

반응 표면 분석을 이용한 천문동 첨가 막걸리 재료 혼합물의 최적화

김지영·박금순*

대구가톨릭대학교 외식산업학과

Optimization of Ingredient for the Preparation of *Asparagus cochinchinensis* Makgeolli by Response Surface Methodology

Ji Young Kim and Geum Soon Park[†]

Faculty of Food Service and Technology, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

Abstract

This study was performed to determine the optimal composition of a *makgeolli* administered *nuruk*, water and *Asparagus cochinchinensis*. The experiment was designed base on BBD (box-behnken design), and an evaluation was carried out by means of RSM (response surface methodology), which included 15 experimental points with 3 replicates for the three independent variables *nuruk*, water and *Asparagus cochinchinensis*. The *nuruk* levels were tested in a range of 10~30 g, the water levels in a range 120~180% and *Asparagus cochinchinensis* was tested within a range of 2~6% by the weight of cooked-rice. Using the *F*-test, brix and appearance were expressed as a linear model, whereas the pH, acidity, DPPH radical scavenging, L-value, savory taste, taste, fresh aroma, after swallow and overall acceptability were expressed as a quadratic model. Increased amount of *Asparagus cochinchinensis* led to the reduction of the sensory scores for appearance, flavor, taste, texture and overall quality. The optimum formulation by numerical and graphical method were similar: *nuruk* 24.50 g, water 174.95% and *Asparagus cochinchinensis* 2.40%.

Key words : *Asparagus cochinchinensis*, *makgeolli*, response surface methodology (RSM).

서론

우리나라 민속주인 막걸리는 대표적인 전통술로 쌀, 보리, 밀 따위의 곡식을 발효시킨 것으로 가장 역사가 오래된 술이다(Shin *et al* 1999). 막걸리라는 이름은 막거른 술이라는 데서 비롯된 것으로 맑지 않고 탁하기 때문에 탁주라고도 부른다(Cho *et al* 2010, Kim *et al* 2011). 막걸리는 일반 주류와 달리 생효모가 함유되어 있어 다양한 맛이 골고루 조화되어 있는 술로 당분, 아미노산, 유기산 등이 풍부하여 영양적으로 우수한 술이다(Lee *et al* 2013, Kim *et al* 2007). 또한 국내 막걸리의 생산량이 2008년 140,161 kL, 2009년 214,069 kL, 2010년 352,573 kL로 급격한 생산량 증가를 보이고 있어, 막걸리의 국내 인기가 높아지고 있는 것으로 보인다(Kim & Eun 2012).

최근 국민소득 향상과 더불어 식생활과 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 노화, 만성질환, 성인병 등을 예방할 수 있는 기능성 물질 첨가 제품들이 소개되고 있으며, 이와 더불어 소비자의 기호를 충족시킬 수 있는 방법도 같이 연구되고 있

다. 특히 주류에 있어 알코올 해독과 건강 보조 및 질병 예방 등 생리기능성을 가진 발효주들이 각광을 받고 있으며, 인삼, 구기자, 두충, 오미자, 산수유, 숙지황, 당귀 등을 활용한 약용주가 개발되었다(Choi *et al* 2012). 더불어 막걸리 가공에 관한 연구로도 유자즙 막걸리(Yang & Eun 2011), 블루베리 막걸리(Jeon & Lee 2011), 석류즙 막걸리(Kim & Eun 2011), 고구마 막걸리(Cheon *et al* 2013) 등의 연구가 보고된 바 있다.

천문동(*Asparagus cochinchinensis* (Lour) Merr.)은 한국, 일본, 대만, 중국에 분포하는 백합과 식물(Choo *et al* 2009)로서, 예로부터 진해, 완화, 자양, 해열, 거담, 지갈, 이뇨, 강장의 효능이 있다. 특히 덩이뿌리는 주로 약용, 식용으로 널리 사용되며, 덩이뿌리에는 asparagine, β -sitosterol, 5-methoxy-methylfurfural, 점액질, steroid saponin이 함유되어 있다(Lee *et al* 2008). 천문동은 맛이 달고 쓰며 성질이 차고 폐경, 신경에 작용하여 폐, 신의 음식을 보하고, 기침멧이 작용 및 항암 작용같은 약리적인 기능을 가지고 있으나, 비슷한 약효를 지닌 맥문동에 비해 사용량이 적은 편이며, 무분별한 남획으로 인해 멸종위기에 처해 있는 약재이다(Kim *et al* 2003).

천문동에 의한 또 다른 약리 효과로 지방세포의 glucose uptake의 저해, 지방세포의 지방 분해 효과 및 인체에 이로운

[†] Corresponding author : Geum Soon Park, Tel : 82-53-850-3512, Fax: 82-53-850-3512, E-mail: gspark@cu.ac.kr

장내 미생물의 성장을 자극하는 효과(Kwak *et al* 2005)와 Lee *et al*(2008)은 천문동 추출물이 조골 세포의 활성을 증가시키고 파골세포의 활성을 억제함으로써 골다공증 예방 효과가 있는 기능성 식품 후보로서의 가능성을 제시한 바 있다. 또한 대한약전에 수재된 한약으로써 호흡기질환과 피부질환에 주로 사용되고, 민속주(民俗酒)의 부원료로도 이용이 가능한 약재이다(Choo *et al* 2009).

따라서 막걸리의 국내외 인기가 높아짐에 따라 사라져가는 약용 식물인 천문동을 이용하여 기능성과 맛을 겸비한 막걸리 개발 가능성을 살펴보고, 첨가 재료의 최적 배합비를 찾고자 본 실험을 실행하였다. 누룩, 물, 천문동의 첨가량 농도를 달리하여 15가지 조건으로 막걸리를 제조한 후, 품질 특성 결과를 바탕으로 RSM(Response Surface Methodology)을 실시하여 최적 조건을 선정하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료 및 제조

본 실험에서 사용된 쌀은 경북 성주에서 구입하였으며, 누룩과 효모는 (주)한국효소(Hwaseong, Korea), 물은 제주 삼다수, 천문동은 대구 약령시장(동경종합상사, Daegu)에서 구입하여 사용하였다. 막걸리 제조는 Ha *et al*(2012)의 방법을 참고하여 쌀 1 kg을 세척하여 2시간 동안 물에 침지하고, 1시간 동안 물기를 제거한 후, 0.8 L의 물을 넣고 증자하여 고두밥을 만들었다. 이후 고두밥은 상온에서 식히고, 물과 누룩, 효모, 천문동과 함께 잘 혼합한 후 25℃에서 6일간 발효시킨 단양주로 제조하였다. 발효가 완료된 술덧은 거즈를 이용하여 여과하고, 본 실험에 사용하였다.

천문동 첨가 막걸리의 최적 배합비를 탐색하기 위해 반응표면 분석을 실시하였으며, 3-level-3-factor 실험계획인 box-behnken design(BBD)에 따라 예비실험을 통하여 물의 비율(120, 150, 180%), 누룩의 양(10 g, 20 g, 30 g), 천문동의 비율(2, 4, 6%) 세 가지 변수를 -1, 0, 1의 3단계로 부호화하였다. Table 1에서와 같이 15개의 배합 조건을 이용하여 모든 실험 순서(run)는 구획에 따른 오차를 없애기 위하여 무작위로 실행하였고, 분석은 모델에 대한 *F*-test를 통하여 유의성 검증을 하였다. 선택된 모델에 대한 반응표면과 trace plot을 이용하여 일정한 비율에서 다른 요소들이 고정되는 동안 각 혼합물 성분 변화에 따른 영향을 가시화하였다.

2. 이화학적 특성 분석

막걸리의 pH는 pH meter(pH 210, Hanna, Italy)을 사용하여 측정하였으며, 산도는 1%(v/v) phenolphthalein을 지시약으로 사용하여 0.1 N NaOH 용액으로 선홍색이 될 때까지

Table 1. Box-behnken design for optimization of makgeolli according to nuruk, water and *Asparagus cochinchinensis*

No	Run	Nuruk (g) A	Water (%) B	<i>Asparagus cochinchinensis</i> (%) C
1	9	-1(10)	-1(135)	0(4)
2	4	-1(10)	+1(150)	0(4)
3	8	+1(30)	-1(135)	0(4)
4	13	+1(30)	+1(180)	0(4)
5	1	-1(10)	0(150)	-1(2)
6	10	-1(10)	0(150)	+1(6)
7	2	+1(30)	0(150)	+1(6)
8	11	+1(30)	0(150)	-1(2)
9	7	0(20)	-1(135)	-1(2)
10	6	0(20)	-1(135)	+1(6)
11	5	0(20)	+1(180)	+1(6)
12	3	0(20)	+1(180)	-1(2)
13	12	0(20)	0(150)	0(4)
14	15	0(20)	0(150)	0(4)
15	14	0(20)	0(150)	0(4)

적정하여 젖산 함량(%)으로 환산하여 계산하였다. 당도는 당도계(PAL-1, ATAGO CO., Japan)를 이용하여 °brix로 나타내었으며, 알코올 함량은 제조된 발효주 100 mL를 메스실린더로 취해 증류장치를 이용하여 증류한 다음 주정계로 알코올 도수를 측정하고, 주정도수환산표에 의해 온도 보정을 실시하였다.

2,2-Diphenyl-1-picryl hydrezyl(DPPH) 라디칼 소거능은 DPPH free radical 소거법(Brand-Williams *et al* 1995)을 변형하여 측정하였으며, DPPH 용액 2 mL를 가하여 섞은 뒤 30분간 정지한 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다.

ADH 활성 영향 측정은 Cho *et al*(2010)의 연구를 참고하여 시험관에 alcohol 0.1 mL, NAD 수용액 0.5 mL, 시료 0.1 mL를 첨가하고, 0.01 M glycine-NaOH 완충 용액(pH 8.8)를 총 부피가 1.8 mL가 되게 첨가한 후, 25℃ 항온수조에서 10분간 반응시키고, ADH 0.25 mL를 가하여 340 nm에서 흡광도의 변화를 측정하였다. 이때 대조구는 시료 대신 증류수를 넣은 것으로 하였다. Positive control로 사용한 hepos는 약국에서 구입한 것으로, 처방전에 따라 1/2로 희석하여 사용하였다. ADH의 활성은 반응 종료 시의 최대 흡광도를 대조구의 최대 흡광도에 대한 비율로 나타내었으며, 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$ADH \text{ activity} = (B/A) \times 100$$

A : 대조구의 최대 흡광도

B : 실험구의 최대 흡광도

ALDH 활성 영향 측정은 증류수 2.1 mL, 1 M tris HCl, 3 M KCl, 시료 0.1 mL, NAD 0.1 mL, 2-mercaptoethanol 0.1 mL, acetaldehyde 0.1 mL를 혼합한 다음 25°C에서 10분간 반응시키고, ALDH 0.1 mL를 가하여 340 nm에서 흡광도의 변화를 측정하였다. ALDH의 활성은 ADH 활성 계산식에 따라 측정되었다.

3. 색도 측정

색차계(Color JS801, Color Techno System Co., Japan)를 사용하여 명도(L*-value, (100)lightness ↔ black(0)), 적색도(a*-value, (+)redness ↔ greenness(-)), 황색도(b*-value, (+) yellowness ↔ blueness(-)) 값을 3회 반복 측정하여 그 평균값으로 나타내었으며, 이 때 사용된 표준 백판의 L값은 94.60, a값은 0.00, b값은 2.76이었다.

4. 관능검사

관능 요원은 대구가톨릭대학교 생명식품학부 학생 30명을 대상으로 검사 방법과 평가 특성에 대해 충분히 교육을 시킨

후 7점 항목 척도법(1점-가장 약하다, 가장 기호도가 낮았다. 7점-가장 강하다, 가장 기호도가 높았다)으로 나타내었다. 막걸리의 관능 항목으로는 외관의 기호도, 향미의 기호도, 구수한 맛, 맛의 기호도, 누룩내, 상쾌한 맛, 삼킨 후 느낌, 전반적인 기호도를 평가하였다.

5. 통계 처리

실험 결과는 SAS 12.0과 Design-Expert 8.0 program을 이용하여 반응 표면 분석을 실시하였으며, 분석은 모델에 대한 F-test를 통하여 유의성 검사를 하였다. 또한 이차 회귀식으로 설명되지 않는 실험 결과는 실험군 간의 차이를 SAS를 이용하여 one way ANOVA를 실시하였다. 최적화는 수치최적화(numerical optimization)와 혼합물 성분의 모형적 최적화(graphical optimization)를 선정하였고, 그 때의 점을 예측하여 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 이화학적 특성

15개의 실험점으로 만든 막걸리의 pH는 Table 2와 같이 4.20~4.65 범위로 나타났으며, Table 2의 결과를 'Design Expert 8'을 이용하여 설정된 반응별로 모델링하여 F-test를 통

Table 2. Quality characteristic of makgeolli according to nuruk, water and Asparagus cochinchinensis by D-optimal design

No	Run	Physical properties					Hunter's color		
		pH	Acidity(%)	Brix°	Alcohol(°)	DPPH(%)	L	a	b
1	9	4.55±0.10	1.68±0.01	5.43±0.11	13.13±0.11 ^{bc1)}	28.93±0.53	55.31±0.03	-1.57±0.02 ^d	5.07±0.01 ^{def}
2	4	4.44±0.01	1.53±0.0	4.37±0.12	11.47±0.68 ^{de}	28.77±0.77	53.39±0.06	-1.54±0.06 ^{cd}	4.14±0.12 ^h
3	8	4.65±0.01	1.26±0.01	6.90±0.10	14.87±0.06 ^a	31.83±0.85	52.08±0.17	-1.50±0.06 ^{bcd}	7.13±0.68 ^b
4	13	4.47±0.00	1.50±0.02	5.20±0.00	11.30±0.30 ^f	28.77±0.29	48.94±0.05	-1.54±0.01 ^{cd}	6.41±0.44 ^c
5	1	4.20±0.01	1.64±0.04	4.63±0.06	10.80±0.36 ^f	22.61±0.02	52.30±0.35	-1.52±0.03 ^{bcd}	3.78±0.21 ⁱ
6	10	4.31±0.01	1.64±0.01	4.80±0.00	15.03±0.06 ^a	33.33±0.33	55.25±0.25	-1.88±0.01 ^g	4.76±0.05 ^{fg}
7	2	4.45±0.01	1.43±0.02	5.30±0.00	14.67±0.23 ^a	37.16±0.09	47.92±0.32	-1.64±0.02 ^e	4.27±0.03 ^{gh}
8	11	4.34±0.01	1.24±0.00	4.80±0.00	12.80±0.00 ^c	25.93±0.04	48.73±0.17	-1.43±0.02 ^a	4.79±0.39 ^{ef}
9	7	4.20±0.01	1.54±0.01	5.33±0.06	12.00±1.00 ^d	26.22±0.22	55.63±0.83	-1.46±0.08 ^{ab}	5.32±0.62 ^{de}
10	6	4.37±0.01	1.31±0.02	5.53±0.06	13.23±0.06 ^{bc}	36.70±0.70	53.53±0.09	-1.74±0.01 ^f	6.52±0.07 ^c
11	5	4.40±0.01	1.52±0.02	4.70±0.10	13.77±0.50 ^b	36.10±0.67	55.89±0.16	-1.67±0.04 ^e	7.71±0.15 ^a
12	3	4.16±0.00	1.46±0.03	3.90±0.00	13.37±0.12 ^{bc}	22.78±0.03	54.83±0.26	-1.51±0.04 ^{bcd}	4.82±0.05 ^{ef}
13	12	4.21±0.01	1.35±0.03	5.03±0.06	13.40±0.00 ^{bc}	25.15±0.02	55.54±0.04	-1.48±0.02 ^{abc}	5.60±0.10 ^d
14	15	4.23±0.10	1.38±0.01	4.93±0.06	13.57±0.06 ^b	25.16±0.10	55.39±0.01	-1.43±0.03 ^a	5.52±0.02 ^d
15	14	4.20±0.01	1.37±0.00	5.00±0.10	13.50±0.10 ^b	25.39±0.06	55.45±0.05	-1.42±0.01 ^a	5.58±0.07 ^d

1) Mean±S.D. with different superscripts within the same column and significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

해 유의성을 검증한 결과, Table 3과 같은 회귀식을 보였다. 천문동을 첨가한 막걸리의 pH는 quadratic model($R^2=0.8519$)로 결정되었고 5% 이내에서 유의성을 보여 모델의 적합성이 인정되었다. 산도는 각 요인들이 교호 작용의 영향을 받는 quadratic model로 나타났으며, 물과 천문동의 비율이 낮아질수록 감소하는 경향이 나타났으나, $p=0.0757$ 로 이차회귀 분석에 대한 설명이 유의적이지 않은 것으로 나타났다(Fig. 1).

천문동을 첨가한 막걸리 시료의 pH 범위는 4.16~4.65로 나타났으며, Choi *et al*(2012)의 황기첨가 발효주의 pH는 4.50~4.67, Lee *et al*(2013)의 당귀 열수 추출물을 첨가한 막걸리의 최종 pH는 4.35~4.41로 나타나 첨가되는 재료(천문동 pH=4.38)에 따라 막걸리의 pH가 다소 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 천문동이 첨가될수록 pH는 감소하였으며, 물과 누룩의 양이 많아질수록 감소하였다가 증가하는 경향을 보였다. 산도는 물의 비율이 가장 높게 영향을 주었으며, 증가할수록 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2).

막걸리의 당도는 누룩, 물, 천문동의 함량이 서로 상호작용 없이 각각 독립적으로 작용하는 linear model이 선정되었고, 최소 값은 누룩의 30 g, 물 179.87%, 천문동 2.05%로 혼합하였을 때 최대 값은 누룩의 양 10 g, 물 179.10%, 천문동 2.39%로 혼합하였을 때 5.5로 높게 나타났다.

알코올 함량은 이차 회귀곡선으로 설명되지 않았으나, 시료 간 $p<.001$ 에서 유의한 차이를 보였으며, 3(누룩의 양 30 g,

물 120%, 천문동의 비율 4%), 6(누룩의 양 10 g, 물 135%, 천문동의 비율 6%), 7(누룩의 양 30 g, 물 135%, 천문동의 비율 6%)의 시료가 14.67~15.03으로 가장 높게 나타나, 누룩의 양과 천문동의 비율에 따라 알코올 함량에 영향을 주리라 사료된다. 발효주 내의 당 함량은 효모의 에탄올 생산 농도를 결정짓고 주류의 향기 성분과 단맛에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며(Park *et al* 2004, Choi *et al* 2011), 알코올 함량은 막걸리의 보존성이나 향미에 중요한 요인으로 술덧 중 알코올의 함량이 다소 높아야 한다고 보고되어 있다(Jin *et al* 2000). 본 실험에 사용된 천문동의 당도가 3.3 brix이며, 천문동 비율이 높은 시료군에서 알코올함량이 다소 높게 나타나, 천문동의 첨가가 막걸리의 주질에 나쁜 영향을 끼치지 않는 것으로 사료된다.

DPPH radical 소거능은 회귀 곡선의 결정 계수 값 R^2 은 0.9324로 높은 정확도를 나타내었고, $p=0.0028$ 로 1% 수준에서 유의하였으며, 누룩, 물, 천문동 각 요인들이 서로 교호작용의 영향을 받는 quadratic model이 선정되었다. 회귀식의 계수들을 살펴본 결과, 천문동의 첨가량이 가장 큰 영향을 주었으며, 정상점은 안장점을 나타내었다. 일반적으로 항산화 기능이 있는 원료량을 증가할수록 높은 DPPH free radical 소거능을 나타내는데, Cheon *et al*(2013)의 다양한 고구마를 이용한 막걸리의 최적화에서 각 배합비에 따라 만들어진 고구마 막걸리의 DPPH radical 소거능이 18.75~42.72%로, 고구마의 함량이 많을수록 높은 항산화 활성을 보이는 것으로 보고한 바 있으며, 본 실험에서도 천문동 함량이 높은 처리구에서 높게 나타났음을 알 수 있었다.

Fig. 2는 각 요인간의 교호 작용을 제시한 삼차원 그래프에서 누룩과 물, 물과 천문동, 누룩과 천문동의 반응 표면을 나타낸 것으로, 천문동과 물의 비율이 증가될수록 DPPH radical 소거능이 증가하는 경향을 보여 천문동의 첨가가 항산화능에 긍정적인 영향을 주리라 사료된다.

막걸리의 숙취 해소능을 생화학적으로 분석하기 위해 체내 알콜 대사의 1차 관여요소인 ADH의 활성 증진 정도를 측정하였다. 또한 숙취의 주 원인 물질인 acetaldehyde는 체내에서 흡수된 알코올 분해 시 생성되는 대사 산물로서 단순히 ADH만 활성화시키면 혈중 알콜 농도는 빠르게 감소시킬 수 있으나, 혈액에 남아있는 acetaldehyde는 계속 축적되어 심한 숙취를 일으킬 수 있는 가능성이 있다(Cho *et al* 2010). 따라서 acetaldehyde의 분해에 직접적인 영향을 미치는 ALDH의 활성에 막걸리의 영향을 분석하였다. ADH와 ALDH는 Fig. 1과 같이 최대 흡광도는 모든 실험구에서 유의적인 차이를 나타냈으며, 대조구의 흡광도 값을 100으로 하였을 때 막걸리에 천문동을 첨가한 경우 ADH와 ALDH 활성이 증가하였다. 즉, 천문동의 비율이 많이 첨가된 6, 7, 10, 11번의

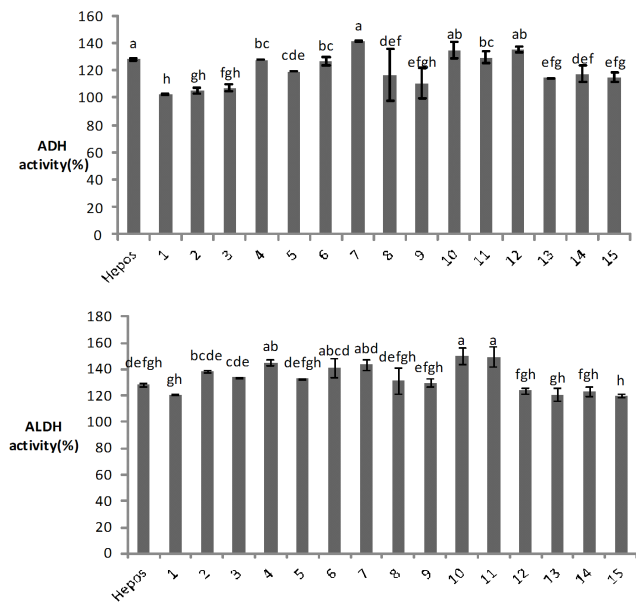


Fig. 1. Effect of makgeolli on the alcohol dehydrogenase (ADH) and aldehyde dehydrogenase (ALDH).
 1~15 Samples are same as in Table 1.
 a~h Data means in a row with different superscript are significantly different ($p<0.05$).

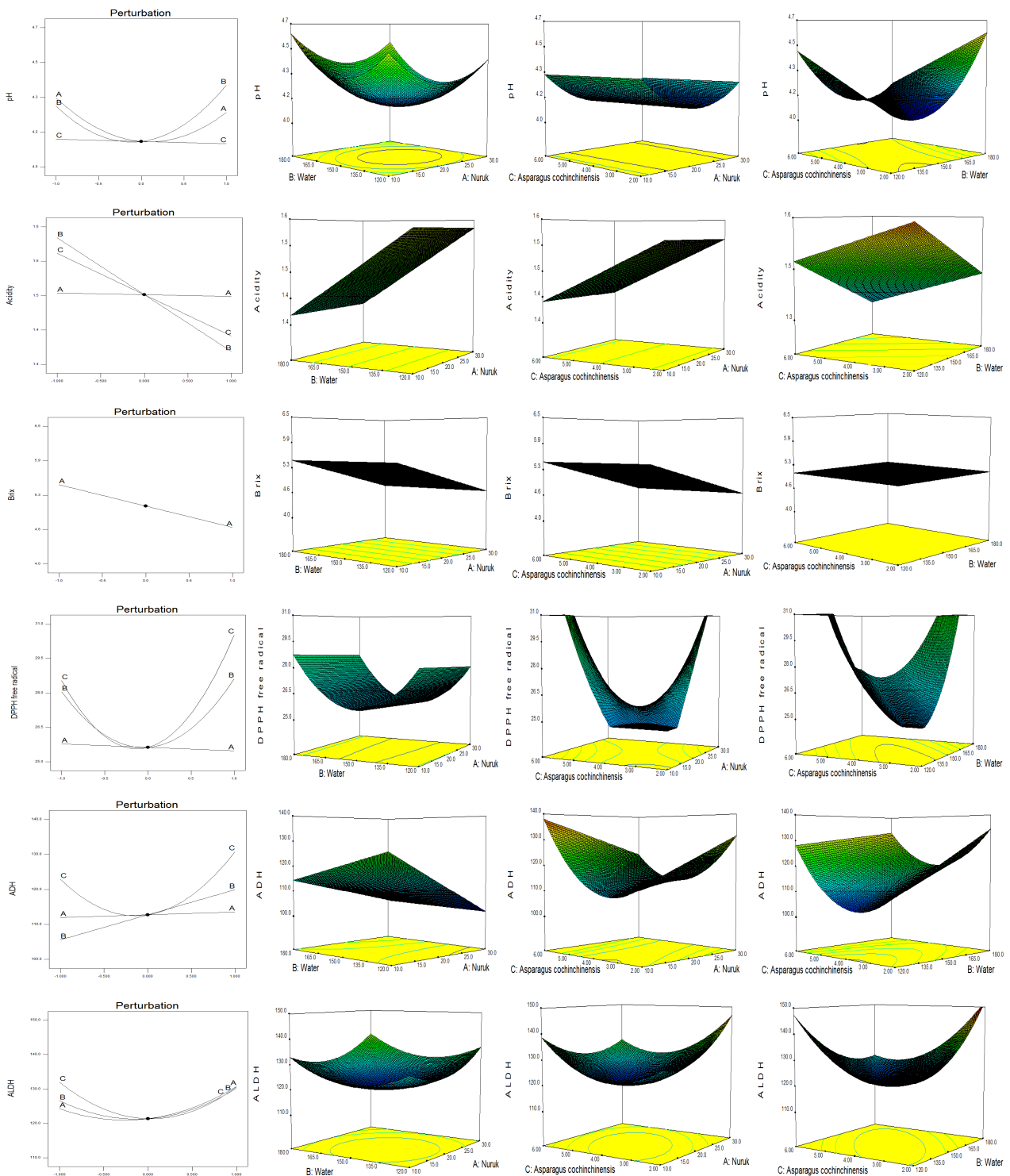


Fig. 2. Response surface for physical properties of *makgeolli* according to *nuruk*, water and *Asparagus cochinchinensis*.

시료인 경우 26.77~41.33%로 positive control(hepas) 21.99% 보다 높게 나타났으며, 천문동 비율이 높을수록 증가하였다. ADH 활성에 대한 반응표면도와 trace plot에 의하면 물의 비율(B-B선)과 누룩(A-A)의 양이 높아질수록 증가하였고, 천

문동의 비율은 최적점 이상에서 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 2). 누룩, 물, 천문동이 서로 교호작용을 하는 quadratic model이 선정되었으며, R^2 은 0.8943, $p=0.0130$ 으로 5%이내에서 유의한 정도를 나타냈다.

ALDH의 경우, positive control이 28.45%를 보였으며, 10 (누룩 20 g, 물 120%, 천문동 6%)의 경우 50.17%로 더 높게 나타났으며, Kim *et al*(2000)은 *in vivo* 실험에서 알콜 분해와 숙취에 효과가 있는 것으로 알려진 헛개나무 추출물을 이용하여 분석한 결과, 대조군보다 8~14% 정도 상승한 것으로 그다지 높지 않았지만, ALDH 활성 증진에 의한 알콜 분해도는 18~24% 높게 나타나 빠르게 acetaldehyde를 acetic acid로 분해시켜서 숙취 해소에 도움을 주는 것으로 밝혀져, 천문동 역시 알콜 및 acetaldehyde 분해능에 도움을 줄 것으로 사료된다.

Cho *et al*(2010)은 막걸리 침전물 열수 추출물이 positive control(hepos) 64.1%보다 ADH 활성이 70.2%로 높게 나타났으며, ADLH는 64.1%로 positive control 52.3%보다 높게 나타나 막걸리 침전물이 알코올 대사 작용에 대한 효과를 나타낸바 있어 막걸리에 첨가되는 기능성 재료에 따라 알코올 분해능에 대해 긍정적인 효과를 볼 수 있을 거라 생각된다.

2. 색도 측정

천문동 첨가 막걸리의 색도 측정은 L값은 quadratic model로 R²은 0.6489, p=0.0227로 5% 수준 이내의 유의성을 보여 모델의 적합성이 인정되었다(Table 3).

선택된 모델에 대한 반응표면도와 trace plot에서 보이는 기울기는 성분들이 각 반응에 미치는 영향을 보여주는 것으로 L값은 천문동 비율이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타

났으며, 천문동(C-C선) 함량이 증가될수록 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3). 이는 Choi *et al*(2012)이 황기의 첨가량이 증가할수록 황기주의 L값이 감소하는 경향과 동일한 결과를 보였으며, 첨가 재료와 비율에 따라 명도의 변화가 있음을 알 수 있었다.

적색도인 a값은 이차 회귀 분석으로 설명되지 않았으나, -1.42~-1.88, b값은 2.78~7.71의 범위로 나타났으며, one-way ANOVA 분석 결과, p<0.001에서 시료 간 유의한 차이를 보였다. 6(누룩 10 g, 물 135%, 천문동 6%)과 10(누룩 20 g, 물 120%, 천문동 6%), 11(누룩 20 g, 물 180%, 천문동 6%)의 시료가 적색도 값이 가장 높게 나타났으며, 천문동이 비율이 큰 시료들의 (-)값이 더 큰 것으로 나타났다.

황색도인 b값도 이차 회귀분석에 대한 설명이 유의적이지 않았으나 one-way ANOVA 결과, 11(누룩 20 g, 물 180%, 천문동 6%)이 가장 높은 황색도 값을 보였으며, 누룩의 양이 많은 3, 4시료와 천문동 비율이 높은 10, 11시료에서 황색도가 다른 시료에 비해 높게 나타나, 누룩의 양과 천문동의 비율이 높을수록 b값이 증가하는 경향을 보였다. 또한 물과 천문동 비율이 가장 낮았던 시료인 5번(누룩 10 g, 물 135%, 천문동 2%) 시료가 가장 낮은 황색도 값을 나타나, 천문동 비율이 b값의 증감에 영향을 주는 것으로 사료된다.

3. 관능검사

막걸리의 관능검사를 측정한 결과, Table 4와 같이 외관의

Table 3. Analysis of predicted model equation for the physical properties, color value and texture of *makgeolli*

Response	Model	F-value	Prob<F	R ²	Equation on terms of pseudo component
pH	Quadratic	7.67	0.0056	0.8519	4.13 - 0.036A + 0.052B - 0.019BC + 0.18A ² + 0.23B ²
Acidity(%)	Quadratic	3.22	0.0757	0.6919	1.45 - 0.083B - 0.060C
Brix°	Linear	3.10	0.1017	0.3416	5.05 - 0.39A
DPPH(%)	Quadratic	13.79	0.0013	0.9324	25.63 - 0.15A + 0.28B + 0.99C - 5.44AC - 6.06BC + 2.70B ² + 3.89C ²
L	Quadratic	4.62	0.0227	0.6489	55.18 - 0.086A - 1.11C - 3.44A ²
ADH(%)	Quadratic	6.37	0.0130	0.8943	112.75 + 0.80A + 7.16B + 3.93C - 5.29AB - 11.57BC + 6.12C ²
ALDH(%)	Quadratic	4.32	0.0457	0.8519	121.38 + 3.22A - 1.83B + 0.66C - 5.29AC - 15.00BC + 11.31A ² + 23.23B ² + 15.10C ²

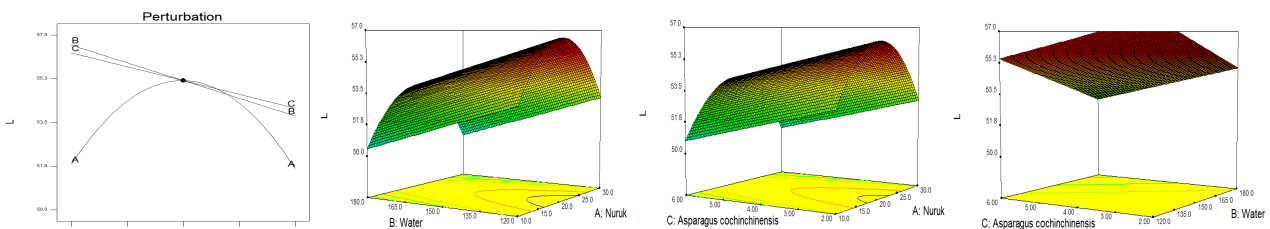


Fig. 3. Response surface for L of *makgeolli* according to *nuruk*, water and *Asparagus cochinchinensis*.

Table 4. Sensory characteristics of makgeolli according to nuruk, water and Asparagus cochinchinensis by D-optimal design

No	Run	Sensory characteristics							Overall acceptability
		Appearance	Flavor	Savory taste	Taste	Nuruk aroma	Fresh aroma	After swallow	
1	9	4.30±0.35	4.18±0.98 ^{a1)}	4.52±0.13	4.44±1.02	3.63±0.12 ^{ab}	4.05±0.78	4.73±1.19	5.18±0.98
2	4	4.12±0.30	4.18±0.16 ^a	4.46±0.92	4.21±0.83	3.82±0.87 ^{ab}	5.10±1.10	4.89±1.04	5.37±0.90
3	8	4.00±0.77	3.82±0.54 ^a	4.35±0.78	3.64±0.60	4.09±1.22 ^{ab}	4.53±1.01	4.53±1.10	4.51±0.94
4	13	4.24±0.25	4.09±0.94 ^a	4.30±0.65	4.45±0.68	3.73±0.90 ^{ab}	4.50±0.90	4.69±0.07	4.46±1.12
5	1	3.65±1.02	4.36±0.92 ^a	4.21±0.03	4.25±0.92	3.45±0.12 ^{ab}	3.72±0.87	4.51±1.94	4.85±1.13
6	10	4.52±0.82	3.64±0.43 ^a	4.20±0.70	4.20±0.75	4.00±0.26 ^{ab}	4.52±0.70	4.54±0.35	4.51±1.04
7	2	4.00±0.83	3.54±0.93 ^a	4.20±0.98	4.10±0.94	4.36±1.28 ^a	4.35±1.01	4.23±1.34	4.34±1.02
8	11	4.50±0.36	4.09±1.04 ^a	4.08±0.87	4.20±0.09	3.09±0.53 ^b	4.33±0.19	4.50±1.13	4.45±0.93
9	7	4.55±1.13	3.91±0.45 ^a	4.25±0.87	4.36±1.02	3.45±0.13 ^{ab}	3.91±0.94	4.84±0.36	4.74±1.03
10	6	4.50±0.36	4.33±0.28 ^a	4.53±1.03	4.55±0.82	3.82±0.25 ^{ab}	5.25±1.03	4.60±0.41	4.78±0.47
11	5	4.35±0.19	4.00±0.89 ^a	4.75±0.93	4.40±0.00	3.91±0.45 ^{ab}	4.82±0.87	4.55±1.09	4.93±1.01
12	3	4.43±0.26	4.09±0.30 ^a	4.54±0.82	4.64±0.81	3.27±1.00 ^{ab}	4.73±1.01	4.61±1.07	4.56±1.21
13	12	4.11±0.70	4.64±1.28 ^a	4.20±0.87	4.42±0.60	3.91±0.13 ^{ab}	4.45±0.52	4.30±0.81	4.71±0.83
14	15	4.10±0.53	4.00±0.89 ^a	4.25±0.63	4.40±0.69	3.73±0.90 ^{ab}	4.43±0.79	4.60±0.69	4.74±0.67
15	14	4.09±0.30	4.09±0.30 ^a	4.21±0.53	4.49±0.30	3.64±0.81 ^{ab}	4.55±0.69	4.50±0.63	4.83±0.65

¹⁾ Mean±S.D. with different superscripts within the same column and significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 5. Analysis of predicted model equation for the sensory characteristics of makgeolli

Response	Model	F-value	Prob<F	R ²	Equation on terms of pseudo component
Appearance	Linear	4.92	0.0450	0.5891	4.19+0.16A
Savory taste	Quadratic	4.96	0.0183	0.6649	4.15 - 0.029B+0.050C-0.13BC+0.28B ²
Taste	Quadratic	9.80	0.0017	0.7967	4.46+0.080A - 0.015B+0.25AB - 0.31A ²
Fresh aroma	Quadratic	6.39	0.0183	0.8947	4.43+0.24A+0.14B+0.11C - 0.27AB - 0.20AC - 0.35BC - 0.20A ² +0.26B ²
After swallow	Quadratic	6.79	0.0082	0.8359	4.46+0.061A - 0.065B - 0.089C+0.077AC+0.080BC+0.18B ²
Overall acceptability	Quadratic	4.61	0.0257	0.7755	4.79+0.029A - 0.23B - 0.073C+0.12AC+0.17B ² - 0.26C ²

기호도는 3.65~4.55, 향미의 기호도는 3.54~4.36, 구수한 맛은 4.08~4.54, 맛의 기호도는 3.64~4.64, 누룩의 향은 3.27~4.36, 상쾌한 맛은 3.72~5.25, 삼킨 후 느낌은 4.23~4.84, 전반적인 기호도는 4.34~5.37 범위로 나타났다. 구수한 맛, 맛의 기호도, 상쾌한 맛, 삼킨 후 느낌, 전반적인 기호도에서는 교호 작용의 영향을 받는 quadratic model이 결정되었고, 외관의 기호도는 누룩, 물, 천문동의 비율이 서로 상호작용 없이 각각 독립적으로 작용하는 linear model이 선택되었다(Table 5). 외관의 기호도는 누룩의 양(A-A선)이 증가할수록 높은 평

가를 받았으며, 유의적으로 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다($p=0.0450$). 향미의 기호도는 이차 회귀 곡선에 적합하지 않았으며, 시료 간의 유의한 차이도 나타나지 않았다. 구수한 맛은 회귀 곡선의 결정 계수 값 R^2 값은 0.7417, $p=0.0164$ 로 5% 수준에서 유의하였다. 누룩의 양(A-A)이 증가할수록 구수한 맛의 기호도는 낮아졌으며, 천문동의 비율(C-C)이 증가할수록 높아지는 경향을 보였다(Fig. 4).

맛의 기호도 결과, 회귀 곡선의 결정 계수 값인 R^2 은 0.6649으로 정상점은 안장점으로 누룩의 양 25.28 g, 물의 비율

179.87%, 천문동의 비율 5.98%에서 4.5로 최대 기호도를 보였으며, $p=0.0017$ 로 1% 이내에서 유의한 정도를 나타냈다. 누룩의 양은 이차 회귀 모형에 적합하지 않았으나, 누룩 양이 30 g으로 가장 높았던 3, 4, 7, 8번 시료에서 높게 나타났

다. 즉, 7(누룩 15 g, 물 135%, 천문동 6%)에서 누룩의 양이 4.36으로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 3(누룩 15 g, 물 120%, 천문동 4%)이 4.09로 나타났다. 상쾌한 맛은 회귀 곡선의 결정 계수 값인 R^2 은 0.8947, $p=$

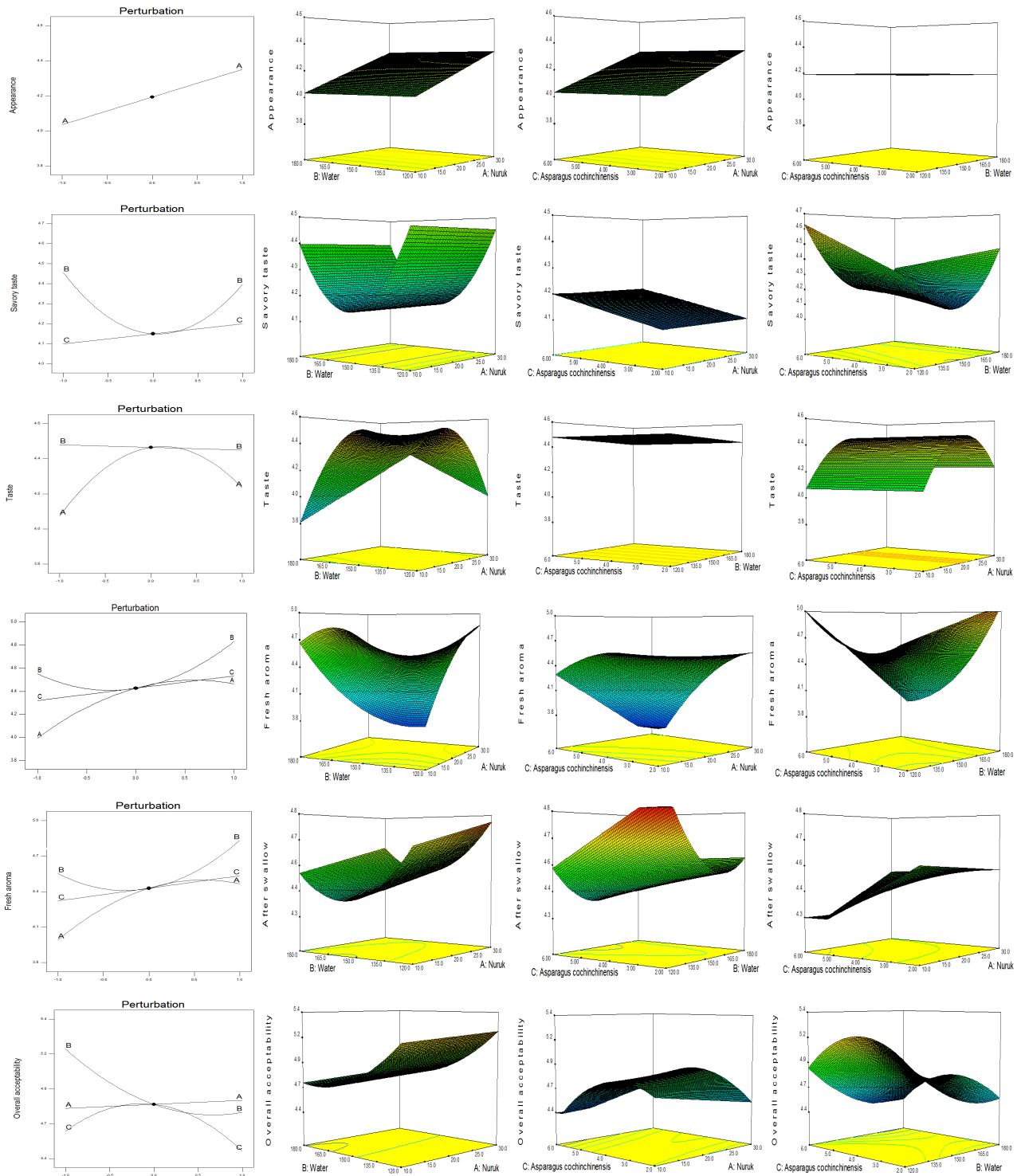


Fig. 4. Response surface for sensory evaluation of *makgeolli* according to *nuruk*, water and *Asparagus cochinchinensis*.

0.0183로 유의성이 인정되었고, 회귀식의 계수들을 살펴본 결과, 누룩의 양이 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

삼킨 후 느낌은 회귀곡선의 결정계수 값 R^2 0.8359으로 1% 수준에서 유의성이 인정되었고 회귀식의 계수들을 살펴본 결과, 천문동의 비율이 가장 큰 영향을 주었으며 그 다음으로는 물의 비율, 누룩의 양 순으로 영향을 많이 주는 것으로 나타났다. 반응 표면도와 trace plot을 살펴보면 누룩의 양(A-A선)이 증가할수록 높아지고, 천문동의 비율(C-C선)이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4).

전반적인 기호도에서도 R^2 값이 0.7755, $p=0.0257$ 로 유의성이 인정되었으며, 누룩의 양이 증가함에 따라 다소 증가하는 경향으로 보였으며, 천문동의 비율과 물의 비율에 따라 점수가 최대 값을 보이다가 감소하는 경향을 보였다. 이는 천문동과 물의 양이 너무 높은 경우, 오히려 좋지 않은 결과를 보이므로 적절한 비율을 첨가하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 이는 Son *et al*(2011)의 초기에 첨가하는 물의 양이 적을수록 전분이 조금만 당화되어도 물이 양이 적어 당도가 급격하게 증가하여 효모의 가수분해 속도를 늦춰 알코올과 유기산 등이 생성이 적어져 관능평가에서 낮은 평가를 얻는다고 보고한 바 있어 본 실험의 기호도 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

4. 최적화

천문동 막걸리의 최적화 접근은 Lee & Jang(2009)을 참고하여 독립변수인 누룩의 양, 물의 비율, 천문동의 비율은 범위 내에서 외관의 기호도, 구수한 맛, 맛의 기호도, 상쾌한 맛, 삼킨 후 느낌, 전반적인 기호도는 최대로 결정하여 모델화에 의해 결정된 반응식을 이용하여 만족하는 수치점(numerical point)을 예측하였다(Table 6). 예측된 최적 값은 누룩의 양 24.50 g, 물의 비율 174.95%, 천문동의 비율 2.40%였다. 최적화의 다른 방법으로 pH, 산도, 당도, DPPH radical 소거능, L 값, ADH, ALDH, 관능검사(외관, 구수한 맛, 전체적인 맛, 상쾌한 맛, 삼킨 후 느낌, 전반적인 기호도)의 모형을 이용한 모형적 최적화(graphical optimization)는 Fig. 5에 나타내었다. 모형적 최적화는 수치적 최적화와 달리 각 반응 모형 그래프의 중첩이 되는 부분을 최적 범위로 정하였고, 결정된 최종화점은 desirability 0.617에 해당하는 누룩의 양 24.50 g, 물의 비율 174.95%, 천문동의 비율 2.40%로 수치 최적화 점과 일치하였다. 이 경우 관능적인 기호도(overlay plot)는 외관 4.30, 구수한 맛 4.40, 전체적인 맛 4.50, 상쾌한 맛 4.910, 삼킨 후 느낌 4.547, 전반적인 기호도 4.60인 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

천문동의 기능적인 면을 활용한 막걸리 제조 조건의 최적

Table 6. Optimum constraint values using two analytical methods in the object goal

Constraints name	Goal	Numerical optimization	Graphical optimization
Nuruk	In range	24.50	24.50
Water	In range	174.98	174.98
<i>Asparagus cochinchinensis</i>	In range	2.40	2.40
pH	In range	4.50	4.490
Acidity	In range	1.40	1.40
Brix	In range	4.90	4.90
DPPH	Maximum	35.40	35.359
L	In range	54.10	54.147
ADH	Maximum	132.60	132.60
ALDH	Maximum	146.90	146.930
Appearance	Maximum	4.30	4.30
Savory taste	Maximum	4.40	4.40
Taste	Maximum	4.50	4.50
Fresh aroma	Maximum	4.90	4.910
After swallow	Maximum	4.50	4.547
Overall acceptability	Maximum	4.60	4.60

화로 물의 비율(120, 150, 180%), 누룩의 양(10 g, 20 g, 30 g), 천문동의 비율(2, 4, 6%)을 달리하여 품질특성을 조사하고, 관능적 기호도 측면에서 최적화를 하고자 하였다.

Box-behnken design을 이용하여 천문동을 첨가한 막걸리 제조 실험 결과, 이화학적 특성에서 당도는 linear model이 채택되었으며, pH, 산도, DPPH radical 소거능, L값, ADH, ALDH는 quadratic model이 채택되었다. 알코올 함량과 a값, b값은 회귀분석에 대한 설명력이 부족한 것으로 나타났다. 관능검사 항목에서는 외관의 기호도는 linear model, 구수한 맛, 전체적인 맛, 상쾌한 맛, 삼킨 후 느낌, 전반적인 기호도에서는 quadratic model이 채택되었다. 막걸리의 pH는 누룩과 천문동의 함량이 증가할수록 감소하였으며, DPPH radical 소거능은 천문동 첨가량이 가장 큰 영향을 주었다. ADH와 ALDH는 천문동 비율이 높은 시료의 경우 positive control보다 높게 나타났으며, L값은 감소하는 경향을 보였다. 관능검사 결과, 누룩이 양과 물의 양이 너무 적거나, 천문동의 비율이 너무 적거나 많이 첨가할 경우, 기호도는 감소하였으며, 수치적 최적화와 모형적 최적화 결과를 통해 누룩의 양 24.50

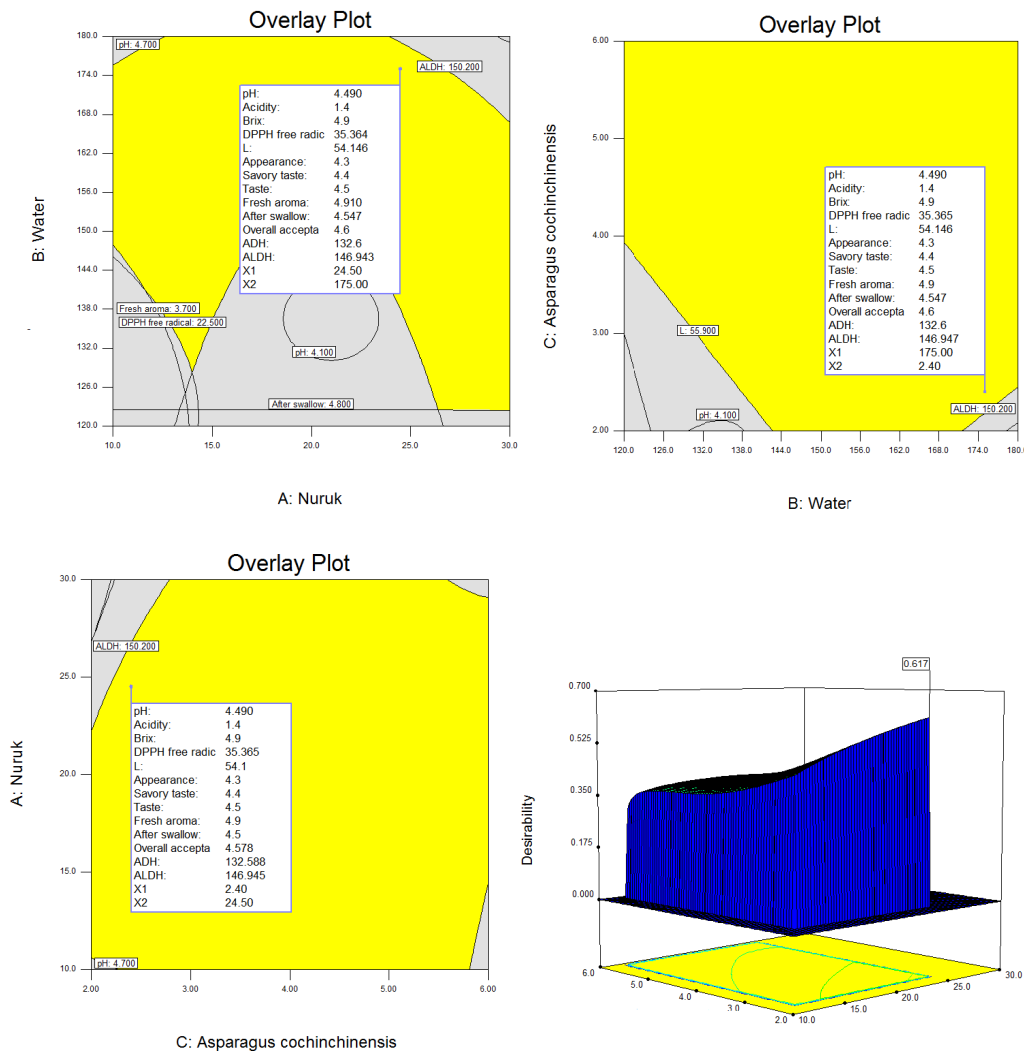


Fig. 5. Three-dimensional plot and overlay plot of common area the optimization mixture.

g, 물의 비율 174.95%, 천문동의 비율 2.40%로 결정되었다.

문헌

- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Technology* 28: 22-30.
- Cheon JE, Baik MY, Choi SW, Kim CN, Kim BY (2013) Optimization of *makgeolli* manufacture using several sweet potatoes. *Korean J Food & Nutr* 26: 29-34.
- Cho EK, Kim HY, Byeon HJ, Kim SW, Choi YJ (2010) Nitrite scavenging and alcohol metabolizing of hot water extract from *makgeoly* and angiotensin converting enzyme inhibitory effect. *J Life Sci* 20: 768-774.
- Choi JH, Jeon JA, Jung ST, Park JH, Park JH, Lee CH, Kim

- TJ, Choi HS, Yeo SH (2011) Quality characteristics of *seoktanju* fermented by using different commercial *nuruks*. *Koorean J Microbiol Biotechnol* 39: 56-62.
- Choi JH, Park JH, Kim SR, Lee CH, Park SY, Kim TJ, Jeong ST, Choi HS, Yeo SH (2012) Quality characteristics of fermented alcoholic beverage with *Astragali Radix* added. *J East Asian Soc Dietary Life* 22: 41-51.
- Choo BK, Ji YH, Moon BC, Yoon TS, Lee AY, Chun JM, Kim HK (2009) Ecological characteristics of th *Asparegus cochinchinensis* (Lour.) Merr. population in south Korea. *Korean J Medicinal Crop Sci* 17: 125-132.
- Ha SJ, Yang SK, Im YW, Kim YJ, Oh SW (2012) Changes in microbial and physicochemical of single-brewed *makgeolli* by high hydrostatic pressure treatment during fermentation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 1176-1181.

- Jeon MH, Lee WJ (2011) Characteristics of blueberry added *makgeolli*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 444-449.
- Jin TY, Chung HJ, Eun JB (2009) The effect of fermentation temperature on the quality of *jinyangju*, a Korean traditional rice wine. *Korean J Food Sci Technol* 38: 414-418.
- Kim BH, Eun JB (2012) Physicochemical and sensory characteristics of *makgeolli* with pomegranate juice concentrate add. *Korean J Food Sci Technol* 44: 417-421.
- Kim DH, Park CB, Kand CH, Kim JU, Lim JR, Choi JS, Choi YG (2003) Environment and growth characteristics of *Asperegus cochinchinensis* (Lour.) Merr. *Korean J Medicinal Crop Sci* 11: 212-215.
- Kim GM, Jung WJ, Shin JH, Kanf MJ, Sung NJ (2011) Preparation and quality characteristic of *makgeolli* made with black garlic extract and *sulgidduk*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 759-766.
- Kim MH, Chung YT, Lee JH, Park YS, Shin MK, Kim HS, Kim DH, Lee HY (2000) Hepatic detoxification activity and reduction of serum alcohol concentration of *Hovenia dulcis* Thunb. from Korea and China. *Korean J Medicinal Crop Sci* 8: 225-233.
- Kim MJ, Lee SY, Kim KB, Song EJ, Kim AR, Kim JH, Ji KW, Ahn IS, Ahn DH (2007) Effect of chitosan on shelf- life and quality of *takju*. *J Chitin Chitosan* 12: 198-204.
- Kwak HM, Kim JY, Lom JH, Chung SK, Kwon SH, Jeong HH, Hur JM, Song KS (2005) Changes in chemical composition and biological activities of oriental crude drugs by food processing techniques III - changes of HMF contents from roasted asparagi tuber -. *Kor J Pharmacogn* 36: 235-239.
- Lee EY, Jang MS (2009) Optimization of ingredients for the preparation of Chinese quince(*Chaenomeles sinensis*) jam by mixture design. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 935-945.
- Lee JM, Lee HN, Chang YH (2013) Quality characteristics of *makgeolli* using *Angelica gigas* Nakai water extracts. *J East Asian Soc Dietary Life* 23: 332-340.
- Lee SY, Kim SN, Kim JK (2008) Effect of *Asperegus cochinchinensis* (Lour.) Merr. on the stimulation of osteoblast differentiation and inhibition of osteoclast generation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 16-19.
- Nanji AA, Zakim D (1996) Alcoholic liver disease. In *Hepatology 3rd ed.*, Zakim D, Boyer T(eds). Saunders, Philadelphia. 3: 891-936.
- Park JH, Bae SM, Yook C, Kim JS (2004) Fermentation characteristic of *takju* prepared with old rice. *Korean J Food Sci Technol* 36: 690-615.
- Shin KR, Kim BC, Yang JY, Kim TD (1999) Characterization of *yakju* prepared with yeast from fruit-2. quality characteristics of *yakju* during fermentation. *Korean J Soc Food Sci Nutr* 28: 801-804.
- Son HS, Park BD, Ko BK, Lee CH (2011) Quality characteristics of *takju* produced by adding different amounts of water. *Korean J Food Sci Technol* 43: 453-457.
- Yang HS, Eun JB (2011) Fermentation and sensory characteristic of Korean traditional fermented liquor added with citron juice. *Korean J Food Sci Technol* 43: 438-445.

접 수: 2013년 11월 11일
 최종수정: 2013년 11월 22일
 채 택: 2013년 12월 20일