

반응표면분석에 의한 감자의 알콜 및 초산발효조건 모니터링

이기동[†] · 정용진* · 서지형 · 이진만**

경북과학대학 침단발효식품과

*계명대학교 식품가공학과

**경북과학대학 약용식품과

Monitoring on Alcohol and Acetic Acid Fermentation of Potatoes Using Response Surface Methodology

Gee-Dong Lee[†], Yong-Jin Jeong*, Ji-Hyung Seo and Jin-Man Lee**

Dept. of Fermented Food, Kyongbuk College of Science, Chilkok 718-850, Korea

*Dept. of Food Science and Technology, Keimyung University, Taegu 704-701, Korea

**Dept. of Herbs and Food Science, Kyongbuk College of Science, Chilkok 718-850, Korea

Abstract

This study was conducted to utilize low grade potatoes effectively, response surface methodology (RSM) was applied to optimize and monitor the potato alcohol and vinegar fermentation conditions by two stage fermentation. In the first stage, the alcohol fermentation conditions for maximum alcohol content was 241.35% (v/w, water per potatoes) in added water content, 8.05 rpm in agitation rate, and 34.81 hr in fermentation time. The potato wine fermented by the optimum alcohol fermentation conditions was applied in the second stage, acetic acid fermentation. The acetic acid fermentation conditions for maximum acidity was 169.89 rpm in agitation rate and 285.12 hr in fermentation time. Alcohol content and acidity predicted at the optimum conditions were similar to experimental values.

Key words: potatoes, alcohol fermentation, vinegar, RSM

서 론

WTO체제가 구축됨에 따라 외국농산물의 국내 범람으로 우리농산물의 국제경쟁력이 약화되고 있다. 국내에서 감자는 강원도를 중심으로 전국적으로 재배되고 있으며 1998년에는 생산량이 562천톤으로 쌀, 옥수수 및 콩과 함께 주요 생산작물로 분류되고 있으며(1) 전분질 이외에 칼륨, 인, 마그네슘 등의 무기질과 비타민 B₁, B₂ 및 C의 함량이 많아 대표적 알칼리성 식품으로 이용되고 있다(2). 그러나 근년에 수입개방과 동시에 과일 생산과 감자를 이용한 가공제품의 개발 부진으로 재배농가에서 경제적 손실이 큰 실정이다(3). 또한 감자는 수분함량이 높아 장기간 저장이 어렵고 수확시기에 손상되거나 더듬이병, 청변 등의 영향으로 상품성이 떨어지는 등 문제가 발생하여 감자의 부가가치 향상을 위한 가공식품개발이 절실히 요구되고 있다. 감자의 이용에 관련된 연구로는 Jeong 등(4)이 감자에서 알콜발효력이 우수한 효모를 분리 및 동정한 바 있으며, 감자의 대량 소비를 위한 방법으로 감자의 액화 및 당화조건을 확립함으로써 감자를

이용한 알콜 및 초산 발효 연속공정 가능성을 제시한 바 있다(2). 한편 발효공정의 최적화를 위한 예측모델의 개발과 최적 조건의 규명을 위한 최적화 기법으로 수학적 프로그래밍 기법, 확률적 시험 기법, 도식적 방법, 인공지능적 방법 등을 이용하고 있으며, 그 중에서 도식적 방법은 적절한 실험계획(5)을 수립한 후 반응표면분석기법(6)을 이용하여 최적화를 이루는 방법을 응용한 것이다. Jeong 등(7,8)은 감식초 제조방법을 알콜발효 및 초산발효 2단계로 구분하여 각각의 조건에 따른 품질을 반응표면분석에 의해 모니터링하므로써 품질변화를 예측하였다. Darmsch와 Dietcr(9)는 초산 발효조건을 시플레이션하므로써 수학적 모델을 확립하였다. 그러나 감자는 알콜발효를 위하여 당질을 원료로 하는 과실과 달리 전분질의 증자, 액화 및 당화공정이 필요하며, 특히 감자는 다른 곡류 및 서류의 전분질보다 호화 및 당화에 따른 생산 효율성이 낮고 발효과정에 잡균이 오염되기 쉬우므로 연속적인 대량생산을 위해 단계별 공정에 따른 품질변화를 예측할 수 있는 발효공정의 확립이 요구된다.

본 연구에서는 감자식초를 생산하기 위한 연구의 일

[†]To whom all correspondence should be addressed

환으로 알콜발효 및 초산발효 2단계 공정에 따른 중요 품질 변화를 반응표면분석에 의해 모니터링하고 scale-up 조건에 따른 품질을 예측함으로써 대량생산 system에서의 품질관리를 위한 자료를 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용한 감자는 10월경 강원도에서 생산된 것을 사용하였으며 효소제는 glucoamylase(Daiwa Kasei Co., Japan)를 사용하였다. 알콜발효 균주는 Jeong 등(4)이 감자에서 분리 동정한 *Zygosaccharomyces fermentati* KTF53를 맥아 추출물 배지(10brix, pH 6)에 48시간 배양하여 주모로 사용하였으며, 초산균주는 *Acetobacter pasteurianus* JK 99를 배양하여 5%(v/v) 종초로 사용하였다(8)

실험계획

감자식초 제조를 위하여 Jeong 등(7,8)의 방법에 따라 1 kg의 시료를 알콜발효와 초산발효 2 단계로 나누어 실험을 실시하였으며, 반응표면분석을 위해서 SAS(statistical analysis system) program을 이용하였다(10) 감자의 당화조건은 Jeong 등(2)의 방법에 증가(120°C/10 min)된 감자 1 kg에 각각의 조건에 따라 설정된 가수량을 첨가하고 glucoamylase를 감자중량에 대한 0.2% (w/w)를 이용하여 간헐적으로 교반하면서 60°C에서 4시간 당화 후 3 L 삼각 flask에서 주모 5%(v/v)를 접종한 후 30°C shaking incubator에서 각각의 조건으로 배양하였다. 초산발효는 Jeong 등(8)의 방법으로 초기산도를 1.0으로 조절하고 종초 5%(v/v) 접종한 후 30°C shaking incubator에서 발효시켰다. 중심합성실험계획(11,12)에 의한 1단계로 알콜발효 조건은 감자중량에 대한 백분율로 나타낸 가수량(X_1)과 교반속도(X_2), 발효시간(X_3)이었으며, 3개의 알콜발효조건이 5수준(-2, -1, 0, 1, 2)으로 부호화 하여 중심합성계획을 수립하고 16개의 설정된 조건으로 실험을 행하였고, 알콜발효의 품질특성에 관련된 반응변수는 알콜함량으로 하였다. 2단계로 초산발효조건은 50, 100, 150, 200, 250 rpm의 교반속도 (X_1)와 96, 144, 192, 240, 288 hr의 발효시간(X_2)을 설정하여 2개의 초산발효조건이 5수준(-2, -1, 0, 1, 2)으로 부호화하여 중심합성계획을 수립하고 10개의 설정된 조건으로 실험을 행하였다. 이때 각각의 분석 시료는 원심분리하여 상정액을 분석시료로 사용하였다(7).

총산

총산은 0.1 N NaOH 용액으로 중화적정하여 초산으로 환산하였다.

알콜함량 측정

알콜함량 측정은 배양액을 원심분리한 후 상정액을 증류하여 alcohol hydrometer로 측정된 값을 Gay Lussac Table로 환산하여 계산하였다(7).

결과 및 고찰

알콜발효

상품성이 떨어지는 중량 80 g이하의 감자 또는 수확과정에서 손상되어 저장성이 떨어지는 감자를 활용하여 감자식초를 생산하고자 중심합성 실험계획에 의한 반응표면분석으로 1단계 알콜 발효조건을 모니터링하였다. *Z. fermentati* KTF 53를 배양하여 주모로 사용하였으며, 알콜발효에서 가장 중요한 변수인(Table 1) 가수량(100~300%), 교반속도(0~120 rpm) 및 발효시간(0~48 hr)에 따른 알콜함량의 변화(Table 2)에 대하여 반응표면회귀분석을 행한 결과, 회귀식의 R^2 는 0.9254이며 유의성은 0.0091로서 1% 이내의 유의수준에서 인정되었다

Table 1. Levels of central composite design for alcohol fermentation conditions

Fermentation conditions	Levels				
	-2	-1	0	1	2
Added water content (%)	100	150	200	250	300
Agitation rate (rpm)	0	30	60	90	120
Fermentation time (hr)	0	12	24	36	48

Table 2. Experimental data for alcohol contents under different conditions of added water content, agitation rate and fermentation time for alcohol fermentation of potatoes

Exp No	Fermentation conditions			Alcohol content (%)
	Added water content (%) ¹⁾	Agitation rate (rpm)	Fermentation time (hr)	
1	150 (-1)	30 (-1)	12 (-1)	2.4
2	150 (-1)	30 (-1)	36 (1)	7.0
3	150 (-1)	90 (1)	12 (-1)	6.2
4	150 (-1)	90 (1)	36 (1)	7.3
5	250 (1)	30 (-1)	12 (-1)	4.1
6	250 (1)	30 (-1)	36 (1)	6.4
7	250 (1)	90 (1)	12 (-1)	3.3
8	250 (1)	90 (1)	36 (1)	6.1
9	200 (0)	60 (0)	24 (0)	7.0
10	200 (0)	60 (0)	24 (0)	6.9
11	300 (2)	60 (0)	24 (0)	5.7
12	150 (-2)	60 (0)	24 (0)	6.9
13	200 (0)	120 (2)	24 (0)	7.6
14	200 (0)	0 (-2)	24 (0)	7.4
15	200 (0)	60 (0)	48 (2)	6.8
16	200 (0)	60 (0)	0 (-2)	0.5

¹⁾Added water content (% , w/w) were showed by percent on potatoes used

(Table 4).

알콜함량에 대한 발효조건에의 영향은 주로 발효시간의 영향을 받고 있었으며, 가수량과 교반속도의 영향은 크게 나타나지 않았다(Table 5) Jeong 등(7,8)이 감과실 알콜발효과정에서 알콜함량의 변화는 발효시간에 비례하여 증가한다고 하여 감자의 알콜발효에서의 유사한 경향이였다. 알콜발효에 대한 반응표면 회귀분석에서 정상점이 안장점의 형태를 나타내어, 다시 능선분석을 행하여 본 결과(Table 6), 최적 알콜발효조건과 최대 알콜함량은 가수량 241.35%, 교반속도 8.05 rpm 및 발효시간 34.81 hr에서 8.31%(v/v)였다 증선합성계획에 의해 설계된 실험조건으로 효모에 의한 알콜발효에 따른 알콜함량 변화에 대한 등고선도와 4차원 반응표면은 Fig. 1~4에 나타내었다. 발효조건에 따른 알콜함량을 모니터링하고자 능선분석에서 최적조건으로 설정된 값으로 한 변수를 고정시키고 등고선도를 그려보았다. 따라서 최적 발효시간을 34.81시간으로 설정한 후의 반응표면(Fig. 1)은 가수량과 교반속도가 낮은 조건에서 발효할 때 알콜함량이 증가하였으며, 가수량과 교반속도가 높을 경우에는 감소하였다 그러나 가수량과 교반속도가 너무 낮을 경우에는 알콜발효가 다소 늦어짐을 알 수 있었다 그리고 교반속도의 최적조건인 8.05 rpm으로 교반속도를 설정한 후의 반응표면(Fig. 2)은 발효시간의 영향을 주로 받아 발효시간의 경과에 따라 계속 증가하는 경향이였다 그러나 발효 30시간 이후에는 거의 변화가 없었다. 감자중량에 대한 백분율로 나타낸 가수량의 최적조건인 241.35%로

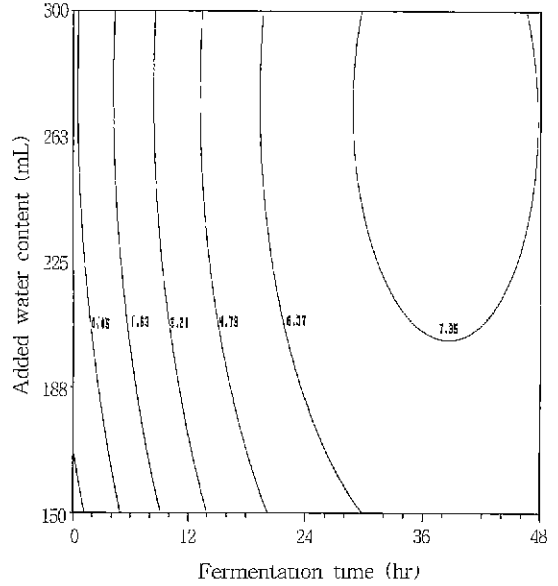


Fig. 2. Contour map for alcohol content in alcohol fermentation using potatoes at constant values (alcohol contents 0.05-1.63-3.21-4.79-6.37-7.95) as a function of added water content and fermentation time at 8.05 rpm of agitation rate.

가수량을 고정시킨 후의 반응표면(Fig. 3)은 또한 발효시간의 영향을 주로 받아 발효시간의 경과에 따라 계속 증가하는 편이었으며, 24시간 이후에는 큰 변화가 없었으나 교반속도가 낮은 경우에는 알콜함량이 증가하는 경향이

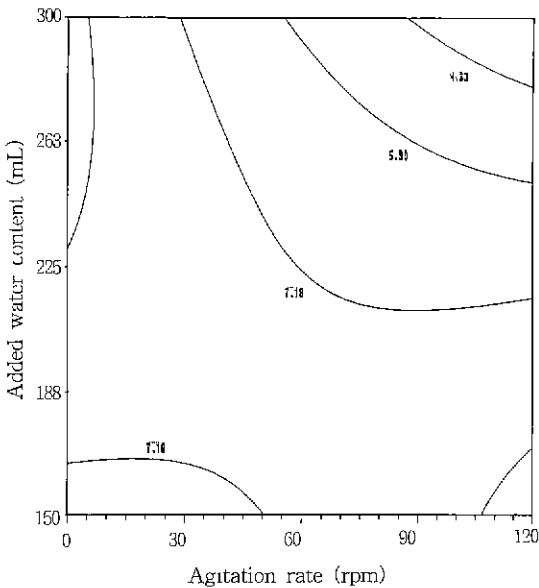


Fig. 1. Contour map for alcohol content in alcohol fermentation using potatoes at constant values (alcohol contents : 4.63-5.90-7.18) as a function of added water content and agitation rate at 34.81 hr of fermentation time.

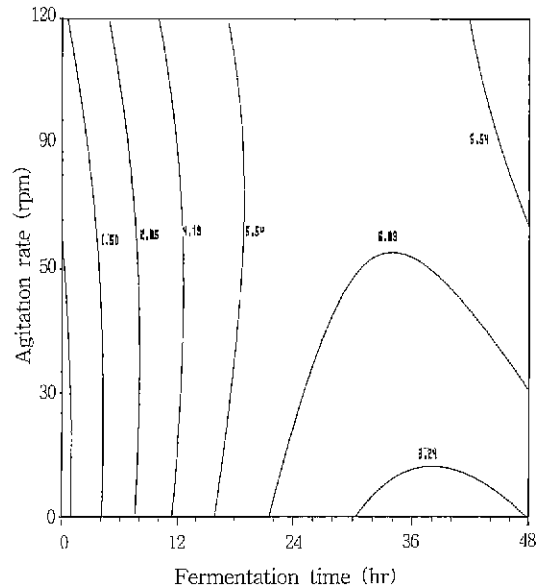


Fig. 3. Contour map for alcohol content in alcohol fermentation using potatoes at constant values (alcohol contents : 1.50-2.85-4.19-5.54-6.89-8.24) as a function of agitation rate and fermentation time at 241.35% of added water content.

었다 이러한 결과는 Jeong 등(7)이 단감의 알콜발효에서 교반속도 및 발효시간이 증가할수록 알콜함량이 증가한다는 보고와는 약간 다른 경향이였다

한편, 알콜 발효조건인 가수량, 교반속도 및 발효시간은 상호 의존성을 가지고 있으므로 등고선도와 같은 3차원 반응표면으로는 발효조건과 알콜함량의 변화를 모니터링하기에 어려운 점이 있다고 생각된다. 따라서 알콜 함량에 대한 2차회귀식을 근의 공식에 적용하여 근의 식으로 나타냄으로서 알콜함량 2, 4, 6 및 8%에 따라 각각의 반응표면을 그릴 수 있고, 알콜함량의 변화에 따른 반응표면을 겹쳐서 그림으로서 새가지 발효조건 및 반응 변수로서 알콜함량으로 4가지 변수를 반응표면에 적용 시킴으로서 4차원 반응표면을 그릴 수 있었다. 따라서 조건변수로서 새가지 발효조건 모두를 변화시키면서 4차원 반응표면을 그려 본 결과는 Fig 4와 같다 4차원 반응표면은 알콜 발효시간이 경과할수록 알콜함량은 증가하는 경향이였으나 30~40시간의 범위에서 가장 높았으며, 그 이상의 시간에서는 다소 줄어들었다 정상점이 안장점을 나타내어 두 개의 높은 능선이 나타남으로서 높은 알콜함량을 나타내는 알콜발효조건은 두가지 패턴으로 나타났는데, 그 중 하나의 조건은 발효시간 35시간에서 교반속도가 낮고 가수량이 많은 조건에서 알콜함량이 8% (v/v) 이상으로 높게 나타났으며, 다른 하나의 조건은 같은 35시간의 발효시간에서 교반속도가 높고 가수량이 적은 조건에서 알콜함량이 8%(v/v) 이상으로 높게

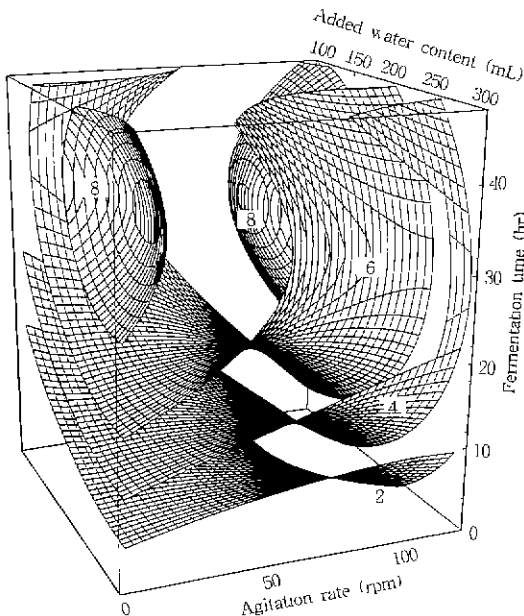


Fig. 4. Four-dimensional response surface on alcohol content in alcohol fermentation using potatoes at constant values (alcohol contents: 2-4-6-8) as a function of added water content, agitation rate and fermentation time.

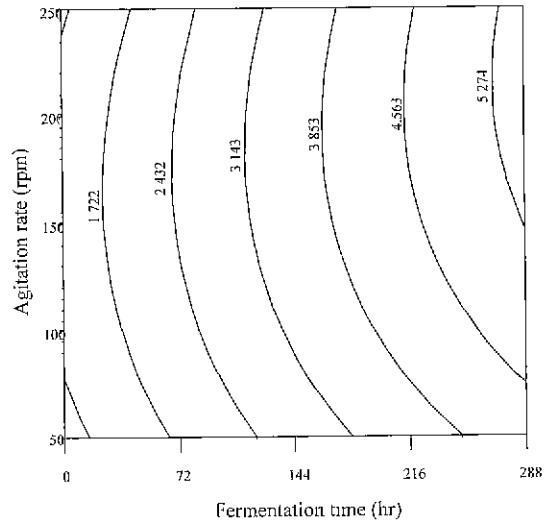


Fig. 5. Contour map for acidity in vinegar fermentation using potatoes by optimum alcohol fermentation conditions (241.35% in added water content, 8.05 rpm in agitation rate, and 34.81 hr in fermentation time) at constant values (acidity: 1.722-2.432-3.143-3.853-4.563-5.276) as a function of agitation rate and fermentation time.

나타나 교반속도와 가수량은 반비례 관계에 있음을 알 수 있었다. 따라서 능선분석에 의해 결정된 최적조건은 이러한 두개의 높은 능선 중 알콜함량이 더 높은 조건이 최적 조건임을 알 수 있으며, 가수량이 많고 교반속도가 낮을수록 생산량이 많고 발효공정의 경제성을 감안할 때 교반속도가 낮고 가수량이 많은 조건이 알콜발효 최적 조건으로 여겨진다. 따라서 4차원 반응표면분석은 제한조건내에서 발효조건에 따른 알콜함량변화를 모니터링함으로써 능선분석에 의해 최적조건을 설정하거나 등고선도를 이용하여 설정하는 것보다 더 실제적인 최적조건을 설정할 수 있는 것으로 여겨진다 이와 같은 예측결과에 대한 모델식의 신뢰성을 확인하기 위하여 예측된 최적조건으로 알콜발효를 수행하여 알콜함량을 측정하여 본 결과 예측된 알콜함량(8.31%)은 최적조건에서 실제 발효를 행한 결과(알콜함량 8.27%)와 유사하였다 (Table 7).

초산발효

알콜발효에서 반응표면분석에 의해 설정된 최적 발효 조건으로 1단계 알콜을 발효시킨 후 착즙된 여액을 초기 산도 1.02%로 조절하여 5%(v/v)의 종초를 접종한 다음 각각의 교반속도에서 초산발효 경과시간에 따른 변화를 관찰하고자 하였다. 두 가지 요인변수인 교반속도(50~250 rpm) 및 발효시간(96~288 hr)에 따른 여러 조건 (Table 3)에서 얻은 감자식초의 총산을 분석한 결과를 나타내었다. 식초의 총산에 대한 반응표면회귀식은 Table

Table 3. Experimental data on acidity¹⁾ with fermentation time in potato vinegar

Agitation rate (rpm)	Fermentation time (hr)					
	0	96	141	192	240	288
50	1.02	2.18	2.76	3.12	3.43	4.99
100	1.02	2.57	3.31	3.39	3.78	4.29
150	1.02	2.92	4.40	4.40	4.95	5.77
200	1.02	2.76	3.66	4.05	4.83	5.61
250	1.02	2.80	3.58	3.90	4.60	5.49

¹⁾Acidity in acetic acid fermentation of potato wine obtained optimum fermentation conditions of added water content 241.35 %, agitation rate 8.05 rpm and fermentation time 34.81 hr

4에 나타내었으며, 총산에 대한 R²는 0.9609로 높게 나타났으며, 유의성은 0.0000으로 1% 이내의 유의수준에서 인정되었다. 교반속도에 따른 총산의 변화(Table 3)는 150 rpm과 200 rpm에서 가장 높게 나타나 150~200 rpm 사이에서 교반하는 것이 적당하였으며, 시간의 경과에 따라서도 150 rpm에서 총산이 가장 빠르게 증가함을 볼 수 있었다. 총산에 대한 초산발효조건인 영향은 발효시간이 주로 영향을 미쳤으며, 교반속도의 영향도 높게 나타났다. 발효시간은 초산발효에 크게 영향을 미쳤으며, 교반속도와 발효시간이 증가할수록 총산이 증가하였다. 이러한 경향은 Jeong 등(8)의 뚝배기의 초산발효와 같은 경향이었으나 단감의 초산발효시 교반속도의 영향을 주로 받았다는 보고(7)와는 다소 차이가 있었다. 초산발효의 최적조건은 교반속도 170 rpm 및 발효시간 285 hr에서 발효하였을 때에 총산이 가장 높게 나타났다. 능선분석에 의한 최적조건(Table 6)에서 예측된 총산이 5.47이었으며, 최적조건에서 예측된 총산은 최적조건으로 실제 발효를 행한 결과(총산 5.53)와 유사하게 나타났다(Table 7) 이와 같이 반응표면분석으로 감자를 이용하여 감자식초의 제조조건을 알콜발효와 초산발효 2단계로 구분하여 발효조건을 최적화하고 발효조건에 따른 주요 성분의 변화를 모니터링 할 수 있었다 이상의 결과로 감자를 이용하여 감자식초 생산을 위한 2단계 발효과정 즉, 알콜 및 초산 발효 과정에서 알콜함량과 초산함량이 가장 높은 조건을 모니터링할 수 있었으며, 향후 이러한 조건을 중심으로 scale-up에 따른 단계적인 품질 변화에 미치는 요인들에 관한 연구가 요구되었다.

Table 4. Polynomial equations calculated by RSM program for alcohol and acetic acid fermentation conditions

Responses	Polynomial equations ¹⁾	R ²	Significance
Alcohol content in alcohol fermentation	Y ₁ = - 9.876645 + 0.067437X ₁ + 0.096535X ₂ + 0.474671X ₃ - 0.000115X ₁ ² - 0.000408X ₁ X ₂ + 0.000128X ₂ ² - 0.0000625X ₁ X ₃ - 0.000938X ₂ X ₃ - 0.005885X ₃ ²	0.9254	0.0091
Acidity in acetic acid fermentation	Y ₂ = 0.132571 + 0.014713X ₂ + 0.013723X ₃ - 0.000045667X ₂ ² + 0.000015857X ₂ X ₃ - 0.00000649X ₃ ²	0.9609	0.0000

¹⁾X₁ : added water content (%), X₂ : agitation rate (rpm) and X₃ : fermentation time (hr)

Table 5. Analysis of variables for regression model of alcohol content and acidity in alcohol and acetic acid fermentation conditions

Fermentation conditions	F-Ratio	
	Alcohol content in alcohol fermentation	Acidity in acetic acid fermentation
Added water content (%)	1.666	
Agitation rate (rpm)	1.572	11.300*
Fermentation time (hr)	15.322*	186.600*

*Significant at 1% level.

Table 6. Predicted levels of optimum conditions for alcohol and acetic acid fermentation by the ridge analysis

Fermentation conditions	Maximum alcohol contents in alcohol fermentation	Maximum acidity in acetic acid fermentation
Added water content (%)	241.35	-
Agitation rate (rpm)	8.05	169.89
Fermentation time (hr)	34.81	285.12
Estimated response	8.31 (max)	5.47 (max)
Morphology	Saddle point	Maximum

Table 7. Comparison between predicted and experimental values of response variables at the optimum condition (Table 6) on alcohol and acetic acid fermentation for potato wine and vinegar fermentation

Response variables	Predicted values	Experimental values
Alcohol content (%) in alcohol fermentation	8.31	8.25
Acidity in acetic acid fermentation	5.47	5.53

요 약

상품성이 떨어지는 감자의 효율적 활용을 위하여 감자식초 제조공정을 반응표면분석에 의해 최적화하였다. 품질이 일정하고 단기간에 대량생산이 가능한 발효조건을 확립하기 위하여 반응표면분석으로 식초 제조조건 설정을 위해 알콜발효와 초산발효 2단계로 구분하여 모니

터림하였다. 그 결과 1단계 알콜발효에서 알콜함량이 최대치를 나타내는 조건은 감자에 대한 백분율로 첨가한 가수량 241.35%(v/w), 교반속도 8.05 rpm 및 발효시간 34.81 hr으로 나타났다. 알콜발효에서 알콜함량에 대한 최적조건으로 알콜발효 후 2단계로 초산발효를 행하여 초산발효조건을 예측하였다. 그 결과 총산이 최대치를 나타내는 조건은 교반속도 169.89 rpm 및 발효시간 285.12 hr로 나타났다. 최적조건에서 예측된 알콜발효 및 초산발효의 결과는 최적조건으로 실제 발효를 행한 결과와 유사하였다.

감사의 글

본 연구는 98 한국학술진흥재단 대학부설연구소 과제 '감자소주 및 감자식초 제조방법의 최적화(98-005-G00 328)'에 의하여 수행된 결과의 일부입니다.

문 헌

1. 농림부 · 농업관련주요통계 (2000)
2. Jeong, Y.J., Seo, J.H., Yoon, S.R., Lee, J.M., Lee, G.D., Kim, O.Y. and Bang, K.W. Liquefaction and saccharification conditions of potatoes for alcohol fermentation using potatoes. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, **7**, 94-98 (2000)
3. Jeong, Y.J., Seo, J.H., Lee, J.B., Jang, S.M., Shin, S.R.

and Kim, K.S. : Changes in the components during alcohol fermentation of potatoes using pilot system. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* **7**, 233-239 (2000)

4. Jeong, Y.J., Kim, O.Y., Seo, J.H., Lee, M.H., Jung, S.H. and Kim, T.H. : Characteristics of alcohol fermentation yeast isolated from potatoes. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.*, **7**, 228-232 (2000)
5. Park, S.H. : *Modern experimental design*. Minyungsa, Seoul (1991)
6. Myers, R.H. : *Response Surface Methodology* Allyn and Bacon Inc., Boston (1971)
7. Jeong, Y.J., Seo, K.L., Lee, G.D., Yoon, K.S., Kang, M.J. and Kim, K.S. : Monitoring for the fermentation conditions of sweet persimmon vinegar using surface methodology. *J. East Asian Dietary Life*, **8**, 57-65 (1998)
8. Jeong, Y.J., Lee, G.D. and Kim, K.S. : Optimization for the fermentation condition of persimmon vinegar using response surface methodology *Korean J. Food Sci Technol.* **30**, 1203-1208 (1998)
9. Darmsch, H. and Dieter, V. : Measurement, control, and modeling of submerged acetic acid fermentation. *J. Ferment. Bioeng.*, **73**, 26-31 (1992)
10. SAS : *SAS/STAT User's Guide*, Version 6, Fourth edition, SAS Institute Inc., Vol. 2, p 1457 (1990)
11. Lee, G.D., Kim, J.S. and Kwon, J.H. : Monitoring of dynamic changes in Maillard reaction substrates by response surface methodology (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 212-219 (1996)
12. Floros, J.D. and Chinnan, M.S. : Optimization of pimento pepper lyepceling process using response surface methodology. *Trans. ASAE*, **30**, 560-566 (1987)

(2000년 10월 20일 접수)