

Monitoring on Physicochemical Properties of *Liriope platyphylla* by the Use of Four Dimensional Response Surface

Gee-Dong Lee¹, Jung-Ok Kim², Jun-Ho Son², Hak-Yoon Kim^{3*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Joongbu University, Geumsan 312-702, Korea

²Korea Promotion Institute for Oriental Medicine Industry, Gyeongsan 712-210, Korea

³Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

4차원 반응표면분석을 통한 맥문동의 이화학적 특성 모니터링

이기동¹ · 김정옥² · 손준호² · 김학윤^{3*}

¹중부대학교 식품생명과학과, ²한국한방산업진흥원, ³계명대학교 환경대학

Abstract

Four dimensional response surface methodology was used to monitor the extraction conditions and predict the optimum extraction conditions on physicochemical properties of *Liriope platyphylla*. Maximum yield of total soluble solid was 66.02% into range of 35.06~65.70%, and maximum extraction conditions were 16.86 mL/g in ratio of solvent to sample, 99.55°C in extraction temperature and 3.20 hr in extraction time. Maximum extraction conditions of total phenolics were 18.78 mL/g, 97.09°C and 3.71 hr. Maximum content of crude saponin was 6.51% into range of 2.22~6.21 %, and maximum extraction conditions were 21.33 mL/g, 95.49°C and 3.00 hr. Maximum content of reducing sugar was 6.75% into range of 2.43~6.51%, and maximum extraction conditions were 22.93 mL/g, 89.64°C and 3.75 hr. Electron donating ability was maximized in 16.74 mL/g, 99.63°C and 3.16 hr. The range of optimum conditions gained by the superimposed four dimensional response surfaces on total soluble solid, crude saponin and reducing sugar of *Liriope platyphylla* was 15~23 mL/g, 92~100°C and 2.4~5.0 hr. And total soluble solid, total phenolics, crude saponin, reducing sugar, browning color intensity and electron donating ability at the given conditions(20 mL/g, 100°C, 3 hr) within the range of optimum conditions were 65.75%, 1.30 mg/g, 6.33%, 5.93%, 0.11 and 10.52%, respectively.

Key words : *Liriope platyphylla*, physicochemical properties, four dimensional response surface

서 론

맥문동은 백합과에 속하는 다년생 상록 초본식물로 산지의 나무그늘이나 초지 등에서 자생하며 수염뿌리 끝에 짧은 방추형 괴근이 착생하며 이 부위를 약용으로 사용한다. 유럽에서는 화단의 조경용으로 사용되고 있으며, 우리나라를 비롯한 일본 등의 동아시아권 나라에서 약용식물로 재배되고 있다(1). 현재 우리나라에서는 경남 밀양과 충남 청양, 부여 등지에서 약 80%가 재배되고 있으며, 그 외 전남 해남, 경남 고성에서도 재배되고 있다. 우리나라에서는 남부지역에 널리 자생하고 있는 맥문동(*Liriope platyphylla* Wang

et Tang)을 주로 약재로 사용하고 있으며, 이를 한국산 맥문동이라 한다(2,3).

맥문동의 주요 유용성분으로는 스테로이드계 사포닌(steroidal saponin)인 spicatoside 및 ohipogonin 등이 있으며, 그 외 β -sitosterol, stigmasterol, β -sitosterol glucoside, oligosaccharides 등의 다양한 polysaccharides가 함유되어 있다(4,5). 신농본초경에는 진해거담, 자양강장 등에 사용되는 약재로 기록되어 있으며, 본초강목에는 몸을 보호하는 보약으로 성질은 약간 차고 독이 없으며, 맛은 달고 약간 쓰며, 자양강장, 이뇨, 지갈, 만성 기관지염, 만성 인후염, 폐결핵 등의 치료를 위해 사용되고 있다(6).

한방에서는 맥문동을 온경탕, 감초탕, 청심연자식, 맥미지황탕, 증액탕, 생맥산 등에 첨가되어 사용되고 있으며,

*Corresponding author. E-mail : hykim@kmu.ac.kr
Phone : 82-53-580-5918 Fax : 82-53-580-5385

혈당강하, 항염증작용, 항당뇨 및 항암효과가 있는 것으로 알려져 있다(7,8). 맥문동은 과잉섭취에 의한 독성이 없어 식품으로 널리 이용될 수 있는 소재로 활용이 가능하다.

최근 국민소득 향상과 더불어 건강한 식생활과 삶에 대한 중요성을 인식하여 개인의 취향에 맞는 새로운 기능성 음료에 대한 관심이 높아지면서 기능성 물질을 첨가한 다양한 제품에 대한 연구가 보고되고 있다. 이러한 추세에 따라 Ban 등(9)의 항산화 기능을 극대화한 생강음료 제조 연구, You 등(10)의 향기와 천연초를 첨가한 홍삼음료에 대한 기능성 연구, Cha 등(11)의 청피와 모려를 이용한 기능성 건강음료 개발, 그리고 생약재를 이용한 기능성 음료 개발에 관한 연구(12) 등이 보고되어 있다.

본 연구에서는 기존의 한방소재 추출물을 일부 첨가한 단순 가공음료에서 탈피하여 기능성 한방소재를 이용하여 운동선수들의 스테미너 증강에 직접적으로 관여하는 차별화된 한방스포츠음료를 개발하고자 하였으며, 따라서 실험동물의 트레이닝 운동을 통하여 지구력증진 및 피로회복 개선효과를 테스트하기 전 선행연구로 한방소재 중 심폐지구력, 피로회복, 고강도운동수행능력 등의 향상에 효과 있는 것으로 알려진 맥문동 열수추출물의 이화학적 특성을 반응표면분석을 통하여 모니터링하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험재료는 경남 밀양에서 생산된 맥문동(*Liriope platyphylla*)을 (주)옴니허브를 통해 구입하여 사용하였으며, 맥문동 추출을 위해 100 mesh로 분쇄하여 사용하였다.

추출방법

추출조건 설정을 위한 맥문동추출물의 추출방법은 시료 10 g을 취하여 각각 조건별로 가수한 다음, 환류냉각장치로 추출온도와 추출시간을 달리하면서 추출한 후 300 mL로 정용하여 Whatman No. 2 여과지를 사용하여 감압 여과한 것을 추출물의 이화학적 특성 측정에 사용하였으며, 각 조건별로 3회 반복 추출하여 측정하였다.

추출조건 설정을 위한 실험계획

본 실험에서는 4차원 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 이용하여 최적 추출조건에 예측과 추출조건에 따른 추출물의 이화학적 특성을 모니터링하였다. 추출조건을 최적화를 위한 실험계획은 중심합성계획법(13)에 의하여 설계하였고, 반응표면분석을 위해서는 SAS (statistical analysis system) program을 사용하였다.

중심합성계획에 의한 독립변수(X_i)의 실험계획은 Table 1과 같이 추출공정에서 중요한 변수로 고려되는 인자, 즉

시료에 대한 용매비(X_1), 추출온도(X_2), 추출시간(X_3)을 -2, -1, 0, 1, 2의 5단계로 부호화하였다. Table 1에 나타난 독립변수(X_i)는 중심합성계획에 따라 Table 2와 같이 16구간으로 설정하여 추출실험을 실시하였다. 또한 이들 요인변수에 의해 영향을 받는 종속변수(Y_n), 즉 추출물의 이화학적 특성으로서 고형분 함량(Y_1), 총 페놀성 화합물 함량(Y_2), 조사포닌 함량(Y_3), 환원당 함량(Y_4), 갈색도(Y_5) 및 전자공여작용(Y_6)으로 하였으며, 이들은 3회 반복 측정하여 그 평균값을 회귀분석에 사용하였다. 변수들의 추출특성과 그에 상응하는 최적 추출조건은 Mathematica program을 이용하여 4차원 반응표면으로 나타내었다.

Table 1. Levels of extraction conditions

X_i	Extraction conditions	Level				
		-2	-1	0	1	2
X_1	Ratio of solvent to sample (mL/g)	5	10	15	20	25
X_2	Extraction temperature ($^{\circ}$ C)	60	70	80	90	100
X_3	Extraction time (hr)	1	2	3	4	5

Table 2. Central composite design for response surface analysis

Exp. No. ¹⁾	Independent variables					
	Ratio of solvent to sample (mL/g)	Extraction temperature ($^{\circ}$ C)	Extraction time (hr)			
1	20	(1)	90	(1)	4	(1)
2	20	(1)	90	(1)	2	(-1)
3	20	(1)	70	(-1)	4	(1)
4	20	(1)	70	(-1)	2	(-1)
5	10	(-1)	90	(1)	4	(1)
6	10	(-1)	90	(1)	2	(-1)
7	10	(-1)	70	(-1)	4	(1)
8	10	(-1)	70	(-1)	2	(-1)
9	15	(0)	80	(0)	3	(0)
10	15	(0)	80	(0)	3	(0)
11	5	(-2)	80	(0)	3	(0)
12	25	(2)	80	(0)	3	(0)
13	15	(0)	60	(-2)	3	(0)
14	15	(0)	100	(2)	3	(0)
15	15	(0)	80	(0)	1	(-2)
16	15	(0)	80	(0)	5	(2)

¹⁾The number of experimental conditions by central composite design.

추출수율 측정

중심합성계획에 따른 16구간의 추출물 시료에 대하여 고형분, 총 페놀성 화합물, 조사포닌, 환원당, 갈색도 및 전자공여작용에 대한 분석을 실시하였으며, 추출 시료의

고형분 함량은 항량을 구한 수기에 추출액 10 mL를 취하여 105°C에서 증발 건조시켜 항량을 구한 후 그 무게 차이를 측정하여 추출액 조제에 사용된 원료 양의 백분율로 나타내었다.

총 페놀성 화합물 함량 측정

총 페놀성 화합물 함량은 Folin-Denis 법(14)에 의해 비색 정량하였다. 즉, 시료 1 mL에 Folin-reagent 1 mL를 가하여 3분간 정치한 후 10% Na₂CO₃ 1 mL를 혼합하고 1시간 실온에서 방치하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 tannic acid (Sigma Co, USA)용액으로 작성하였다.

조사포닌 함량 측정

조사포닌 함량은 Shibata 등의 방법(15)에 따라 50% ethyl alcohol 추출물 50 g을 취하여 diethylether를 3회 처리하여 지용성 물질을 제거한 후 다시 수포화 n-butanol로 3회 처리하여 얻은 n-butanol 층을 합하여 감압 농축하였다. 이때 모든 조작은 정량적으로 하고, 감압농축물의 항량을 crude saponin 양으로 나타내었다.

환원당 함량 측정

각 추출물 시료용액 1 mL를 시험관에 넣고 dinitrosalicylic acid (DNS) reagent 1 mL를 가하여 잘 혼합한 후 끓는 물에서

15분 동안 중탕시켰다. 상온에서 충분히 식힌 후 증류수 3 mL를 넣고 발색된 정도를 546 nm에서 흡광도를 측정하고, glucose를 이용한 표준검량선으로 환원당 함량(%)을 산출하였다(16).

갈색도 측정

시료의 갈색도는 UV-VIS spectrophotometer (UV-200S, Shimadzu Co, Japan)를 사용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하여 나타내었다.

전자공여작용 측정

추출물의 전자공여작용은 α,α'-diphenyl-β-picrylhydrazyl (DPPH)을 사용한 방법(17)으로 측정하였다. 즉, DPPH 시약 12 mg을 absolute ethanol 100 mL에 용해한 후 50% ethanol 용액을 첨가하여 DPPH 용액의 흡광도를 517 nm에서 약 1.0으로 조정한 후, 추출액 0.5 mL에 DPPH 용액 5 mL를 혼합하여 흡광도를 측정하고 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{전자공여능 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{시료무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

Table 3. Experimental data on physicochemical properties in *Liriope platyphylla* extract under different conditions based on central composite design for four dimensional response surface analysis

Exp.No. ¹⁾	Physicochemical properties					
	Total soluble solid (%)	Total phenolics (mg/g)	Crude saponin (%)	Reducing sugar (%)	Browning color intensity (OD, 420 nm)	Electron donating ability (%)
1	63.79±3.23	1.13±0.06	5.92±0.19	6.30±0.49	0.101±0.01	7.42±0.56
2	64.43±2.12	1.14±0.06	6.21±0.69	5.67±0.28	0.096±0.00	7.78±0.43
3	63.73±7.19	1.09±0.04	4.15±0.80	4.82±0.23	0.071±0.00	4.58±0.32
4	65.70±1.83	1.09±0.05	5.06±0.66	5.46±0.20	0.071±0.00	4.85±0.73
5	55.37±5.22	0.94±0.11	3.98±0.24	4.63±0.57	0.074±0.01	6.78±0.65
6	57.62±1.40	0.93±0.04	4.37±0.23	4.76±0.30	0.067±0.01	6.50±0.48
7	49.49±2.08	0.79±0.05	4.39±0.33	4.12±0.15	0.049±0.00	4.20±0.40
8	50.87±0.80	1.09±0.03	5.67±0.13	4.14±0.39	0.043±0.00	5.13±0.40
9	57.07±0.62	1.06±0.06	5.73±0.14	5.82±0.31	0.088±0.01	5.36±0.46
10	55.51±2.69	1.02±0.08	5.83±0.22	5.58±0.07	0.059±0.02	5.31±0.65
11	35.06±5.85	0.66±0.09	2.22±0.09	2.71±0.31	0.023±0.02	3.44±0.83
12	59.82±3.45	1.10±0.05	4.89±0.32	6.51±0.43	0.058±0.01	5.13±0.52
13	52.91±1.88	1.17±0.05	3.23±0.78	2.43±0.34	0.031±0.00	4.90±0.59
14	65.48±3.66	1.24±0.04	5.52±0.21	5.62±0.66	0.095±0.00	9.95±0.80
15	56.19±1.20	1.13±0.02	5.98±0.60	3.79±0.21	0.059±0.01	5.76±0.27
16	60.17±0.99	1.05±0.03	4.48±0.35	5.54±0.34	0.074±0.01	6.01±0.41

¹⁾The number of experimental conditions by central composite design.

최적 추출조건의 예측 및 실증시험

최적 추출조건은 반응변수인 추출물의 특성 즉, 수율, 총 페놀성 화합물 함량, 환원당 및 조사포닌의 반응표면분석 결과 중복되는 부분의 범위로 예측하였다. 또한 예측된 범위에서 임의의 점을 설정하여 회귀식에 대입한 후 그 예측된 최적 값들에 대하여 검증을 실시하였다.

결과 및 고찰

맥문동의 최적 추출조건을 확립하고자 중심합성계획에 의한 16구간의 추출조건에 따라 추출실험을 실시하고, 이때 얻어진 각각의 추출물에 대하여 고형분, 총 페놀성 화합물, 조사포닌, 환원당, 갈색도 및 전자공여작용에 대한 측정

결과를 Table 3에 나타내었다.

각각의 결과를 이용하여 최적 추출조건을 얻고자 반응표면 회귀분석을 실시하여 각 종속변수 즉, 고형분, 총 페놀성 화합물, 조사포닌, 환원당, 갈색도 및 전자공여작용에 대한 회귀식을 얻었다(Table 4). 또한 변수별 최적 추출조건과 품질특성 값을 예측하여 Table 5에 나타내었으며, 각각의 종속변수에 대한 추출조건의 영향을 Table 6에 나타내었다. 반응변수들의 4차원 반응표면은 Mathematica program으로 용매비, 추출온도 및 추출시간을 독립변수로 하여 Fig. 1~ Fig. 7에 나타내었다.

고형분 함량

맥문동의 추출조건에 따른 고형분 함량을 측정한 결과는 Table 3과 같이 35.06~65.70%의 범위로 측정되었으며, 결

Table 4. Polynomial equations calculated by RSM program for extraction conditions of *Liriope platyphylla*

Responses	Second order polynomials ¹⁾	R ²	Significance
Total soluble solid	$Y_1 = 13.723125+6.519250X_1-0.431750X_2-3.570000X_3-0.088500X_1^2-0.034600X_1X_2+0.007262X_2^2+0.025500X_1X_3+0.005750X_2X_3+0.472500X_3^2$	0.9124	0.0142
Total phenolics	$Y_2 = 4.613125+0.026750X_1-0.079625X_2-0.508750X_3-0.001600X_1^2+0.000250X_1X_2+0.000412X_2^2+0.007000X_1X_3+0.003750X_2X_3+0.012500X_3^2$	0.9371	0.0056
Crude saponin	$Y_3 = -7.223125-0.190375X_1+0.367938X_2-1.228125X_3-0.022250X_1^2+0.011575X_1X_2-0.003513X_2^2+0.011750X_1X_3+0.018875X_2X_3-0.137500X_3^2$	0.9295	0.0078
Reducing sugar	$Y_4 = -27.958750+0.357000X_1+0.663000X_2+0.548750X_3-0.010900X_1^2+0.001400X_1X_2-0.004187X_2^2+0.003500X_1X_3+0.014500X_2X_3-0.258750X_3^2$	0.8727	0.0390
Browning color intensity	$Y_5 = -0.015813+0.007000X_1-0.000800X_2-0.012000X_3-0.000180X_1^2+0.000015000X_1X_2+0.000011250X_2^2-0.000200X_1X_3+0.000075000X_2X_3+0.002000X_3^2$	0.8677	0.0432
Electron donating ability	$Y_6 = 35.802500+0.017000X_1-0.822375X_2-2.001250X_3-0.010500X_1^2+0.004550X_1X_2+0.005225X_2^2+0.000500X_1X_3+0.014000X_2X_3+0.137500X_3^2$	0.9827	0.0001

¹⁾X₁: ratio of solvent to sample (mL/g), X₂: extraction temperature (°C), X₃: extraction time (hr)

Table 5. Predicted levels of optimum conditions for the maximized and minimized responses of variables by the ridge analysis of their response surface

Physicochemical properties	Extraction conditions ¹⁾			Estimated responses	Morphology	
	X ₁	X ₂	X ₃			
Total soluble solid (%)	5.45	74.10	3.02	35.76	(min.)	Saddle point
	16.86	99.55	3.20	66.02	(max.)	
Total phenolics (mg/g)	5.44	79.48	3.58	0.64	(min.)	Saddle point
	18.78	97.09	3.71	1.29	(max.)	
Crude saponin (%)	5.75	87.17	3.25	2.25	(min.)	Maximum
	21.33	95.49	3.00	6.51	(max.)	
Reducing sugar (%)	9.59	63.20	3.09	2.65	(min.)	Maximum
	22.93	89.64	3.75	6.75	(max.)	
Browning color intensity (OD, 420 nm)	5.82	72.40	2.77	0.20	(min.)	Saddle point
	18.00	98.23	3.56	0.10	(max.)	
Electron donating ability (%)	5.32	75.16	3.13	3.51	(min.)	Saddle point
	16.74	99.63	3.16	10.15	(max.)	

¹⁾X₁: ratio of solvent to sample (mL/g), X₂: extraction temperature (°C), X₃: extraction time (hr)

과에 대한 반응표면 회귀식의 R^2 는 0.9124로 유의성이 5% 이내에서 인정되었다(Table 4). 예측된 정상점은 안장점으로 나타났으며, 능선분석을 하여 얻은 최대값은 시료에 대한 용매비 16.86 mL/g, 추출온도 99.55°C 및 추출시간 3.20 hr에서 66.02%로 예측되었다(Table 5). 추출조건에 따른 고형분 함량은 시료에 대한 용매비에 가장 큰 영향을 받고 있었으며(Table 6), Fig. 1과 같이 시료에 대한 용매비가 증가할수록 고형분 함량이 증가하는 것으로 나타났으며, 시료에 대한 용매비가 18 mL/g 이상에서는 온도의 영향을 받아 100°C까지 온도가 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 맥문동의 고형분 함량에 대한 추출시간의 영향은 거의 없는 것으로 나타났는데, 이것은 대부분의 고형분이 가용성 전분질로 구성되어 짧은 시간에 추출되기 때문으로 여겨진다. Kim 등(18)은 맥문동을 열수 추출하여 최적 추출 수율이 23% 정도로 보고하였는데, 이것은 Kim 등(18)이 사용한 맥문동 종류가 *Liriope spicata*로서 본 논문에서 사용된 맥문동(*Liriope platyphylla*)과 다른 종류이기 때문으로 판단된다. 그러나 Chung 등(19)은 본 연구에서와 같은 맥문동(*Liriope platyphylla*)을 사용하여 초음파로 추출하여 수율 69%로 나타나 본 연구결과보다 3% 높은 수율을 보고한 바 있다.

Table 6. Analysis of variables for regression model of physicochemical properties in extraction condition

Physicochemical properties	F-Ratio		
	Ratio of solvent to sample (mL/g)	Extraction temperature (°C)	Extraction time (hr)
Total soluble solid	12.28 ^{***}	2.18	0.07
Total phenolics	14.18 ^{***}	3.15	2.71
Crude saponin	13.70 ^{***}	8.08 ^{**}	3.18
Reducing sugar	5.89 ^{**}	4.64 ^{**}	1.08
Browning color intensity	3.57 [*]	5.33 ^{**}	0.35
Electron donating ability	7.66 ^{**}	67.62 ^{***}	1.14

^{***}Significant at 1% level, ^{**}Significant at 5% level, ^{*}Significant at 10% level.

총 페놀성 화합물 함량

추출조건별 시료의 총 페놀성 화합물 함량은 Table 3에서와 같이 0.66~1.24 mg/g의 범위였으며, 결과에 대한 반응표면 회귀식의 R^2 는 0.9371로 유의성이 1% 이내에서 인정되었다(Table 4). 맥문동 추출물의 총 페놀성 화합물 함량의 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 실시하여 본 결과, 최대값은 1.29 mg/g으로 예측되었으며, 이때의 추출조건은 시료에 대한 용매비 18.78 mL/g, 추출온도 97.09°C 및 추출시간 3.71 hr이었다(Table 5). 총 페놀성 화합물 함량은 시료에 대한 용매비에 가장 큰 영향을 받고 있었으며

(Table 6), 시료에 대한 용매비가 높아질수록 증가하였다 (Fig. 2). 그리고 온도의 영향은 상대적으로 낮았으나 온도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다.

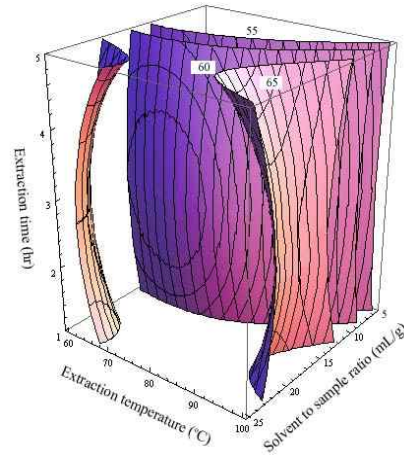


Fig. 1. Response surface for total soluble solid in *Liriope platyphylla* extract at constant values (yield: 55-60-65%) as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

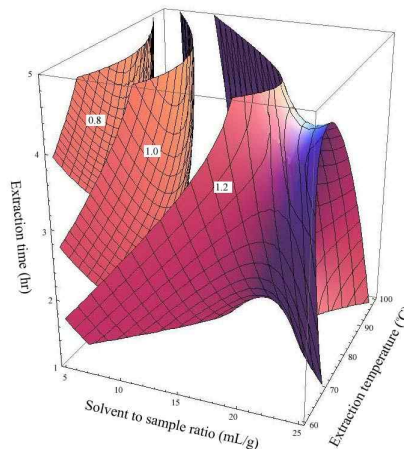


Fig. 2. Response surface for total phenolics in *Liriope platyphylla* extract at constant values (total phenolics: 0.8-1.0-1.2 mg/g) as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

조사포닌 함량

추출조건별 맥문동 추출물의 조사포닌 함량은 Table 3과 같이 2.22~6.21 %의 범위로 나타났으며, 회귀식의 R^2 는 0.9295로 1% 이내에서 유의성이 인정되었다(Table 4). 맥문동 추출물의 조사포닌 함량의 정상점은 최대점으로 최대값은 6.51%로 예측되었으며, 이때의 추출조건은 시료에 대한 용매비 21.33 mL/g, 추출온도 95.49°C 및 추출시간 3.00 hr이었다(Table 5). 조사포닌 함량은 시료에 대한 용매비, 추출온도의 순으로 많은 영향을 받고 있었으며(Table 6), 시료에 대한 용매비 및 추출온도가 증가할수록 높은 값을 나타내었다(Fig. 3). Chung 등(19)은 맥문동의 초음파 추출

에서 4.3%의 조사포닌 함량이 최적 추출로 보고하였으나 본 연구결과에서는 조사포닌이 6.51%로 높게 나타나 초음파 추출보다 열수 추출이 더 우수한 것으로 나타났다. 그리고 맥문동 *Liriope spicata*을 사용한 Kim 등(18)은 총 스테로이드 사포닌이 4.8%로 보고하여 맥문동 *Liriope platyphylla*를 사용한 본 연구결과 보다 낮은 것으로 나타났다.

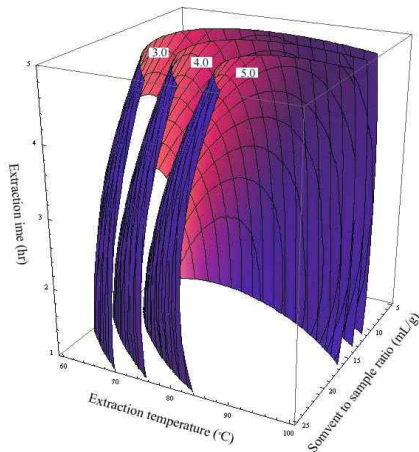


Fig. 3. Response surface for crude saponin content in *Liriope platyphylla* extract at constant values (crude saponin content: 3.0-4.0-5.0%) as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

환원당 함량

추출조건에 따른 맥문동 추출물의 환원당 함량을 측정된 결과 Table 3과 같이 2.43~6.51 %의 범위로 나타났으며, 회귀식의 R²는 0.8727로 5% 이내에서 유의성이 인정되었다(Table 4). 맥문동 추출물의 환원당 함량 최대값은 6.75%로 예측되었으며, 이때의 추출조건은 시료에 대한 용매비 22.93 mL/g, 추출온도 89.64℃ 및 추출시간 3.75 hr이었다

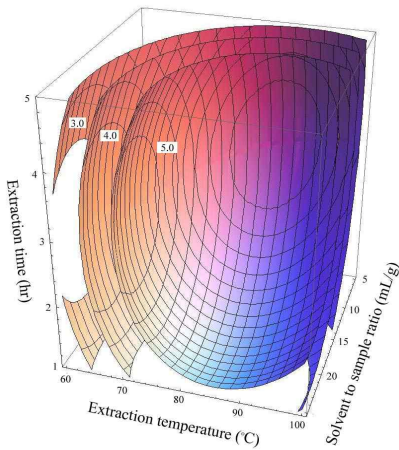


Fig. 4. Response surface for reducing sugar content in *Liriope platyphylla* extract at constant values (reducing sugar content: 3.0-4.0-5.0%) as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

(Table 5). 환원당 함량은 시료에 대한 용매비와 추출온도에 가장 큰 영향을 받고 있었으며(Table 6), 시료에 대한 용매비 및 추출온도가 높아질수록 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 4).

갈색도의 변화

추출조건에 따른 맥문동 추출물의 갈색도는 Table 3과 같이 0.023~0.101의 범위로 나타났으며, 회귀식의 R²는 0.8677로 5% 이내에서 유의성이 인정되었다(Table 4). 맥문동 추출물의 갈색도에 대한 반응표면의 정상점은 안장점으로 최대값은 0.10으로 예측되었으며, 이때의 추출조건은 시료에 대한 용매비 18.00 mL/g, 추출온도 98.23℃ 및 추출시간 3.56 hr이었다(Table 5). 갈색도는 추출온도에 가장 큰 영향을 받고 있었으며(Table 6), 시료에 대한 용매비, 추출온도 및 추출시간이 증가할수록 높은 값을 나타내었다 (Fig. 5). 이러한 경향은 환원당의 4차원 반응표면과 일치하는 경향으로 갈변의 원인 물질인 환원당과 갈변물질의 추출 패턴이 같음을 확인 할 수 있었으며, 시료에 대한 용매비 및 추출시간이 증가할수록 갈색도가 증가한다는 Kim 등 (18)의 결과와도 일치하는 것으로 나타났다.

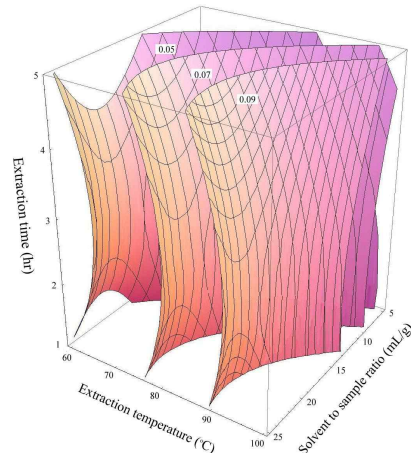


Fig. 5. Response surface for browning color intensity in *Liriope platyphylla* extract at constant values (browning color intensity: 0.05-0.07-0.09) as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

전자공여작용

각각의 추출조건에 따른 추출물의 전자공여작용은 3.44~9.95%의 범위로 나타났으며, 회귀식의 R²는 0.9827로 유의성이 1% 이내에서 인정되었다(Table 3, Table 4). 전자공여작용은 시료에 대한 용매비 16.74 mL/g, 추출온도 99.63℃ 및 추출시간 3.16 hr일때 최대값 10.15%를 나타내는 것으로 예측되었다(Table 5). 추출조건에 따른 전자공여작용은 추출온도, 시료에 대한 용매비 순으로 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타났다(Table 6, Fig. 6). 따라서 맥문동 추출물의 전자공여작용은 추출온도가 증가할수록 증가하

는 경향을 나타내었는데, 이것은 페놀성 화합물의 추출경향과 다소 유사한 경향이며 조사포닌 함량과는 일치하는 경향을 나타내어 맥문동 추출물에 함유되어 있는 페놀성 화합물과 조사포닌이 전자공여능에 크게 관여하는 것으로 여겨진다. Kim 등(20)과 Yoon 등(21)은 둥굴레, 새송이버섯 등의 페놀성 성분이 전자공여작용을 나타낸다고 보고하였으며, Kim은 더덕 사포닌의 전자공여작용을 조사하여 사포닌의 항산화 작용을 보고한 바 있다(22).

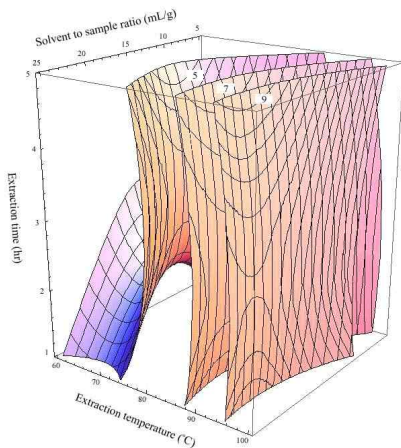


Fig. 6. Response surface for electron donating ability in *Liriope platyphylla* extract at constant values (electron donating ability: 5-7-9%) as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

최적 추출조건의 예측 및 실증시험

맥문동 유용성분의 추출조건을 설정하기 위하여 추출조건별 추출물의 고형분 함량, 총 페놀성 화합물 함량, 조사포닌 함량, 환원당 함량, 갈색도 및 전자공여능에 대한 추출특성을 조사하였다. 그 결과 고형분 함량, 조사포닌 함량 및 환원당 함량의 4차원 반응표면을 superimposing하여 최적 추출조건의 범위를 예측하였다. 맥문동 추출을 위한 최적 조건은 Fig. 7의 dark zone과 같이 고형분 함량, 조사포닌 함량 및 환원당 함량이 시료에 대한 용매비 15~23 mL/g, 추출온도 92~100°C 및 추출시간 2.4~5.0 hr에서 모두 만족하는 범위인 것으로 나타났다(Table 7). 따라서 이와 같이 예측된 최적 조건 범위 내에서 임의의 조건 즉, 시료에 대한 용매비 20 mL/g, 추출온도 100°C 및 추출시간 3 hr을 도출된 회귀식에 대입하여 이화학적 특성을 예측해 보았다. 그 결과 고형분 함량 65.75%, 총 페놀성 화합물 함량 1.30 mg/g, 조사포닌 함량 6.33%, 환원당 함량 5.93%, 갈색도 0.11 및 전자공여능 10.52%로 예측되었다(Table 8). 그리고 맥문동의 품질에 관련된 성분들의 예측치와 동일조건에서 실제 실험하여 얻은 실험치와의 추출효율을 확인하여 회귀식의 신뢰성을 검증해 보았다. 이때 임의의 추출조건은 시료에 대한 용매비 20 mL/g, 추출온도 100°C, 추출시간 3 hr에서

실제 실험을 통하여 얻은 추출물의 품질특성 즉, 고형분 함량, 총 페놀성 화합물 함량, 조사포닌 함량, 환원당 함량, 갈색도 및 전자공여작용은 반응표면분석법에 의해 예측된 값과 유사한 경향으로 나타나 도출된 회귀식의 신뢰성을 검증할 수 있었다(Table 8).

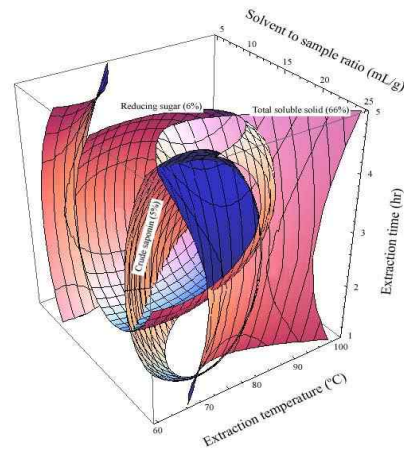


Fig. 7. Superimposed response surface for optimization of yield (66%), crude saponin (5%) and reducing sugar (6%) of *Liriope platyphylla* extract as a function of ratio of solvent to sample, extraction temperature and extraction time.

Table 7. Range of optimum extraction conditions and a given condition for extraction of *Liriope platyphylla*

Extraction conditions	Optimum range	A given condition
Ratio of solvent to sample (mL/g)	15 ~ 23	20
Extraction temperature (°C)	92 ~ 100	100
Extraction time (hr)	2.4 ~ 5.0	3

Table 8. Predicted and experimental values of response variables for extraction condition of *Liriope platyphylla* at a given condition¹⁾ within the range of optimum conditions

Physicochemical properties	Predicted values	Experimental values
Total soluble solid (%)	65.75	64.20
Total phenolics (mg/g)	1.30	1.21
Crude saponin (%)	6.33	6.47
Reducing sugar (%)	5.93	6.34
Browning color intensity (OD, 420 nm)	0.11	0.09
Electron donating ability (%)	10.52	9.87

¹⁾A given condition: 20 mL/g in ratio of solvent to sample, 100°C in extraction temperature, and 3 hr in extraction time.

요 약

본 연구는 맥문동의 이화학적 특성을 모니터링하고 최적

추출조건을 예측하고자 4차원 반응표면분석을 사용하였다. 맥문동의 추출조건에 따른 고형분 함량은 35.06~65.70%의 범위로서, 최적 추출조건이 시료에 대한 용매비 16.86 mL/g, 추출온도 99.55°C 및 추출시간 3.20 hr에서 66.02%였다. 총 페놀성 화합물 함량은 0.66~1.24 mg/g의 범위로서, 최적 추출조건이 18.78 mL/g, 97.09°C 및 3.71 hr이었다. 조사포닌 함량은 2.22~6.21 %의 범위로서 최적 추출조건은 시료에 대한 용매비 21.33 mL/g, 추출온도 95.49°C 및 추출시간 3.00 hr이었다. 환원당 함량의 범위는 2.34~6.51 %로서, 최대값이 6.75%이며, 추출조건은 22.93 mL/g, 89.64°C 및 3.75 hr이었다. 전자공여작용의 최적조건은 16.74 mL/g, 99.63°C 및 3.16 hr이었다. 맥문동 유용성분인 고형분 함량, 조사포닌 함량 및 환원당 함량의 반응표면을 superimposing하여 얻은 최적 추출조건의 범위는 시료에 대한 용매비 15~23 mL/g, 추출온도 92~100°C 및 추출시간 2.4~5.0 hr로 나타났으며, 예측조건 범위내의 임의의 조건 (20 mL/g, 100°C, 3 hr)에서 고형분 함량 65.75%, 총 페놀성 화합물 함량 1.30 mg/g, 조사포닌 함량 6.33%, 환원당 함량 5.93%, 갈색도 0.11 및 전자공여작용 10.52%로 예측 및 확인되어 추출수율과 기능성 성분이 높은 최적 추출조건을 설정하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지역전략기획기술개발사업(과제 번호 : 70004885) 연구비지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Song JH, Baek SY, Lee DH, Jung JH, Kim HK, Lee JS (2011) Screening of fungal *Nuruk* and yeast for brewing of *Gugija-Liriope tuber* traditional rice wine and optical fermentation condition. *Kor J Mycol*, 39, 78-84
- Kim SD, Ku YS, Lee IZ, Kim ID, Youn KK (2001) General components and sensory evaluation of hot water extract from *Liriope tuber*. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 30, 20-24
- Shin JS (2002) Saponin composition of *Liriope platyphylla* and *Ophiopogon japonicus*. *Korean J Crop Sci*, 47, 236-239
- Kim SD, Ku SY, Lee IZ, Kim MK, Parr IK (2000) Major components in fermented beverages of *Liriope tuber*. *J East Asian Soc Dietary Life*, 10, 25-30
- Lee SK, Park JH, Kim YT (2009) A study on the antioxidation and antimicrobial effect of "Megmoondong(*Liriope platyphylla* Wang et Tang)" water extracts. *Korean J Food & Nutr*, 22, 279-285
- Han DS (1993) *Pharmacognosy* (5th ed.). Dongmyungsa, Seoul, Korea, p 148
- Tada S, Saitoh T, Shoji J (1980) Studies on the constituents of *Ophiopogon tuber*, VII. *Chem Pharm Bull*, 28, 2487-2493
- Watanabe Y, Sanada S, Ida Y, Shoji J (1984) Comparative studies on the constituents of *Ophiopogon tuber* and its congeners. *Chem Pharm Bull*, 32, 3994-4002
- Ban YJ, Baik MY, Hahm YT, Kim HK, Kim BY (2010) Optimization of processing conditions for making a black ginger and design mixture for black ginger drinks. *Food Engineering Progress*, 14, 112-117
- You SG, Kim SW, Jung KH, Moon SK, Yu KW, Choi WS (2010) Effect of *Astragali Radix* and *Opuntia humifusa* on quality of red ginseng drink. *Food Engineering Progress*, 14, 299-306
- Cha WS, Kim CK, Kim JS (2002) On the development of functional health beverages using *Citrus reticulata*, *Ostrea gigas*. *Korean J Biotechnol Bioeng*, 17, 503-507
- Park SH, Hwang HS, Han JH (2004) Development of drink from composition with medicinal plants and evaluation of its physiological function. *Korean J Nutr*, 37, 364-372
- Myers RH (1971) *Response Surface Methodology*. Allyn and Bacon Inc, Boston, p 132
- Amerin MA, Ough CS (1958) *Method for Analysis of Musts and Win*. Wiley & Sons, New York, p 176-180
- Shibata M, Noguchi R, Suzuki M, Iwase H, Soeda K, Niwayama K, Kataoke E, Hamano M (1971) Pharmacological studies on medicinal plant components. I. On the extracts of *Ophiopogon* and some folk medicine. *Proc Hoshi Pharm*, 13, 66-76
- Miler GL (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal Chem*, 31, 426-428
- Blois MS (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199-1200
- Kim SD, Ku YS, Lee IZ, Park IK, Youn KS (2001) Optimization for hot water extraction condition of *Liriope spicata* Tuber using response surface methodology. *Korea J Postharvest Sci Technol*, 8, 157-163
- Chung BW, Lee HC, Lee EM, Kwak IS, Kim HJ, Lee BS (2004) Optimization of extraction conditions of *Liriope platyphylla* (*Maekmoondong*) by response surface methodology. *Journal of Engineering Research*, 35, 25-30

20. Kim KT, Kim JO, Lee GD, Kwon JH (2005) Antioxidative and nitrite scavenging activities of *Polygonatum odoratum* root extracts with different steaming and roasting conditions. Korea J Food Preserv, 12, 166-172
21. Yoon SR, Lee MH, Kim HK, Lee GD (2006) Change in functional properties by extraction condition of roasted *Pleurotus eryngii*. J Korea Soc Food Sci Nutr, 35, 262-270
22. Kim YH (2007) Antioxidant activity of saponin from *Do-do-k* (*Codonopsis lanceolata*). Department of Biotechnology and Informatics Engineering, Sangmyung University, p 1-18

(접수 2012년 5월 7일 수정 2012년 7월 6일 채택 2012년 7월 13일)