

## 발효온도 및 소금농도에 따른 배추김치의 발효 특성

김명환\* · 장문정<sup>1</sup>

단국대학교 식품공학과, <sup>1</sup>국립대학교 식품영양학과

**초 록** : 배추김치의 실제 유통온도조건(0~15°C)과 국제식품규격위원회(CODEX)에 제출된 염농도조건(1.5~4.0%)의 변화에 따른 김치의 발효특성을 반응표면분석법으로 조사하였다. 발효기간이 길어짐에 따라서 김치의 pH는 감소한 반면 산도는 증가하였다. 발효온도가 높아짐에 따라서 pH 및 산도의 감소 및 증가 속도가 높아졌으며, 0~5°C 구간에서는 24일이 지난 후에도 최적 pH인 4.2에 도달하지 못한 반면 5~15°C구간에서는 14~24일만에 도달하였다. 소금농도가 증가할수록 pH 감소속도는 낮았으며 발효초기보다 발효말기에 효과가 컸다. 0°C에서 24일이 지난 후에도 산도는 0.35~0.43% 수준이었지만, 15°C에서는 8일만에 적정산도인 0.75%를 넘어섰다. 소금농도 증가에 따른 산도증가의 억제효과는 15°C보다는 0°C에서 뚜렷하게 나타났다. 김치의 pH와 산도에 미치는 영향 정도는 발효기간, 발효온도, 소금농도 순서로 나타났다. 이차다항회귀곡선식에서 pH와 산도 모두 높은 적합도( $r^2$  0.9276)를 나타내었으며 일차다항회귀가 결정계수를 주도하였다. 적정 가식기간인 산도 0.40~0.75%를 기준으로 2.75%의 소금농도 배추김치의 경우 15°C, 10°C 및 5°C에서 각각 4일, 10일 및 18일로 나타났으며, 5°C의 발효 온도에서는 소금농도가 1.50%에서 4.00%로 증가함에 따라 14일에서 19일로 적정 가식기간이 길어졌다. (1999년 11월 27일 접수, 2000년 1월 5일 수리)

### 서 론

한국인의 식생활에 있어서 매우 중요한 위치를 점유하는 김치는 채소에 짓갈류, 양념 및 향신료 등이 가미된 복합 발효식품으로서 영양학적 특성뿐만 아니라 항암효과, 항산화효과, 면역증강효과, 변비예방효과 등을 가진 기능성 식품이다.<sup>1)</sup> 이러한 김치가 가정단위의 제조형태에서 기업적으로 생산되기 시작한 것은 1970년대부터이며 중소기업 고유업종이었던 김치제조업이 1994년 9월 1일부로 해제되어 대기업들이 이 시장에 참여함으로써 1996년도의 상품김치 수요는 294천톤, 김치수출은 13천톤에 이르게 되었다.<sup>2)</sup> 그러나 김치는 유통과정에서 산도가 증가하고 연부현상이 일어남으로써 보존성이 짧기 때문에 국내 유통 및 수출에 커다란 장애요인이 되고 있다.<sup>3)</sup>

김치의 내·외적 조건에 따른 발효특성에 관한 연구로는 우선 발효특성에 가장 큰 영향을 미치는 발효온도에 관한 것으로 4°C에서는 30일의 유통기간을 갖는 반면 28°C에서는 약 3일 정도 밖에는 유통할 수 없다는 보고가 있으며,<sup>4)</sup> 17°C에서 4일 저장된 김치의 품질특성과 4°C에서 48일 저장한 김치품질과 비슷하다는 결과가 있다.<sup>5)</sup> 염절입 방법과 염농도에 따른 발효특성으로서 염절입 탱크의 상단부의 김치염도가 하단부에 비하여 낮다는 결과<sup>6)</sup>와 25°C의 저장온도에서 2일 저장하였을 때 1%의 염농도를 가진 배추는 산도가 0.32%인 반면 5%의 염농도인 배추는 0.20%를 나타내었다는 보고가 있다.<sup>7)</sup> 김치의 가용성 고형물이 김치발효에 미치는 영향으로는 가용성 고형분 함량과 최종 산도는 비례한다고 하였으며,<sup>8)</sup> 발효성 당을 제거하면 배추김치의 유통기간을 연장할 수 있다고 하였다.<sup>9)</sup> 포장압력으로는 상압포장이 감압포장에 비하여 저장 중 pH변화가 적

었고, 저장·유통 중 팽창, 파열방지를 위하여는 진공포장이 우수하다고 하였다.<sup>10,11)</sup> 부재료로서 고춧가루와 마늘의 첨가는 김치발효를 억제시키는 효과가 있으나 청파나 생강첨가는 효과가 없다고 하였다.<sup>12)</sup>

본 연구에서는 김치발효의 내·외적 조건 중에서 실제 유통 온도 범위(0~15°C)와 국제식품규격위원회(CODEX)에 제출된 염농도 범위(1.5~4.0%)의 변화에 따른 김치의 발효특성을 반응표면분석법으로 비교 분석하였다.

### 재료 및 방법

#### 재료

배추(*Brassica Pekinesis R.*)는 결구배추로서 포기당 평균 2.5 kg 정도의 중간크기를 사용하였으며 무, 마늘, 청파, 짓갈 및 생강 등의 양념은 실험 당일 구입하였고 고춧가루는 일시에 많은 양을 구입하여 냉동저장하면서 사용하였다. 그리고 배추절임용 소금으로는 천일염을 사용하였으며, 김치제조시 사용된 재료는 Table 1의 배합비와 같다.

#### 김치제조 및 저장조건

배추를 이등분한 다음 실온(20°C)에서 배추 무게비 5배량의 10%(w/v) 소금용액에 배추를 침지시켜 30분 간격으로 배추를 상하 이동시키면서 원하는 농도(1.5~4.0%)가 될 때까지 절인 다음 수돗물로 3회 씻고 1시간동안 불기를 뺐다. 이때 1.50, 2.75 및 4.00% 염농도로 절인 배추의 평균환원당 함량은 각각 2.13, 1.88 및 1.67%로 나타났다.

양념제조 및 버무리기로는 무와 파는 채로 썰고 무체에 고춧가루 갠 것을 넣어서 버무린 다음 멸치액젓을 넣고 파, 마늘, 생강 등을 고루 섞었다.

포장 및 저장은 1 kg 단위의 PET/Al/PE 복합필름포장지로 상

찾는말 : 배추김치, 발효특성, 반응표면분석법, 적정 가식기간  
\*연락처

**Table 1** Formula of Kimchi Materials<sup>1)</sup>

Materials	Amounts(g)
Salted chinese cabbage	1,000
Chinese radish	130
Red pepper powder	35
Green onion	20
Garlic	14
Ginger	6
Salted and fermented shrimp	22
Sugar	10

<sup>1)</sup>Salt concentrations in Kimchi were adjusted to 1.50, 2.75 and 4.00%.

압포장한 다음 0~15°C의 온도조건에서 0~42일간 저장하였다.

### pH 및 산도측정

김치 250g을 마쇄하여 균질화 시킨 후 4겹의 gauze를 사용하여 여과한 다음 50 ml를 취하여 pH는 pH meter(Model-30, Mettler CO., England)로 측정하였고, 산도는 0.1 N NaOH로 pH 8.2가 될 때까지 적정한 다음 소비된 NaOH 부피를 적산량으로 환산하였다.<sup>8)</sup> 모든 분석치는 3회 반복분석한 평균값이었다.

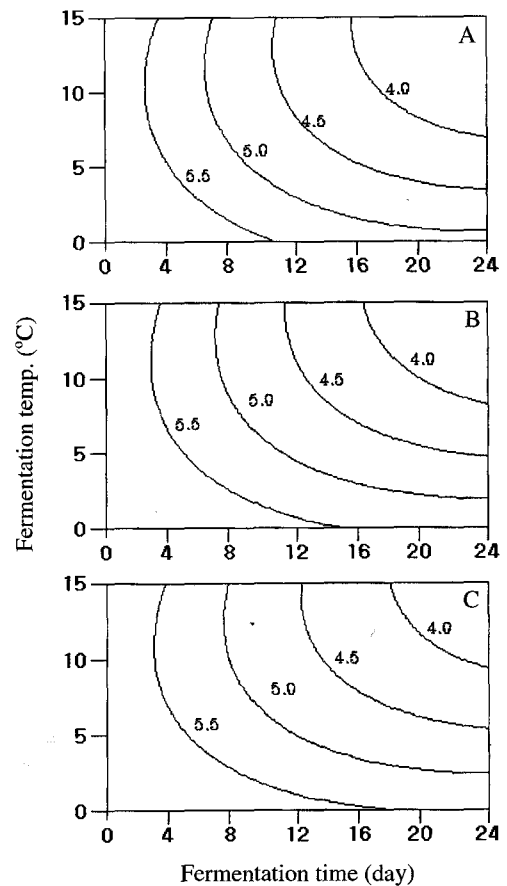
### 실험설계 및 통계처리

본 실험에서는 6×4×3 요인실험설계(factorial experiment design)를 사용하였다. 3가지 인자로는 발효기간( $X_1$ ), 발효온도( $X_2$ ) 및 소금농도( $X_3$ )를 이용하였으며 수준으로는 각각의 요인에 대하여 0~24일, 0~15°C 및 1.5~4.0%로 하였다. 김치발효특성의 반응변수로서 pH와 산도값을 사용하였다. 각 인자의 수준변화에 따른 김치발효특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 분산분석, 이차다항회귀곡선식 및 반응표면분석법(response surface methodology, RSM) 등의 통계방법을 이용하였으며, 모든 통계분석은 SAS로 처리하였다.<sup>13)</sup>

## 결과 및 고찰

### pH

발효기간, 발효온도 및 소금농도에 따른 김치의 pH 변화는 Fig. 1과 같다. 발효기간이 길어짐에 따라서 김치의 pH는 감소하였으며, 발효온도가 높아짐에 따라서 pH 감소속도가 증가함을 알 수 있었다. 발효온도가 0~5°C 구간에서는 24일이 지난 후에도 김치의 최적 pH인 4.2<sup>3)</sup> 근방에 도달하지 못한 반면에 5~15°C 구간에서는 14일에서 24일만에 도달하였다. 이는, 김치의 발효에 직접 관여하는 *Leuconostoc*, *Streptococcus*, *Pediococcus* 및 *Lactobacillus*속 등의 출현이 발효온도가 높아짐에 따라서 급속한 증가를 나타내는데 이와 발효속도와는 밀접한 관계가 있기 때문이다.<sup>14)</sup> 일반적으로 김치의 pH는 3.5 이하로 감소하지 않는데 이는 김치의 발효과정에서 원·부재료에 함유된 각종 효소와 미생물의 작용에 의하여 발효성당의 완전 소멸과 아울러 주요 생성 유기산인 lactic acid, citric acid, malic acid, succinic acid 등이 약산으로서 해리도가 작기 때문이다.<sup>15)</sup> 소금의 농도가 pH에 미치는 영향은 농도가 증가할수록 pH의 감소속도는 낮았으며, 소금농도의 효과는 발효초기보다



**Fig. 1.** Contour map for the effect of fermentation time, fermentation temperature and salt concentration on pHs of Kimchi. A, B and C represent 1.50, 2.75 and 4.00% of salt concentration, respectively.

**Table 2.** Analysis of variance for the effect of three variables on the two response variables

Variables	pH	Acidity
	F-value	F-value
Fermentation time	63.436***	61.917***
Fermentation temp.	25.863***	47.389***
Salt concentration	0.691 <sup>NS</sup>	0.855 <sup>NS</sup>

\*\*\* $p < 0.001$ .

<sup>NS</sup>: not significant.

발효말기에 영향력이 증가한다는 결과와<sup>12)</sup> 김치의 발효속도를 나타내는 기포수 (bubble number) 또한 발효초기보다 발효말기에 많은 차이를 나타낸다는 보고<sup>16)</sup>와도 일치하였다.

발효기간, 발효온도 및 소금농도에 따른 김치의 pH에 미치는 영향정도를 분산분석하여 알아본 결과(Table 2), 본 실험범위에서 발효기간이 가장 큰 영향을 미쳤으며 ( $F = 63.436$ ), 발효온도 ( $F = 25.863$ )와 소금농도 ( $F = 0.691$ )의 순서로 나타났다.

### 산도

발효기간, 발효온도 및 소금농도에 따른 김치의 산도변화는 Fig. 2와 같다. 발효기간이 길어짐에 따라서 김치의 산도는 증가하였으며 발효온도가 높을수록 산도의 증가속도는 빨라졌다. 15°C의 발효온도에서는 8일만에 적정산도인 0.75%를 넘어선

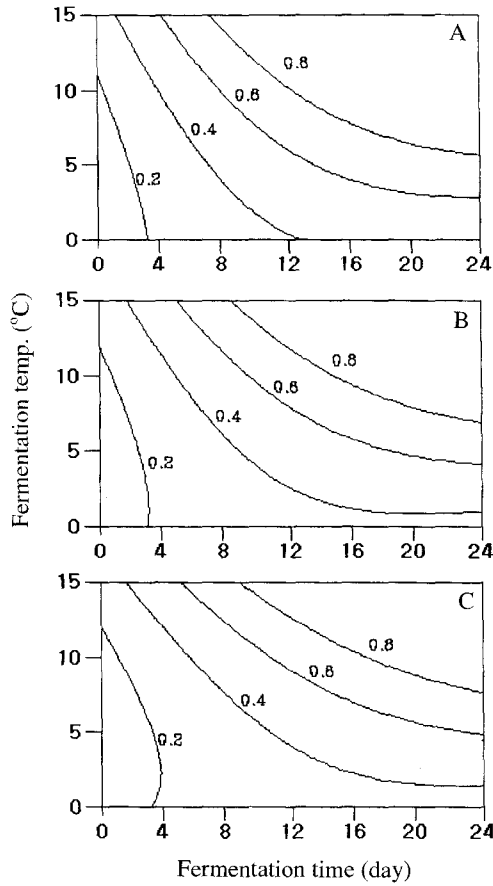


Fig. 2. Contour map for the effect of fermentation time, fermentation temperature and salt concentration on acidities of Kimchi. A, B and C represent 1.50, 2.75 and 4.00% of salt concentration, respectively.

반면 0°C에서는 24일이 지난 후에도 산도는 0.35~0.43% 수준에 그쳤다. 최적 pH와 산도값으로 여겨지는 4.2와 0.6%를 기준<sup>3)</sup>으로 볼 때 각 발효온도와 소금농도에 따른 최적 발효기간이 일치하지 않았다(Fig. 1, 2). 이는 김치의 적숙기는 김치발효 정도와 관계되고 발효온도에 따라서 관여균이 달라지므로 산의 생성과 pH 변화는 차이가 나타나기 때문이다.<sup>17)</sup> 소금의 농도증가에 따른 산도증가의 억제효과는 고온(15°C)보다는 저온(0°C)에서 뚜렷하게 나타났으며 1.50%와 2.75%간의 소금농도 증가에 따른 산도 억제효과가 2.75%와 4.00%간의 효과보다 크게 나타났다.

발효기간, 발효온도 및 소금농도에 따른 김치의 산도에 미치는 영향정도를 분산분석하여 알아 본 결과(Table 2), 발효기간이 가장 큰 영향을 미쳤으며(F=61.917), 발효온도(F=47.389)

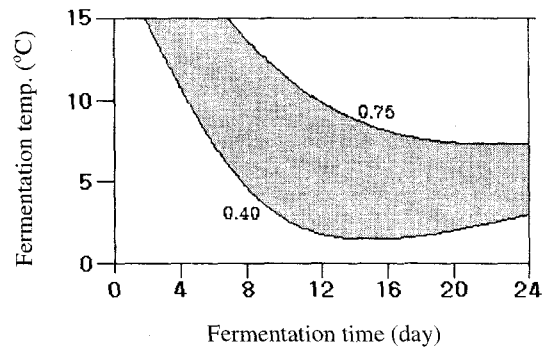


Fig. 3. Edible period based on suitable acidities as a function of fermentation temperature at 2.75% of salt concentration.

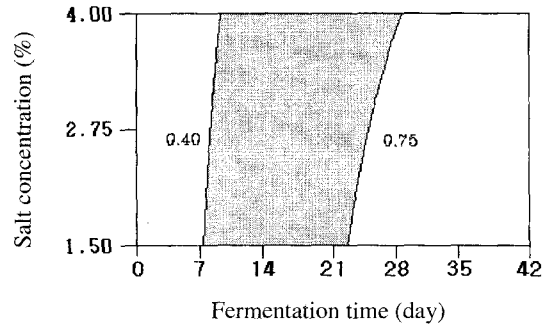


Fig. 4. Edible period based on suitable acidities as a function of salt concentration at 5°C of fermentation temperature.

와 소금농도(F=0.855)의 순서로 나타났다.

**이차다항회귀곡선식의 적합도**

독립변수(요인, X)인 발효기간(X<sub>1</sub>), 발효온도(X<sub>2</sub>) 및 소금농도(X<sub>3</sub>)의 변화에 대한 종속변수(반응치, Y)인 김치의 pH와 산도를 예측하기 위한 이차다항회귀곡선의 계수값을 계산한 결과는 Table 3과 같다. 또한, 각 반응치에 대한 이차다항회귀곡선식에서의 일차다항회귀(linear), 이차다항회귀(quadratic) 및 교차회귀(cross product)의 기여도 및 적합도를 검정한 결과(Table 4), 반응치인 pH와 산도 모두 일차다항회귀가 결정계수를 주도하였으며 pH는 이차다항회귀와 교차회귀 순이었던 반면 산도는 교차회귀와 이차다항회귀 순으로 나타났다. pH와 산도의 결정계수는 각각 0.9276과 0.9368로 높은 적합도를 나타내었다.

**발효온도 및 소금농도에 따른 적정가식기간**

관능검사 실험을 통하여 최적 염도로 선정된 2.75%<sup>18)</sup>를 기준으로 한 배추김치의 발효온도에 따른 적정가식기간인 산도

Table 3. Regression coefficients of second degree polynomials for response variables

	A <sub>0</sub> <sup>1,2)</sup>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>
pH	4.542	-0.942	-0.626	0.087	0.420	-0.435	0.321	0.075	-0.014	-0.011
Acidity	0.641	0.389	0.375	-0.043	-0.140	0.287	0.089	-0.031	-0.014	0.014

<sup>1)</sup>These are coefficient of  $Y=A_0+A_1X_1+A_2X_2+A_3X_3+A_4X_1^2+A_5X_1X_2+A_6X_2^2+A_7X_1X_3+A_8X_2X_3+A_9X_3^2$  and each independent variable, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> is transformed to -1, 0 and 1 as increasing the level.

<sup>2)</sup>Each independent variable, X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> represents fermentation time, fermentation temperature and salt concentration, respectively.

**Table 4. Determination coefficients of the second polynomials for two variables**

Regression	pH	Acidity
Linear	0.7741	0.7527
Quadratic	0.0876	0.0536
Cross product	0.0659	0.1304
Total regress	0.9276	0.9368

0.40~0.75%<sup>3</sup>)의 범위를 본 결과(Fig. 3) 발효온도가 낮을수록 적정 가식기간이 길어짐을 알 수 있었으며, 15°C의 발효온도에서는 4일 정도의 적정 가식기간을 가지는 반면 10°C와 5°C에서는 각각 10일과 18일로 나타났다.

5°C의 발효온도에서 소금농도에 따른 적정 가식기간을 본 결과(Fig. 4) 발효온도 보다는 영향력이 훨씬 작았으나 1.50%에서 4.00%로 증가함에 따라서 적정 가식기간이 14일에서 19일로 길어짐을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구비는 1998년도 한국학술진흥재단의 학제간 연구과제 연구비(G00021) 지원으로 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Cho, E. J., Lee, S. M., Rhee, S. H. and Park, K. Y. (1998) Studies on the standardization of Chinese cabbage Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **30**, 324-332.
2. Chung, D. S. (1996) Problems in Kimchi industry and prospective direction. *Food industry and Nutrition.* **1**, 15-21.
3. Lee, K. H., Cho, H. Y. and Pyun, Y. R. (1991) Kinetic modeling for the prediction of shelf-life of Kimchi based on total acidity as a quality index. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **23**, 306-310.
4. Chung, H. K., Yeo, K. M. and Kim, M. H. (1996) Kinetics modeling for quality prediction during Kimchi fermentation. *J. Food Sci. Nutr.* **1**, 41-45.
5. Choi, S. Y., Lee, M. K., Choi, K. S., Koo, Y. J. and Park, W. S. (1998) Changes of fermentation characteristics and sensory evaluation of Kimchi on different storage temperature. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **30**, 644-649.
6. Han, K. Y. and Noh, B. S. (1996) Characterization of Chinese cabbage during during soaking in sodium chloride solution. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **28**, 707-713.
7. Park, W. P. and Kim, Z. U. (1991) The effect of salt concentration on Kimchi fermentation. *J. Kor. Agri. Chem. Soc.* **34**, 295-297.
8. Shim, S. T., Kim, K. J. and Kyung, K. H. (1990) Effect of soluble solids contents of Chinese cabbage on Kimchi fermentation. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **22**, 278-284.
9. Yu, H. G., Kim, K. H. and Yoon, S. (1992) Effects of fermentable sugar on storage stability and modeling prediction of shelf-life in Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **24**, 107-110.
10. Hong, S. I., Park, J. S. and Park, N. H. (1994) Effect of filling ratio on the quality changes of packaged Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **26**, 590-595.
11. Hong, S. I., Park, N. H. and Park, W. S. (1996) Packaging techniques to prevent winter Kimchi from inflation. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **28**, 285-291.
12. Park, W. P. and Kim, Z. U. (1991) The effect of seasonings and salted-fermented fish on Kimchi fermentation. *J. Kor. Agri. Chem. Soc.* **34**, 249-257.
13. SAS Institute (1990) In 'SAS User's Guide: Statistics', SAS Inst. Inc., Cary, NC, U.S.A.
14. Shin, D. H. (1994) Changes of microbe in Kimchi by fermentation temperature and packaging method. In 'The Science of Kimchi', KoSFoST, pp. 82-136, Geomok Press, Seoul, Korea.
15. Kim, M. H. (1998) Effect of fatty acid or ester addition on the Kimchi fermentation property. *Food Engineering Progress.* **2**, 192-196.
16. Chun, J. K. (1994) Measurement and automation of Kimchi processing operation. In 'The Science of Kimchi', KoSFoST, pp. 370-390, Geomok Press, Seoul, Korea.
17. Shin, D. H., Kim, M. S., Han, J. S., Lim, D. K. and Bak, W. S. (1996) Changes of chemical composition and microflora in commercial Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **28**, 137-145.
18. Cho, E. J., Lee, S. M., Rhee, S. H. and Park, K. Y. (1998) Studies of the standardization of Chinese cabbage Kimchi. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **30**, 324-332.

---

**Fermentation Property of Chinese Cabbage Kimchi by Fermentation Temperature and Salt Concentration**

Myung-Hwan Kim\* and Moon-Jeong Chang<sup>1</sup>(*Department of Food Engineering, Dankook University, Cheonan, 330-714, Korea; <sup>1</sup>Department of Food and Nutrition, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea*)

**Abstract :** The effects of fermentation temperature(0~15°C) and salt concentration(1.5~4.0%) on the fermentation property of Chinese cabbage Kimchi were analyzed by response surface methodology. The pH decreased and acidity increased with increasing fermentation time. The reduction and increment velocities of pH and acidity were increased by increasing fermentation temperature and decreasing salt concentration. The optimum pH 4.2 was reached within 14~24 days at 5~15°C, while pHs of 24 days at 0~5°C were still lower value than 4.2. The effect of salt concentration more affected terminal fermentation period than initial fermentation period. The maximum edible acidity, 0.75%, was reached within 8 days at 15°C, while acidities of 24 days at 0°C were 0.35~0.43%. The effects of salt concentration at 0°C was higher than those at 15°C. The fermentation time, fermentation temperature and salt concentration were the first, second and third affecting factors on the pH and acidity of Kimchi. Based on the coefficients of determination, pH and acidity were highly fitted to the experimental data( $r^2>0.9276$ ). For the suitable acidity range, 0.40~0.75%, the edible period of Kimchi at 15°C, 10°C and 5°C were 4 days, 10 days and 18 days at the 2.75% of salt concentration, respectively. The edible period increased from 14 days to 19 days with increased salt concentration from 1.50% to 4.00% at 5°C of fermentation temperature.

---

Key words : Chinese cabbage Kimchi, fermentation property, RSM, edible period

\*Corresponding author