주 이후에는 100%에 달하는 부패율을 보였다.

Table 1. Change in decay (%) of lettuce during storage at 5°C.

week Lettuce	0	1	2	3	4	5
1	0.00±0.0	0.19±0.1	1.10±0.3	1.62±0.5	8.18±4.8	17.39±4.2
2	1.96±1.7	3.21±0.8	0.70±0.1	11.44±6.7	10.75±7.1	100±0.0
3	1.25±0.4	0.39±0.4	1.97±0.3	4.38±1.0	12.05±4.2	100±0.0
4	0.00±0.0	1.49±0.3	4.63±1.6	2.61±1.6	10.23±3.4	100±0.0
5	2.04±0.9	5.07±1.1	2.81±1.1	4.75±1.2	5.35±2.5	100±0.0
6	1.82±0.9	0.34±0.3	2.85±1.1	4.29±3.3	4.29±1.8	100±0.0
7	0.78±0.5	1.10±0.7	2.07±1.1	7.80±2.9	20.50±5.0	100±0.0
8	0.90±0.4	0.57±0.2	–	7.66±1.4	6.28±1.4	4.41±0.7
9	2.14±0.5	5.40±0.6	5.56±1.0	11.14±2.4	4.17±1.1	11.84±1.2
10	2.40±0.6	2.60±0.3	6.34±1.9	11.11±6.5	4.45±1.3	12.03±2.1

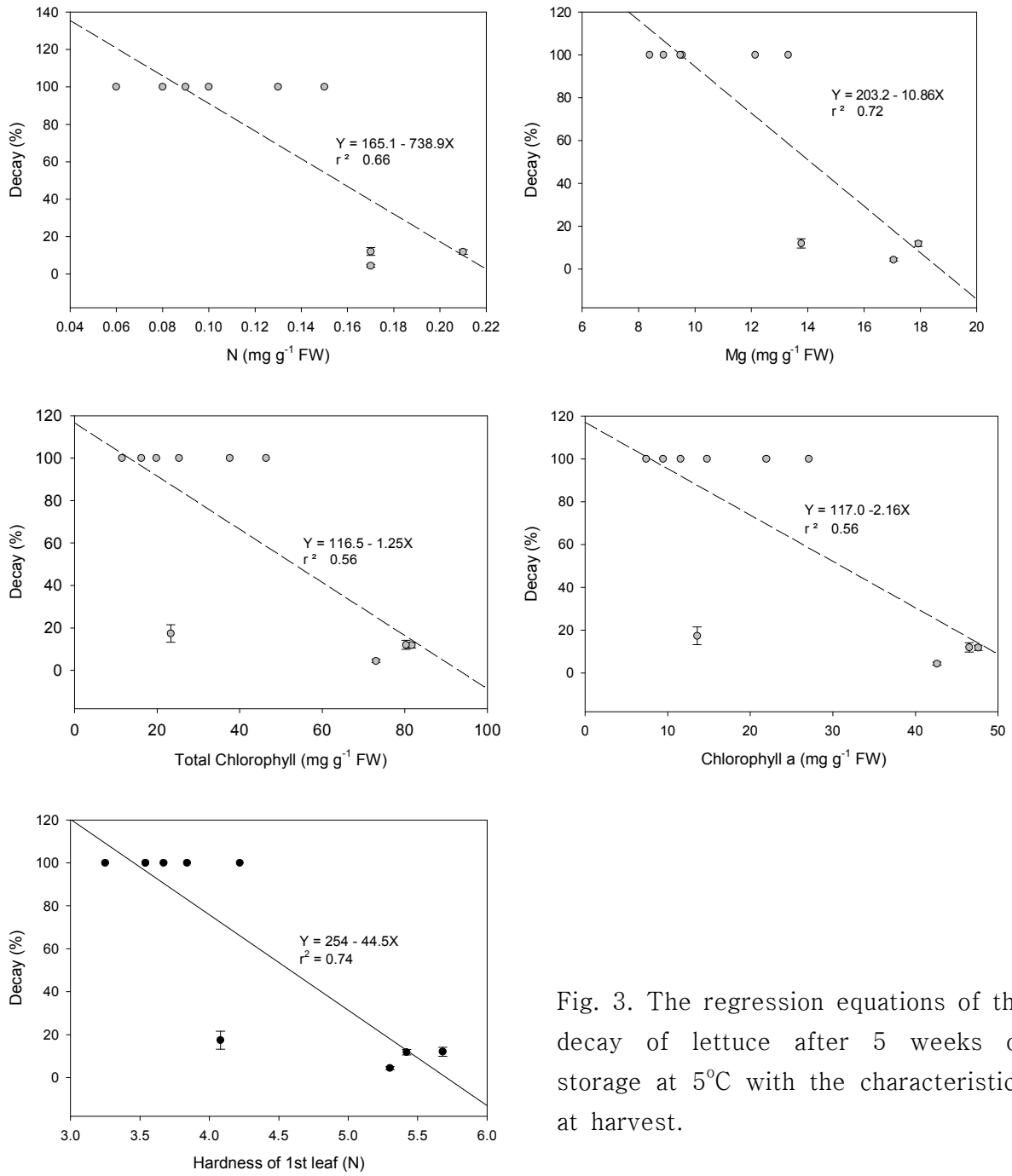


Fig. 3. The regression equations of the decay of lettuce after 5 weeks of storage at 5°C with the characteristics at harvest.

결구상추의 저장 중 갈변현상은 재배기간 동안 이미 발생하여 수확직후부터 최외엽의 주륜 부분에서 미미한 갈변 증상이 관찰되었다. 저장 기간 동안 갈변 증상이 점차 증가하며 4주 이후에는 대부분 20% 이상의 갈변을 나타내었다(Table 2). 5주 후에는 부패로 인해 품질 측정이 불가능한 시료가 발생하였다. 4주 후의 갈변 정도를 예측하기 위해 수확 시 품질 특성과의 회귀분석을 실시한 결과 저장 중의 갈변 정도와 줄기 부분의 Hunter L 값이 결정계수 0.61로 높은 상관성을 나타내었으며 다른 품질 특성들은 갈변 정도와 상관성이 매우 낮았다(Fig. 4, Table 4). 앞선 연구에서 결구가 과다하면 갈변이 증가하는 경향이 있었으므로 결구 정도와 갈변 정도 사이에 높은 상관성이 있을 것으로 예측하였으나, 속도 60~80% 구간에서는 갈변과의 상관성($r^2=0.09$)이 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 결구상추의 주륜 부위의 색을 측정하여 Hunter L 값이 높을수록 갈변이 증가하는 것으로 해석할 수 있다.

Table 2. Change in browning (%) of lettuce during storage at 5°C.

Week	0	1	2	3	4	5
Lettuce						
1	1.24±0.3	2.10±0.4	7.20±2.3	3.95±1.2	14.36±7.4	18.92±1.2
2	10.03±3.5	11.67±4.7	8.15±1.4	20.50±3.5	20.50±3.5	—
3	8.25±4.7	12.51±3.2	17.10±4.2	16.13±1.2	20.16±3.2	—
4	10.59±1.0	6.68±1.4	10.01±3.1	15.12±1.2	20.75±4.7	—
5	5.56±1.9	7.08±3.6	10.91±2.1	8.57±1.9	20.13±5.0	—
6	2.63±1.4	3.68±0.4	9.02±2.3	6.48±1.9	14.60±3.8	—
7	3.87±0.2	11.55±1.3	5.28±2.2	15.66±1.9	30.72±3.7	—
8	1.57±0.6	3.35±0.9	—	13.81±3.9	16.81±0.3	22.32±2.7
9	3.65±0.6	9.51±1.5	10.89±3.9	10.24±3.3	8.87±3.0	18.38±3.6
10	6.97±0.4	10.12±0.4	11.24±6.1	16.62±0.5	25.83±0.3	23.21±4.3

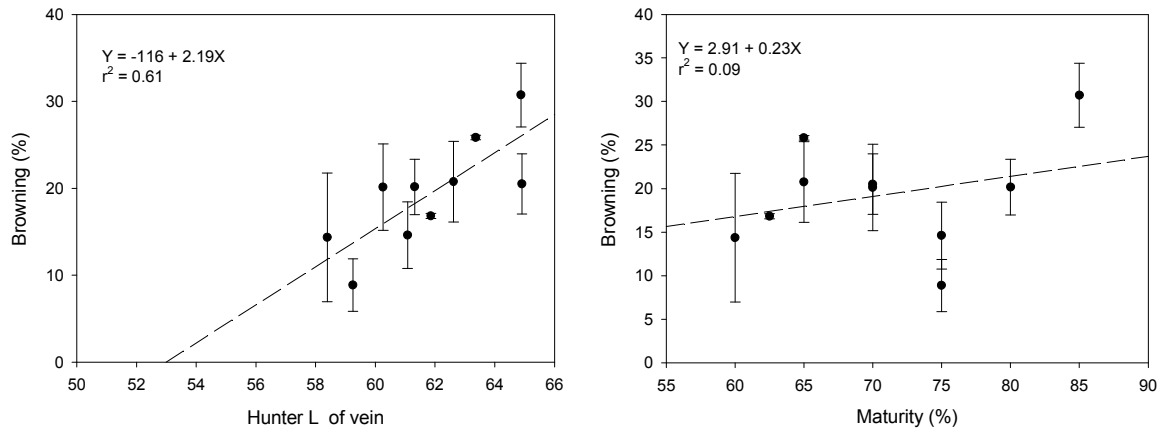


Fig. 4. The regression equations of the browning of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C with the characteristics at harvest.

결구상추는 수확 직후에는 대부분 80% 이상의 신선편이 가공수율을 보였으며 높은 경우에는 90%의 가공수율을 보이기도 하였다. 저장 1주일까지는 가공 수율의 변화가 거의 없으나 2주 후부터 가공 수율은 낮아지기 시작하였는데 이는 결잎의 물리적 자극에 의해 부패 및 변색이 발생하였기 때문이다. 신선편이 가공 수율은 저장 3주 동안 지속적으로 감소되었으며 저장 4주 후에는 수율이 급격히 낮아져 35%까지 수율이 낮아지는 실험구도 존재하였다. 대부분의 경우 5주 이후에는 100%의 부패율을 나타내었으므로 신선편이 제품으로의 가공이 불가능하였으며, 드물게는 저장 5주 이후에도 50% 이상의 수율을 유지하였다(Table 3). 이처럼 신선편이 가공 수율은 부패와 갈변 발생 정도와 추이가 유사하므로 이를 예측 할 수 있는 인자가 개발될 경우 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 기대되었다. 저장 4주 후의 가공수율을 예측하기 위해 회귀분석을 통해 수확시 품질 특성과의 상관성을 조사한 결과 신선편이 가공수율과 상관성이 높은 품질 인자는 주름의 Hunter L 값으로 결정계수는 0.66이었다(Fig. 5, Table 4). 저장 5주 후에는 주로 부패에 의해 가공 수율이 결정되므로 부패와 상관성이 높게 나타난 N 함량, Mg 함량, 총엽록소 함량, 엽록소 a 함량 또한 신선편이 가공수율과 상관성($r^2=0.65, 0.72, 0.58, 0.58$)이 있는 것으로 나타났다(Fig. 6).

Table 3. Change in fresh-cut processing yield (%) of lettuce during storage at 5°C.

Week \ Lettuce	0	1	2	3	4	5
1	84.9±0.6	89.2±1.3	82.6±2.3	88.5±2.4	70.0±11.1	47.88±8.3
2	75.3±4.1	76.3±6.2	78.1±2.3	54.0±8.2	54.0±8.2	0
3	78.0±3.7	74.0±2.5	68.3±3.5	70.1±3.2	57.6±5.2	0
4	82.5±2.8	82.9±1.2	76.9±0.7	71.2±2.6	58.9±8.0	0
5	82.1±1.9	79.4±2.4	78.3±2.8	75.5±3.4	64.1±4.3	0
6	87.8±1.4	87.7±1.3	80.8±3.6	76.0±3.5	62.2±0.6	0
7	86.0±0.3	75.1±3.6	71.6±1.8	57.7±1.1	35.0±7.2	0
8	90.1±1.6	89.1±2.8	—	68.6±5.5	66.0±1.6	63.3±2.3
9	85.4±2.1	67.8±1.4	67.4±4.2	62.9±2.4	71.1±4.3	53.4±5.1
10	76.3±1.5	80.0±0.7	68.5±5.3	59.3±7.1	60.3±1.5	52.7±6.0

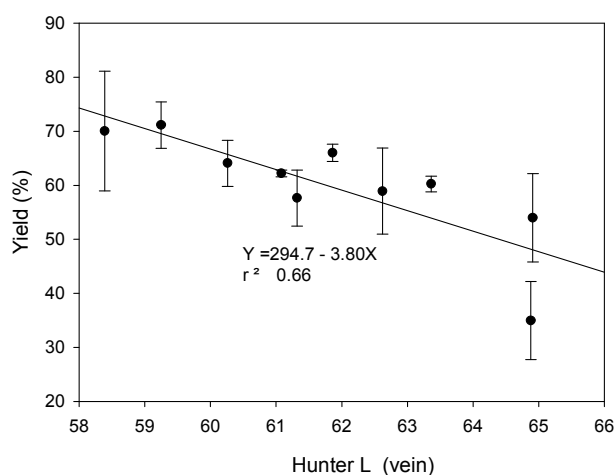


Fig. 5. The regression equations of the fresh-cut processing yield of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C with the Hunter L of vein at harvest.

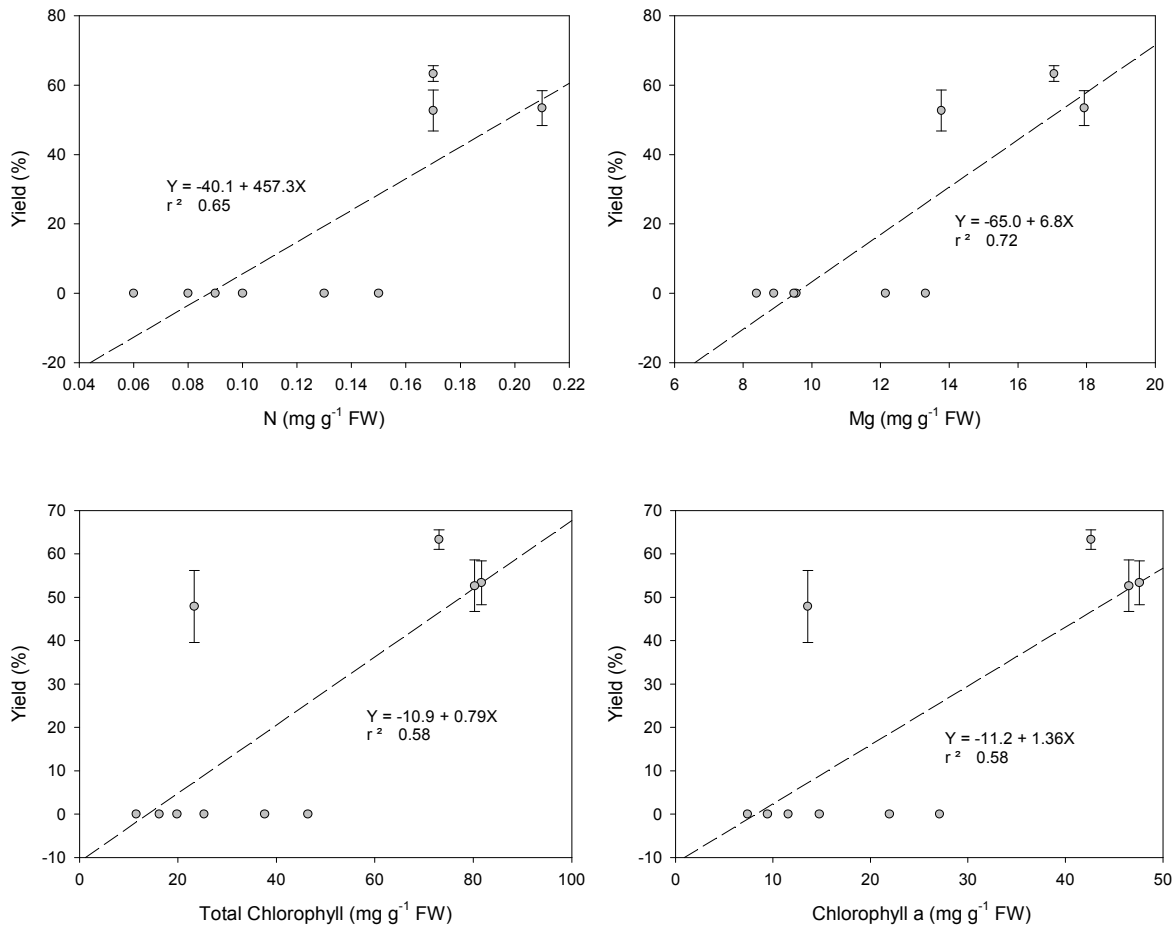


Fig. 6. The regression equations of the fresh-cut processing yield of lettuce after 5 weeks of storage at 5°C with the characteristics at harvest.

결구상추는 저장 기간 중 경도의 변화가 거의 발생하지 않으나 저장 후기에는 연화가 일어나 신선편이 제품의 상품성을 하락시키는 원인이 되므로 4주 이후의 경도를 예측할 수 있는 지수를 분석해 보았다. N 함량, Mg 함량, 총엽록소 함량, 엽록소 a 함량, 초기 경도가 매우 높은 상관성을 나타내었다(Fig. 7, Table 4). 결정계수는 각각 0.72, 0.77, 0.82, 0.83, 0.87이었다. 그러나 장기저장 후 경도는 수확초기의 경도와 매우 밀접한 관련이 있으므로 다른 품질 특성을 예측 인자로 사용할 필요는 없는 것으로 판단되었다.

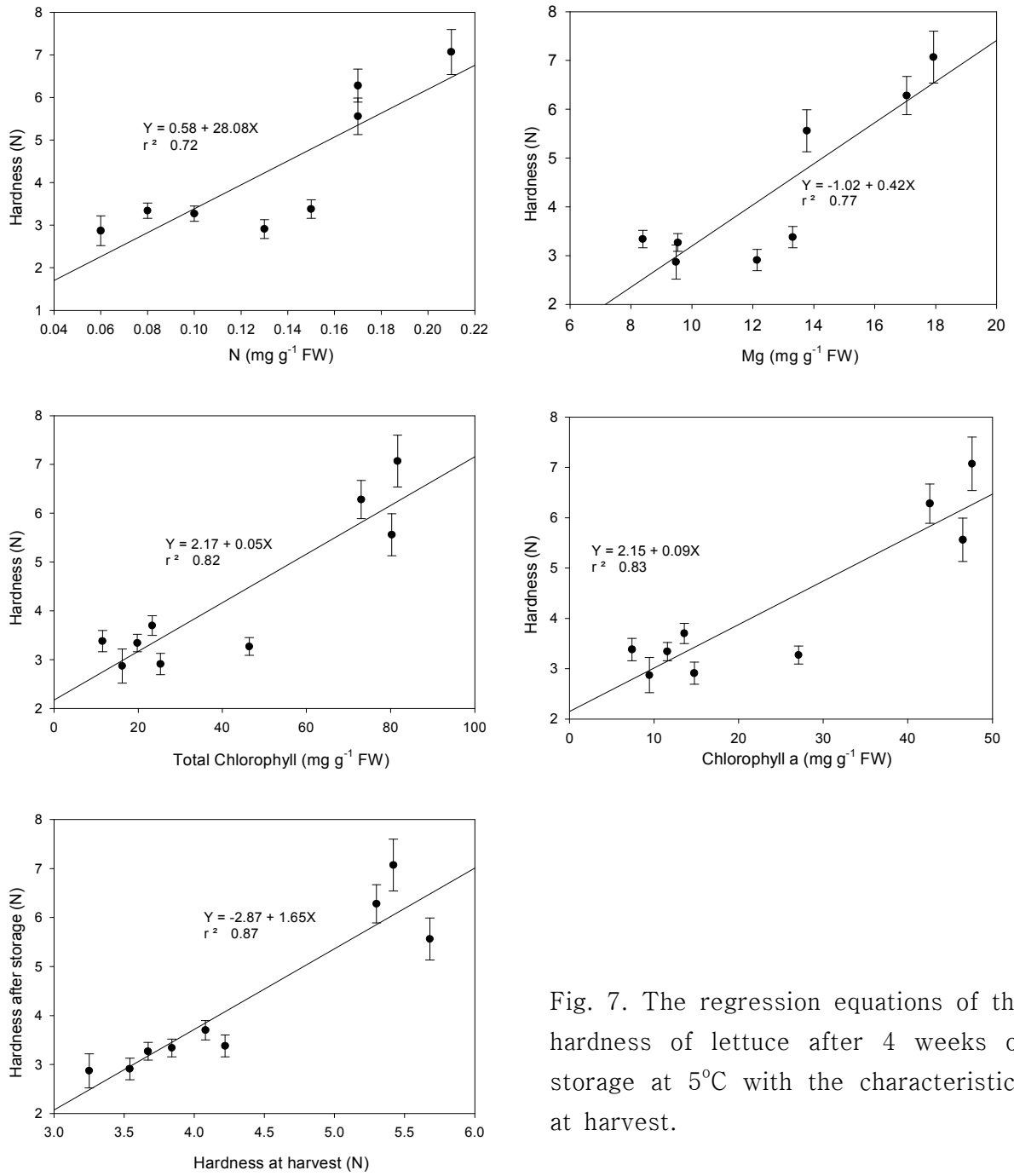


Fig. 7. The regression equations of the hardness of lettuce after 4 weeks of storage at 5°C with the characteristics at harvest.

결구상추는 수확시 작업에서 입은 물리적 상처에 의한 저장 중에 2차적으로 부패 및 갈변이 증가되는 문제가 발생되어 이로 인해 가공시 수율이 감소되는 결과가 나타나는데, 장해가 있는 부분을 제거하고 건전한 잎을 사용하여 신선편이 제품으로 가공한 경우 절단면과 잎 전면부가 갈변되는 증상이 유통 기간 중에 나타나 상품성을 하락시키게 된다. 신선편이 가공 후의 갈변은 수확 직후에 가공한 것에 비해 저장 후 가공할 경우 갈변 속도가 빨라지고 증상도 심화되는 특징이 있다. 본 실험결과 약 3 주 동안의 저장시 수확초기에 가공한 경우에 비해 갈변이 크게 심화되지는 않으나 저장 4주 이후에는 갈변이 심하게 발생하는 실험구와 그렇지 않은 실험구 사이의 차이가 나타나기 시작하였다. 저장 4주 후에 신선편이 가공한 경우 갈변 정도는 주륜 부위의 Hunter L 값과 결정계수 0.76의 상관성을 나타내었다(Fig. 8, Table 4). 저장 5주된 원료를 사용할 때 신선편이 결구상추의 갈변 정도는 수확 초기의 N 함량, Ca 함량과 결정계수 0.51, 0.57의 상관성을 보였고 경도와는 결정계수 0.64로 가장 높은 상관성을 보였다(Fig. 9, Table 4). 따라서 수확된 결구상추의 경도가 높을수록 저장 중의 부패도 감소되고 신선편이 가공 후 제품의 갈변이 경감되는 것으로 예측할 수 있었다.

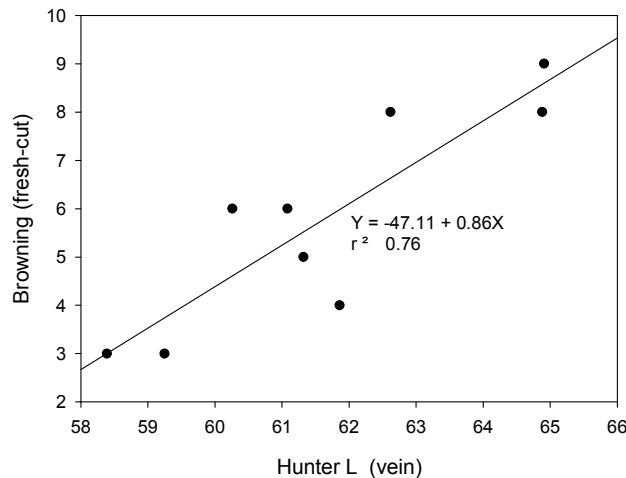


Fig. 8. The regression equations of the browning of fresh-cut product after 4 weeks of storage at 5°C with the Hunter L of vein at harvest.

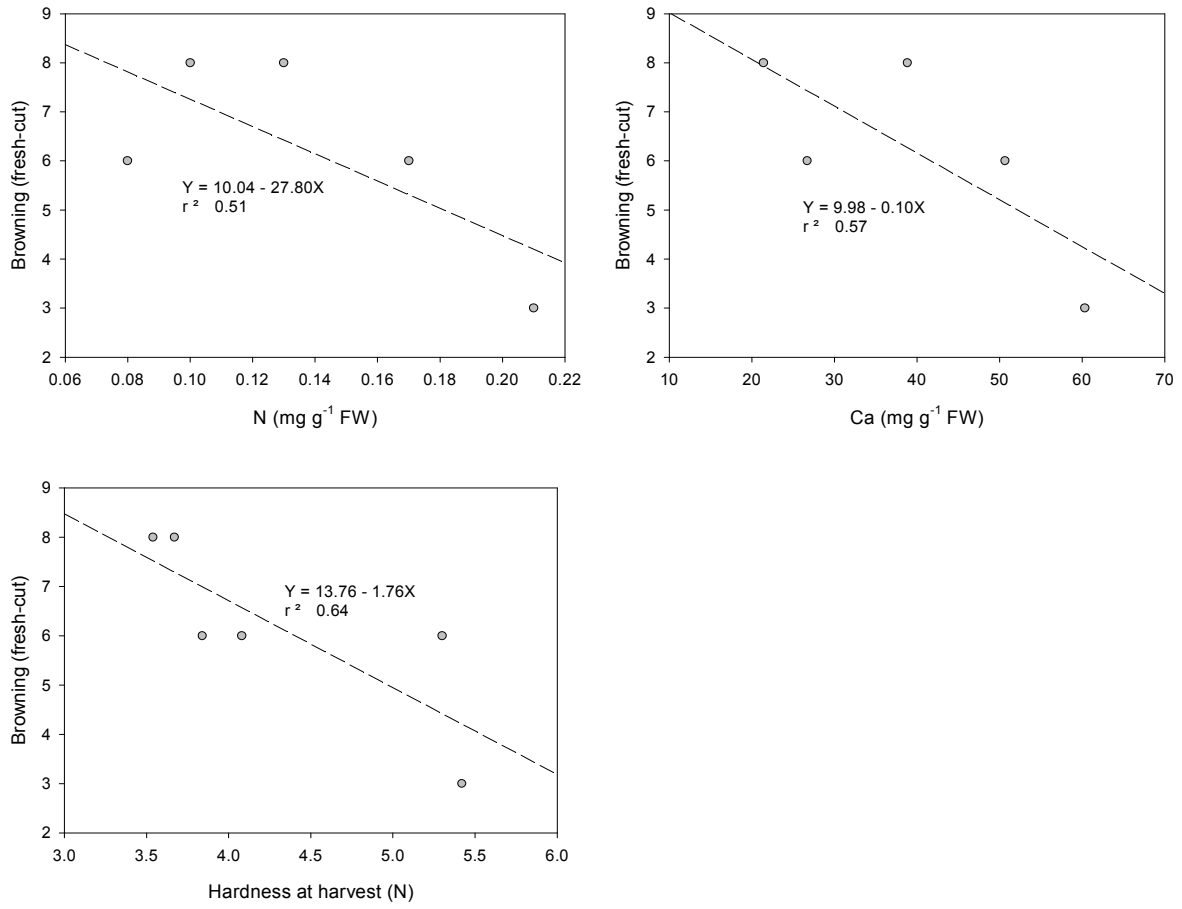


Fig. 9. The regression equations of the browning of fresh-cut product after 5 weeks of storage at 5°C with the characteristics at harvest.

Table 4. Coefficient of determination(r^2) of the quality index after storage with the characteristics at harvest.

Quality index Characteristic	Browning	Decay	Yield		Hardness	Browning (Fresh-cut)	
	4 wk	5 wk	4 wk	5 wk	4 wk	4 wk	5 wk
Maturity	0.09	0.30	0.41	0.30	0.02	0.09	0.11
SSC	0.00	0.01	0.06	0.00	0.02	0.03	0.07
EL	0.04	0.15	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
N	0.02	0.67	0.24	0.65	0.72	0.21	0.51
Ca	0.12	0.34	0.21	0.34	0.40	0.15	0.57
Mg	0.28	0.72	0.37	0.72	0.77	0.33	0.44
Fructose	0.15	0.07	0.04	0.06	0.02	0.02	0.00
Glucose	0.33	0.03	0.02	0.06	0.00	0.09	0.00
Total Chlorophyll	0.00	0.56	0.07	0.58	0.83	0.20	0.35
Chlorophyll a	0.00	0.56	0.07	0.58	0.82	0.21	0.35
Chlorophyll b	0.09	0.16	0.02	0.07	0.03	0.00	0.25
Hunter L(vein)	0.61	0.16	0.66	0.14	0.02	0.76	0.25
Hunter a (vein)	0.02	0.05	0.08	0.04	0.02	0.12	0.00
Hunter b (vein)	0.08	0.11	0.15	0.09	0.00	0.12	0.00
Hunter L (leaf)	0.04	0.23	0.10	0.28	0.40	0.35	0.17
Hunter a (leaf)	0.01	0.07	0.03	0.08	0.22	0.00	0.03
Hunter b (leaf)	0.11	0.29	0.12	0.33	0.46	0.15	0.29
Hardness	0.05	0.74	0.16	0.75	0.87	0.31	0.64

고령지에서 재배되는 하절기 결구상추의 저장 중 부패와 상관성이 높은 품질 인자로 판단된 경도는 복잡한 분석 과정 없이 바로 현장에 적용하기 용이하다고 판단되었다. 하절기에 고령지 지역에서 재배된 결구상추를 20회 수확하여 실험실에 비치된 texture analyzer와 휴대용 경도계를 사용하여 경도를 측정 후 두 측정치 간의 상관성을 분석한 결과 두 측정치 사이에 높은 상관성($r^2=0.72$)이 있었다(Fig. 10). 선행 연구에서 수확된 결구상추의 경도가 4 N 이하인 경우 부패가 일찍 발생하여 저장성이 약한 것으로 나타났는데 본 실험에서 얻은 1차 회귀식에 의하면 4 N은 휴대용 경도계를 이용한 측정치 0.55 kgf에 해당된다. 따라서 현장에서는 결구상추 경도를 측정하여 0.55 kgf을 기준으로 저장성, 특히 저장 중 부패 정도를 예측할 수 있는 인자로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

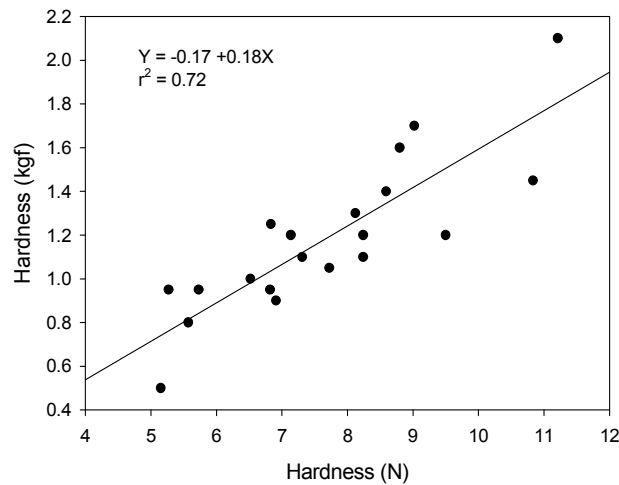
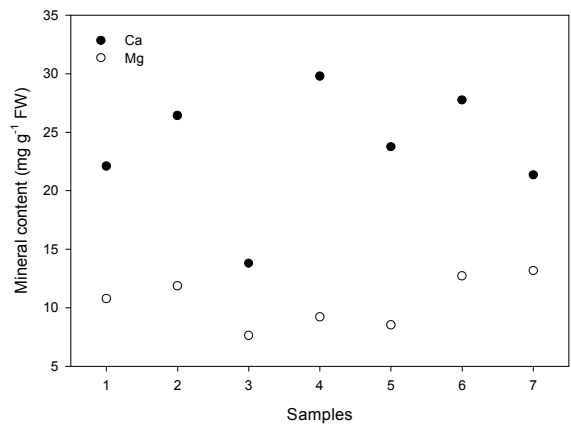
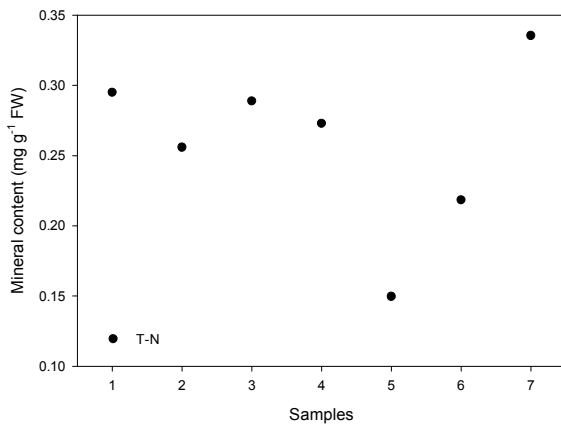
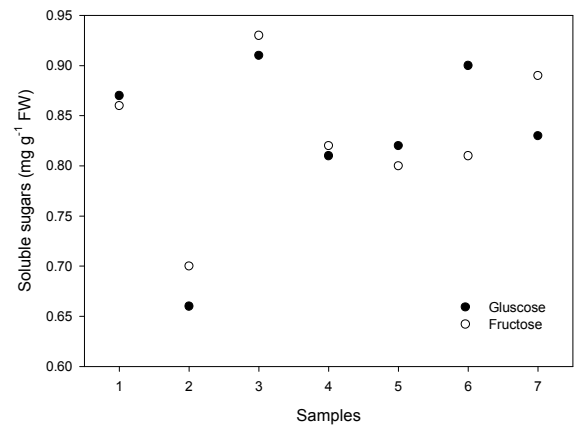
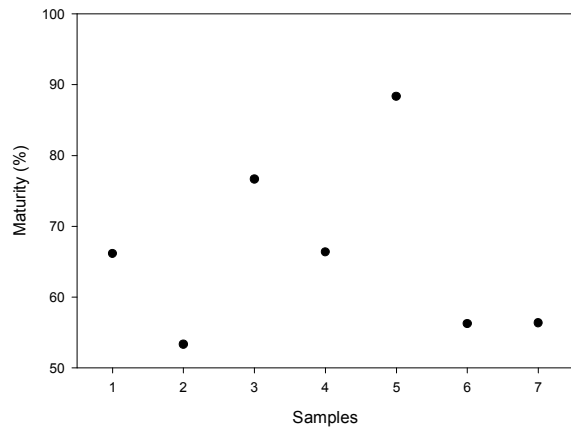
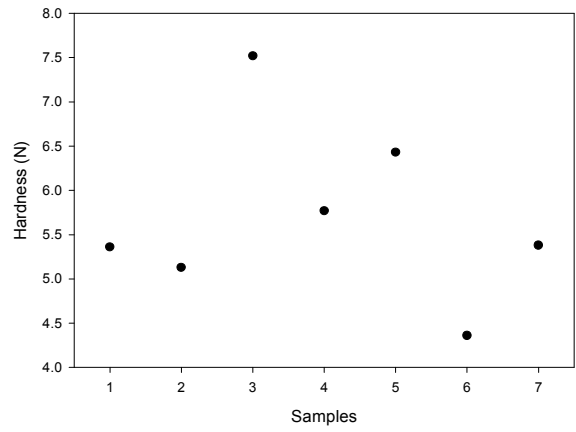
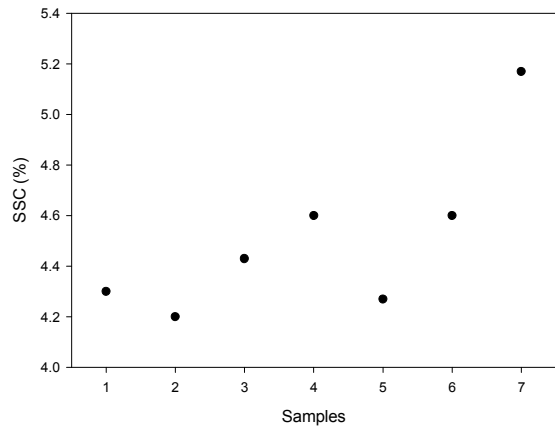


Fig. 10. The regression equations of the hardness checked with texture analyzer with the hardness checked with portable fruits hardness tester.

10월 이후에 수확되는 결구상추의 품질 변화를 예측할 수 있는 인자를 구명하고자 충청북도 제천 지역에서 재배된 ‘시크라멘트’ 품종의 결구상추를 7회에 걸쳐 수확한 후 수확당시의 품질지표인 결구정도, 가용성 당 함량, 전도도, 무기원소 함량(N, Ca, Mg), 수용성 당 함량(glucose, fructose), 잎과 줄기의 경도, 잎과 줄기의 색을 측정하였다. 각 수확된 결구상추는 5°C에서 5주 동안 저장하면서 1주일 간격으로 부패, 갈변, 신선편이 가공수율, 경도, 신선편이 가공 후 갈변을 측정한 후 수확 직후의 품질 특성과 저장 중 품질인자의 변화와의 상관성을 분석하였다. 결구상추는 저장 중 주로 부패, 갈변, 수율, 조직감의 변화가 저장성을 결정짓는 요인이 되므로 특히 이들의 변화를 예측할 수 있는 수확 직후의 품질 특성을 구명하고자 하였다. 수확시 측정한 각 품질인자의 분포를 살펴보면 가용성 당 함량은 4.20~5.17 °brix로 대관령지역에서 재배된 2.23~3.77 °brix 보다 높은 수준이었다. 최외엽의 경도 또한 4.36~7.52 N으로 대관령지역에서 재배된 결구상추의 경도 수준(3.25~5.68 N)보다 높았다. Glucose 함량은 0.66~0.91 mg g⁻¹ FW, fructose 함량은 0.70~0.93 mg g⁻¹ FW으로 각각 대관령에서 재배된 결구상추의 0.29~0.72 mg g⁻¹ FW과 0.41~0.73 mg g⁻¹ FW에 비해 높은 수준의 분포를 나타내었다. N 함량은 0.14~0.33 mg g⁻¹ FW이었고 Ca 함량은 13.79~29.70 mg g⁻¹ FW, Mg 함량은 7.63~13.16 mg g⁻¹ FW으로 나타나 Mg 함량은 대관령에서 재배된 결구상추와 같은 수준(8.39~17.93 mg g⁻¹ FW)이고, N과 Ca 함량은 대관령 결구상추(총질소, 0.06~0.21 mg g⁻¹ FW; Ca 함량은 21.43~60.32 mg g⁻¹ FW)에 비해 높은 함량을 나타내었다. 속도를 판단하는 근거가 되는 결구 정도는 53.3~88.3%이었고, 전도도는 15.31~28.25%로 대관령에서 재배된 결구상추의 27.08~71.98%에 비해 전반적으로 낮은 수준으로 분포되어 세포의 건전도가 높은 것으로 추정되었다. 줄기와 잎의 Hunter L 값은 각각 45.82~55.18과 36.73~48.66으로 상대적으로 대관령 실험구(58.39~64.91, 46.32~61.97)에 비해 낮은 수준이었고, Hunter a값은 줄기와 잎 각각 -9.53~-6.48과 -14.61~-9.63으로 줄기는 대관령 실험구에 비해 낮았고 잎은 더 높았다(Fig. 11). 본 연구에서는 잎의 경도를 측정할 때 결구잎의 최외엽만 측정하였다.



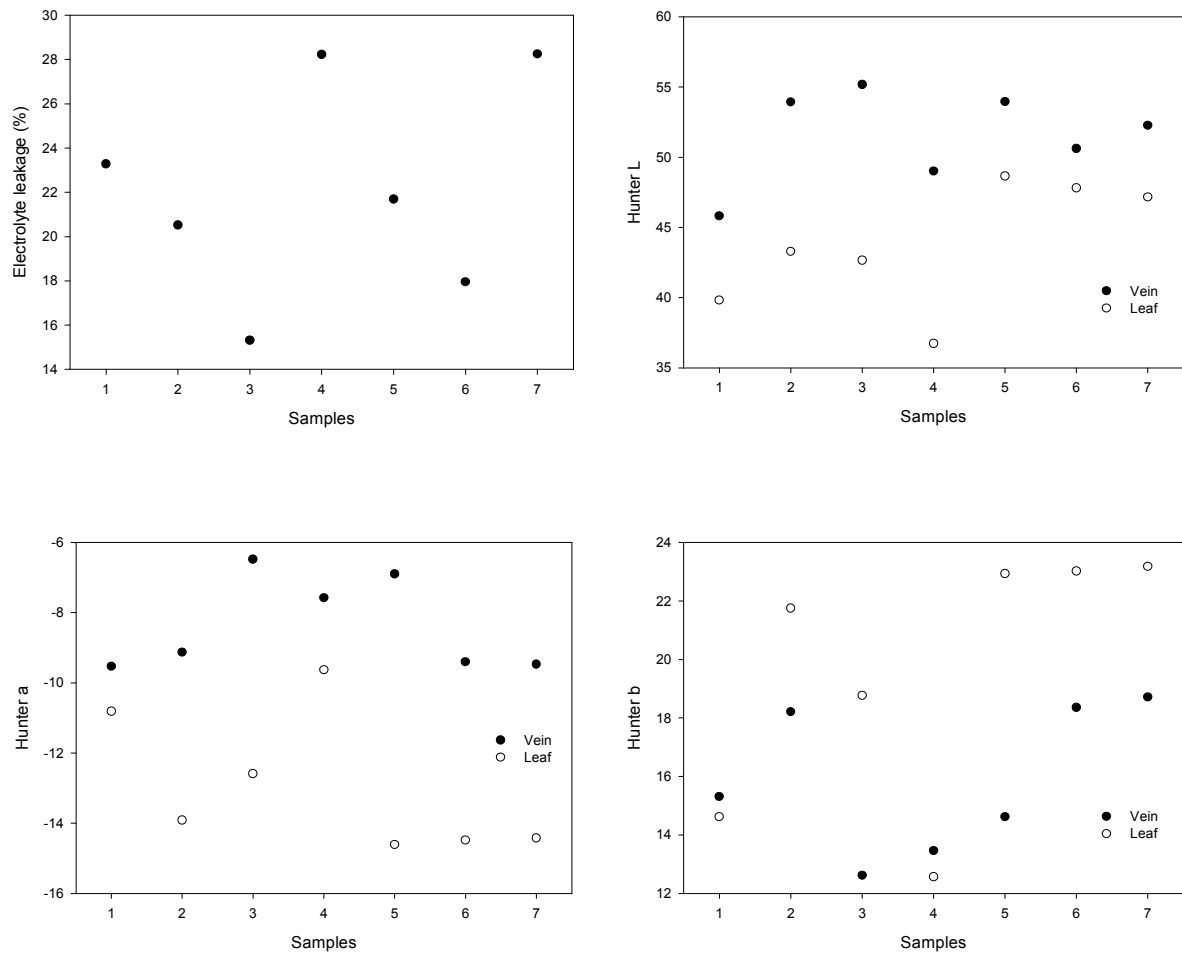


Fig. 11. The quality characteristics (SSC, hardness, chlorophyll content, soluble sugars content, mineral content, maturity, electrolyte leakage, and Hunter L, a, b) of lettuce at harvest cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

충청북도에서 저장된 결구상추는 저장 초기에는 1% 이내의 부패율을 나타내었으며, 대부분의 경우 4주 이후에는 100% 부패되는 시료와 3% 이내의 부패에 그치는 시료가 구분되므로 이 시기의 부패 정도를 예측할 수 있는 인자를 찾는 것이 매우 중요하다고 판단되었다(Table 5). 이때의 부패율과의 상관성을 분석한 결과 가장 높은 상관성을 나타내는 인자는 N 함량이었는데 결정계수는 0.50에 그쳤다(Fig. 12, Table 9). 대관령에서 재배된 결구상추는 수확직후의 정도와 부패와의 상관성이 높았으나 본 품종에서는 상관성이 없었다(Fig. 12).

Table 5. Change in decay (%) of lettuce during storage at 5°C. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

Lettuce	week					
	0	1	2	3	4	5
A	0.1±0.1	0.1±0.1	0.3±0.2	0.3±0.1	0.8±0.4	100.0±0.0
B	0.0±0.0	0.0±0.01	0.5±0.1	0.4±0.1	0.6±0.2	1.4±0.5
C	0.0±0.0	0.0±0.01	0.2±0.1	1.0±0.2	3.1±0.0	4.1±0.4
D	0.0±0.0	0.0±0.01	1.4±0.6	1.6±0.9	100.0±0.0	100.0±0.0
E	0.0±0.0	0.0±0.01	0.2±0.1	1.0±0.3	100.0±0.0	100.0±0.0
F	0.0±0.0	0.0±0.01	0.8±0.3	0.6±0.3	100.0±0.0	100.0±0.0
G	0.0±0.0	0.0±0.01	1.1±0.3	1.3±0.4	3.3±0.2	100.0±0.0

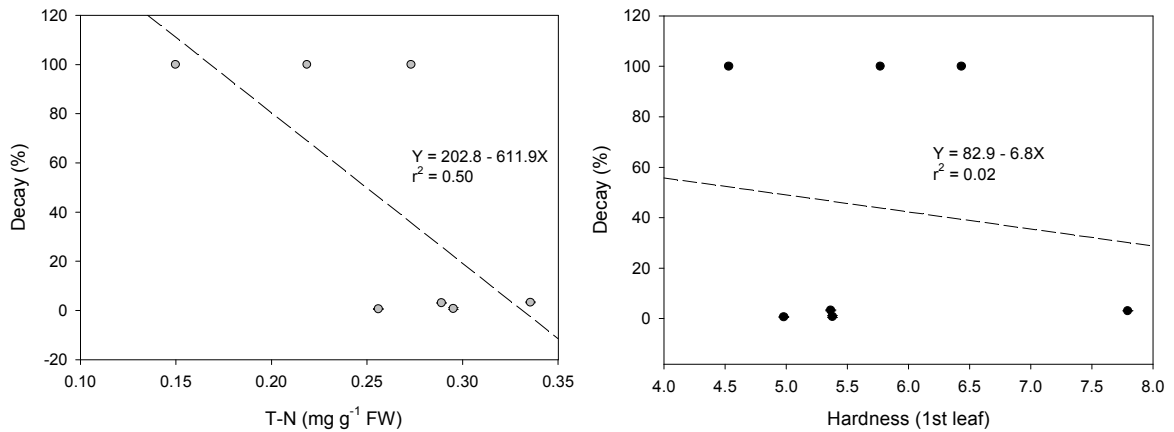


Fig. 12. The regression equations of the decay after 4 weeks of storage of lettuce with T-N content and hardness at harvest. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

결구상추의 저장 중 갈변은 수확직후부터 발견되기 시작하여 저장 기간 동안 점차 증가하였으며 저장 3주 후에는 시료별로 1.8%의 부패율을 보이는 실험구에서부터 10%의 갈변을 보이는 실험구까지 차이를 나타내었다(Table 6). 저장 4주째에는 부패가 100%에 이르는 시료가 생기기 시작하여 갈변율을 측정할 수 없었다. 따라서 3주 동안 저장시 갈변 진행 정도와 수확시 품질 인자와의 상관성을 분석한 결과 저장 중 갈변과 상관이 가장 높은 수확시 품질 특성은 속도(결구율)로서 결정계수는 0.44로 낮은 수준이었다(Fig. 13, Table 9).

Table 6. Change in browning (%) of lettuce during storage at 5°C. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

Lettuce	week					
	0	1	2	3	4	5
A	0.5±0.28	0.8±0.36	1.09±0.92	5.9±2.21	15.7±3.00	—
B	1.6±0.99	5.0±2.52	3.2±1.83	1.8±0.11	4.5±0.60	10.9±2.07
C	0.5±0.26	3.1±0.68	2.1±0.76	1.9±0.53	7.1±1.12	12.2±2.39
D	0.1±0.11	3.7±2.33	4.0±1.75	2.8±0.38	—	—
E	0.2±0.02	1.5±0.98	0.8±0.13	10.0±2.18	—	—
F	2.2±0.26	3.3±1.28	2.4±1.73	3.0±1.71	—	—
G	1.3±0.68	4.1±3.42	5.4±0.54	4.3±0.66	9.0±1.38	—

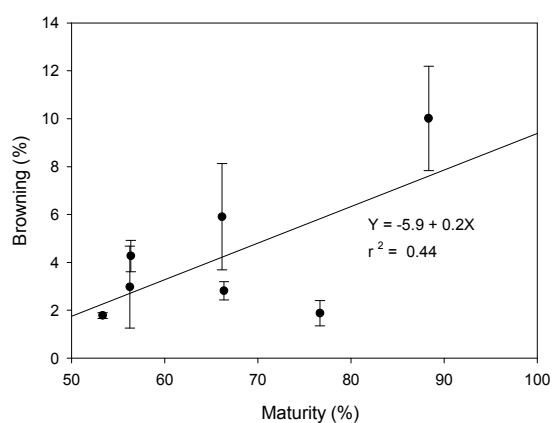


Fig. 13. The regression equations of the browning after 3 weeks of storage of lettuce with the maturity at harvest. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

결구상추의 수율은 불가식 부위(겉잎과 심지부분)를 제거한 후 측정하였다(Table 7). 본 실험에 사용된 ‘시크라멘트’의 경우 가공 수율이 낮았고, 저장 3주까지는 가공 수율의 변화가 크게 발생하지 않으나 저장 4주 후에는 수율이 급격히 낮아져 32%까지 수율이 낮아지는 실험구도 존재하였으며 원료의 부패로 인해 가공이 불가능한 실험구도 나타나기 시작하였다. 대부분의 경우 5주 이후에는 100%의 부패율을 나타내었으므로 신선편이 제품으로의 가공이 불가능하였다. 이처럼 가공 수율 또한 부패의 경우와 같이 저장 중에 실험구간 차이가 크게 발생하는 항목이므로 이를 예측 할 수 있는 인자가 개발될 경우 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 기대되었다. 부패 정도가 가공 수율에 영향을 미치므로 가공 수율과 상관성이 가장 높은 인자는 부패와 마찬가지로 결구상추 잎의 N 함량이었으나 결정계수는 0.42로 낮았다(Fig. 14, Table 9).

Table 7. Fresh-cut processing yield (%) of lettuce during storage at 5°C. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

Lettuce	week					
	0	1	2	3	4	5
A	46.7±5.34	50.3±1.42	48.1±0.62	44.8±3.41	34.0±3.32	0
B	57.3±3.35	47.4±1.38	46.0±3.15	44.4±3.18	42.4±2.42	25.3±3.49
C	52.6±1.00	52.2±2.26	49.8±4.46	47.6±3.00	32.8±3.05	32.6±1.14
D	45.3±3.33	48.3±6.06	40.4±6.43	48.3±3.52	0	0
E	59.5±3.22	50.3±2.26	48.4±1.28	40.4±0.55	0	0
F	34.7±5.24	41.3±2.38	35.9±3.41	37.6±3.52	0	0
G	51.2±1.50	49.4±5.19	42.0±4.23	44.6±4.07	32.6±4.07	0

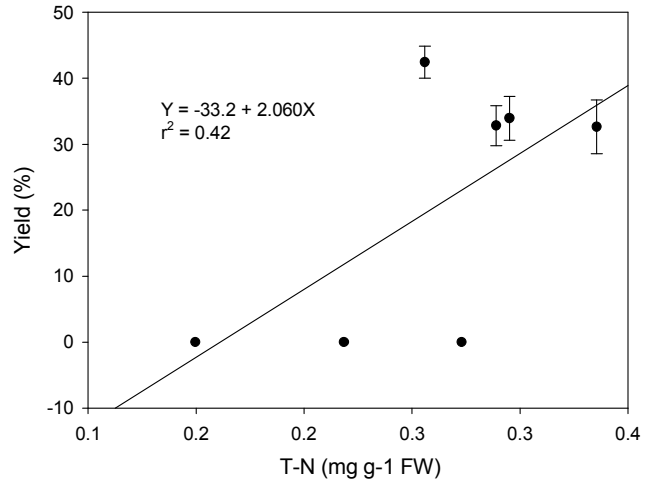


Fig. 14. The regression equations of the yield after 3 weeks of storage of lettuce with T-N at harvest. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

신선편이 결구상추의 유통 중 경도는 초기의 경도가 높을수록 높게 유지되는 결과를 나타내었으며(Table 8) 결정계수는 0.74로 매우 높게 나타났다(Fig. 15, Table 9). 저장 중 결구상추의 경도는 초기의 경도와 매우 높은 관련이 있는 것으로 나타났으므로 다른 예측인자를 설정하는 의미가 적은 것으로 판단되나, 다른 품질 인자 중 상관성이 높은 인자를 살펴본 결과 수확시의 결구상추의 Mg 함량과 저장 중의 경도 변화가 비교적 높은 부의 상관도를 나타내었으며 결정계수는 0.64였다(Fig. 15, Table 9).

Table 8. Hardness (N) of lettuce during storage at 5°C.

Lettuce	week						
	0	1	2	3	4	5	
A	5.4±0.31	5.3±0.38	5.6±0.42	5.8±0.35	3.9±0.28	0	
B	5.0±0.30	6.0±0.35	5.0±0.23	5.4±0.50	4.7±0.42	4.8±0.41	
C	7.8±0.48	7.5±0.78	7.0±0.60	6.5±0.42	6.3±0.52	6.0±0.52	
D	5.8±0.31	6.3±0.23	5.5±0.27	6.1±0.34	0	0	
E	6.4±0.34	6.6±0.46	6.5±0.45	6.1±0.43	0	0	
F	4.5±0.35	4.6±0.32	4.5±0.22	5.0±0.24	0	0	
G	5.4±0.32	5.1±0.19	6.1±0.38	5.5±0.40	5.4±0.32	0	

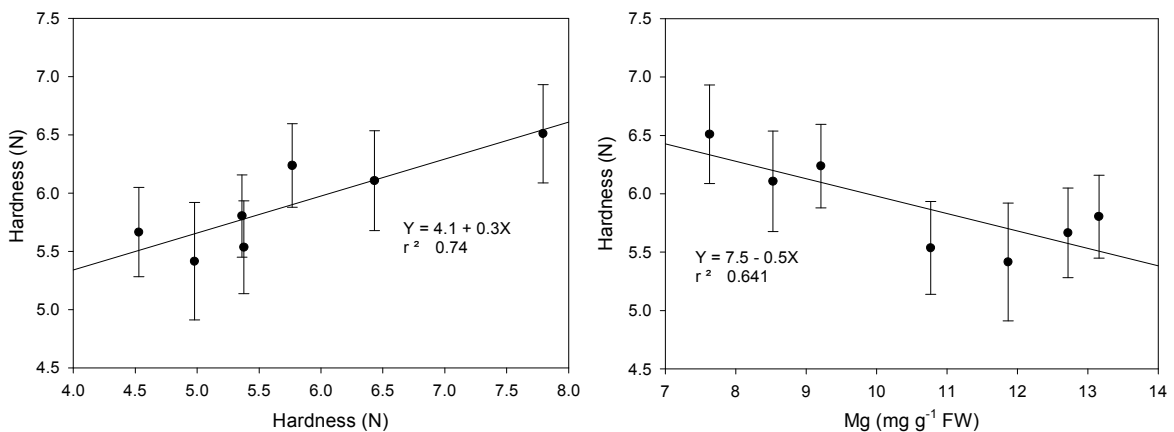


Fig. 15. The regression equations of the hardness after 4 weeks of storage of lettuce with hardness and Mg content at harvest. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

Table 9. Coefficient of determination(r^2) of the quality index after storage with the characteristics at harvest. Lettuce was cultured in Chungcheongbuk-do during fall season.

Quality index Characteristic	Browning (whole)	Decay (whole)	Yield (whole)	Hardness (whole)	Browning (Fresh-cut)
Maturity	0.44	0.09	0.13	0.50	0.04
SSC	0.00	0.00	0.00	0.04	0.37
EL	0.00	0.16	0.17	0.09	0.14
N	0.32	0.50	0.42	0.00	0.04
Ca	0.00	0.02	0.28	0.18	0.01
Mg	0.05	0.03	0.04	0.64	0.00
Fructose	0.00	0.06	0.00	0.15	0.18
Glucose	0.01	0.03	0.10	0.21	0.00
Hunter L (vein)	0.00	0.28	0.02	0.08	0.06
Hunter a (vein)	0.12	0.03	0.04	0.53	0.00
Hunter b (vein)	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00
Hunter L (leaf)	0.30	0.08	0.02	0.11	0.13
Hunter a (leaf)	0.14	0.00	0.00	0.20	0.02
Hunter b (leaf)	0.13	0.00	0.00	0.21	0.02
Hardness	0.02	0.02	0.00	0.74	0.01

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

구 분	연구목표 및 평가의 착안점	연구개발 목표의 달성도(%)	관련분야 기술발전에 의 기여도
1차년도 (2006)	○ 저장력에 미치는 수확 전·후 요인 분석 여부 ○ 원료의 품질 특성과 저장력과의 관계 조사 여부	100 100	매우 큼
2차년도 (2007)	○ 저장력에 미치는 수확 전·후 요인 구명 여부 ○ 원료의 품질특성과 신선편이 가공성과의 관계 검토 여부	100 100	매우 큼
3차년도 (2008)	○ 결구상추의 수확후 관리 체계 구축 여부 ○ 저장 중 원료의 변화에 따른 신선편이 가공계획 확립 여부	100 100	매우 큼
최종평가	○ 결구상추 원료 관리 체계 구축 ○ 수확시의 품질 특성과 저장성과의 관계 구명 ○ 저장 중 품질변화가 가공제품의 품질에 미치는 영향 구명	100 100 100	매우 큼

결구상추의 저장력과 신선편이 가공 적성을 고려한 수확기 기준 설정 연구를 강원도 고령지 지역에서 재배된 ‘유레이크’ 품종과 충청북도 지역에서 재배된 ‘시크라멘트’ 품종을 대상으로 수행한 결과 결구상추는 미숙한 상태에서 수확할 경우 조직감이 연한 장점이 있으나 저장 중 부패가 크게 발생하고, 과숙한 상태에서 수확할 경우 갈변이 증가하므로 결구가 70~80% 형성된 적숙 상태에서 수확하는 것이 매우 중요하다. 결구정도가 이에 이르지 못하면 저장 중 전도도가 증가하여 연화가 빠르고, 과숙시에는 신선편이 가공시 페놀 화합물의 함량이 증가하여 갈변을 증가시키는 원인이 되었다.

수확 방식에 따른 저장력의 차이를 구명하고 수송 및 저장에 사용되는 상자의 재질 및 수확 후 원료의 적재 방식을 개선하여 저장 중 품질 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 결구상추의 포기엽은 결구엽을 물리적 충격으로부터 보호하여 부패를 감소시키고 결구엽의 수분 손실을 억제하므로 수확시 제거하지 않는 것이 바람직하며, 수확된 결구상추를 플라스틱 박스에 적재할 때 2단으로 적재하지 않고 1단으로 적재하면 물리적 충격이 감소되어 부패와 갈변이 감소하였다. 딸기 등 과육이 연한 작물의 수확 및 운송시 사용되는 스티로폼 상자를 결구상추 수확시 사용한 결과 충격완화로 인해 저장성이 강화될 것으로 기대한 바와는 달리 저장기간 동안 호흡열과 이산화탄소가 축적되어 부패 및 갈변이 급

격히 증가하는 문제가 발생하였다.

또한 현재 고령지 지역에서 재배되고 있는 주 품종인 '유레이크'와 '텍사스 그린'의 신선편이 가공 적합성이나 원료로서의 저장성을 비교하였고, 하절기의 고령지 지역의 고온다습한 기상 조건이 품질에 미치는 영향을 조사하였으며, 수확시 강우의 유무에 따른 예냉 효과를 분석하였다. '텍사스 그린' 품종은 '유레이크' 품종에 비해 갈변과 부패가 적게 발생하는 장점이 있으나, 강한 조직감 때문에 신선편이 제품으로서의 소비자 선호도는 낮았다. 고온다습한 시기에 고령지에서 재배된 결구상추는 조직이 약하고 저장 중 갈변과 부패가 심하게 발생하며, 강우량이 낮은 시기에 재배되면 저장성도 향상되었다. 그러나 평균 온도가 급격히 낮아진 9월 이후에 재배된 결구상추는 경도와 신선편이 가공 수율이 다시 낮아지는 경향이었다. 하절기 고령지 지역에서 재배된 결구상추는 건조한 날 수확한 후 예냉하면 갈변 억제 효과가 있으나 그 효과가 매우 미미한 정도였으며, 우기에 수확한 결구상추는 진공 예냉을 통해 수분이 제거되는 효과가 있어 저장 중 부패가 억제되었다. 그러나 주름 부분이 붉게 변하고 조직이 반투명해지는 저온장해 증상이 나타나기도 하므로 우기에 수확한 경우에는 예냉 온도를 관행보다 상승시킬 필요가 있다고 판단되었다.

고온다습한 환경에서 재배된 하절기 결구상추를 위한 포장 기술을 확립하기 위해 PE film의 두께별 효과 및 과습 방지를 위한 천공에의 영향을 조사 하였으며, 산소에 의한 원료의 갈변 및 부패를 지연시키기 위해 진공 포장 및 질소충진 포장 기술을 적용한 후 원료의 저장력과 신선편이 제품의 품질에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 신선편이 결구상추의 유통기간 중 갈변을 경감시키기 위해 high CO₂ MAP 조건을 설정하는 연구를 수행하였고 이 때 PPO, PAL, total phenol 물질의 변화를 분석하여 갈변 현상과의 관계를 구명하였다. 결구상추 원료 저장시 PE 필름 포장하면 원료의 품질 뿐만 아니라 신선편이 제품의 갈변 또한 감소되었다. 원료 저장시 천공한 필름으로 포장하면 신선편이 제품의 갈변과 연화가 증가한다. 신선편이 가공을 위한 원료의 단기 저장시(2주 이내) 진공 포장하거나 질소 충전 포장하면 신선편이 가공 후 갈변 발생이 PE 필름 포장한 것에 비해 크게 억제되었다. 그러나 저 산소 조건이 3주 이상 길어지면 갈변과 부패가 급격히 증가하므로 이 포장방식을 사용할 때에는 원료의 저장 기간을 2주 이내로 제한하여야 한다. 신선편이 결구상추에 고농도 CO₂ MAP 처리하면 PPO과 PAL 활성이 낮게 유지되어 갈변이 억제된다. 이러한 효과는 CO₂ 수준이 높을수록 좋으나 이취가 발생하고 조직의 연화가 심해지므로 20 kPa이 가장 효과적이었다.

하절기 고온다습한 환경에서 재배되는 결구상추는 저장력이 상대적으로 약할 뿐 아니라 저장 중 생리장해 발생이 잦고 원료에 따라 저장력의 차이가 매우 크므로, 신선편이 가공을 위한 원료의 저장력 및 신선편이 가공적성을 예측할 수 있는 품질 인자를 개발하고자 재배 중 형성된 품질 특성과 저장 중 품질 변화와의 상관성을 분석하였으며 가을철 충청북도 지역에서 재배된 '시크라멘트' 품종에 대해서도 동일한 실험을 수행하였다. 고령지 지역에서 재배되는 '유레이크' 품종의 품질 특성 중 총 초기 경도 값이 저장 중 부패

정도와 높은 상관성이 있었다. 실험실에서 측정한 경도 값을 기준으로 4 N 이하인 경우 부패가 급격히 발생하는 특징이 있었다. 이를 현장에서 적용할 수 있도록 휴대용 경도계 측정값(probe 직경 5mm)과의 관계식을 통해 환산하여 0.55 kgf를 부패 예측을 위한 경도 기준치로 제시할 수 있었다. 경도 측정은 분석방법이 간단하고 현장에서 손쉽게 사용할 수 있으므로 부패를 예측하기 위한 인자로 사용하기에 적합하였다. 또한 결구상추의 Mg 함량은 저장 중 부패와 같변과 높은 상관성을 나타내었다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 학술적 성과

강예정, 최정희*, 정문철, 김동만. 2008. 수확시의 속도가 결구상추의 저장 중 품질에 미치는 영향. 원예과학기술지 26:272-276.

최정희*, 강예정, 정문철, 김동만. 2007. 수확시의 속도가 결구상추의 저장 중 품질에 미치는 영향 구명. 한국식품과학회.

J.H. Choi*, D.M. Kim, Y.J. Kang, and S.K. Lee. 2007. Predicting index of storage potential of lettuce. ASHS.

강예정, 최정희, 김동만, 정문철. 2008. PE 필름 포장에 결구상추의 저장력에 미치는 영향. 한국식품과학회.

Y.J. Kang, J.H. Choi*, M.C. Jeong. 2008. Control of browning on fresh-cut lettuce by means of high CO₂ atmosphere. AHC.

2. 산업적 성과

고령지 지역에서 재배되는 결구상추의 저장력을 예측할 수 있는 인자로 수확된 원료의 경도가 가능성이 있는 것으로 구명되었으므로 이를 참여기업인 대관령원예농협에서 활용할 수 있도록 기술 지도를 하였으며, 이를 실용적으로 활용할 수 있도록 휴대용 경도기의 측정치와 본 연구원에서 실험에 이용한 texture analyzer의 측정치와의 상관성을 분석하여 자료를 제공하였다. 참여업체에서는 이를 활용하기 위해 경도기를 비치하고 담당직원으로 하여금 수확 후에 경도를 측정하고 관리토록 함.

신선편이용 원료는 저장 중 품질 변화 뿐 아니라 신선편이 가공 후 신선도에 미치는 영향까지 고려하여 저장기간을 설정해야 하므로 본 연구 결과 품종 및 기상 조건에 관계없이 신선편이용 원료로서의 저장한계는 현재로서는 2주 이내로 제한되어야 함을 구명하였고 이를 참여기업체의 작목반 교육을 통해 활용토록 지도함.

3. 성과활용 계획

관련 결과를 한국식품과학회지, Food Science and Biotechnology, Postharvest Biology and Technology, 원예과학기술지 등 국내외 학술지에 발표하여 연구 결과를 홍보하고 공유할 예정이다.

또한 참여기업에 교육한 내용을 포함한 세부 기술은 향후 참여기업인 대관령원예농협을 포함한 생산자단체 및 희망 기업체에 기술 이전하여 산업화할 예정이다.

기술이전 예정인 핵심 기술은 고령지 결구상추의 원료 저장성 예측 인자, 신선편이 가공을 위한 원료의 저장 기간 설정 및 포장기술, 신선편이 결구상추의 갈변 억제를 위한 high CO₂ MAP 기술 등임.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

Action Plan: National Program 306 Quality and Utilization of Agricultural Products 2010–2015

Goal: ARS National Program 306 (NP 306), Quality and Utilization of Agricultural Products, will enhance the economic viability and competitiveness of U.S. agriculture by maintaining the quality of harvested agricultural commodities or otherwise enhancing their marketability, meeting consumer needs, developing environmentally friendly and efficient processing concepts, and expanding domestic and global market opportunities through the development of value-added food and nonfood technologies and products, except energy and fuels.

In June 2008, NP 306 leaders and scientists met with stakeholders from industry, universities, and other government agencies to assess the past performance of this national program and to develop a list of needs that will help guide the direction and focus of the program during the next 5-year management cycle. Many of the research needs identified by stakeholders over the past several years continue to be relevant today and are addressed in the current action plan. However, new research needs were also identified in response to issues and concerns of our changing society, economy, and environment.

NP 306 addresses postharvest quality and processing of foods and fibers and development of value-added non-food biobased products. NP 306 research will increase our knowledge and develop technologies to better measure or enhance the quality of crop and animal products after harvest. Similarly, the marketability and value of commodities can be increased by ensuring that value-added food products (such as fresh-cut or minimally processed produce) retain sensory quality, nutritional value, and are free from food safety hazards. The research in this National Program will also generate new information on health promoting components of foods and assess their effects on important human diseases and obesity, in cooperation with the Human Nutrition National Program (NP 107) and other partners.

In addition to food quality and safety, consumers have expressed concern over rising food prices which can be attributed to multiple factors. A significant factor in the cost of food production can be attributed to food waste or rot. Estimates indicate that approximately 27% of food produced in the U.S. is lost as waste among retailers, food service businesses, and consumers. Additional losses occur during food harvesting, storage, and distribution. The magnitude of the loss is even greater when resources spent on growing food such as fuel, water, fertilizer, chemicals, land–use and human resources are considered. NP 306 research will develop technologies that improve quality, extend product shelf life, reduce waste, and decrease costs.

NP 306 supports research on the development of nonfood, nonfuel biobased products from agricultural commodities and byproducts. Interest in biobased products has increased as consumers and governments have sought more environmentally friendly products that provide alternatives to petroleum and which do not contribute to greenhouse gases. Thus, biobased products can reduce our dependency on petroleum and provide a more sustainable technology for the future. Biobased products that were once too expensive to commercialize may now be affordable. There is some public concern that biobased products could contribute to the rising cost of food in the U.S. Thus, NP 306 research will seek opportunities to develop biobased products from agricultural feedstocks that do not compete with food, in cooperation with other ARS national programs and partners.

NP 306 also supports research on crop fiber and animal hides, leather and wool quality and processing. Stakeholders who produce fibers and hides constitute an important segment of our rural economy. These industries are severely impacted by energy and production costs and have lost market share to foreign competition. Technologies that improve fiber quality, reduce the energy consumption of processing equipment, and develop new products are needed to help the fiber industry to compete in a global market.

Relationship of This National Program to the ARS Strategic Plan: Outputs of NP 306 research support the “Actionable Strategies” associated with the performance measures shown below from the ARS Strategic Plan for 2006–2011, Objective 2.1: Expand Domestic Market Opportunities.

Performance Measure 2.1.2: Develop cost effective, functional industrial and

consumer products, including higher quality, healthy foods, that satisfy consumer demand in the United States and abroad. **Target:** 2011 – Cumulatively, 20 new technologies developed by ARS and adopted for uses that provide food crops and products with higher quality and extended shelf life; convenient and acceptable healthy foods; non–food, non–fuel biobased products with cost and performance features comparable or superior to petroleum–based products; and valuable co–products from agricultural residues and processing wastes.

Component 1. Foods

Problem Statement 1.A: Define and Measure Quality

The quality of a food derives from measurable chemical, nutritional, physical, and sensory properties and their complex interactions. Quality is the composite of those attributes of the food and its latent ability to be efficiently milled, malted, baked, cooked or otherwise processed into appealing, flavorful foods and beverages. Inaccurate or uninformative quality assessment methodologies are detrimental to producers, processors, and ultimately consumers of food products. Quality is assessed and measured at many points from the farm through processing to final packaging and marketing. Quality assessment often requires destructive sampling, expensive equipment, technically advanced protocols and skilled labor, all of which increase final cost to the consumer. NP 306 technologies link crop and animal improvement programs with the food processing industry and consumers. ARS research will develop, evaluate, and implement methods to accurately assess food quality for research, production and manufacturing programs, leading to improved food quality from farm to consumer.

Problem Statement 1.B: Preserve or Enhance Quality and Marketability

Consumers intuitively seek food that is at optimal quality and value. They bring to the marketplace quality preferences that influence their choices. Quality that appeals to consumers and is useful for food processors is often transient. As a result of internal biochemical processes and external factors (e.g., insect and microbial activity, storage conditions, processing practices), desirable quality attributes often change with time after harvest. Uncontrolled sprouting, product moisture content, temperature, relative humidity, concentrations of atmospheric gases, and harvest and handling damage are known to affect the rate of deterioration. In contrast, aging and

fermentation of some foods can enhance product quality while extending shelf-life. New information and methods are needed to preserve and enhance the quality and utilization of agricultural products. Processes and compounds that accelerate or inhibit degradation will be identified. Novel methods of treating, storing, and processing agricultural commodities and foods will be developed that optimize product quality delivered to the consumer.

Problem Statement 1.C: New Bioactive Ingredients and Functional Foods

Foods not only provide essential nutrients for sustaining life but also can impart healthy physiological responses that may reduce the risk of chronic diseases, such as obesity, diabetes, and colon cancer. Functional foods contain bioactive food ingredients, or nutraceuticals, that promote health beyond basic nutritional value (calories, basic metabolic requirements). Functional foods can be from plant, animal or microbial sources and bioactive ingredients include naturally occurring or induced phytonutrients from plants, probiotic bacteria and prebiotic oligosaccharides. The public health promise of the nascent functional foods industry necessitates a multi-pronged research approach to identifying biologically active compounds in agricultural materials and functional foods, characterizing their structures and physiological functions, and examining the interplay between biologically active constituents and nutritional components in functional foods. Identification of these constituents, in turn, facilitates agronomic practices and breeding of crop cultivars, livestock or microbial strains with enhanced bioactive qualities.

Problem Statement 1.D: New and Improved Food Processing Technologies

Food processing should make safe, nutritious, and convenient food readily available throughout the year and in every American community. Challenges to assure our food supply in the 21st century have grown complex through a matrix of rising energy costs, environmental imperatives, the capacity for unsafe food to be rapidly and widely distributed, and increasing world demand for high quality foods. Major opportunities exist along with these challenges. Recovery of valuable bioactive food ingredients from processing operations can increase the economic value of foods, while reducing environmental impact. New concepts for preservation, increased understanding of sensory mechanisms, and new structure-function relationship insights for food ingredients may make it possible to create new nutritious foods with excellent sensory properties. The U.S. needs expanded food processing research both

to realize the opportunities and to successfully meet the challenges required to assure an affordable, high quality food supply.

제 7 장 참고문헌

- Allende, A., E. Aguayo, and F. Art's. 2006. Microbial and sensory quality of commercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life. *Int. J. Food Microbiol.* 91:109–117.
- Allende, A., M.V. Selma, F. Lopez-Galvez, R. Villaescusa, and M.I. Gil. 2008. Role of commercial sanitizers and washing systems on epiphytic microorganisms and sensory quality of fresh-cut escarole and lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 49:155–163.
- Altunkaya, A., and V. Gokmen. 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry* 107:1173–1179.
- Bae, R.N., J.H. Choi, I.G. Mok, and D.S. Jung. 2003. Effect of perforated film packaging and storage temperature on quality of red pepper. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:49–51.
- Baur, S., R. Klaiber, H. Wei, W.P. Hammes, and R. Carle. 2005. Effect of temperature and chlorination of pre-washing water on shelf-life and physiological properties of ready-to-use iceberg lettuce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6:171–182.
- Beltran, D., M.V. Selma, A. Marin, and M.I. Gil. 2005. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 :5654–5663.
- Ben-Yehoshua, S., B. Shapiro, and I. Kobiler. 1982. New method of degreening lemons by a combined treatment of ethylene releasing agents and seal packing in high density polyethylene film. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107:365–368.
- Beuchat, L.R., and J.H. Ryu. 1997. Produce handling and processing practices. *Emerging Infectious Diseases* 3:459–465.
- Biedinger, U. 1991. Ethane production as an indicator of membrane lipid breakdown after electromanipulation of plant protoplasts. *Universitat Bonn, Bonn. Diss. Abstr.*
- Brackett, R.E. 1999. Incidence, contributing factors, and control of bacterial pathogens in produce. *Postharvest Biol. Technol.* 15:305–311.
- Burg, S.P., and E.A. Burg. 1965. Gas exchange in fruits. *Physiol. Plant.* 18:870–884.
- Carrasco, E., F. Perez-Rodriguez, A. Valero, R.M. Garcí'a-Gimeno, and G. Zurera. 2008. Growth of *Listeria monocytogenes* on shredded, ready-to-eat iceberg lettuce. *Food Control* 19:487–494.

- Cha, H.S., and M.S. Chung. 2002. Change in physicochemical characteristics of mature-green mume(*prunus mume sieb. et zuss*) fruits as influenced by the thickness of packaging material. *Korean J. Food Preserv.* 9:148–153.
- Cha, H.S., S.I. Kim, B.S. Kim, S.H. Kim, S.J. Park, H.S. Cho, and H.Y. Choi. 2004. Effect of inhibition on browning and microbial growth of minimally processed lettuce. *Korean J. Food Preserv.* 11:331–335.
- Chang, J.M., and T.J. Fang. 2007. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovars Typhimurium in iceberg lettuce and the antimicrobial effect of rice vinegar against *E. coli* O157:H7. *Food Microbiology* 24:745–751.
- Choi, Y.H., and M.S. Kim. 2001. Effect of CO₂ absorbent in the PE film bag and styrofoam box during the ginger storage. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 8:286–290.
- Choi, Y.J., F.A. Tomas-Barberan, and M.E. Saltveit. 2005. Wound-induced phenolic accumulation and browning in lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaf tissue is reduced by exposure to n-alcohols. *Postharvest Biol. Technol.* 37:47–55.
- Davis, R.M., K.V. Subbarao, R.N. Raid, and A.K. Edward. 1997. Compendium of lettuce disease. *The American Phytopathological Society* 103.
- Del Nobile, M.A., A. Baiano, A. Benedetto, and L. Massignan. 2006. Respiration rate of minimally processed lettuce as affected by packaging. *Journal of Food Engineering* 74:60–69.
- Delaquis, P.J., L.R. Fukumoto, P.M.A. Toivonen, and M.A. Cliff. 2004. Implications of wash water chlorination and temperature for the microbiological and sensory properties of fresh-cut iceberg lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 31:81–91.
- Elena, D., P. Alberto, T. Franco, and G. Lucia. 2007. Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in 'lettuce', 'escarole' and 'rocket salad' when stored as fresh-cut products. *Food Chem.* 104:209–215.
- Endo, Y., R. Usuki, and T. Kaneda. 1985. Antioxidant effects of chlorophyll and pheophytin on the antioxidation action of chlorophyll. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 62:1376–1390.
- Escalona, V.H., B.E. Verlinden, S.G. Bart, and M. Nicolai. 2006. Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and super atmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels. *Postharvest Biol. Technol.* 39:48–55.
- Fiume, F., and F. Fiume. 2005. Biological control of botrytis gray mould and sclerotinia drop in lettuce. *Commun. Agr. Appl. Biol. Sci.* 70:157–168.

- Garcia, A., J.R. Mount, and P.M. Davidson. 2003. Ozone and chlorine treatment of minimally processed lettuce. *Journal of Food Science* 68:2747–2751.
- Guzel–Seydim, Z.B., A.K. Greene, and A.C. Seydim. 2004. Use of ozone in the food industry. *LWT–Food Science and Technology* 37:453–460.
- Hong, J.H., J.M. Duglas, J.C. Mary, and K.C. Gross. 2000. Tomato cultivation systems affect subsequent quality of fresh–cut fruit slices. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125:729–735.
- Izumi, H. 2007. Current status of the fresh–cut produce industry and sanitizing technologies in Japan Proceedings of the International Conference on Quality management of Fresh Cut Produce. Bangkok, Thailand, *Acta–Horticulturae* 746 :45–52.
- Jamie, P., and M.E. Saltveit. 2002. Postharvest changes in broccoli and lettuce during storage in argon, helium, and nitrogen atmospheres containing 2% oxygen. *Postharvest Biol. Technol.* 26:113–116.
- Jiand, Y., T. Shina, N. Nakamura, and A. Nakahara. 2001. Electrical conductivity evaluation of postharvest strawberry damage. *J. Food Sci.* 66:1392–1395.
- Kim, B.S., D.C. Kim, S.E. Lee, G.B. Nahm, and J.W. Jeong. 1995. Freshness prolongation of crisphead lettuce by vacuum cooling and cold–chain system. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27:546–554.
- Kim, D.M. 1995. Minimally processing of fruits and vegetable. *Bull. Food Technol.* 8:85–92.
- Kim, J.H., J.W. Lee, J.H. Kim, J.H. Seo, S.B. Han, H.J. Chung, and M.W. Byun. 2006. Effect of gamma irradiation on *Listeria ivanovii* inoculated to iceberg lettuce stored at cold temperature. *Food Control* 17:397–401.
- Kim, J.K., K.D. Moon, and T.H. Sohn. 1993. Effect of PE film thickness on MA(Modified Atmosphere) storage of strawberry. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 21:78–84.
- Lee, J.S., D.S. Chung, J.W. Choi, M.A. Jo, Y.S. Lee, and C.H. Chun. 2006. Effects of storage temperature and packaging treatment on the quality of leaf lettuce. *Korean J. Food Preserv.* 13:8–12.
- Lee, Y.S., and J.N. Kim. 2007. Review of quality changes of postharvest fruits and packaging applications to extend their shelf life. Korea agricultural trade information.
- Lipton, W.J. 1987. Carbon dioxide–induced injury of romaine lettuce stored in controlled atmospheres. *HortScience* 22:461–463.
- Lougheed, E.C., and R. Lee. 1991. Ripening, CO₂ and C₂H₄ production, and quality of tomato fruits held in atmospheres containing nitrogen and argon. Proceedings of the Fifth International Controlled Atmosphere research Conference in 1989. Wenatchee.

Washington. 2:141–150.

Martin–Diana, A.B., D. Rico, and C. Barry–Ryan. 2008. Green tea extract as a natural antioxidant to extend the shelf–life of fresh–cut lettuce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9:593–603.

Martin–Diana, A.B., D. Rico, C. Barry–Ryan, J.M. Frias, J. Mulcahy, and G.T.M. Henehan. 2005. Calcium lactate washing treatments for salad–cut Iceberg lettuce: Effect of temperature and concentration on quality retention parameters. *Food Research International* 38:729–740.

Martinez, J.A. and F. Artes. 2000. Effect of packaging treatments and vacuum–cooling on quality of winter harvested iceberg lettuce. *Food Research International* 32:621–627.

McKellar, R.C., J. Odumeru, T. Zhou, A. Harrison, D.G. Mercer, J.C. Young, X. Lu, J. Boulter, P. Piyasena, and S. Karr. 2004. Influence of a commercial warm chlorinated water treatment and packaging on the shelf–life of ready–to–use lettuce. *Food Research International* 37:343–354.

Nam, S.Y., K.M. Kim, J.C. Park. S.J. Joo, and J.H. Jung. 1997. Effect of film packaging on storage life of grape, sheridan. *Korean J. Post–harvest Sci. Tech. Agri. Products* 4:11–15.

Nicholl, S.M., and M. Prendergast. 2004. Growth dynamics of indigenous microbial populations on vegetables after decontamination and during refrigerated storage. *Journal of Food Processing and Preservation* 28:442–459.

Olmez, H., and M.Y. Akbas. 2009. Optimization of ozone treatment of fresh–cut green leaf lettuce. *Journal of Food Engineering* 90:487–494.

Powrie, W.D., R. Chiu, and H. Wu. 1990. Preservation of cut and segmented fresh fruit pieces. U.S. Patent Number 4:895–729.

Rappaport, L., and S. H. Wittwer. 1956. Flowering in head lettuce as influenced by seed vernalization, temperature, and photoperiod. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 67:429–437.

Rico, D., A.B. Martin–Diana, C. Barry–Ryan, J.M. Frias, G.T.M. Henehan, and J.M. Barat. 2008. Optimisation of steamer jet–injection to extend the shelf life of fresh–cut lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 48:431–442.

Rodriguez–lopez, J.N., L.G. Fenoll, M.J. Penalver, P.A. Garcia–ruiz, R. Varon, and F. Martinez–ortiz. 2001. Tyrosinase action on monophenols; evidence for direct enzymatic release of σ –diphenol. *Biochemica and Biophesica Acta.* 1548:238–256.

Ryder, E.J. 1999. *Lettuce, endive and chicory.* CABI Publishing.

Ryu, J.M., Y.J. Park, S.Y. Choi, T.Y. Hwang, D.H. Oh, and K.D. Moon. 2003.

Browning inhibition and quality characteristics of minimally processed mushroom (*Agaricus bisporus* sing) using extracts from natural materials during storage. *Korean J. Food Preserv.* 10:11–15.

Saltveit, M.E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol. Technol.* 15:279–292.

Saltveit, M.E. 2004. Effect of 1-methylcyclopropene on phenylpropanoid metabolism, the accumulation of phenolic compounds, and browning of whole and fresh-cut 'iceberg' lettuce. *Postharvest Biol. Technol.* 34:75–80.

Schofield, R.A., J.R. DeEll, D.P. Murr, and S. Jenni. 2005. Determining the storage potential of iceberg lettuce with chlorophyll fluorescence. *Postharvest Biol. Technol.* 38:43–56.

Singh, N., R.K. Singh, A.K. Bhunia, and R.L. Stroshine. 2002. Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *LWT—Food Science and Technology* 35:720–729.

Smith, S., J. Green, and J. Stow. 1987. Production of modified atmosphere indeciduous fruits by the use of films and coatings. *Hort. Sci.* 22:772–776.

Symth, A.B., J. Song, and A.C. Cameron. 1998. Modified atmosphere packaged iceberg lettuce: Effect of temperature and O₂ partial pressure on respiration and quality. *J. Agric. Food Chem.* 46:4556–4562.

Tanielian, C., and C. Wolff. 1988. Mechanism of physical quenching of singlet molecular oxygen by chlorophylls and related compounds by biological interest. *Photochem photobiol.* 48:277–280.

Toivonen, P.M.A. 1992. The reduction of browning in parsnips. *J. Hort. Sci.* 67:547–551.

Van Gelder, C.W.G., W.H. Flurckey, and H. Wichers. 1997. Sequence and structural features of plant and fungal tyrosinases. *Phytochemistry* 47:1309–1323.

Wills, R.B.H., P. Pristijono, and J.B. Golding. 2008. Browning on the surface of cut lettuce slices inhibited by short term exposure to nitric oxide (NO). *Food Chemistry* 107:1387–1392.

Xu, L. 1999. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. *Food Technology* 53:58–61.

Yang, E.M., K.W. Park, and H.M. Kang. 2007. Comparison of storability of fresh pasley grown in different seasons in MA storage. *J. Bio-Environ. Cont.* 16:67–71.

Youn, A.R., B.S. Kim, S.H. Kim, K.H. Kwon, and H.S. Cha. 2007. Quality evaluation

and residual pesticides of lettuce during growth after transplanting. *Korean J. Food Preserv.* 14:124–130.

Zhang, L., Z. Lu, and H. Wang. 2006. Effect of gamma irradiation on microbial growth and sensory quality of fresh-cut lettuce. *International Journal of Food Microbiology* 106:348–351.

Zhang, L., Z. Lu, F. Lu, and X. Bie. 2006. Effect of γ irradiation on quality-maintaining of fresh-cut lettuce. *Food Control* 17:225–228.