

침채류의 조직감 측정방법

이 희 섭

한림전문대학 여성교양과

The Measurement Methods of the Textural Characteristics of Fermented vegetables

Rhee, Hee Seoup

Dept. of Liberal Art of Women, Hallym Junior College

Abstract

For the accurate interpretation and objective measurement of textural characteristics of fermented vegetables, first of all, the studies on the microstructure and chemical compositions of vegetable cell, and the changes in the textural properties of vegetables during salting, blanching and fermentation should be carried out. And the mechanical textural parameters were needed to compare with and analyze in relation to the sensory parameters. In this review, the thypical force-distance curves of fermented vegetables were obtained from the compression, cutting and puncture tests. And it was showed that the compression force was a more effective textural parameter to express the hardness of fermented vegetables, and the sensory chewiness and toughness were related to the changes in cutting force. In the puncture test, the puncture force was related to the hardness and varied with the size and form of puncture probe; the changes in puncture force by small probe could express the decrease in hardness and crispness, whereas those by large probe could represent the changes in toughness. And the brittleness and crispness could be measured by the break point and the numbers of peak obtained from the force-distance curves.

1. 서 론

조직감이란 식품의 품질을 결정짓는 관능적 요소중의 하나로서 그 물질을 구성하는 물리적 미세구조와 관계가 있다. 특히 그 물질의 세포구조 및 세포의 구성성분이 크게 관여한다¹⁾. 조직감과 관계가 있는 세포조직의 구조는 유세포(parenchyma cell), 중엽(middle lamella), 세포간 공간(intercellular space)에 있는 세포외액 및 세포사이에 무작위로 분포되어 있는 공기이다²⁾. 식물조직의 유세포는 얇은 세포막으로 둘러싸여 있고 내부에 세포액이 들어 있으며, 이들 세포는 펙틴이 주성분인 중엽에 의해 결합되어 세포 집합체를 형성하고 있다. 그리고 세포와 세포사이의 공간에는 공기와 세포외액이 존재하며, 식물조직의 종류에 따라 이들의 위치와 크기, 기계적 성질, 강도, 구조 등이 결정된다.

배추, 무, 오이 등은 침채류의 주재료들로서 이들 조직은 불균일한 비연속체이다. 배추의 경우만 해도 배추잎의 형성순위에 따라 그 크기와 두께가 달라지며 같은 잎에서도 위치에 따라 유관속 부위의 발달정도가 달라진다. 침채류는 염장 발효과정 중 부피 및 중량의 변화와 더불어 이들 조직의 세포막, 세포벽, 중엽의 수축, 파괴와 같은 구조적 변화에 의해 이들의 텍스처 특성은 원료 재료와는 크게 달라질 수 있으며, 염절임이나 blan-

ching과 같은 열처리에 따라라도 침채류의 텍스처는 영향을 받게된다. 이 등³⁾에 의해서 원료배추 및 염장배추의 두께와 기계적 측정치와의 관계를 알아본 결과, 배추잎의 두께는 원료배추의 절단력에는 영향을 미쳤으나 염장배추에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 신뢰성 있는 침채류의 조직감의 기계적 측정치를 얻기 위해서는 일관성 있는 시료의 채취가 필요하며, 이들의 구조적 특징 및 가공법을 고려한 측정 방법이 적절히 선택 내지 고안되어야 하겠다.

조직감을 측정하는 방법에는 주관적인 수치를 얻는 관능검사법(sensory test)과 객관적인 수치를 얻는 기계적 검사법(instrumental method)이 있다. 최근들어 Rheometer, Instron, Texturometer 등과 같은 다목적 측정기들이 식품의 조직특성을 측정하기 위해 사용되며, 이들은 cross head나 base adapter를 교환함으로써 여러가지 조직감 parameter들은 측정할 수 있다⁴⁾. 침채류의 조직감은 주로 압착시험(compression test), 침투시험(puncture test) 혹은 관통시험(penetration test) 및 절단시험(cutting test) 등으로 측정할 수 있다.

기계적 검사법은 주관적인 관능적 느낌을 기계로 측정하는 것으로 그 측정법의 타당성을 얻기 위해서는 해당되는 관능검사 결과와 비교를 해야만 한다. 기계적으로 측정된 조직감 특성과 관능적 특성간의 상관성에

관한 연구로는 구 등⁵⁾과 엄 등⁶⁾의 연구보고가 있으며, 이 등⁷⁾은 염장과정 중 무의 단단한 정도와 아삭아삭한 정도는 감소하고 질긴 정도는 증가한다고 하였다. 그리고 이러한 무의 관능적 조직특성은 압착변형력이나 침투변형력과 상관성이 높았다고 하였다. 한편 이 등³⁾에 의하면 염장과정 중 배추잎의 최대절단변형력은 크게 증가하였고, 이는 관능적으로 씹힘성과 상관성이 있는 것으로 나타났다. 배추잎의 절단변형력 증가는 세포벽의 구조적 변형에 따라 포개짐에 의한 절단면의 수적 증가에 의한 것이라고 보고되었다⁸⁾. 황 등⁹⁾은 배추잎에 대하여 압착시험과 관능검사를 행한 결과, 압착시험시 나타나는 원료배추의 파열점은 아삭아삭한 정도 혹은 깨어지는 성질을 나타낼 수 있는 지표라고 하였다. 윤 등¹⁰⁾은 여러 가지 형태의 탐침을 이용하여 침투시험 및 절단시험을 실시함으로써 배추의 조직감 특성을 기계적으로 측정하는 방법을 수립하고자 하였다.

본 총설에서는 배추를 중심으로 식물세포의 구조와 특성을 살펴보고, 침채류의 가공, 발효과정 중 조직의 구조적 변화에 따른 조직감의 변화에 관하여 논하고자 한다. 또한 배추김치, 무김치, 오이지 등과 같은 침채류의 조직감을 측정하기 위해 사용되는 압착시험, 침투시험, 절단시험을 중심으로 각 측정법을 통해 얻어지는 힘-거리 곡선(force-distance curve)의 특성과 이로부터 측정할 수 있는 조직감 parameters를 찾아봄으로써 침채류의 조직감을 측정할 수 있는 객관적이고 만족할만한 평가방법을 모색하고자 한다.

II. 생세포의 구조와 특징 및 가공, 발효과정 중 침채류 조직의 변화

원료배추 조직은 줄기 양쪽 표면이 표피로 덮여 있고 그 사이에 유세포가 조직의 주를 이루고 있으며 유조직 내부로 관다발(유관속계)이 관통하고 있다. 유세포는 자라는 방향으로 길쭉한 실린더형으로 엽을 지어 분포되어 있고 세포와 세포는 중엽으로 연결되어 있다.

생세포는 세포막이 손상되지 않은 상태로 있어 세포액의 삼투압에 의한 팽압으로 세포벽은 항상 응력을 받고 있는 점탄성체로써 세포간 공간에는 공기와 물로 차 있다. 또한 세포벽의 구성물질에 의해 외부로부터의 공격에 대해 자체 방어 능력을 갖고있다. 이러한 구조를 갖는 생세포는 기계적으로 힘을 가해 압축하거나 절단하면 조직내의 공기와 세포액이 조직밖으로 구축되면서 생세포들을 결합시키는 중엽이 분리, 손상 및 파괴가 일어나면서 파열되는 경향이 있다. 그리고 세포열 사이의 공간으로 공기와 세포액이 구축되는 통로가 형성된다.

일반적으로 침채류의 발효과정 중 조직이 연해지는 연부현상이 일어난다. 연부현상은 조직내 존재하거나 미생물이 분비하는 pectinesterase(PE)와 polygalacturonase(PG)에 의해 세포벽과 중엽의 구성성분인 펙틴물질

이 분해되면서 일어나며¹¹⁾, 연부현상에 의해 침채류의 관능적 특성은 전반적으로 모두 감소한다. 그러므로 침채류의 연부현상을 방지하고 저장성을 향상시키기 위하여 염절임¹²⁾이나 blanching¹³⁾¹⁴⁾ 이외에도 CaCl₂ 및 예열처리와 CaCl₂ 병용처리¹⁵⁾¹⁶⁾를 한 후에 침채류를 숙성, 발효시키는 방법이 이용되고 있다.

염절임이나 blanching 등과 같은 가열처리에 의해 식물조직의 부피, 밀도 및 중량의 변화는 물론 세포구조가 변화하며, 이에 따라 조직의 텍스처 특성도 달라지게 된다. 식물조직의 텍스처 변화는 세포벽과 중엽의 주성분으로 유세포를 결합시키고 조직의 기계적 강도를 부여하는 펙틴의 성질에 의해 크게 영향을 받는다¹⁷⁾¹⁸⁾. 염절임시 가장 두드러진 현상은 탈수와 탈기 현상으로 염용액에서는 세포외부의 삼투압이 높아 세포내의 수분이 빠져면서 원형질분리(plasmolysis)와 원형질막 파괴(plasmolysis)에 따라 세포내액이 염용액중으로 급속히 유실되고 조직내 포집되어 있던 공기가 세포밖으로 구축되면서 중량과 부피는 감소하고 조직의 밀도는 증가하게 된다¹⁹⁾²⁰⁾. 또한 염절임에 의해 세포막이 수축, 파괴되면서 팽압은 상실되고 부분적인 중엽의 분리가 초래된다.

이에 따라 중엽에 의해 결합되어 있던 세포간의 응집력과 결합력이 약해지면서 조직의 관능적 특성이 변하여 조직의 유연성과 질긴 정도(toughness)는 증가하고 뻣뻣한 정도(stiffness)와 아삭아삭한 정도(crispness)는 감소한다. 김 등²¹⁾은 염장중 침채류의 유연성의 증가를 Na⁺ 증가에 따른 Ca²⁺, Mg²⁺와의 치환반응에 의해 펙틴의 지지력 및 펙틴과 셀룰로오스간의 결합력 상실로 추정하였다. 이때 세포벽과 중엽의 펙틴층에 PE가 작용하여 저메톡실 펙틴(low methoxyl pectin)이 증가하면서 조직이 더 견고해지기도 한다²²⁾. 한편 가열처리중의 가장 큰 조직의 변화는 조직내 공기의 구축이며, 수분과 고형분 유실에 의해 중량과 부피가 감소하고 조직은 연화되나 중량 및 부피의 감소율은 염절임의 경우보다는 작은 것으로 나타났다. 이는 가열처리중 식물조직의 표면수분이 증발하여 중량이 감소되고 밀도는 증가하나 실질적인 수분함량에는 큰 변화가 없으며 부피 감소는 주로 조직내 공기 구축에 의해 일어나기 때문이다. 그리고 구축되는 공기가 중엽을 파괴하면서 집합되어 보다 큰 air space를 만들면서 조직은 더욱 수축하게 된다. Grote 등²³⁾에 의해서도 데침중 중엽에 균열이 생기고 세포간공간이 커짐이 관찰되었다. 식물조직의 세포벽과 중엽은 조직의 경도를 유지하는 주 골격구조로서 60°C ~ 70°C에서의 blanching에 의해 구성성분인 펙틴이 PE의 활성화로 인한 demethylation으로 경화되나²⁴⁾ 이보다 높은 온도에서는 펙틴의 열분해에 의해 조직이 더욱 연화되면서 동시에 조직내 공기가 구축된다. 가열처리에 의해 아삭아삭한 정도, 단단한 정도, 질긴 정도와 같은 조직의 텍스처 특성은 모두 감소한다.

결론적으로 염절임과 blanching과 같은 가열가공 중 조직의 변화는 중엽의 손상 및 파괴에 의한 연화현상으로 볼 수 있다. 이때 염절임에 의한 연화보다는 가열에 의한 연화가 더욱 크게 나타나는데, 이는 가열처리하면 조직내 잔여공기의 팽창에 의해 중엽이 추가 파괴되면서 세포간 결합이 약해진 이외에도 중엽의 결합력이 열에 의해 약해졌기 때문이다. 황 등⁹⁾에 의하면 염절임이나 가열 데침 중에 유관속 세포보다는 유조직 세포가 주로 변형되며, 데침보다는 절임에 의한 세포변형이 크다고 하였다. 이와 같은 현상에 대하여 유 등¹⁹⁾은 염절임함으로써 세포벽이 탈수, 수축될 뿐만 아니라 세포벽과 중엽에 존재하는 Na-acetate soluble pectin인 저 메톡실 펙틴이 증가하면서 조직이 더 치밀해지기 때문이라고 하였다. 그러므로 염절임에 의한 탈수현상에 따른 세포의 수축 변형이 데침보다는 크게 일어나는 것으로 생각된다.

III. 압착시험에 의한 조직감 측정

압착시험은 두개의 표면사이에 시료를 놓고 누르는 시험으로 시료는 분리되지 않고 그 높이만 감소하게 된다. 시료가 변형된 정도는 압착율로 표시되며 일정 압착율을 얻는데 필요한 힘을 압착변형력으로 하고 압착변형력의 크기는 식품의 굳기(hardness)와 관계가 있다. Bourne 등²⁵⁾에 의하면 최초의 압착변형력의 증가는 가해진 힘이 증가하면서 시료의 변형에 의해 일어나며 첫번째 peak 이후의 peak들은 시료조직의 내부파열에 의해 생긴다고 하였다. 또한 curve중간의 작은 plateau한 부분은 내부파열을 확대하기 위해 필요한 변형력을 나타내는 것이라고 하였다. 압착시험은 크기가 다른 원판형 탐침(compression anvil)을 사용하고, 압착율은 주로 75%~60%로 하며, Instron을 사용하여 시료를 2회 반복 압착하였을 때 얻어지는 힘-거리 곡선으로부터 조직감 parameter를 계산할 수 있다²⁶⁾. 이로부터 최대압착변형력은 식품의 단단한 정도, 회절점(파열점)은 깨어지는 성질 혹은 아삭아삭한 정도, work ratio는 응집성, 회복 높이는 탄력성과 관계가 있으며²⁷⁾⁻²⁹⁾, 압착변형력의 감소는 식물조직 세포벽의 퇴화 및 붕괴에 기인되며 아삭아삭한 정도의 상실과 즙액의 유출을 동반한다³⁰⁾.

Rheometer로 원료배추를 2번 압착했을 경우⁹⁾ Fig. 1과 같이 특징적인 힘-거리 곡선이 나타나며, 이로부터 뚜렷한 파열력을 볼 수 있으며 최대 압착변형력보다 낮은 회복 높이를 나타내고 있다. 반면에 데침 및 염장 발효 중에는 침채류의 파열점(breaking point)이 소실되면서 압착변형력, 회복높이 및 work ratio가 모두 감소하는 것으로 나타났다(Table 1). Fig. 2는 Instron으로 깎두기를 압착한 결과로 단 하나의 특징적인 peak만을 나타내었다³¹⁾.

한편 Instron을 이용하여 압착시험에 의한 생무의 힘-거리 곡선은 Fig. 3과 같다³²⁾. Fig. 3을 살펴보면 A에서와 같이 무의 표피를 뚫고 들어가는 파열점인 a와 최대압

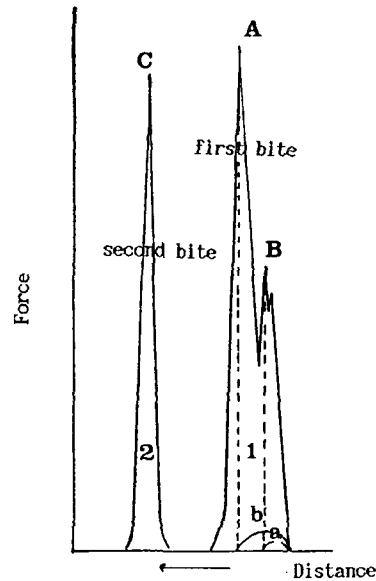


Fig. 1. Texture profile of compression test of Chinese cabbage⁹⁾.

A: compression force B: breaking force C: recovered height a: breaking point 2/1: work ratio

Table 1. Changes in compression force, recovered height, work ratio, breaking point and cutting forces of fresh, salted and blanching Korean cabbage³⁹⁾.

Korean cabbage Parameters	fresh	salted	blanching
Compression force (kg)	5.60± 0.96	2.48± 0.12	1.30± 0.
Recovered height	0.32± 0.03	0.23± 0.04	0.10± 0.
Breaking point	0.50	-	-
Work ratio	0.46± 0.02	0.28± 0.06	0.36± 0.0
Cutting force(kg)	1.68± 0.10	6.92± 1.14	4.64± 0.9
Cutting force(g)	453.8 ± 49.8	2345± 401.2	-

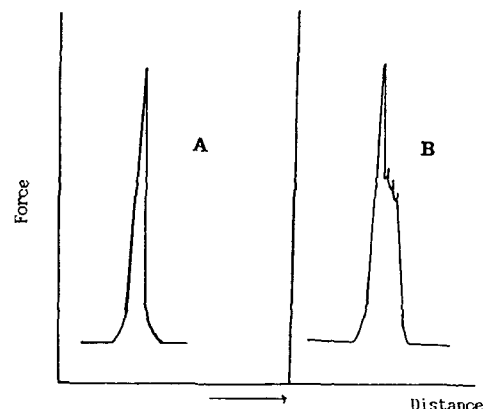


Fig. 2. Texture profile of compression and puncture test of kakkugi³¹⁾.

A: compression test B: puncture test

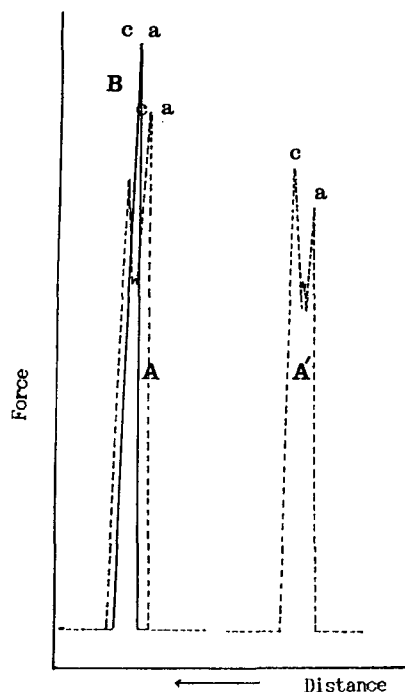


Fig. 3. Texture profile of compression test of Korean radish³²⁾.

---- fresh radish — salted radish a: break point c: maximum force point

착변형점인 c가 일치하거나 A'에서 처럼 a 이후에 더 큰 c가 나타나기도 하였다. 반면에 염장 발효된 무의 힘-거리 곡선 형태는 B에서 나타난 바와 같이 특징적인 하나의 peak만이 나타나며, 파열점인 a와 최대변형점인 c가 일치하거나 혹은 뚜렷하지 않은 파열점이 존재하였다. 또한 생무의 peak 수는 3~4개로 나타났으나 염장 발효된 무의 peak 수는 1~2개로 감소하였다. 무의 압착변형력은 염장 발효가 진행되면서 감소하는 경향을 보였으며(Table 2), 이는 무조직이 연화되고있는 증거로 볼 수 있다. 압착시험에서 파열점은 주어진 압착력에 의해 시료가 최초로 변형되기 시작하는 점으로, 파열점의 소실은 조직의 아삭아삭한 성질 혹은 깨어지는 성질의 변화를 나타내는 지표로 볼 수 있다. 황 등⁹⁾도 가열데침이나 소금절임에 의해 배추잎의 파열점이 소실되는 것이 특징이라고 한 바 있다.

일반적으로 손상되지 않은 생조식은 기계적인 힘에 의해 절단되거나 파열되는 경향이 있는 반면에, 염절임이나 가열처리된 시료는 가공처리과정 중에 세포액이 유출되면서 이미 팽압의 상실, 세포의 수축등에 의한 내부 변화가 일어난 상태로써 물리적인 힘에 의해 휘어지는 경향이 있다. 따라서 가공처리된 조직은 생조식과는 다른 양상의 힘-거리 곡선 및 조직감 parameter들이 나타나게 된다.

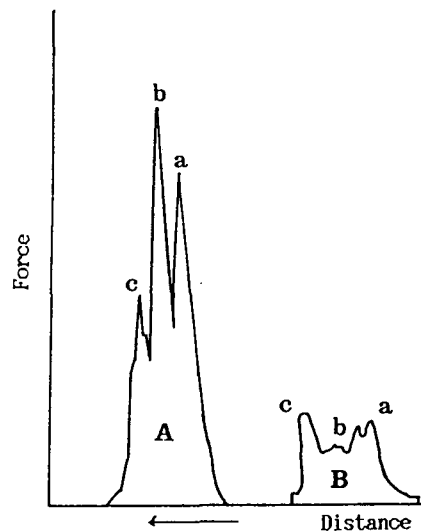


Fig. 4. Texture profile of cutting test of Chinese cabbage³⁰⁾.

a: first cutting force
b: second cutting force
c: third cutting force

한편 정 등³³⁾은 무김치 조직이 물러지는 정도를 경도와 깨어지는 성질(brittleness)로 표현하였으며, 이들의 측정 은 침투시험보다는 압착시험으로 행하는 것이 더 나은 결과를 얻을 수 있다고 하였다. 그리고 김 등⁶⁾과 김 등³¹⁾의 연구에서도 깎두기의 경도는 압착시험에 의한 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

IV. 절단시험에 의한 조직감 측정

절단시험은 예리한 칼날이나 철사줄로 된 탐침을 이용하여 시료를 자르는데 필요한 변형력을 측정할 수 있다⁴⁾³⁴⁾.

원료배추의 경우 칼날형 탐침을 이용하여 Rheometer로 절단시험을 행하였을 때 Fig.4와 같은 전형적인 힘-거리 곡선을 얻을수 있으며⁸⁾⁹⁾, 이로부터 최대절단변형력(maximum cutting force, g) 및 절단면적(cutting work, g.cm)을 구할 수 있다. Fig.4를 살펴보면 특징적인 3개의 peak를 나타내고 있으며 a와 c는 각각 배추의 안쪽외피, 바깥외피 부분을 자를 때 요구되는 힘이고 b는내부 유관속계를 절단하는데 필요한 힘이다. 시료및 시료의 절단위치에 따라 b의 크기가 a와 c보다 크거나 작아지기도 한다. Fig.4의 A는 배추의 유관속계를 절단한 경우이고, Fig.4의 B는 배추의 유관속계를 피하여 유세포 조직만 절단한 경우이다³⁾.

염장 및 데침에 의해 배추의 절단변형력은 원료배추에 비하여 상대적으로 증가하였으나 절단변형패턴은 원료 배추와 마찬가지로 3개의 절단 peak를 나타내고 있다.

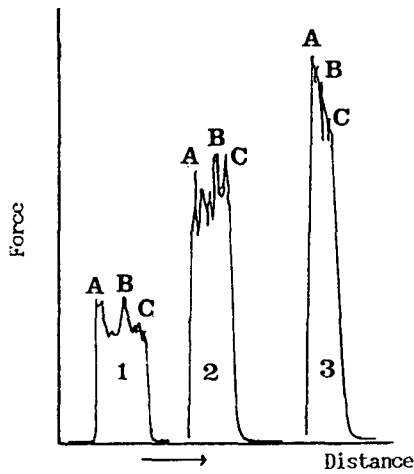


Fig. 5. Texture profile of cutting test of fresh(1), salted (2) Korean cabbage and Kimchi(3)³⁵⁾.
A: first cutting force
B: second cutting force
C: third cutting force

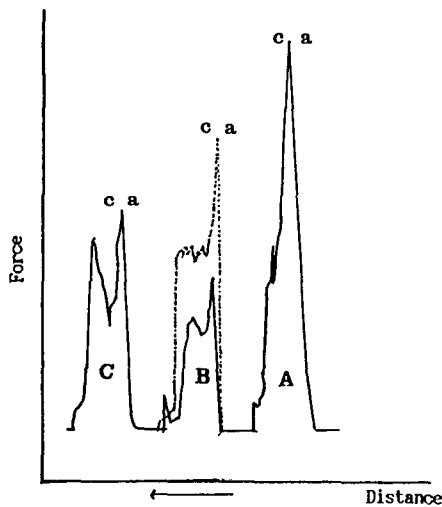


Fig. 6. Texture profile of cutting test of Korean radish³²⁾.
---- fresh radish — salted radish

박 등³⁵⁾도 Rheometer를 이용한 원료배추, 절임배추 및 김치 등의 절단에서 3개의 큰 특징적인 peak를 얻었으며 (Fig. 5), 원료배추, 절임배추, 김치 등의 순서로 peak의 수가 점차 줄어들었다. 원료배추에 있어서 peak수가 많이 생기는 것은 조직의 구조에 의한 것이고 발표된 김치의 3개의 peak는 수분의 유출로 두께가 감소하여 김치 표피와 내부의 일부분에 대한 특징적인 peak만 형성된 것이라고 하였다. Instron을 사용하여 절단시험으로부터 얻은 무의 힘-거리 곡선을 살펴보면 생무는 Fig. 6의 점선 곡선에서와 같이 a와 c가 일치하는 형태가 주종을 이루는 반면에 염장 발효된 무의 절단 곡선은 2~3개의 형태로 나타났다³²⁾. 즉, A와 같이 a와 c가 일치하면서 특징적인 한개의 peak만이 나타나거나 절단변형력의 차이는 있으나 생무의 절단곡선 형태와 유사한 B의 절단 곡선이 나타났다. 또한 C와 같이 시료의 양쪽 표피를 절단할 때 더 큰 절단변형력이 요구되는 형태가 나타났는데 C와 같은 형태는 절단시험에서 나타나는 일반적인 형태이다.

한편 배추잎의 절단변형력은 염절임에 의해 약 3~5배 정도 증가하며³⁶⁾, 데침에 의해서도 절단변형력 증가 현상이 나타났다(Table 1)⁹⁾³⁶⁾. 우 등³⁷⁾과 박 등³⁸⁾에 의해 각각 절임 정도가 다른 배추 김치와 담금 방법을 달리한 오이지를 Rheometer와 Textureanalyzer로 절단했을 경우에도 숙성기간이 길어질수록 절단변형력이 증가하였다. Instron에 의한 무의 절단변형력도 염장 발효과정 중 계속 증가하는 경향을 보였다(Table 2)³²⁾. 이와 같이 염절임이나 데침에 의해서도, 침채류의 숙성 발효과정 중에도 절단변형력은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 식물 조직내의 탈수, 탈기현상으로 세포벽이 변형되면서 포개져 절단면에 걸리는 섬유소의 수가 증가되기 때문으로 보고 된 바 있다.

일반적으로 절단변형력은 관능적으로 식품의 질긴 정도와 씹힘성을 나타내는 지표로 이용되고 있으며, 이 등³⁾, 윤 등¹⁰⁾, 우 등³⁷⁾의 연구에서도 염절임과정 중 무와 배추잎의 절단변형력의 증가와 아울러 견고성과 아삭아삭한 정도는 감소하여 유연해지는 반면에 질긴 정도는 증가한 것으로 나타났다. 그러나 가열데침에 의해서도 절단변형력은 증가하였지만 관능적 특성인 질긴 정도는 감소한 것으로 나타났다. 그러므로 가열 데침중에 일어

Table 2. Changes in compression, puncture and cutting forces of Korean radish during salting³²⁾ Unit: kg

Salting days	0	1	2	4	7	10
Type of test						
Compression	38.07±5.47 ^{a)}	36.48±8.42	41.23±7.25	40.20±3.58	40.18±6.73	33.67±4.83
Puncture(0.96 cm)*	8.45±1.91	6.28±1.49	7.07±2.19	6.62±0.87	6.57±1.66	5.65±0.71
Puncture(0.63 cm)*	4.99±0.63	4.27±1.04	4.84±0.57	4.71±1.09	4.04±0.74	4.01±0.60
Puncture(0.32 cm)*	1.43±0.10	1.85±0.35	1.66±0.25	1.54±0.37	1.64±0.35	1.30±0.26
Puncture(0.16 cm)*	0.47±0.04	0.63±0.08	0.61±0.03	0.63±0.08	0.56±0.07	0.45±0.07
Cutting	1.36±0.14	2.87±0.36	3.59±0.35	4.65±0.39	4.24±1.58	4.65±1.39

*: puncture test by different size of probes

a): Means±S.D. of five replications

는 조직의 특성은 절단시험의 조직감 parameter와는 잘 일치하지 않는 것으로 생각된다. 황 등²⁰⁾에 의하면 데침과정 중 배추잎 외피부분의 강도는 약해졌으나 질긴 정도는 증가하는 것으로 보아 데침중 식물조직의 외피부분의 연화현상과 섬유소의 겹침현상이 동시에 일어난다고 하였으며, 데침 배추의 조직 특성은 절단시험보다는 압착시험의 결과와 상관성이 더 크게 나타났다고 하였다. 그러므로 절단변형력은 염절입한 조직의 질긴 정도와 씹힘성을 나타낼수는 있으나 데침 조직의 질긴 정도를 설명하기는 다소 어려울 것으로 판단된다.

V. 침투시험에 의한 조직감 측정

침투시험은 탐침이 시료를 침투할 때 필요한 힘의 크기를 측정함으로써 압착시험과 마찬가지로 식품의 굳기 혹은 단단한 정도를 측정하는데 이용되며, 사용되는 탐침의 종류에 따라 항복력과 힘-거리 곡선의 형태가 달라지며 같은 종류의 탐침이라도 측정되는 식품에 따라서 다르게 나타날 수 있다³⁹⁾. 침투시험의 힘-거리곡선으로부터 force, distance, work area, yield, slope를 계산할 수 있으며, maximum force는 주로 과채류의 경도(firmness)를 나타내고, curve의 steepness 즉, curve slope는 조직의 crispness를, work area로는 조직의 chewiness를 설명할 수 있다²⁵⁾. 최 등²⁰⁾에 의해 직경이 0.93

cm인 탐침으로 배추의 침투시험을 행하여 얻은 응력 변형곡선은 Fig. 7과 같다. 이로부터 OY까지는 거의 직선적인 응력-변형의 관계를 나타내었으며, Y에서 생배추 조직이 깨어지기 시작하여 H₁에서 최고응력을 나타낸 후 침투가 거의 종결된다. H₂는 한번 변형을 주었던 부분을 다시 침투했을 때 나타나는 최고응력이다. 염절입된 배추는 항복응력은 보이지 않았고 H₁과 H₂의 크기가 원료배추의 경우보다 크게 감소하여 염절입 후 조직이 연화되었음을 알 수 있었다. 그리고 염절입 후 원료배추의 뻣뻣한 형태가 흐물흐물한 형태로 바뀐에 따라 이들의 사각사각한 조직감이 줄어들고 점차 질긴 느낌은 증가하였다.

배추김치⁴⁰⁾, 동치미⁴¹⁾, 오이지⁴²⁾의 숙성, 발효과정 중 Rheometer를 사용하여 직경이 0.5 cm인 막대 탐침으로 침투시험을 한 결과 Fig. 8과 같은 힘-거리 곡선을 얻었다. 이로부터 숙성이 안된 절입배추는 미세구조와 거대구조의 파괴를 나타내는 2개의 항복응력(yield stress, H₁과 H₂)이 뚜렷하였으며 조직의 파괴과정을 확실히 볼 수 있으나 발효가 진행되면서 2개의 항복응력간에 거리가 좁아지고 두번째 항복응력이 현저히 적어졌다(Fig. 8의 A). 동치미의 경우에는 탐침이 처음 닿는 부위에서 불확실한 파열점이 나타났으며, 동치미 내부를 통과하면서 점차 침투변형력이 증가하면서 바깥쪽 외피를 뚫을 때 가장 큰 변형력이 필요한 것으로 나타났다. 그리고 발효가 진행됨에 따라 peak값이 현저히 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 8의 B). 소금 농도에 따른 오이지의 힘-거리 곡선으로부터는 1개의 yield stress인 H를 얻었으며, 소금 농도가 증가할수록 곡선의 형태는 변화없이 H의 높이만 낮아지는 것으로 나타났다(Fig. 8의 C).

배추김치, 동치미, 오이지의 견고성은 염장 발효 초기에 급격히 감소하였다가 발효가 진행되면서 서서히 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 9). 염장 발효 초기에 견고성의 급격한 감소는 발효에 의한 것이라기 보다는 삼투압에 의한 조직액의 용출 및 소금의 침투로 인한 조직의 변화에 의한 것이며, 그후의 감소는 발효에 따른 구성성분의 분해와 산막 효모와 각종 발효미생물에 의한 산의 증가 때문이라고 하였다. Fig. 2의 B는 직경이 0.5 cm인 탐침을 사용하여 깎두기의 침투시험을 행한 결

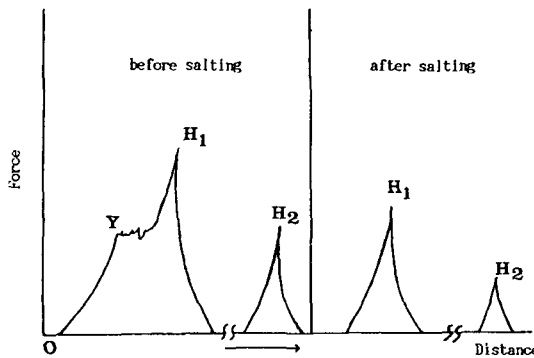


Fig. 7. Texture profile of puncture test of Chinese cabbage²⁰⁾.

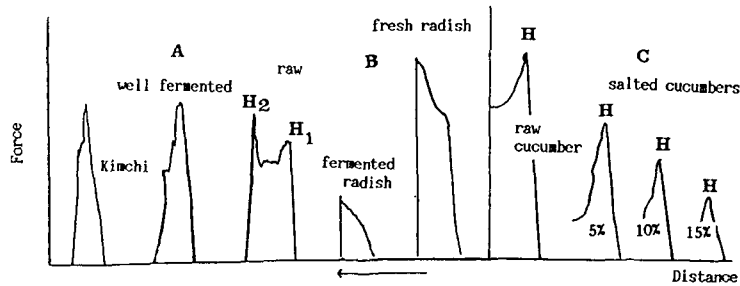


Fig. 8. Texture profile of puncture test of Chinese cabbage, Korean radish and raw & salted cucumbers⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴²⁾.

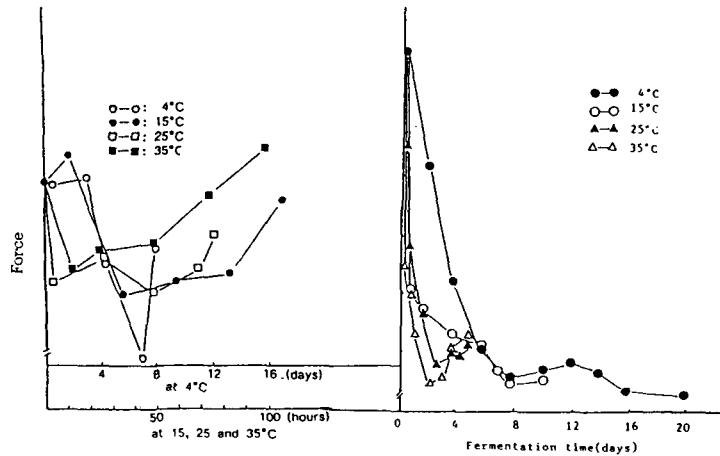


Fig. 9. Changes in hardness of Chinese cabbage and Korean radish during fermentation of kimchi and dongchimi⁴⁰⁾

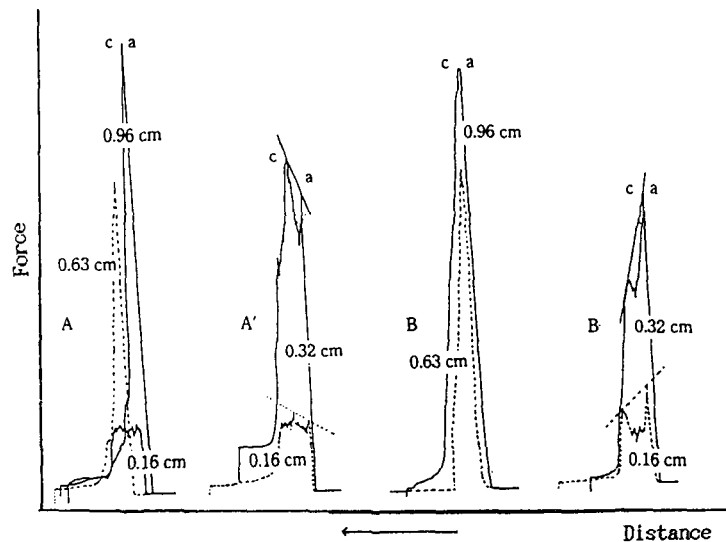


Fig. 10. Texture profile of puncture test of fresh and salted Korean radish by different sizes of probes³²⁾. A&A': fresh radish B&B': salted radish a: break point c: maximum force point

과로써 탐침이 제일 먼저 접촉한 각두기의 면을 침투 하는데 최대값의 peak가 나타났으며 그 이후 점차 침투변형력이 감소하는 곡선의 형태를 보였다³¹⁾. 그리고 압착시험보다는 침투시험에서 얻은 곡선의 peak수가 많은 것으로 나타났다.

한편 형태는 같고 크기가 다른 4가지 막대 탐침을 사용하여 침투시험을 행하고 이로부터 얻은 힘-거리 곡선은 Fig. 10에 나타내었다³²⁾. 이로부터 생무에 있어서는 파열점(a)과 최대침투점(c)이 일치하면서 특징적인 단 하나의 peak만이 나타나거나(Fig. 10의 A) a이후에 더 큰 c가 나타나는 positive slope 형태의 곡선(Fig. 10의 A')이 주종을 이루었다. 직경이 0.96 cm나 0.63 cm인 탐침에

의해서는 단 하나의 특징적인 peak만이 주로 나타나고 탐침의 직경이 작을수록 여러개의 작은 peak가 나타났으며, 탐침의 직경이 클수록 생무의 최대침투변형력이 커지는 것으로 나타났다. 반면에 염장 발효 무에 있어서는 a와 c가 일치하는 하나의 곡선(Fig. 10의 B)이 나타나거나 일단 최대침투점에 도달한 후 침투변형력이 감소하여 negative slope을 나타내는 형태(Fig. 10의 B')가 주로 많이 나타났다. 무의 침투변형력은 염장이 진행됨에 따라 점차 감소하는 경향을 보였으며 0.96 cm인 탐침과 0.63 cm인 탐침을 사용했을 경우에는 염장 2일째 이후 점차 감소하는 경향이 나타났으며, 0.32 cm인 탐침과 0.16 cm인 탐침을 사용하였을 때의 침투변형력은

염장 1일째 증가하여 각각 최대값에 도달한 후, 이후 계속 감소하는 경향을 보였다(Table 2). 염장 발효가 진행됨에 따라 배추김치나 오이지와 마찬가지로 무의 내부조직을 침투할 때보다는 앞뒤쪽의 표피면을 침투할 때 더 큰 변형력이 요구되었다. 이러한 현상은 염장 발효과정 중 침채류의 표피조직의 수분이 용출되면서 조직의 밀도가 증가하여 탐침이 표피를 통과할 때 더 큰 변형력이 요구되는 때문인 것으로 생각된다. 또한 염장 발효됨에 따라 무의 peak 수가 감소하는 경향은 정 등³³⁾의 연구와 일치하였으며, 시료의 peak 수는 시료의 깨어지는 성질은 표현할 수 있으므로 염장 발효무는 생무에 비하여 깨어지는 성질이 감소함을 알 수 있다.

침투시험의 경우 사용되는 탐침의 크기나 형태에 따라 측정할 수 있는 조직감 parameter가 달라질 수 있다. 배추의 경우 침투시험은 절단시험과 마찬가지로 탐침의 직경이 작을 때는 시료의 침투부위에 따라 즉, 유관속 부위를 침투할 때와 유조직 부위를 침투할 때 나타나는 침투변형력은 크게 달라질 수 있다. 원료배추일 때 탐침의 면적과 둘레의 길이가 클수록 침투변형력이 커지며, 큰 탐침을 사용하였을 때는 뚜렷한 파열점이 관찰되고 있다¹⁰⁾. Rod 형과 같이 선단면적이 큰 경우에는 시료의 표피를 뚫고 들어가는 파열력(a)이 최대 변형력(c)과 비슷한 수준으로 높게 나타났다. 염장 배추는 탐침의 크기가 작은 needle, awl, driver형 탐침에 의해 최대변형력이 감소되는 경향을 나타낸 반면, 선단면적과 둘레가 큰 rod형과 spatular형에서는 파열력이 크게 증가되어 원료배추의 최대변형력을 능가하는 것으로 나타났다. 이로부터 조직이 연화된 상태인데도 침투변형력이 증가한다는 것은 크기가 큰 탐침의 침투변형력은 조직의 연화정도를 표현하기에는 적절하지 않은 것으로 생각된다. 일반적으로 염절입에 의해 침채류의 질긴 정도는 증가하고 아삭아삭한 정도와 단단한 정도는 감소한다.

따라서 염절입에 의해 needle, awl, driver형의 최대 변형력이 감소하는 것은 배추조직의 연화현상을 의미하며, rod형과 spatular형에서의 변형력의 증가는 섬유소 성분의 특징적인 성질로 나타나는 질긴 정도의 증가로 보는 것이 타당할 것으로 판단된다. 최 등⁴³⁾도 직경이 0.03 cm인 바늘탐침을 사용했을 경우, 가열에 따른 배추잎의 연화현상을 측정할 수 있었으며, 질긴 정도를 표현할 수 있는 직경이 비교적 큰 1.03 cm인 shear puncture 탐침을 사용했을 경우에는 오히려 침투강도가 증가하는 것으로 나타났다.

VI. 결 론

생세포의 세포 구조와 물리적 특성은 염절입이나 blanching과 같은 가공과정을 거치거나 숙성, 발효과정 중의 식물세포와는 차이가 있으므로 기계적인 힘에 의해 서로 다른 양상으로 세포조직이 변형된다. 그리고 염절입과

데침과정 중 식물조직의 조직감의 변화는 다른 기작에 의해 일어나므로 이에 적절한 측정법이 사용되어야 하겠다. 황 등⁹⁾에 의하면 염절입 조직은 절단시험으로, 가열처리된 조직은 압착시험으로 조직감 특성을 측정하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

박 등⁴⁴⁾은 침채류의 조직감 표현용어는 연한, 호물호물한, 아삭아삭한, 질긴, 뻣뻣한 등이고, 이들을 물성학적 개념으로 표현하여 견고성, 깨어지는 성질, 씹히는 성질, 탄력성 등이 중요한 조직감 요소임을 보고하였으며, 윤 등¹⁰⁾은 아삭아삭한 성질과는 다른 유연하면서도 물이 차 있는 다즙성 느낌인 아삭아작한 성질(juicy-crunchiness)로 김치의 조직감을 표현하였다. 이러한 침채류의 관능적 조직 특성은 기계적인 측정에 의해 표현될 수 있다. 즉, 압착변형력은 침채류의 단단한 정도를, 절단변형력은 질긴 정도와 씹힘성을 측정하는데 더욱 효과적인 것으로 판단되며, 침투변형력으로도 침채류의 단단한 정도나 견고성을 측정할 수 있을 것으로 기대되며, 이때 직경이 작은 탐침에 의한 침투변형력은 조직의 단단한 정도와 아삭아삭한 정도의 감소에 따른 연화현상을 측정할 수 있는 반면에, 직경이 큰 탐침에 의한 변형력으로는 단단한 정도와 아삭아삭한 정도보다는 질긴 정도를 측정하는 것이 더 효과적인 것으로 판단된다. 또한 각 측정 방법으로부터 얻은 힘-거리 곡선에서 나타난 peak수와 파열점은 침채류의 깨어지는 성질이나 아삭아삭한 성질을 가장 잘 표현할 수 있을 것으로 판단된다.

이상으로 부터 침채류의 조직감 특성을 보다 정확하게 측정하기 위해서는 우선 시료자체의 미세구조 및 구성 성분에 대한 연구와 함께 가공중의 조직의 변화에 대한 연구가 구체적으로 이루어져야겠으며, 그리고 기계적인 조직감 특성과 관능적 특성간의 결과를 비교하여 침채류의 관능적 특성을 보다 잘 표현할 수 있는 기계적인 조직감 특성을 모색해야 하겠다.

참고문헌

1. Schwimmer, S., Enzyme action and plant food texture in Source Books of food enzymology. The AVI pub. Co. InC, West port, Connecticut, U.S.A. 512-523 (1981).
2. Pitt, R.E., Models for the rheology and statistical strength of uniformly stressed vegetative tissue. Transactions of the ASAE, 25: 1776 (1982).
3. 이회섭, 이철호, 이귀주, 배추의 염장과정 중 성분변화와 조직감의 변화. 한국조리과학회지, 3(1): 64 (1987).
4. 이철호, 이진근, 채수규, 박봉상, "식품공업품질관리론" 유림문화사 (1982).
5. 구경형, 강근옥, 장영상, 김우정, 염혼합물의 첨가가 김치의 물리적 및 관능적 특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 23(2): 123 (1991).
6. 엄진경, 김광옥, Sodium Acetate와 Calcium Chloride를 첨가한 각두기의 특성. 한국식품과학회지, 22(2): 140 (1990).
7. 이회섭, 이귀주, 무의 염장과정 중 조직감의 변화에 대한 예열처리 및 Chitosan 첨가효과. 한국식생활문화학회지,

- 9(1):54 (1994).
8. 이철호, 황인주, 김정교, 김치제조용 배추의 구조와 조직감 측정에 관한 연구. 한국식품과학회지, 20(6): 742 (1988).
 9. 황인주, 이철호, 절단시험과 압착시험에 의한 배추잎의 조직감 측정비교. 한국식품과학회지, 20(6): 749 (1988).
 10. 윤의정, 이철호, 탐침의 형태에 따른 배추잎의 힘-거리 곡선의 변화와 조직감과의 상관관계. 유변학, 2(1): 46 (1990).
 11. Etchells, J.L., Bell, T.A., Monroe, R.J., Masley, P.M. and Demain, A.L., Populations and softening enzyme activity of filamentous fungi on flowers, ovaries and fruits of pickling cucumbers. *Appl. Microbiol.*, 6: 427 (1958).
 12. 김소연, 김광옥, 소금농도 및 저장기간이 깍두기의 품질특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 21(3): 370 (1989).
 13. 윤 선, 이진실, 홍완수, 열처리 조건이 오이지의 질감에 미치는 영향. 한국식품화학회지, 4(1): 103 (1989).
 14. 박희옥, 김유경, 윤 선, 열처리 및 젖산균 접종이 김치의 품질에 미치는 영향. 한국조리과학회지, 9(2): 61 (1993).
 15. 육 철, 장 금, 박관화, 안승요, 예비열처리에 의한 무우 김치의 연화방지. 한국식품과학회지, 17(6): 447 (1985).
 16. 백형희, 예비열처리에 의한 오이지의 연화방지. 서울대학교대학원 석사학위논문 (1988).
 17. Fennema, O.S., Food Chemistry, Marcel Dekker, INC. New York and Basel (1985).
 18. Bartley, I.M. and Kness, M., The chemistry of texture changes in fruit during storage. *Food Chem.*, 9: 47 (1982).
 19. 유명식, 김주봉, 변유량, 염절임 및 가열에 의한 배추 조직의 구조와 펙틴의 변화. 한국식품과학회지, 23(4): 420 (1991).
 20. 최동원, 탈수와 열처리에 따른 배추조직의 변화에 관한 연구. 연세대학교 대학원 석사학위논문 (1984).
 21. 김종만, 김인숙, 양희천, 김치용 간절임 배추의 저장에 관한 연구. 한국영양과학회지, 16(2): 75 (1987).
 22. Hudson, J.H. and Buescher, R.W., Relationship between degree of pectin methylation and tissue firmness of cucumber pickles. *J. Food Sci.*, 50(1): 138 (1986).
 23. Grote, M. and Fromme, H.G., Electron microscopic investigations of the cell structure in fresh and processed vegetables (carrots and green bean pods). *Food Microstructure*, 3: 55 (1984).
 24. Bartolome, L.G. and Hoff, J.E., Firming of potatoes Biochemical effects of preheating. *J. Agri. Food Chem.*, 20(2): 266 (1972).
 25. Bourne, M.C., Moyer, J.C. and Hand, D.B., Measurement of food texture by a universal testing machine. *Food Technology*, April: 170 (1966).
 26. Bourne, M.C., Texture profile analysis. *Food Technology*, July: 62 (1978).
 27. Szczesniak, A.S., Classification of textural characteristics. *J. Food Sci.*, 28: 385 (1963).
 28. Peleg, M., Texture profile analysis parameters obtained by an instron universal testing machine. *J. Food Sci.*, 41: 721 (1976).
 29. Mohsenin, N.N., Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science publishers. Vol. 1, New york (1970).
 30. Szczesniak, A.S. and Smith, B.J., Observations on strawberry texture a three-pronged approach. *J. Texture studies*, 1: 65 (1969).
 31. 김소연, 엄진영, 김광옥, Calcium Acetate 및 Potassium Sorbate를 첨가한 깍두기의 품질특성. 한국식품과학회지, 2(1): 1 (1991).
 32. 이희섭, 이귀주, 염장과정 중 무의 조직감과 이와 관련된 화학적, 효소활성변화. 한국식품화학회지, 8(3): 267 (1993).
 33. 정귀화, 이혜수, 숙성기간에 따른 무우 김치의 텍스처와 섬유소, 헤미셀룰로오스, 펙틴질의 함량변화. 한국조리과학회지, 2(2): 68 (1986).
 34. Szczesniak, A.S., Instrumental methods of texture measurement. *Food Technology*, Jan: 50 (1972).
 35. 박길동, 이 철, 윤석인, 하승수, 이영남, 김치의 숙성과 정중 조직감 변화. 한국식품화학회지, 4(2): 167 (1989).
 36. 황인주, 윤의정, 황성연, 이철호, 보존료, 젖갈, CaCl₂ 첨가가 김치 발효중 배추잎의 조직감 변화에 미치는 영향. 한국식품화학회지, 3(3): 309 (1988).
 37. 우경자, 고경희, 절임 정도에 따른 배추김치의 질감과 맛에 관한 연구. 한국조리과학회지, 5(1): 31 (1989).
 38. 박미원, 박용곤, 장명숙, 담금방법을 달리한 오이지의 숙성중 특성변화. 한국영양과학회지, 23(4): 634 (1994).
 39. Bourne, M.C., Theory and application of the puncture test in food texture measurement in Food Texture and Rheology, Sherman, P.(ed), Academic Press, London, 95-142 (1979).
 40. 김우정, 구경형, 조한옥, 김치의 절임 및 숙성과정중 물리적 성질의 변화. 한국식품과학회지, 20(4): 483 (1988).
 41. 강근옥, 구경형, 이정근, 김우정, 동치미의 발효 중 물리적 성질의 변화. 한국식품과학회지, 23(3): 262 (1991).
 42. 김종근, 최희숙, 김상순, 김우정, 발효중 오이지의 물리 화학적 및 관능적 품질의 변화. 한국식품과학회지, 21(6): 838 (1989).
 43. 최동원, 김주봉, 유명식, 변유량, 배추조직의 가열연화의 속도론적 연구. 한국식품과학회지, 19(6): 515 (1987).
 44. 박상희, 이철호, 한국인의 조직감 표현 용어에 관한 연구. 한국식품과학회지, 14(1): 21 (1982).