

몇가지 채소류의 압축 및 비압축 특성

민용규 · 정현상*
충북대학교 식품공학과
*작물시험장 품질이용과

Compression and Decompression Properties of Some Vegetables

Young Kyoo Min and Heon Sang Jeong*

Department of Food Science & Technology, Chungbuk National University

*Crop Quality and Utilization Division, National Crop Experiment Station
Rural Development Administration

Abstract

In order to investigate the compression and decompression properties of cucumber, radish, garlic, ginger and potato, edible parts of samples were prepared to size of $\Phi 5 \text{ mm} \times H 5 \text{ mm}$, and force deformation relationships during application and removal of force were observed. Compositions of sample and cell characteristics were measured, and correlations between them were investigated. Deformation rate was large in initial stage of compression and decreased afterward, but the reverse trends were observed in the decompression. The time and deformation to 9 N were large of 5.30 sec and 1.344 mm in potato, and small of 4.62 sec and 0.896 mm in garlic, respectively. Force(y)-deformation(x) curve between compression and decompression were clearly showed hysteresis loop and relationship of x and y were as follows: $y = \exp(a + b \log(x))$. The maximum work was $3.888 \sim 5.099 \times 10^{-3} \text{ J}$ for potato in compression and $2.09 \times 10^{-3} \text{ J}$ for garlic in decompression. Irrecoverable work were large as 77~96% in cucumber, radish and potato, and small as 36~42% in garlic. Compression deformation were large as 1.016~1.344 mm in potato, and small as 0.656~0.896 mm in garlic. Degree of elasticity were large as 0.756~0.777 in garlic, and small as 0.301~0.465 in radish and potato. Compression and decompression characteristic values were showed high correlation with moisture, viscosity of juice, cell size, density and regularity.

Key words: compression, decompression, deformation, irrecoverable work, degree of elasticity

서 론

식품의 물성은 식품에 힘을 가하여 발생하는 변형으로 부터 측정된다. 가한 힘에 대하여 식품이 나타내는 거동을 연구하는 방법으로는 관통, 압축, 전단, 비틀림, 굽힘, 압출, 응력완화, 크리프시험 등이 사용되고 있다. 압축시험으로 측정할 수 있는 비회복성 일은 식품에 힘을 가할 때와 제거할 때 발생하는 힘-변형 사이의 관계로부터 얻을 수 있는데, 이것은 식품이 변형에 대한 저항력으로 소비되는 에너지로써 식품이 외부로부터 힘을 받은 다음, 이 힘을 제거하였을 때 원래의 위치로 돌아가지 않는 성질을 나타낸다. 식품

에 힘을 가하고 제거할 때 힘-변형 곡선은 동일 곡선을 왕복하지 않고 하나의 환선(loop)을 그리는 즉, 이력현상(hysteresis)을 나타내는데, 이 환선 사이의 면적이 비회복성 일이 된다⁽¹⁾.

이와 관련된 연구로 Finney와 Hall⁽²⁾은 토마토의 응력-변형의 관계에서 힘을 제거할 때에 약 72~90%의 힘이 소비된다고 하였으며, Mohsenin 등⁽³⁾은 과일과 야채에 힘을 가할 때와 제거할 때의 힘-변형 곡선으로부터 조직감에 영향을 미치는 요인을 밝혔고, Chang와 Martin⁽⁴⁾은 곡물 분진의 유변학적 특성을 힘을 가할 때와 제거할 때 발생하는 힘-변형 곡선으로 측정하였다. Moreyra와 Peleg⁽⁵⁾은 몇 가지 식품분말의 기계적 거동을 힘-변형관계로 해석하였는데 수분을 함유하거나 결합력이 있는 시료가 잘 변형되며, 힘을 제거할 때에는 결합력이 있는 것이 다짐을 오래 유지한다고 하였다.

Corresponding author: Young-Kyoo Min, Department of Food Science & Technology, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea

Peleg와 Moreyra⁽⁶⁾는 식품분말의 힘-변형 관계에서 수분함량이 많은 분말일수록 비회복성 일은 크다고 하였다. 그 밖에 복숭아와 배⁽⁷⁾, 여러 가지 고체식품⁽⁸⁾, 농산물의 물리적 성질 측정기술⁽⁹⁾, 밀의 단성계수⁽¹⁰⁾, papaya의 성숙도를 힘-변형관계로 해석한 연구⁽¹¹⁾가 진행되었다.

본 연구에서는 몇가지 채소류의 압축 및 비압축 특성을 살펴보기 위하여 식품물성 측정기로 힘을 가하고 제거하면서 힘-변형의 관계를 측정하였으며, 이들 특성치와 시료의 성분함량 및 세포특성과의 관계를 살펴보았다.

재료 및 방법

재료 및 세포특성

실험에 사용된 재료는 여러 재료에 대한 예비시험 결과 큰 차이가 있는 오이, 무우, 마늘, 생강, 감자를 시중에서 구입(충청북도 일원에서 1993년에 생산)하여 수세한 후, 외피와 속을 제거한 가식부분을 cork borer로 직경 5 mm, 높이 5 mm의 원통형으로 만들어 사용하였다. 각 시료에 대한 수분, 섬유소, 비중 및 압착액의 점도를 AOAC⁽¹²⁾법에 준하여 측정하고 현미경을 이용하여 세포의 크기와 형태는 장축과 단축의 크기로, 조밀도는 1 mm²당 세포수로, 둥글기는 세포의 가장 큰 내접원과 가장 작은 외접원과의 비로 측정하였다.

측정방법

식품물성 측정기(Struct-O-graph, Model No. 603, Brabender)의 plate위에 시료를 올려놓고 cylinder type probe (Φ15 mm)를 설치한 다음, crosshead를 일정한 속도로 이동시키면서 힘을 가하고 제거하였으며, 이때 힘-변형-시간 간의 관계를 살펴보았다. Crosshead speed는 60 및 120 mm/min, chart speed는 390 mm/min이었으며, calibration spring은 20 N을 사용하였다.

비회복성일

비회복성 일은 파괴힘의 약 50%까지 크로스헤드를 일정하게 이동시켜 힘을 가하고 이어서 힘을 제거할 때 발생하는 응력-변형 곡선상의 면적으로부터 계산하였다. 즉 힘-변형 곡선을 최소자승법으로 회귀식을 구하고 Simpson's rule에 따라 적분하여 힘을 가할 때의 면적과 힘을 제거할 때의 면적을 구하였으며, 이들 면적의 차이인 이력현상(hysteresis)에 해당하는 면적으로부터 다음 식으로 비회복성 일을 구하였다⁽⁵⁾.

$$IR(\%) = \frac{A}{A+B} \times 100 \quad (1)$$

여기서, IR(%)은 비회복성 일이며, A+B는 힘을 가할 때 한 일이고 B는 힘을 제거할 때 한 일이며, A는 회복되지 않은 일이다.

탄성도

탄성도는 비회복성 일의 측정에 이용된 힘-변형 곡선으로부터 힘을 가할 때 발생한 변형과 힘을 제거할 때 회복된 변형과의 비로서 다음의 식에 따라 계산하였다⁽²⁾.

$$\text{Degree of elasticity} = \frac{\epsilon_c}{\epsilon} \quad (2)$$

여기서, ϵ_c 는 회복된 변형이고, ϵ 는 전체 변형이다.

상관관계

설정힘에 도달할 때의 변형, 압축곡선 및 비압축곡선의 기울기, 비회복성일, 탄성도와 성분함량 및 세포특성 간의 상관관계를 통계프로그램⁽¹³⁾으로 분석하였다.

결과 및 고찰

시료특성

실험에 사용된 시료의 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 수분함량은 오이가 95.6%로 가장 많았으며, 마늘이 62.8%로 작았다. 시료 즙액의 점도는 마늘이 25.6 cp로 가장 컸으며, 그밖의 시료는 유사하였다. 세포의 장축의 길이는 오이가 299 μm로 컸으며, 면적은 오이, 무우, 감자가 컸다. 둥근정도를 나타내는 roundness는 생강과 감자가 각각 0.745 및 0.648로 컸으며, 조밀도 즉 단위면적당 세포수는 세포의 장축과 단축이 작은 마늘이 76~80개로 가장 많았다.

힘-변형 곡선

시료의 압축 및 비압축 특성을 살펴보기 위하여 시료에 파괴힘의 약 50%에 해당하는 힘(9 N)을 가할 때와 제거할 때 힘-변형곡선은 Fig. 1과 2에 나타내었다. 파괴힘의 50%보다 큰 힘을 가했을 때에는 회복되기 어려운 변형 즉, 시료의 구조적 파괴가 많이 발생하기 때문에 회귀식의 도출 및 비회복성 일의 계산이 정확하지 못하였다. 따라서 파괴힘의 50%까지 압축하여 시험하였다. 힘-변형의 관계는 모든 시료가 초기에는 힘의 증가량이 작았지만 일정 시간 이후부터는 변형

Table 1. Characteristics of samples and sample cells

Common Name	Cucumber	Radish	Garlic	Ginger	Potato
Scientific Name	<i>Cucumis sativus</i> L.	<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Allium sativum</i> L.	<i>Zingiber officinale</i> R.	<i>Raphanus sativus</i> L.
Moisture (%)	95.6	93.7	62.8	75.6	84.8
Fiber (%)	0.5	1.0	0.8	1.9	0.4
Viscosity (centipoise)	10.4	8.0	25.6	7.6	8.8
Specific Gravity	0.97	1.00	1.02	1.03	1.09
Cell length (μm)	299	256	149	184	250
Cell width (μm)	209	206	100	142	215
Cell area ¹⁾	0.064	0.056	0.016	0.027	0.055
Cell roundness (A _p /A _c) ²⁾	0.465	0.607	0.426	0.745	0.648
Cell density ³⁾	20-24	32-36	76-80	60-64	40-44
Cell regularity ⁴⁾	0.007	0.008	0.033	0.018	0.027

¹⁾Length × width.

²⁾A_p: area of largest inscribing circle, A_c: area of smallest circumscribing circle.

³⁾A number of cell per 1 mm².

⁴⁾Standard deviation of size.

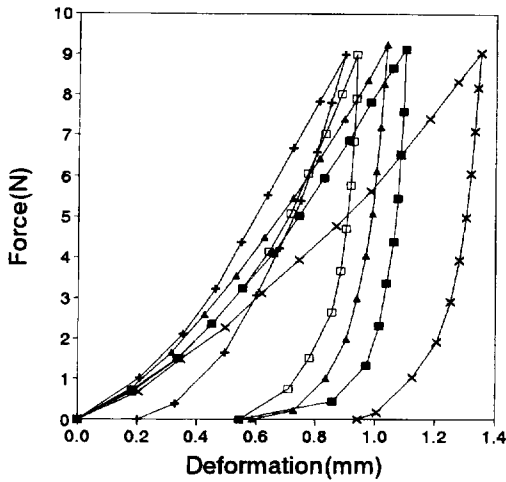


Fig. 1. Force-deformation curves on compression and decompression at the crosshead speed of 60 mm/min at 9 N. ■—■: cucumber, ▲—▲: radish, +—+: garlic, □—□: ginger, ×—×: potato.

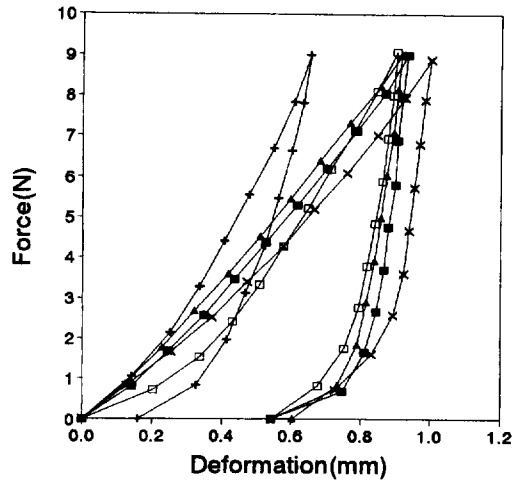


Fig. 2. Force-deformation curves on compression and decompression at the crosshead speed of 120 mm/min at 9 N. ■—■: cucumber, ▲—▲: radish, +—+: garlic, □—□: ginger, ×—×: potato.

보다 힘의 증가가 컸다. 일반적으로 식품에 힘을 가할 때에는 힘-변형 곡선상에 많은 항복점들이 나타나게 되는데, 본 실험에서는 시료가 파괴되지 않고 저항할 정도의 힘을 가하였기 때문에 세포가 파괴되는 변곡점들은 나타나지 않았다. Crosshead 이동속도 별로 마늘과 생강은 힘의 증가속도가 빨랐고 변형은 작았으며, 감자가 가장 느린 힘의 증가와 큰 변형을 나타내었다.

9 N의 힘에 도달할 때의 시간과 변형은 Table 2에서 보는 바와 같이 crosshead 이동속도 60 mm/min 에서 마늘이 4.62초 및 0.896 mm, 생강이 5.00초 및 0.935

mm로 작았으며, 감자가 5.30초 및 1.344 mm로 컸다. Crosshead 이동속도 120 mm/min 에서도 유사한 경향을 나타내었는데, 시간은 2.5초로 모두 같으며, 변형은 마늘과 생강이 각각 0.656 및 0.905 mm로 작았고, 감자가 1.016 mm로 컸다. 이와 같이 9 N에 도달하는 시간과 변형에 차이가 생기는 것은 시료의 강도 및 성분 함량과 깊은 관계가 있다고 생각되며, 세포의 크기가 그 주요한 원인으로 생각된다.

비회복성 일

비회복성 일은 시료에 일정한 속도로 힘을 가해 줄

Table 2. Time and deformation to reach compression force of 9 N

Samples	Crosshead speed (mm/min)			
	60		120	
	Time (sec)	Deformation (mm)	Time (sec)	Deformation (mm)
Cucumber	5.15	1.084	2.5	0.935
Radish	5.08	1.009	2.5	0.918
Garlic	4.62	0.896	2.5	0.656
Ginger	5.00	0.935	2.5	0.905
Potato	5.30	1.344	2.5	1.016

때 한 일과 힘을 제거할때 한 일의 차이로 표현된다. 이러한 차이로서 시료가 힘을 받은 후 그 힘에 대한 저항력과 흡수력 및 변형정도를 알 수 있다. 즉 비회복성 일이 크다면 그 시료는 가해진 힘을 많이 흡수하여 많은 변형을 일으킴을 뜻하며, 곧 소성변형을 하였다고 볼 수 있다. 반대로 작다면 힘을 적게 흡수하게 되는데, 이것은 시료가 가해진 힘에 대한 저항력이 크다는 것을 의미하게 되고 곧 탄성변형을 일으킨다고 볼 수 있다^(2,3). 본 실험에 사용된 시료의 압축 및 비압축 곡선은 Fig. 1과 2에서 보는 바와 같이 탄성도 소성도 아닌 거동을 보여주며, 분명한 이력현상을 나타낸다. 이것은 농산물은 대부분 점탄성 물질이므로, 이와 같은 거동을 나타내게 되는데 오이와 감자가 가장 분명하고 큰 이력현상을 보였으며, 마늘은 작게 나타났다.

본 실험에 사용된 시료들에 대한 압축과 비압축시 나타나는 힘-변형에 대한 관계를 최소자승법으로 분석한 결과, 다음과 같은 지수함수 관계가 있었다.

$$y = \exp(a + b \log(x)) \quad (3)$$

여기서 y는 힘, x는 변형, a와 b는 상수이다.

비회복성 일을 측정하기 위하여 시료에 힘을 가하고 제거하면서 측정한 힘-변형곡선에 대하여 최소자승법으로 회귀를 실시하여 식 (3)의 형태로 만든 다음, 각각의 상수값을 구하여 Table 3과 4에 나타내었다.

회귀식의 결정계수는 힘을 가할 때는 0.9이상의 높은 상관성을 보여주었으며, 힘을 제거할 때도 0.6~0.9의 높은 값을 나타내었다. 상수 a는 y절편을 나타내며, b는 힘-변형 곡선의 기울기를 나타낸다. Cross-head 이동속도 60 mm/min에서는 힘을 가할 때 b값은 생강이 1.599로 가장 큰 값을, 감자가 1.348로 가장 작은 값을 나타내었다. 힘을 제거할 때에는 마늘과 오이가 각각 13.114 및 12.126으로 컸으며, 마늘이 3.105로 작았다. 압축속도 120 mm/min에서는 힘을 가할 때 생

Table 3. Values of a and b on the force-deformation curve of compression and decompression at the cross-head speed of 60 mm/min

Samples	Compression			Decompression		
	a ¹⁾	b ²⁾	r ²	a	b	r ²
Cucumber	2.057	1.452	0.991	0.880	12.126	0.664
Radish	2.164	1.422	0.992	2.020	7.455	0.805
Garlic	2.378	1.522	0.990	2.602	3.105	0.900
Ginger	2.208	1.599	0.986	2.539	8.501	0.838
Potato	1.778	1.348	0.994	-1.793	13.114	0.820

¹⁾Constant.

²⁾Slope of force-deformation curve.

Table 4. Values of a and b on the force-deformation curve of compression and decompression at the cross-head speed of 120 mm/min¹⁾

Samples	Compression			Decompression		
	a ¹⁾	b ²⁾	r ²	a	b	r ²
Cucumber	2.278	1.275	0.996	3.013	11.784	0.683
Radish	2.296	1.170	0.998	3.156	10.574	0.784
Garlic	2.752	1.411	0.994	3.606	3.337	0.897
Ginger	2.382	1.736	0.981	3.007	8.368	0.819
Potato	2.124	1.157	0.999	2.069	8.043	0.809

¹⁾Refer to Table 2 for abbreviations.

강이 큰 값을, 그리고 감자가 작은 값을 나타내었으며, 힘을 제거할 때에는 오이가 가장 큰 값을, 그리고 마늘이 가장 작은 값을 나타내었다. 이러한 기울기 값인 b의 크기는 일정한 변형하에서 받은 힘의 크기를 결정해준다고 볼 수 있으며, 얼마만큼 빠르게 변형되고 회복되는지 그리고 어느 정도의 탄성체 성질을 가지고 있는지를 알 수 있다. 마늘과 생강은 가해진 힘에 대해 변형은 급격히 증가하지만 힘을 제거할 때에는 변형이 느리게 회복됨을 알 수 있는데, 이것은 마늘과 생강의 조직이 다른 시료에 비하여 탄성력이 약함을 의미한다.

최소자승법으로 구한 압축식과 비압축식을 Simpson's rule을 이용하여 압축일과 비압축일에 해당하는 면적을 구하였으며, 식 (1)을 이용하여 비회복성 일을 계산하여 Table 5에 나타내었다.

파괴힘의 약 50% (9 N)에 도달할 때까지 한 일을 그 래프 상의 면적으로 비교해 보면, 압축속도 60 mm/min에서는 감자와 오이가 각각 5.099 및 4.013×10^{-3} J로 가장 많은 일을, 생강이 3.242×10^{-3} J로 가장 적은 일을 하였다. 힘을 제거할 때에는 마늘이 2.090×10^{-3} J로 가장 많은 일을, 그리고 오이와 생강이 각각 0.627 및 0.699×10^{-3} J로 적은 일을 하였다. 압축속도 120 mm/min에서는 힘을 가할 때는 오이와 감자가 가장 많

은 일을, 힘을 제거할 때에는 마늘이 가장 많은 일을 하였다. 이렇게 힘을 가해질 때와 제거할 때에 따라 일을 한 양이 다른 것은 시료의 특성에 따른 차이로서 탄성 또는 소성물질 인지를 구별할 수 있게 된다. 압축시 한일과 비압축시 한일의 차이가 비회복성 일로 정의되는데⁶⁾ Table 5에 나타난 바와 같이 압축속도 60 mm/min에서 감자와 오이가 각각 85.63 및 84.37%으로 가장 큰 값을, 마늘이 35.53%로 가장 적은 비회복성 일을 나타내었다. 이러한 값들의 차이로 이들 시료의 성질을 나타낼 수 있는데 값이 크면 회복되지 않는 변형을 많이 하는 것으로 소성거동을 많이 한다는 것을 나타내며, 적다면 반대로 회복될 수 있는 변형을 많이 하는 탄성거동을 많이 나타낸다고 볼 수 있다^{2,3)}. 즉 비회복성 일이 큰 시료가 외부로부터 힘을 받았을 때 이 시료의 변형은 잘 회복되지 않는다는 것을 뜻하며, 반대의 경우는 변형이 원상태로 잘 회복됨을 의미한다. 압축속도 120 mm/min에서도 유사한 경향을 나타내었는데, 무우와 오이가 각각 96.48 및 81.68%으로 회복되지 않는 일이 많았으며, 마늘이 42.13%로 비회복성 일이 작았다. 본 실험조건인 압축속도에서 오이, 무우, 생강, 감자는 많은 비회복성 일이 나타났지만 마늘은 작았는데, 이러한 현상은 마늘의 경우 파괴힘의 50%에 도달하기 이전에 회복될 수 없는 변형 즉 구조적인 탄성 한계를 넘어선 변형이 많이 이루어 졌기 때문이라 생각된다. 이와 같은 비회복성일에 대해 Moreyra와 Peleg⁵⁾은 식품분말의 압축변형에 대한 연구에서 내부마찰, 입자변형의 한계량, 입자들 사이의 작은 공간으로 입자를 강제로 밀어 넣기 때문이라고 하였는데 본 실험에 사용된 시료는 세포로 구성되어 있는 생물체이므로, 내부마찰과 입자변형의 한계량 그리고 구조적인 탄성한계에 의해서도 발생할 수 있다고 생각되며, 또한 시료 전체가 균일한 힘을 받는다 고 가정하면 시료의 주성분이 비압축성 액체로 되어

있으며, 세포사이의 공간은 압축성인 기체를 포함하고 있어 이들의 상호작용과 구조적인 요소들이 복합적으로 작용한다고 생각된다.

탄성도

비회복성 일의 측정시 발생하는 힘-변형 곡선 상에서 힘을 가할 때 발생한 최대 변형과 힘을 제거할 때 회복된 변형과의 비를 식 (2)를 이용하여 탄성도를 계산하고 Table 6에 나타내었다.

탄성도는 힘을 가할 때 발생하는 변형이 힘이 제거될 때 원상태로 회복이되는 정도를 나타낸 것이다. Mohsenin¹⁾은 이력현상이 클수록 탄성체의 성질이 약하며, 이 크기는 식물체에 가해진 에너지를 흡수하거나 저장하는 능력을 나타낸다고 하였다. 탄성도가 크면 물체에 발생된 변형이 원래대로 회복이 많이 됨을 의미하며, 작으면 회복이 잘되지 않는 것을 의미한다. 결국 탄성도를 측정함으로써 물질이 탄성체인지 소성체인지 또는 점탄성 물질인지를 알 수가 있다. 본 실험에 나타난 결과를 보면 압축속도 60 mm/min에서 파괴힘의 약 50%에 해당하는 힘을 가할 때 가장 많은 변형을 일으킨 시료는 1.344를 나타낸 감자였으며, 마늘이 0.896으로 작은 변형을 일으켰다. 힘을 제거할 때 변형의 회복이 가장 큰 것은 마늘로 0.696이었으며, 생강이 0.391로 작았다. 전체변형과 회복된 변형의 비를 나타내는 탄성도는 마늘이 0.777로 가장 컸으며, 감자가 0.301로 가장 작았다. 압축속도 120 mm/min에서는 힘을 가할 때는 감자가 많은 변형을 일으켰으며, 마늘이 작은 변형을 일으켰다. 힘을 제거할 때는 마늘이 0.756으로 많은 변형의 회복이 일어났으며, 무우가 0.314로 가장 작았다. 탄성도는 60 mm/min에서와 마찬가지로 마늘이 가장 크게 나타났으며, 감자가 작은 탄성도를 나타내었다.

Table 5. Work on compression and decompression calculated by Simpson's rule

Samples	Crosshead speed of 60 mm/min			Crosshead speed of 120 mm/min		
	Comp ¹⁾	Decomp ²⁾	Irre ³⁾	Comp	Decomp	Irre
Cucumber	4.013	0.627	84.37	3.679	0.674	81.68
Radish	3.915	0.789	79.85	2.587	0.091	96.48
Garlic	3.242	2.090	35.53	2.352	1.361	42.13
Ginger	2.939	0.699	76.22	3.013	0.839	72.15
Potato	5.099	0.810	85.63	3.888	0.880	77.37

¹⁾Work on compression ($\times 10^{-3}$ J).

²⁾Work on decompression ($\times 10^{-3}$ J).

³⁾Irrecoverable work (%).

Table 6. Degree of elasticity of samples in compression and decompression test

Samples	Crosshead speed of 60 mm/min			Crosshead speed of 120 mm/min		
	$\epsilon^{1)}$	$\epsilon_r^{2)}$	$\epsilon_e^{3)}$	ϵ	ϵ_r	ϵ_r/ϵ
Cucumber	1.084	0.540	0.498	0.935	0.391	0.418
Radish	1.009	0.422	0.418	0.918	0.314	0.342
Garlic	0.896	0.696	0.777	0.656	0.496	0.756
Ginger	0.935	0.391	0.418	0.905	0.361	0.399
Potato	1.344	0.404	0.301	1.016	0.472	0.465

¹⁾ ϵ : Total deformation.

²⁾ ϵ_r : Recovered deformation.

³⁾ ϵ_r/ϵ : Degree of elasticity.

Table 7. Correlation coefficient among sample characteristics and compression and decompression properties at the crosshead speed of 120 mm/min¹⁾

	CL	CW	AR	CR	DE	RE	MC	FI	VI	SG	RD	CB	DB	IW	ED
CL	1.00	0.94**	0.99**	-0.03	-0.99**	-0.74	0.96**	-0.51	-0.69	0.07	0.75	-0.63	0.89*	0.80*	-0.69
CW		1.00	0.98**	0.21	-0.93**	-0.62	0.93**	-0.46	-0.78	0.11	0.88*	-0.68	0.83*	0.87*	-0.75
AR			1.00	0.03	-0.98**	-0.69	0.96**	-0.53	-0.70	0.03	0.79	-0.71	0.86*	0.83*	-0.69
CR				1.00	-0.01	-0.11	0.12	0.62	-0.68	0.78	0.60	0.36	0.25	0.43	-0.62
DE					1.00	0.80*	-0.99**	0.43	0.73	-0.13	-0.75	0.60	-0.93**	-0.85*	0.74
RE						1.00	-0.85*	-0.10	0.71	-0.51	-0.50	0.16	-0.93**	-0.83*	0.82*
MC							1.00	-0.31	-0.79	0.24	0.77	-0.56	0.95**	0.92**	-0.82*
FI								1.00	-0.18	0.81	-0.12	0.86*	-0.06	-0.02	-0.23
VI									1.00	-0.70	-0.93**	0.10	-0.87*	-0.89*	0.97**
SG										1.00	0.19	-0.02	-0.47	-0.19	0.16
RD											1.00	-0.32	0.77	0.82*	-0.84*
CB												1.00	-0.29	-0.42	0.12
DB													1.00	0.91**	-0.90**
IW														1.00	-0.95**
ED															1.00

¹⁾CL: Cell length, CW: Cell width, AR: Area of cell, CR: Cell roundness, DE: Amount of cell/area, RE: Regularity, MC: Moisture content, FI: Fiber content, VI: Viscosity of juice, SG: Specific gravity, RD: Deformation to reach 9 N, CB: Slope of force-deformation in compression, DB: Slope of force-deformation in decompression, IW: Irrecoverable work, ED: Degree of elasticity, *: Significant at p<0.10, **: Significant at p<0.01.

상관관계

설정힘에 도달할 때의 변형, 압축곡선 및 비압축곡선의 기울기, 비회복성일, 탄성도와 성분함량 및 세포 특성 간의 상관관계를 크로스헤드 이동속도 120 mm/min에 대하여 살펴본 결과는 Table 7에서 보는 바와 같이, 세포의 크기, 조밀도 및 규칙성과 높은 상관성이 있었다. 즉 세포의 크기와 설정힘에 도달할 때의 변형, 비압축시 기울기 및 비회복성일과는 양의 상관을 그리고 압축시 기울기와 탄성도와는 음의 상관을 보였다. 세포의 조밀도와 규칙성은 세포의 크기와 반대의 결과를 보였다. 성분함량중에는 수분함량과 즙액의 점도와 관계가 깊었는데, 수분함량은 세포크기의 경우와 유사한 경향을 나타내었으며, 즙액의 점도는 수분함량과 반대의 결과를 나타내었다. 또한 압축 및 비압축 특성간에는 비압축 곡선의 기울기, 비회복성일 및 탄성도 간에 매우 높은 상관관계가 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면 채소의 물리적 성질을 측정하는 방법 가운데 압축 및 비압축 특성치는 채소의 성분함량중 수분함량과 즙액의 점도와 관계가 깊으며, 세포특성의 세포의 크기, 조밀도 및 규칙성과 관련이 깊음을 알 수 있었다. 따라서 압축 및 비압축 특성치로 시료의 성분함량 및 몇가지 세포특성을 예측할 수 있으리라 생각된다.

요 약

오이, 무우, 마늘, 생강 및 감자의 가식부위를 일정

크기(Φ 5 mm×H 5 mm)로 만든 후, 힘을 가할 때와 제거할 때 발생하는 힘-변형 곡선의 관계로부터 압축 및 비압축 특성을 살펴보고 성분함량 및 세포특성과의 관계를 살펴보았다. 힘을 가하는 초기에 변형의 증가속도가 컸지만 그 이후에는 감소하였으며, 힘을 제거할 때는 압축시와 반대의 결과를 보였다. 9 N에 도달하는 시간과 변형은 감자가 컸으며 마늘이 작았다. 압축 및 비압축시 모든 시료가 분명한 이력현상을 보였으며, 힘(y)과 변형(x)은 $y = \exp(a + b \log(x))$ 의 관계가 있었다. 힘을 가할 때에는 감자가 $3.888 \sim 5.099 \times 10^4$ J의 많은 일을 하였으며, 그 다음으로는 오이, 무우 순이었으나 힘을 제거할 때에는 마늘이 2.09×10^4 J로 많은 일을 하였다. 비회복성 일은 오이, 무우, 감자가 76~96%이었으며, 마늘이 36~42%로 작았다. 힘을 가할 때 변형은 감자가 컸으며, 마늘이 작았다. 탄성도는 마늘이 압축속도 별로 각각 0.777 및 0.756로 컸으며, 감자와 무우는 0.301~0.465로 작았다. 압축 및 비압축 특성치는 수분함량, 즙액의 점도, 세포의 크기, 조밀도 및 규칙성과 높은 상관성이 있었다.

문 헌

1. Mohsenin, N.: Some basic concepts of rheology. In *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, Gordon and Breach Science Publ. New York, p.128 (1986)
2. Finney, E.E.Jr. and Hall, C.W.: Elastic properties of potatoes. *Transactions of the ASAE*, 10, 4 (1967)
3. Mohsenin, N., Cooper, H.E. and Tukey, L.D.: Engineering approach to evaluating textural factors in

- fruits and vegetables. *Transactions of the ASAE*, **6**(2), 85 (1963)
4. Chang, C.S. and Martin, C.R.: Rheological properties of grain dust. *Transactions of the ASAE*, **26**, 1249 (1983)
 5. Moreyra, R. and Peleg, M.: Compressive deformation patterns of selected food powders. *J. Food Sci.*, **45**, 864 (1980)
 6. Peleg, M. and Moreyra, R.: Effect of moisture on the stress relaxation pattern of compacted powders. *Powder Tech.*, **23**, 277 (1979)
 7. Arnold, P.C. and Roberts, A.W.: Fundamental aspects of load-deformation behavior of wheat grain. *Transactions of the ASAE*, **12**, 104 (1969)
 8. Burkner, P.F. and Kinch, D.M.: Force-deformation ratio as an index of papaya maturation. *Transactions of the ASAE*, **11**, 437 (1968)
 9. Fridley, R.B., Bradley, R.A., Rumsey, J.W. and Adrian, P.A.: Some aspects of elastic behavior of selected fruits. *Transactions of the ASAE*, **11**, 46 (1968)
 10. Calzada, J.F. and Peleg, M.: Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships of solid foods. *J. Food Sci.*, **43**, 1087 (1978)
 11. Zoerb, G.C.: Instrumentation and measurement techniques for determining physical properties of farm products. *Transactions of the ASAE*, **10**, 100 (1967)
 12. A.O.A.C.: *Official Methods of Analysis*. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., (1990)
 13. SAS: *SAS User's Guide*. Statistics, 6th ed., SAS Institute, Inc., Cary, NC. (1988)
-
- (1996년 11월 7일 접수)