

# 김채류와 과실의 연화현상에 관한 고찰

A review on the softening of the fermented vegetables and the fruits

한림전문대학 여성교양과

조교수 이희섭

Dept. of Liberal art of Women, Hallym Junior College

Assistant Prof. : Hee Seoup Rhee

## 〈목 차〉

- |                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| I. 서론                              | IV. 연화방지 |
| II. 연화(softening)에 관여하는 요인         | V. 결론    |
| III. 연화중 효소활성, 세포벽 다당류<br>및 조직의 변화 | 참고문헌     |

## 〈Abstract〉

The softening of the fermented vegetables and the fruits was resulted from the degradation of pectic substances, cellulose, hemicellulose by polygalacturonase(PG), pectinesterase(PE), Cx-cellulase,  $\beta$ -galactosidase. The conversion of insoluble pectin to soluble pectin in cell wall-middle lamella was a major factor in the changes of firmness.

$Ca^{2+}$  was substantially increased firmness. However,  $Ca^{2+}$  could be removed from cell wall by chelating agents such as oxalic acid and citric acid. And  $Ca^{2+}$  was replaced with  $Na^+$  by ion exchange reaction.  $Ca^{2+}$  deficient tissue was vulnerable to attack by PG.

Preheating treatment and  $Ca^{2+}$  addition is most effective in inhibiting the vegetable food softening and in increasing middle lamella-cell wall rigidity, which PE activation by preheating treatment and  $Ca^{2+}$  addition could created more anionic carboxyl groups for cationic materials binding such as  $Ca^{2+}$  and chitosan and for polypectategel formation.

Excessive demethylation by PE was associated with loosening of middle lamella-cell wall components and softening.

## 1. 서론

채소나 과일 등과 같은 식물성 식품들의 조직감은 식품의 품질과 기호도를 결정하는데 주요한 역할을 한다. 그러나 채소나 과일 등의 성숙, 가공, 저장 및 유통시 생화학적 변화와 더불어 조직이 물러지는 연화 현상이 발생한다.

연화에 관한 연구로는 연화의 원인 규명과 연화 현상을 방지하고자 하는 측면에서 김치<sup>1)</sup>, 오이 피클<sup>2)</sup>과 같은 침채류와 사과<sup>3)</sup>, 토마토<sup>4)</sup>, 감<sup>5)</sup> 등과 같은 과일 등을 대상으로 연화 중 일어나는 세포벽 구성다당류의 변화와 이와 관련된 효소 활성 변화에 따른 조직의 변화를 중심으로 행해졌다.

본고에서는 침채류와 과일들을 중심으로 연화와 관련된 요인들과 연화 중 이들의 변화를 살펴보고 연화 현상을 보다 더 구체화하고 아울러 효과적인 연화 억제 방법을 찾아보고자 한다.

## II. 연화(Softening)에 관여하는 요인

### 2.1 펙틴질

식물성 식품의 연화는 식물 조직의 변화를 수반한다. 식물 조직의 변화는 세포벽(cell wall)과 중엽층(middle lamella)의 구성 성분인 펙틴질의 함량과 성질에 의해 크게 좌우된다.<sup>1)</sup> 세포벽의 펙틴질은 세포벽의 골격 구조를 형성하고 있는 cellulose microfibrils 사이를 채우고 있으며, cellulose와는 수소 결합으로 hemicellulose와는 공유 결합으로 연결되어 있다. 세포들이 서로 인접해 있는 중엽층은 주로 펙틴질로 이루어져 있으며 세포들을 서로 연결 시키는 작용을 한다.<sup>1)</sup> 펙틴질의 주골격(main backbone)은 무수갈락투론산(anhydrogalacturonic acid)의 형태로  $\alpha$ -(1,4) 결합에 의하여 연결되어 있으며, 측쇄(side chains)에는 D-갈락토오스(D-galactose), L-아라비노오스(L-arabinose) 등과 같은 중성당(neutral sugars)이 주골격에 짧은 측쇄로 연결되어 있거나 갈락탄(galactan)과 아라비난(arabinan)과 같은 고분자 형태로 존재한다.<sup>1)</sup> 펙틴질이 분해되면 펙틴질과 결합되어 있는 cellulose

와 hemicellulose 사이의 결속력과 지지력이 약화되어 중엽층의 붕괴와 세포벽의 분리 현상이 일어나면서 연화가 촉진된다.<sup>1)</sup>

### 2.2. 펙틴 분해 효소

식물 조직 내에 존재하거나 미생물에 의해 분비되는 펙틴 분해 효소에 의해 펙틴질이 분해되면서 식물 조직의 연화가 일어난다.<sup>1)</sup> 조직감의 변화를 일으키는 펙틴분해효소는 pectinesterase(PE)와 polygalacturonase(PG)이며, 이들의 작용으로 세포벽과 중엽층의 불용성 펙틴질은 감소하고 가용성 펙틴질은 증가하게 된다.<sup>1)</sup> PE는 펙틴 분자내의 메톡실기(methoxyl group)를 제거하고 유리가르복실기(free carboxyl group)를 생성하여  $Ca^{2+}$  과의 결합 및 PG의 작용을 용이하게 한다. PG는 탈메틸화된 펙틴(demethylated pectin)을 우선적으로 분해하므로 PE는 PG의 기질을 제공하게 된다. PG는 펙틴의 glycosidic bond를 가수분해하여 수용성 물질을 증가시켜 조직의 연화를 촉진한다.

또한, 펙틴 분해 효소 이외에 Cx-cellulase<sup>16)</sup>와  $\beta$ -galactosidase<sup>17)</sup>들은 펙틴질 이외의 세포벽 구성 다당류를 분해하여 저분자화함으로써 연화에 관여하는 것으로 나타났다. Cellulolytic enzymes 중 Cx-cellulase는 endoenzyme으로 carboxymethylcellulose(CMC)와 cellulodextrins 등과 같은 가용성섬유소(soluble cellulose)에 작용하며,<sup>16)</sup> 오이피클<sup>2)</sup>과 여러 과일<sup>16-18)</sup>에서 Cx-cellulase의 존재가 확인된 바 있다.  $\beta$ -galactosidase는 galactose의  $\beta$ -1,4 결합으로 형성된 galactan과 arabinogalactan을 분해하여 galactose와 arabinose를 유리 시키는 것으로 나타났다.<sup>19)</sup> 고추과실과 감과실의 연화 중에는 PG활성뿐만 아니라  $\beta$ -galactosidase활성도 증가하여 펙틴질과 hemicellulose의 분해가 동시에 일어난다.<sup>10)20)</sup>

### 2.3. $Ca^{2+}$ 함량

식물 조직에서의  $Ca^{2+}$ 은 펙틴질과 결합하여 Ca-pectate를 형성하여 식물 조직을 견고하게 한다.<sup>21)</sup>

Ca<sup>2+</sup>이 존재하는 조직에 비하여 Ca<sup>2+</sup>이 제거된 조직이 더 쉽게 PG의 작용을 받는 것으로 나타났다.<sup>22)</sup> 김채류내의 Ca<sup>2+</sup>은 염장시 첨가하는 소금(NaCl)의 Na<sup>+</sup>에 의해 치환되면서 펙틴질의 용해도가 증가되어 김채류의 견고도가 감소하게 된다.<sup>23,24)</sup> Na<sup>+</sup>이나 K<sup>+</sup>와 같은 1가 양이온들은 펙틴분자 내의 Ca<sup>2+</sup>과의 이온교환작용으로 Ca<sup>2+</sup>에 의한 조직감 향상 효과를 억제하고 펙틴의 β-elimination을 가속화시켜 연화현상을 촉진하는 것으로 보고되었다.<sup>25)</sup> Middle lamella와 cell wall(ML-CW)에서 펙틴질은 금속가교(cross-linkage)를 통해 Ca<sup>2+</sup>과 결합하여 PG 작용에 대해 저항력을 지니게 되지만 과채류들이 성숙되면서 ML-CW내의 결합형 Ca<sup>2+</sup>이 감소하여 PG에 대한 저항력이 떨어지는 것으로 나타났다.<sup>26)</sup> 이때 ML-CW내의 Ca<sup>2+</sup>의 분리는 주로 유기산에 의해 일어난다.<sup>27)</sup> 또한, 토마토 과실이 연화되면서 토마토과실 경도의 감소가 일어나며 이 시기에 가용성 Ca<sup>2+</sup>은 증가하고 결합형 Ca<sup>2+</sup>은 감소하는 것으로 나타났다.<sup>28,29)</sup> 이 등<sup>30)</sup>에 의해서도 오이장아지 내의 Ca<sup>2+</sup> 함량은 높았지만 조직의 경도는 낮게 나타났다. 따라서, Ca<sup>2+</sup>의 절대적인 함량보다는 세포벽과 중엽층 내의 펙틴질과 결합되어 있거나 결합 가능성이 있는 Ca<sup>2+</sup>이 조직의 경도와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

## 2.4. 탈메틸화 정도(Degree of Demethylation)

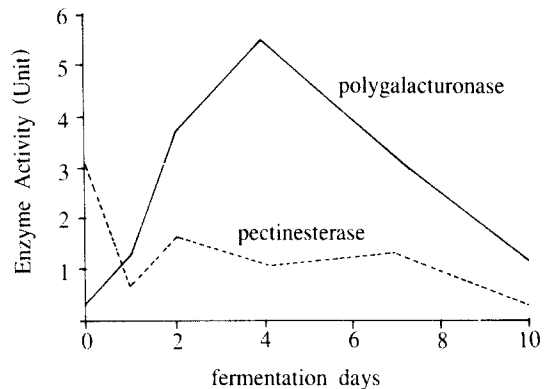
펙틴 분자 내의 카르복실기(carboxyl groups)는 일부 메탄올(methanol)과 에스테르(ester)를 형성하고 있으며, 그 정도를 나타내는 지표로 에스테르화 정도(degree of esterification: DE)가 사용된다. PE에 의해 메탄올이 제거되면서 펙틴이 탈메틸화(demethylation) 되면 펙틴의 ordered coil 구조가 linear fibril 구조로 전환되며 ordered coil 구조인 펙틴은 고메톡실펙틴(high methoxyl pectin)으로 당(sugars)과 산(acid)을 첨가하면 겔이 형성되는 반면에 linear fibril 구조를 지닌 저 메톡실 펙틴(low methoxyl pectin)이 겔을 형성하기 위해서는 Ca<sup>2+</sup>과 같은 다가 양이온이 필요하다.<sup>331)</sup> PE에 의한 탈메틸화는 Ca<sup>2+</sup>과 결합할 수 있는 유리카르복실기를 생성함으로써 조직을 견고하게 할

수 있다.<sup>31)</sup> Buescher 등<sup>32)</sup>에 의하면 생오이 내의 펙틴질은 35-50% 정도 탈메틸화되어 있어 펙틴분자내에 Ca<sup>2+</sup>이 결합할 수 있는 결합 부위(binding sites)가 많다고 하였으며, Hudson 등<sup>33)</sup>은 펙틴질의 DE가 12.3 ± 1.2인 범위 안에서는 DE와 경도간에는 직선적인 관계(Y=0.73 + 0.35X)가 성립되며, DE가 12.3 ± 1.2 범위를 벗어나면 세포벽과 중엽층 성분들의 집착성이 느슨해지면서 오히려 연화 현상이 촉진된다고 하였다. 그러나 McFeeters 등<sup>34)</sup>과 Buescher 등<sup>32)</sup>은 DE와 경도 사이의 직접적인 관계는 규명하지 못하였다.

## III. 연화 중 효소 활성화, 세포벽 다당류 및 조직감의 변화

### 3.1. 효소 활성화의 변화

김채류의 숙성 중 PE, PG 활성의 변화에 따라 조직감의 변화가 초래된다. 이 등<sup>33)</sup>에 의하면, 무의 염장 과정 중 PG 활성은 염장이 시작되면서 점차 증가하여 염장 4일째 최대 활성을 나타낸 후 염장 10일째까지 감소하였으며 PE 활성은 염장 과정 중 계속 감소하였다(Fig. 1). 육 등<sup>34)</sup>은 숙성 초기 김치국물 내의 PG 활성의 증가는 김치고형분에서 김치국물로 PG가 용출되었기 때문이며 숙성 후기에는 미



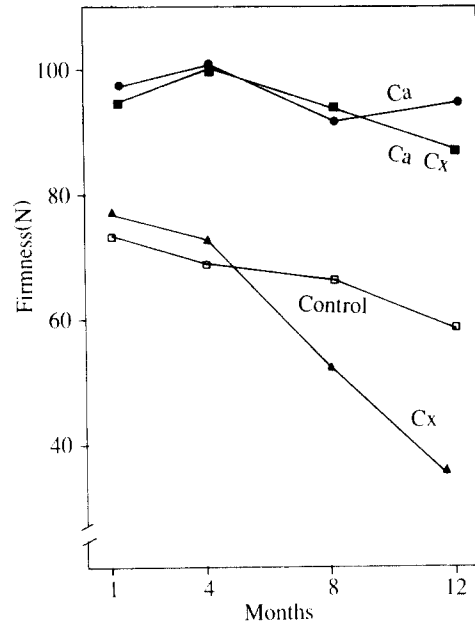
〈Fig. 1〉 Changes in polygalacturonase activity and pectinesterase activity of Korean radish solids during fermentation.<sup>33)</sup>

생물의 변식으로 김치고형분과 김치국물에서 모두 PG 활성이 증가한다고 하였다. 또한, PE는 김치의 숙성 중 계속 감소하였으며 pH가 4.0 이하로 떨어지는 숙성 적기 이후에는 활성이 거의 나타나지 않았다. 배추와 무 조직 내의 PE는 pH 7.0-8.5 에서 최적 활성을 나타낸 반면에 PG는 pH 4 근처에서 최대 활성을 보이며 pH가 7.0 이상에서는 활성이 나타나지 않았다.<sup>14)</sup> 일반적으로 침채류는 숙성이 진행되면서 pH가 저하되어 PE 활성은 감소하고 PG 활성은 증가하게 된다. 이는 침채류의 숙성 중 가용성 펙틴질은 증가하고 조직감은 감소하는 현상과 관련이 있는 것으로 나타났다.

과일의 연화 작용도 PG의 작용 때문이며, 과일의 PG는 성숙시(maturation stage)에는 활성이 매우 낮으나 숙성(ripening stage)되면서 활성이 현저히 증가하여 과일의 숙성을 촉진하고, 수확 후 저장시에도 활성이 계속 증가하여 과일의 연화를 촉진한다.<sup>15)</sup> Pressey 등<sup>16)</sup>은 PG 활성이 급증하는 시기에 과일의 경도도 급격히 감소하였으며 수확 후에도 PG 활성이 증가하면서 복숭아가 급격히 연화되었다고 하였다.

한편, 연화된 오이피클이 담긴 염 용액에서 Cx-cellulase의 존재가 확인되어 PG와 마찬가지로 Cx-cellulase도 침채류의 연화에 관여하는 것으로 나타났다. Buescher 등<sup>17)</sup>은 Cx-cellulase도 PG의 존재와 관계 없이 독립적으로 오이 피클의 연화에 관여한다고 하였다(Fig. 2). PG와는 달리 과일의 Cx-cellulase는 미성숙 단계에서 활성화되기 시작하여 과일의 성숙 및 숙성 단계에서 활성이 현저히 증가하고, 완숙시와 저장시에는 활성 증가가 둔화되는 것으로 나타났다.<sup>18)</sup> Hinton 등<sup>19)</sup>은 과일의 경도가 크게 변화하기 이전에 Cx-cellulase 활성은 최대로 증가한다고 하였으며, Golam 등<sup>20)</sup>은 Cx-cellulase는 pectic enzymes과 연합하여 guava의 숙성과 연화에 영향을 준다고 하였다.

감과실<sup>21)</sup>과 고추과실<sup>22)</sup>의 연화 중에는 PG 이외에도  $\beta$ -galactosidase의 활성이 뚜렷이 나타났다. 감과실의 PG와  $\beta$ -galactosidase는 변색기(turning stage)까지는 활성이 나타나지 않다가 완숙기부터 활성이 나



〈Fig. 2〉 Firmness(N=Newtons) of cucumber pickles during storage in brine as influenced by the presence of cellulase(Cx) and calcium(Ca).<sup>5)</sup>

타나기 시작하여 연시에 활성이 크게 증가하였다. 특히, PG보다는  $\beta$ -galactosidase 활성이 크게 증가하였다(Table 1)<sup>23)</sup>. 고추과실에서 PG 활성은 검출되지 않는 반면에  $\beta$ -galactosidase 활성은 연화가 일어나는 적변 개시기에서부터 현저히 높게 나타났으며(Table 1), 이는 세포벽 구성 galactose의 손실과 관련이 있는 것으로 나타났다.<sup>20)</sup>

### 3.2. 세포벽 다당류의 변화

펙틴질은 식물 조직의 세포벽과 중엽층의 구성 성분으로 연화 중에 펙틴 분해 효소에 의해 분해되어 저분자화됨으로서 불용성 펙틴질이 수용성 펙틴질로 전환된다. Kentaro<sup>24)</sup>는 chinese cabbage, radish root, cucumber 등의 염장중 총 펙틴 함량은 변화가 없으나 염수 가용성 펙틴인 HWP(hot water soluble pectin)는 증가하고 염류 결합형 펙틴인 HMP(Na-hexametaphosphate soluble pectin)와 HCl 가용성 펙틴인 HP(HCl soluble pectin)는 감소한다고 하였다. 일반적으로

<Table 1> Changes in the activities of polygalacturonase and  $\beta$ -galactosidase of persimmon fruits and hot pepper fruits during ripening.<sup>9)20)</sup>

	Stages	Polygalacturonase	$\beta$ -galactosidase
Persimmon	green mature	nd <sup>a</sup>	nd
	turning mature	nd	nd
	mature	55.01	21.79
	soft	206.70	380.23
Hot pepper	immature green	nd	1.2
	mature green	nd	4.3
	turning	nd	14.8
	red ripe	nd	64.2

<sup>a</sup> nd, non-detected.

로 배추김치,<sup>40)</sup> 오이김치,<sup>41)</sup> 무 김치<sup>42)</sup>와 같은 침채류의 펙틴 탈메틸화(demethylation)는 염장발효 초기에 일어나며 이때 생성된 demethylated 펙틴이 조직내의 Ca<sup>2+</sup> 과 결합함으로써 염장 초기 가용성 펙틴인 HWSP 함량은 감소한다. 그러나 염장 발효가 진행되면서 NaCl의 첨가에 따른 Na<sup>+</sup>의 침투로 Ca<sup>2+</sup>이 교환되면서 가용성 펙틴질은 증가하고 불용성 펙틴질은 감소한다. 불용성 펙틴질이 가용성 펙틴질로의 전환에는 펙틴 분자내의 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>과 같은 다가 양이온과 메톡실 함량의 감소와 관련이 있다고 보고된 바있다.<sup>43)45)</sup> 이상과 같이 침채류의 연화는 펙틴질의 성상 변화와 관련성이 크게 나타났으나, 펙틴질 이외의 세포벽 구성 다당류인 cellulose와 hemicellulose 혹은 lignin 함량과는 큰 관련성이 없는 것으로 나타났다.<sup>23)41)</sup>

한편, 과일의 연화도 펙틴질의 변화가 주요 원인 이지만 펙틴질 이외의 세포벽 다당류인 cellulose나 hemicellulose의 변화에 관한 보고도 있다.<sup>46)</sup> 고추,<sup>20)</sup> 사과,<sup>47)</sup> 토마토의<sup>48)</sup> 성숙 연화 중에는 PG 활성이 미약하거나 검출되지 않고  $\beta$ -galactosidase 활성이 증가하는 현상으로 보아 펙틴질의 변화뿐만 아니라 펙틴질과 결합하고 있는 hemicellulose의 저분자화도 연화와 관계가 있는 것으로 나타났다. 연화시  $\beta$ -galactosidase 작용으로 hemicellulose와 펙틴질과 hemicellulose 연결부인 galactan이 동시에 분해되면서 많은 galactose가 유리된다.<sup>19)</sup> 반면에, 과일의 성숙 중

에는 hemicellulose 함량의 변화가 거의 없다는 보고도 있다.<sup>49)</sup> 과실의 성숙과 저장 중에 세포벽 cellulose 함량은 일정하거나 극소량 감소하는 것으로 나타났다. 김 등<sup>10)</sup>은 고추과실의 연화 중에는 다른 다당류가 감소함에 따라 cellulose 함량은 오히려 증가한다고 하였다. 김 등<sup>20)</sup>과 Sterling<sup>50)</sup>의 연구에서도 cellulose 함량은 연화에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. Noach<sup>14)</sup>에 의하면, 세포벽의 cellulose fibrils은 hemicellulose에 의해 감싸여져 있고 이들을 펙틴질이 둘러싸고 있다. 따라서, cellulase와  $\beta$ -galactosidase 활성이 크더라도 펙틴질이 본래대로 존재하면 cellulose와 hemicellulose의 분해가 어렵다고 하였다.

### 3.3. 조직감의 변화

식물성 식품의 세포벽 및 중엽층을 구성하는 다당류들이 이들을 분해하는 효소들의 작용으로 분해되거나 상호 전환에 의해 중엽층의 붕괴와 세포벽의 분리가 일어나면서 조직감이 감소하게 된다. 이때 Ca<sup>2+</sup> 등의 2가 양이온이나 섬유소와 결합하고 있는 펙틴질의 용해가 주요 요인으로 작용한다. 박 등,<sup>51)</sup> 강 등,<sup>52)</sup> 김 등<sup>53)</sup>과 Buescher 등<sup>54)</sup>은 각각 배추김치, 동치미, 오이지, 오이피클과 같은 침채류에서, 신 등<sup>9)</sup>과 김 등<sup>20)</sup>은 감과실과 고추과실에서, Pressey 등<sup>36)37)</sup>과 Hobson 등<sup>55)</sup>은 복숭아와 토마토에서 연화 중 조직감

감소현상을 보고하였다. 손 등<sup>54)</sup>은 건시의 정도는 칼슘의 함량과 불용성 펙틴질과 밀접한 관계가 있다고 하였다.

한편, 조직감에 가장 큰 영향을 주는 펙틴질은 protopectin인 HCISP(HCl soluble pectin)함량인 것으로 나타났다.<sup>40,41)</sup> 오이 김치와 오이피클의 경도가 극히 낮았을 때 HCISP의 함량도 매우 낮은 것으로 나타났다으며,<sup>40,55)</sup> Kuwahara 등<sup>56)</sup>도 조직감과 관련된 펙틴질은 PSP(hexametaphosphate soluble pectin)가 아니라 SSP(NaOH soluble pectin)와 HSP(HCl soluble pectin)라고 하였다. 유 등은<sup>57)</sup> 저 메톡실기를 갖고 있는 펙틴질인 NaSP(Na-hexametaphosphate soluble pectin)의 변화가 직접 김치 텍스처에 영향을 주지 않는다고 하였으며 반면에 유 등은<sup>58)</sup> 저 메톡실 펙틴인 pB(0.1M-sodium acetate, pH 4.0)함량이 높을수록 배추 조직의 경도가 높다고 한 바 있다.

#### IV. 연화 방지

연화 방지는 침채류 및 배추, 무, 오이 등과 같은 침채류 재료들을 대상으로 연구되었다. 연화 현상은 펙틴 분해 효소에 의한 펙틴질의 변화가 주요 원인 이므로 적당한 양의 NaCl<sup>59)</sup>이나 CaCl<sub>2</sub><sup>60)</sup>를 첨가하거나 예열 처리<sup>61)</sup> 또는 이들의 병용법을 이용하여 PG 작용은 억제하고 PE를 활성화시켜 연화를 억제하는 방법들이 주로 이용되었다. 이들을 살펴 보면, 다음과 같다.

##### 4.1. NaCl의 효과

NaCl이 존재하면 연화를 일으키는 미생물과 효소의 생육이 저해되어 연화 현상을 억제 혹은 지연시킬 수가 있다. 빈<sup>62)</sup> 등은 저식염 농도에서 보다는 고식염농도에서 침채류의 산패에 관여하는 미생물의 생육이 억제된다고 하였으며 Bell 등<sup>63)</sup>은 pectinase와 PG의 처리를 받지 않은 내조구는 NaCl 농도(0~20%)와 관계 없이 오이의 경도를 유지하였고, 효소 처리된 오이의 경도는 NaCl 농도가 증가할수록 낮았다고 하였다. 그러나 NaCl 첨가없이 효소 처리된 오

이의 경도는 매우 낮게 나타났다. 이는 Buescher<sup>64)</sup>의 연구에서도 동일하게 확인되었다. Bell 등<sup>63)</sup>에 의하면, NaCl 농도가 높을수록 PG 활성은 감소하였으나 고농도의 NaCl이라도 PG를 완전히 불활성화시킬 수는 없는 것으로 나타났다(Table 2).

##### 4.2. Ca<sup>2+</sup>의 효과

Ca<sup>2+</sup>에 의한 연화 현상의 억제제는 2가지 기구에 의한 것이다. 첫번째는 Ca<sup>2+</sup>이 펙틴 분자와 결합하여 형성된 Ca-pectate는 PG 작용에 대해 저항력을 갖는다.<sup>65)</sup> 두 번째는 Ca<sup>2+</sup>이 PE에 의한 과도한 펙틴의 탈메틸화를 방지하여 연화 현상을 억제하는 것이다.<sup>64,66)</sup> 따라서, PG 활성이 높더라도 CaCl<sub>2</sub>를 함유한 산 염용액(acid brine)에서는 오이 피클의 연화 현상은 일어나지 않았으며(Table 2),<sup>65)</sup> NaCl 농도가 낮은 경우(2.6% NaCl)에도 CaCl<sub>2</sub> 존재하에서는 오이 피클의 경도가 잘 유지되었다.<sup>66)</sup> Hudson 등<sup>66)</sup>은 4.4% NaCl 용액에서 오이피클이 연화되어 피클 내부에 동공화(cavitation)가 일어나 조직의 완전성(integrity)을 상실하고 경도가 감소하였으나, 0.1M CaCl<sub>2</sub>를 첨가하면 이런 현상은 방지할 수 있다고 하였다. Ca<sup>2+</sup>과 펙틴질과의 결합은 펙틴의 에스테르화 정도(degree of esterification), 이온 강도(ionic strength) 및 pH 등과 같은 인자에 의하여 영향을 받게 된다.<sup>67)</sup> 일반적으로 침채류의 발효 과정 중 펙틴질의 탈메틸화는 발효 초기에 급속히 일어나며,<sup>14)</sup> 발효가 진행되면서 pH가 저하되고 식물 조직 내로 NaCl이 침투하여 Ca<sup>2+</sup>과 펙틴질이 결합하기 어려운 조건이 형성된다.<sup>67)</sup> 또한, Ca<sup>2+</sup>은 oxalic acid, citric acid와 같은 유기산들이 양이온 킬레이트제(cationic chelating agents)로 작용하여 세포벽으로부터 제거된다.<sup>27,28)</sup> 따라서, 조직감 향상을 위해서는 pH 저하 및 과도한 탈메틸화의 억제, 그리고 발효가 진행되기 이전에 Ca<sup>2+</sup>을 첨가하여 펙틴질과 Ca<sup>2+</sup>이 결합할 수 있는 조건을 형성해 주는 것이 필요하다. 박 등<sup>40)</sup>도 조직감 향상을 위해 김치속에 존재하는 PE를 김치담금 전단계에서 활성화 시키는 것이 바람직하다고 하였다. Buescher<sup>68)</sup>도 발효가 진행되기 이전에 CaCl<sub>2</sub>가 존재하면 NaCl 농도와 관계없

<Table 2> Characteristics of spent brines and pickles 30 days after initiating fermentation as influenced by NaCl level, CaCl<sub>2</sub> and PG.<sup>63)65)</sup>

Treatment of fermentation brine		Degrees salometer	PG units	Pickle firmness(kg) <sup>a</sup>
Low salt	Control	11.3	0	7.9c <sup>b</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	13.0	0	9.6ab
	PG	11.0	280	2.3e
	CaCl <sub>2</sub> + PG	13.0	264	8.9bc
High salt	Control	18.5	0	8.0c
	CaCl <sub>2</sub>	20.3	0	10.0a
	PG	18.8	225	5.8d
	CaCl <sub>2</sub> + PG	20.5	280	10.0a

<sup>a</sup> Average of 18 pickles per treatment.

<sup>b</sup> Mean separation by L.S.D. test : values with same letters are not significantly different.

이 오이피클의 연화현상을 방지할 수 있다고 하였으며, CaCl<sub>2</sub> 첨가가 지연될수록 더 많은 NXP(nonextractable pectin fraction)는 붕괴되고 탈메틸화정도는 커져 연화 억제 효과가 적어진다고 하였다. 이는 Buescher 등<sup>73)</sup>과 McFeeters<sup>69)</sup>의 연구에서도 나타난 바 있다. 결론적으로, 침채류의 펙틴 탈메틸화는 담금초기에 급속히 일어나므로 이때 Ca<sup>2+</sup> 이 존재하면 PE의 작용이 적절히 억제되어 과도한 펙틴의 demethylation이 방지될 뿐만아니라 탈메틸화된 펙틴이 Ca<sup>2+</sup> 과 결합하여 침채류의 조직은 견고하게 유지할 수 있다. 또한 Ca<sup>2+</sup> 은 PG뿐만아니라 Cx-cellulase 등에 의한 연화현상을 억제하는데도 효과적인 것으로 나타났다.<sup>5)</sup>

#### 4.3. 예열 처리의 효과

예열 처리는 PG는 불활성화시키고 PE는 활성화시킬 수 있는 온도범위에서 열처리를 하여 조직의 경도를 향상시키는 방법으로, Bartolome<sup>70)</sup>과 Takaaki 등<sup>71)</sup>은 55~70°C 에서 2시간 동안 예열 처리를 하여 감자와 무 조직 내의 PME 작용으로 Ca<sup>2+</sup> 과 결합할 수 있는 유리카르복실기를 생성하여 식물 조직을 단단하게 할 수 있는 메카니즘을 제시한 바 있다. Lee 등<sup>72)</sup>은 PME의 최적 온도인 170° F에서 20~30분간

blanching하여 통조림한 당근의 조직감이 단단하게 유지되었다고 하였다. 또한, 열처리를 하여 오이피클을 제조할 경우, 열처리를 하지 않은 오이보다 조직감을 잘 유지하는 것으로 나타났다.<sup>466)</sup> 육<sup>1)</sup>, 박<sup>2)</sup>, 백<sup>73)</sup> 등은 각각 무, 배추, 오이를 0.03~0.05M CaCl<sub>2</sub> 용액에서 50~55°C 로 열처리하는 것이 이들 조직 내에 존재하는 PE를 활성화하여 연화 현상을 억제하는데 최적이라고 보고하였으며, 이 조건에서 예열 처리한 김치는 대조구 보다 높은 경도를 유지한 것으로 나타났다. 또한, 최 등<sup>74)</sup>은 열처리의 한 방법으로 microwave로 3분간 처리할 경우 90°C 의 소금 용액의 경우와 마찬가지로 오이의 발효를 촉진시키면서도 오이의 견고도 유지에 효과가 있다고 하였다. 한편, 감과실은 25°C 에서 현저히 연화되어 경도, 응집성 및 gumminess는 감소하고 부착성이 증가하였으나 50°C 와 70°C 의 물에 30분간 담금처리함으로써 PG 활성이 저해되어 감과실의 연화가 억제되는 것으로 나타났다.<sup>75)</sup>

#### 4.4. 기타

첨가물과 예열 처리에 의한 연화 방지 이외에 무와<sup>76)</sup> 배추<sup>77)</sup> 조직 내에 존재하는 발효성 당함량이 발효에 미치는 영향에 관한 연구가 이루어졌다. 유 등<sup>78)</sup>

도 배추의 발효성 당을 70~80% 정도까지 감소시킴으로써 낮은 산도를 유지하고 산패 현상의 억제로 김치의 보존 기간을 상온(25°C)에서 30일 이상 연장할 수 있다고 하였다.

한편, Kuwahara 등<sup>56)</sup>은 분자 내에 N-acetyl기를 지닌 chitosan도 CaCl<sub>2</sub>를 첨가했을 때와 마찬가지로 이 피클의 조직감을 향상시킬 수 있다고 하였다. 이는 분자 내의 -NH<sub>2</sub> 존재로 polycationic한 성질을 지닌 chitosan이 유리 카르복실기에 의해 polyanionic한 펙틴분자와 복합체를 형성하기 때문이라고 하였다. 무의 염장과정 중 chitosan을 첨가했을 경우 대조군보다 chitosan 첨가군의 조직감이 향상된 것으로 나타났으며,<sup>79)</sup> 노 등<sup>80)</sup>도 소금절임시 chitosan을 첨가하여 김치의 보존성을 연장할 수 있다고 하였다.

이외에도 발효를 촉진하는 미생물의 생육을 억제하여 침채류의 과숙 및 연화를 방지하는 방법으로 pH 완충제 첨가<sup>81)</sup>, 방사선조사<sup>82)</sup> 및 인산염 등과 같은 염혼합물들의 첨가 등<sup>83)</sup>도 이용되어왔다.

## V. 결론

침채류와 과실을 중심으로 연화를 일으키는 요인들과 연화 중 이들의 변화를 조사하였다. 그리고 연화를 억제할 수 있는 방법들을 살펴보았다. 그 결과를 요약하면, 다음과 같다.

1. 침채류와 과실의 연화현상은 세포벽 구성다당류인 펙틴질, cellulose, hemicellulose 등이 이들을 분해하는 효소 즉, pectinesterase, polygalacturonase, Cx-cellulase,  $\beta$ -galactosidase의 작용으로 분해되면서 일어난다. 이때 중염증이 붕괴되고 세포벽이 분리되면서 식물성 식품의 조직감이 변화하게된다. 이들 중에서 펙틴 분해 효소에 의해 세포벽과 중염증의 불용성 펙틴질이 가용성 펙틴질로의 전환이 연화의 주요인으로 작용하며 펙틴질이 원형대로 존재하면 cellulose와 hemicellulose의 효소적 분해는 억제되는 것으로 나타났다.

2. 식물 조직 내의 Ca<sup>2+</sup>은 조직의 견고도를 향상시키는 작용을 한다. 그러나 침채류의 염장시 첨가되는 NaCl의 Na<sup>+</sup>와 Ca<sup>2+</sup>간에 이온교환이 일어나고, 과

실의 유기산등에 의해 Ca<sup>2+</sup>이 조직으로부터 제거되면서 펙틴의 용해도가 증가하여 연화가 촉진된다.

3. 침채류를 제조할 때 적정 온도에서 예열처리를 하거나 적정량의 CaCl<sub>2</sub>를 첨가하여 침채류내의 pectinesterase를 활성화시켜 펙틴 분자내에 anionic한 성질을 지닌 유리 카르복실기를 생성하므로써 Ca<sup>2+</sup>이 나 chitosan과 같이 cationic한 물질들과 결합하여 복합체(polypectate gel)를 형성하게 된다. 이렇게 형성된 복합체는 polygalacturonase나 Cx-cellulase의 작용을 저해하면서 동시에 조직의 견고도를 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이때 예열처리나 CaCl<sub>2</sub>의 첨가가 적절하지 않으면 펙틴의 탈메틸화가 과도하게 일어나 연화 현상이 오히려 촉진되는 것으로 나타났다.

이상으로 부터 조직감의 변화를 수반하는 연화 작용에 관해 살펴보았으나 이들의 설명만으로는 부족하다고 생각되며 앞으로 좀더 깊이 있고 상세한 연구가 뒤따라야 하겠다.

## 【참 고 문 헌】

- 1) 육철·장급·박관화·안승요 : 예비열처리에 의한 부김치의 연화방지, 한국식품과학회지, 17(6), 1985, 447-453.
- 2) 박관화·백영희·이창희·우덕연·백운화·이규순·남상봉 : 펙틴분해효소를 이용한 김치조직의 연화방지, 한국식품과학회지, 21(1), 1989, 149-153.
- 3) Hudson, J.M. and Buescher, R.W. : Relationship between degree of pectin methylation and tissue firmness of cucumber pickles, J. Food Sci., 50(1), 1986, 138-149.
- 4) McFeeter, R. P., Fleming, H. P. and Thompson, R.L. : Pectinesterase activity, pectin methylation and texture changes during storage of blanched cucumber slices, J. Food Sci., 50, 1985, 201-205.
- 5) Buescher, R.W. and Hudson, J. M. : Softening of cucumber pickles by Cx-cellulase and its inhibition by calcium, J. Food Sci., 49, 1984, 954-955.
- 6) Surinder, K. : Changes in pectin content and



- polygalacturonase activity in developing apple fruits, *J. Food Sci., and Tech.*, 22(4), 1985, 282-283.
- 7) Hobson, G. E. : The firmness of tomato fruit in relation to polygalacturonase activity, *J. Hort. Sci.*, 40, 1965, 66-72.
  - 8) Hobson, G. E. : Cellulase activity during the maturation and ripening of tomato fruit, *J. Food Sci.*, 33, 1968, 588-592.
  - 9) 신승렬 · 문광덕 · 이광희 · 김광수 : 감과실의 연화중 효소활성, 펙틴 및 조직의 변화, *한국영양식량학회지*, 22(4), 1993, 611-616.
  - 10) 김순동 · 박남숙 · 김명수 : 감의 연화에 관련된 세포벽 다당류의 변화, *한국식품과학회지*, 18(2), 1986, 158-162.
  - 11) Paul, P. C. and Plamer, H. H. : *Food Theory and Application*, Helen Charly, 1972, 251-354.
  - 12) 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, 1981, 512-523.
  - 13) 황재관 : 펙틴의 정제 및 분석, *한국영양식량학회지*, 22(4), 1993, 500-509.
  - 14) Noach, B. S. : Hinderence of hemicellulose and cellulose hydrolysis by pectic substances, *J. Food Sci.*, 51(3), 1986, 720-730.
  - 15) 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. Microbial.*, 6, 1958, 427-440.
  - 16) Pharr, D. M. and Dickson, D. B. : Partial characterization of Cx-Cellulase and Cellobiase from ripening tomato fruits, *Plant Physiol.*, 51, 1973, 577-583.
  - 17) Hasegawa, S. and Smolensky, D. C. : Cellulase in dates and its role in fruit softening, *J. Food Sci.*, 36, 1971, 966-967.
  - 18) Golam, M. and Saburo. I. : Changes in pectic components, ascorbic acid, pectic enzymes and cellulase activity in ripening and stored guava (*Psidium guajava* L.), *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkashi*, 30(8), 1983, 454-461.
  - 19) Huber, D. J. : The role of cell wall hydrolases in fruit softening, *Horticultural Reviews*, 5, 1983, 169-219.
  - 20) 김순동 · 강명수 · 김광수 : 고추의 성숙에 따른 세포벽 다당류의 변화와  $\beta$ -galactosidase Isozymes의 분리, *한국영양식량학회지*, 14(2), 1985, 157-163.
  - 21) Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A., Amith, P.J.C., and Thom, D. : Biological interactions between polysaccharides and divalent cations : The egg-box model *FEBS letters*, 32, 1973, 195-198.
  - 22) Edgington, L. V., Corden, M. E. and Dimond, A. E. : The role of pectic substances in chemically induced Fusarium Wilt of Tomato, *Phytopathology*, 51, 1981, 179-182.
  - 23) 이희섭 · 이철호 · 이귀주 : 배추의 염장과정 중 성분 변화와 조직감의 변화, *한국조리과학회지*, 3(1), 1987, 64-70.
  - 24) Kentaro, K., Mitsue, K. and Yasuhiko, M. : Studies on the mechanism of changes in contents of inorganic cations in crude cell wall preparation and of increase of hot water soluble pectin during salting of radish root, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkashi*, 30(2), 1983, 94-98.
  - 25) Van Buren, J. P. : Calcium binding to snap bean water insoluble solids. Calcium and Sodium concentrations, *J. Food Sci.*, 45, 1980, 752-753.
  - 26) Suwwan, M. A. and Poovaiah, B. W. : Association between elemental content and fruit ripening of rin and normal tomatoes, *Plant Physiol.*, 61, 1978, 883-885.
  - 27) French, D. A., Kader, A. A. and Labavitch, J. M. : Softening of Canned Apricots : A chelation hypothesis, *J. Food Sci.*, 54(1), 1989, 86-89.
  - 28) Rigney, C. J. and Wills, R. B. H. : Calcium

- movement, a regulating factor in the inhibition of tomato fruit ripening, *HortScience*, 16, 1981, 550-551.
- 29) 류복희 · 문광택 · 김성달 · 손태화 : 토마토 과실의 성숙중 정도 및 무기성분의 변화, *한국영양식량학회지*, 19(2), 1990, 115-120.
- 30) 이홍렬 · 정순택 · 박현진 : 오이장아찌 제조 중 정도, 칼슘함량, Polygalacturonase 및 Pectinesterase 활성 변화에 관한 연구, *한국 영양식량학회지*, 24(5), 1995, 796-802.
- 31) Leeper, G. F. and Dull, G. G. : The effects of deesterification on the molecular organization of pectin in proceedings 30th Annual meeting electron microscopy society of America, (Ed)C.J. Arceneaux, 224, Claitor's Publishing Baton Rouge, LA, 1972.
- 32) Buescher, R. W. and Hudson, J. M. : Pectic substances and firmness of cucumber pickles as influenced by CaCl<sub>2</sub>, NaCl and brine storages, *J. Food Biochem.*, 9, 198, 211-229.
- 33) 이희섭 · 이귀주 : 염장과정 중 무의 조직감과 이와 관련된 화학적, 효소활성 변화, *한국식문화학회지*, 8(3), 1993, 267-274.
- 34) 박희옥 · 김기현 · 윤선 : 김치 재료에 존재하는 pectinesterase, polygalacturonase 및 peroxidase 특성에 관한 연구, *한국식문화학회지*, 5(4), 1990, 443-448.
- 35) McCready, R. M. and McComb, E. A. : Pectic constituents in ripe and unripe fruits, *Food Res.*, 19, 1969, 530-535.
- 36) Pressey, R., Hinton, D. M. and Avants, J. K. : Development of polygalacturonase activity and solubilization of pectin in peaches during ripening, *J. Food Sci.*, 36, 1971, 1070-1073.
- 37) Hinton, D. M. and Pressey, R. : Cellulase activity in peaches during ripening, *J. Food Sci.*, 39, 1974, 783-785.
- 38) Kentaro, K., Chizuke, S., Teruyo, W. and Yasuhiro, M. : Changes of cation contents and solubilities of pectic substances during brining of various vegetables, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 31, 1984, 379-383.
- 39) Kentaro, K., Chizuke, S., Teruyo, W. and Yasuhiro, M. : Solubilities of pectic substances during of various vegetables by NaCl and its mechanism, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 31, 1984, 488-495.
- 40) 이용호 · 이혜수 : 김치의 숙성과정에 따른 펙틴질의 변화, *한국조리과학회지*, 2(1), 1986, 54-58.
- 41) 허윤정 · 이혜수 : 예열처리 및 염도가 오이김치의 숙성과 질감에 미치는 영향, *한국조리과학회지*, 6(2), 1990, 1-6.
- 42) 정귀화 · 이혜수 : 숙성기간에 따른 무우김치의 Texture와 섬유소, Hemicellulose, 펙틴질의 함량 변화, *한국식품과학회지*, 2(2), 1986, 68-75.
- 43) Kentaro, K., Mitsue, K, and Yasuhiro, M. : Studies on the mechanism of pectic subatances changes in the salted radish root, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 29, 1982, 611-617. 44) Kentaro, K., Mitsue, K., and Yasuhiro, M. : Effects of Ca salts on pectic substances and crisp palatability of salted radish root, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 29(2), 1983, 111-113.
- 45) Kentaro, K., Mitsue, K. and Yasuhiko, M. : Relationship between pectic substance fraction and hardness of pickled Ume Apricots, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 30(11), 1983, 605-609.
- 46) Bell, T. A., Etchells, J. L., Singleton, J.A. and Smart, W. G. : Inhibition of pectinolytic and cellulolytic enzymes in cucumber fermentation by serica, *J. Food Sci.*, 30, 1965b, 233-239.
- 47) Knee, M. : Polysaccharides changes in cell walls of ripening apples, *Phytochemistry*, 12, 1973, 1543.
- 48) Huber, D. J. : Polyuronide degradation and hemicellulose modification in ripening tomato fruit, *J. Amer. Soc. Hort Sci.*, 108(3), 1983, 405.
- 49) Bartley, I. M. and Knee, M. : The chemistry of

- textural changes in fruit during storage, *Food chem.*, 9, 1982, 47-58.
- 50) Sterling, C.: Physical state of cellulose during ripening of peach, *J. Food Sci.*, 26, 1961, 95-98.
  - 51) 박길동 · 이철 · 윤석인 · 하승수 · 이영남 : 김치의 숙성과정 중 조직감의 변화, *한국식품화학회지*, 4(2), 1989, 167-171.
  - 52) 강근옥 · 구경형 · 이정근 · 김우정 : 동치미의 발효 중 물리적 성질의 변화, *한국식품과학회지*, 23(3), 1991, 262-266.
  - 53) 김상순 · 김우정 · 최희숙 · 김종근 : 발효중 오이지의 물리 화학적 및 관능적 품질의 변화, *한국식품과학회지*, 21(6), 1989, 838-844.
  - 54) 손태화 · 문광덕 · 이낙훈 : 품종에 따른 건시의 물성적 특성과 세포벽 성분, *한국식품화학회지*, 6(3), 1991, 229-235.
  - 55) Lampi R. A., Esselen, W. B., Thompson, C. L. and Anderson, E. E. : Changes in pectic substances of four varieties of pickling cucumbers during fermentation and softening, *Food Res.*, 23, 1958, 351-363.
  - 56) Kuwahara, Y., Nobuyuki, O. and Masatosi, M. : Effects of Pectin, Pullulan, Chitosan on texture and pectin components of cucumber pickles, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 35(11), 1988, 776-780.
  - 57) 유은주 · 신말식 · 전덕영 · 홍윤표 · 임현숙 : 마늘 첨가량을 달리한 김치의 펙틴질의 변화, *한국조리과학회지*, 4(1), 1988, 59-63.
  - 58) 유명식 · 김주봉 · 최동원 · 변유량 : 배추조직의 가열 변화의 속도론적 연구, *한국식품과학회지*, 5(1), 1989,
  - 59) Bell, T. A. and Etchell, J. L. : Influence of salt (NaCl) on pectinolytic softening of cucumbers, *J. Food Sci.*, 26, 1960, 84-90.
  - 60) Fleming, H.P., McFeeters, R. F. and Thompson, R. L. : Effects of sodium concentration on firmness retention of cucumber fermented and stored with calcium chloride, *J. Food Sci.*, 52(3), 1987, 653-657.
  - 61) Thompson R. L. and Fleming, H. P. and Monroe, R. J. : Effects of storage conditions on firmness of brined cucumbers, *J. Food Sci.*, 44, 1979, 843.
  - 62) 민태익 · 권태환 : 김치 발효에 미치는 온도 및 식염농도의 영향, *한국식품과학회지*, 16(4), 1984, 443-450.
  - 63) Bell, T. A., Etchells, J. L. and Johnes, I. D. : Softening of commercial cucumber salt-stock in relation to polygalacturonase activity, *Food technol.*, 4, 1950, 157.
  - 64) Van Buren, J. P. : The chemistry of texture in fruits and vegetables, *J. Texture Stud.*, 10(1), 1979, 1-23.
  - 65) Buescher, R. W. and Hudson, J. M. and Adams, J. R. : Inhibition of polygalacturonase softening of cucumber pickles by calcium chloride, *J. Food Sci.*, 44, 1979, 1786-1787.
  - 66) Hudson, J. M., Buescher, R. W. : Prevention of soft center development in large whole cucumber pickles by calcium, *J. Food Sci.*, 1980, 1450-1451.
  - 67) Buescher, R. W. and Hudson, J. M. : Bound cations in cucumber pickle mesocarp tissue as affected by brining and CaCl<sub>2</sub>, *J. Food Sci.*, 51(1), 1986, 135-137.
  - 68) Buescher, R. W. and Howard, L. R. : Cell wall characteristics and firmness of fresh pack cucumber pickles by pasteurization and Calcium Chlorides, *J. Food Biochem.*, 14, 1989, 31-43.
  - 69) McFeeters, R. F. and Tang, H. C. L. : Relationships among cell wall constituents, calcium and texture during cucumber fermentation and storage, *J. Food Sci.*, 48, 1983, 66-70.
  - 70) Bartolome, L. G. and Hoff, J. E. : Firming of potatoes-Biochemical effects of preheating, *J. Agri. Food Chem.*, 20(2), 1972, 266-270.
  - 71) Takaaki, M. : Studies on the firming mechanisms of Japanese radish root by preheating treatment, *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 27(5), 1980,

- 234-239.
- 72) Lee, C. Y., Bourne, M. C. and Van Buren, J. P. : Effect of blanching treatments on the firmness of carrots, *J. Food Sci.*, 44(2), 1979, 615-616.
- 73) 백형희 : 예열처리에 의한 오이지의 연화방지, 서울대 식품공학과 석사학위 논문, 1986.
- 74) 최희숙 · 김종균 · 김우정 : 열처리가 오이지의 발효에 미치는 영향, *한국식품과학회지*, 21(6), 1989, 845-850.
- 75) 김순동 · 박명윤 : 온도변화에 따른 감의 물성과 세포벽다당류의 변화, *한국식품과학회지*, 20(1), 1988, 95-99.
- 76) 김경제 · 경규형 · 명위경 · 심선택 · 김현구 : 김치류의 저장기간 연장을 위한 무의 품종 선발에 있어서 발효성 당함량의 역할, *한국식품과학회지*, 21(1), 1989, 100-108.
- 77) 김동관 · 김병기 · 김명환 : 배추의 환원당 함량이 김치 발효에 미치는 영향, *한국영양식량학회지*, 23(1), 1994, 73-77.
- 78) 유형근 · 김기현 · 윤선 : 김치의 저장성에 미치는 발효성 당의 영향과 self-life 예측 모델, *한국식품과학회지*, 24(2), 1992, 107-110.
- 79) 이희섭 · 이귀주 : 무의 염장과정 중 조직감의 변화에 대한 예열처리 및 Chitosan 첨가효과, *한국식생활문화학회지*, 9(1), 1994, 53-59.
- 80) 노홍균 · 박인경 · 김순동 : 소금절임시 키토산 첨가가 김치의 보존성에 미치는 효과, *한국영양식량학회지*, 24(6), 1995, 932-936.
- 81) 김순동 · 이신호 : pH 조정제 Sodium Malate buffer의 첨가가 김치의 숙성에 미치는 효과, *한국영양학회지*, 17(4), 1988, 358-364.
- 82) 차보숙 · 김우정 · 변명우 · 권중호 · 조한옥 : 김치의 저장성 연장을 위한 Gamma선 조사, *한국식품과학회지*, 21(1), 1989, 109-119.
- 83) 김우정 · 강근욱 · 경규형 · 신재익 : 김치의 저장성 향상을 위한 염혼합물의 첨가, *한국식품과학회지*, 23(2), 1991, 188-191.