

반응표면분석법을 이용한 숙지황의 마이크로웨이브 추출과정 최적화

이보경 · 정지은 · 최용희
경북대학교 식품공학과

Optimization of Microwave-assisted Extraction Process of *Rehmannia Radix preparata* by Response Surface Methodology

Bo-Kyung Lee, Ji-Eun Jung and Yong-Hee Choi

Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University

Abstract

Response surface methodology (RSM) was applied to monitor the characteristics of microwave-assisted extraction (MAE) for optimizing extraction conditions of total yield, total phenolics, electron donating ability, hydroxyl radical scavenging activity, hypoglycemic effect. A central composite design was used to determine effects of microwave power (X_1) and extraction time(X_2) on dependent variables(Y_n) of extracts. Coefficients of determination(R^2) of models for dependent variables ranged from 0.8219 to 0.9816. Extraction time had a greater effect than microwave power in the extraction of total yield. As the extraction time increased, the total yield increased. However, microwave power played a minor role. Electron donating ability, hydroxyl radical scavenging activity and hypoglycemic effect reached maximum at the microwave power of 70~100 W and extraction time of 4~6.5 min. The optimum ranges were 50% in ethanol concentration, 84 W microwave power and 5.5 min in extraction time. Predicted values at the optimized conditions were acceptable when compared as experimental values.

Key words: Optimization, Microwave-assisted extraction(MAE), *Rehmannia Radix preparata*

서 론

한방에서 보약으로 알려지고 있는 지황(*Rehmannia glutinosa* Liboschitz)은 현삼과 (*Scrophulariaceae*)에 속하는 다년초로서 그 뿌리를 약으로 사용한다. 생지황은 해열 보약, 지혈약과 염증에 의해 열이 세계 오르고 갈증이 나는데, 지황을 양건한 건지황(*Rehmannia Radix*)은 보약, 지혈약, 이뇨약, 토혈, 변비, 성욕항진, 당뇨병, 방광 및 요도의 염증성 질병 등에 쓰이며, 황주, 백주 또는 사인주 등으로 구증 구폭한 숙지황(*Rehmannia Radix preparata*)은 보약, 빈혈, 위황병, 병후 및 산후 쇠약, 여러 가지 소모성 질병, 뇌빈혈, 자궁출혈 등에 그 약효를 달리하

여 사용하고 있다. 이들 중 약재로는 숙지황이 가장 잘 알려져 있으며 효능도 높은 것으로 나타나고 있다(Erkki and Pekka, 1986; Oshio and Inouye, 1981). 또한, 지황에는 catalpol, dihydrocatalpol, rehmannioside 등의 iridal glycoside가 있으며 그 외에도 daucisterol, stachose, 아미노산, 미량원소 및 β -sitosterol 등과 같은 다양한 중요 물질들이 밝혀지면서 이들을 이용한 가공기술의 개발이 요구되고 있다(Zhongyu and Tongbao, 1984). 특히 지황은 생약재이기 때문에 유용성분을 일정한 기준에 따라 가공 처리될 수 있도록 추출조건의 확립이 이루어져야 한다. 그러나 이미 오래전부터 일반적으로 사용되고 있는 압착법, 증류법, 용매추출법 등의 전통적인 방법들은 추출효율, 추출시간 등의 기술적 측면에서 개선의 필요성이 지적되고 있어 새로운 추출공정의 기술개발이 요구되고 있다(Pare *et al.*, 1991; Xuejun *et al.*, 2003). 최근 이러한 추출방법의 문제점을 보완하기 위하여 천연물로부터 생리활

Corresponding author: Yong-Hee Choi, Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University, 1370 Sankyudong, Pukgu, Taegu 702-701, Korea.
Phone: +82-53-950-5777, Fax: +82-53-950-6772
E-mail: yhechoi@knu.ac.kr

성물질을 신속하고도 효율적으로 추출하는 기술이 소개되어 일부 식품에 적용되고 있는 마이크로웨이브를 이용한 추출공정은 (microwave-assisted extraction, MAE) “less solvent, less time, less waste, better quality” 등의 특성을 바탕으로 기술적 적용가능성을 제시하고 있다(Chen and Spiro, 1994; Mattina *et al.*, 1997). MAE는 기존의 전자레인지 등에서의와 같이 air steam상의 에너지가 아니라 시료 혼합물 전체가 집중적으로 마이크로웨이브 에너지에 노출됨으로써 대상 물질의 유용성분이 국소적인 과열현상으로 용리되는 특성을 가진다(Pare *et al.*, 1994; Yong *et al.*, 2003).

따라서 본 연구에서는 국내산 숙지황의 유용성분을 효율적으로 추출할 수 있는 공정을 개발하고자 반응표면분석법에 의한 마이크로웨이브 추출공정 최적화를 실시하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용된 국내산 숙지황은 (주)우성제약으로부터 제공 받아 음건한 후 분쇄기로 분말화하여 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다. 실험에 사용한 숙지황 건조분말의 일반성분 분석결과는 Table 1과 같다.

MAE 장치 및 추출물 제조

본 연구에 사용된 마이크로웨이브 추출장치(Open vessel type: Microdigest unit, Prolabo, France)는 2,450 MHz 주파수에 에너지(power)와 시간조절(time control) 등이 가능하며 환류 냉각관이 장착되어 있다. MAE공정을 이용한 국내산 숙지황의 유용성분 추출조건을 선정하기 위해 에탄올 농도를 50%로 고정하고 microwave power와 추출시간을 변화시키면서 추출하였다. 즉, 분말시료 2.5 g에 50 mL의 50% 에탄올 추출용매를 가하고 각 추출조건에 따라 추출한 후 여과 및 정용하여 시험 용액으로 사용하였다.

MAE 공정 최적화를 위한 실험계획

Table 2. Uncoded and coded independent variables used in RSM design of microwave-assisted extraction of *R. Radix Preparata*

X _i	Independent variable	Coded levels				
		-2	-1	0	+1	+2
X ₁	Microwave power (W)	40	60	80	100	120
X ₂	Extraction time (min)	1	3	5	7	9

마이크로웨이브를 이용한 국내산 숙지황의 추출 조건 최적화를 위해 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 사용하였으며 예비실험의 결과를 바탕으로 중심합성계획(central composite design)을 실시하였다. 즉, 추출공정의 독립변수 (X_i)는 microwave power(X₁)와 추출시간(X₂)에 대한 실험범위를 선정하여 5단계(-2, -1, 0, 1, 2)로 부호화하였으며 Table 2에 나타내었다. 또한 이들의 독립변수에 영향을 받는 종속변수 (Y_n)는 추출수율 (Y₁), 총 페놀함량 (Y₂), 전자공여작용 (Y₃), Hydroxyl radical 소거활성(Y₄), 혈당강하활성(Y₅)으로 3회 반복으로 측정하여 각각 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석에 의한 최적조건의 예측은 SAS(statistical analysis system) program을 이용하였으며(SAS Institute, 1990), 회귀분석 결과 임계점이 최대점이거나 최소점이 아니고 안장점일 경우에는 능선분석을 하여 최적점을 구하였다. 회귀식은 다음과 같다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{22}X_2^2$$

추출특성의 모니터링과 최적조건범위 예측은 각 종속변수의 contour map을 이용하여 분석하였다.

추출수율

각 조건에서 얻어진 추출물의 총 추출수율은 추출물을 105°C에서 증발 건조 시킨 후 그 무게를 측정하였으며, 추출물 조제에 사용된 원료량(건물량)에 대한 백분율로써 추출수율(%)을 나타내었다(Kwon *et al.*, 2003).

총 페놀성 화합물 함량

각 추출물의 총 페놀성 화합물 함량은 Folin-Denis

Table 1. Proximate composition of *R. Radix Preparata* (unit : %)

Moisture	Crude ash	Carbohydrate	Crude lipid	Crude protein
6.89±0.06 ¹⁾	2.89±0.02	83.52±0.86	1.55±0.76	5.12±0.12

¹⁾Means of triplicate±standard deviation.

법에 따라 비색 정량하였다 (Amerine and Ough, 1980). 즉, 추출물을 일정하게 희석한 검액 2 mL에 Folin-Ciocalteu 시약 2 mL를 혼합하고 3분 후 10% Na₂CO₃ 2 mL를 넣어 진탕하고 1시간 실온에서 방치하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 gallic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 총 페놀성 화합물 함량을 구하였다.

전자공여작용

각 추출물의 전자공여작용 (electron donating ability, EDA) 시험은 α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl (DPPH)를 사용한 방법으로 측정하였다 (Blois, 1958). 즉, 에탄올 적정량에 각 추출물 0.2 mL와 4×10^{-4} M DPPH용액 0.8 mL를 가하여 10 초간 혼합하고 10 분간 방치 후 525 nm에서 흡광도를 측정하여 대조구와 비교하였으며 다음과 같이 계산하였다.

EDA (%) = $(1 - (\text{시료 첨가시 흡광도} / \text{공시험의 흡광도})) \times 100$

Hydroxyl radical 소거활성

Hydroxyl radical 소거활성은 2-deoxyribose oxidation법으로 측정하였다 (Chung *et al.*, 1997). 0.1 mM FeSO₄/0.1 mM EDTA · 2 Na 200 μ L, 10 mM 2-deoxyribose 200 μ L, 10 mM H₂O₂ 200 μ L를 혼합하고, 최종볼륨이 2 mL가 되도록 0.1 M phosphate buffer (pH 7.4)를 가하였다. 0-time의 경우 0°C에서, 대조구 및 시료 처리구는 37°C에서 4 시간 반응 시킨 후, 2.8% TCA (trichloroacetic acid) 1 mL를 가하여 반응을 종료시키고 1% TBA (thiobabituric acid)/50 mM NaOH 1 mL를 가하여 100°C에서 10분간 가열하고 급냉시킨 후 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. Hydroxyl radical 소거활성은 다음과 같이 계산하였다.

Hydroxy radical scavenging activity =

$$\left(1 - \frac{\text{Sample O.D.} - 0 \text{ time O.D.}}{\text{Control O.D.} - 0 \text{ time O.D.}}\right) \times 100$$

혈당강하 활성

생체 내에서 혈당상승에 결정적인 역할을 하는 α -glucosidase (1.34 units/mL)를 이용하여 혈당강하 실험을 실시하였으며 기질용액은 5 mM para-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside를 사용하였다. 효소액 100 μ L와 각각의 추출물 20 μ L를 96-well plate에 분주한 후 405 nm에서 흡광도를 측정한다 다음 기질용액 100 μ L를 첨가 한 후 15분간 반응시킨 후 405

nm에서 흡광도를 측정하여 흡광도 변화로부터 효소활성 저해율을 계산하였다.

최적 MAE 추출조건의 예측

추출조건 별 각 추출물의 최적 추출조건 예측은 품질특성에 대한 contour map superimposing 했을 때 중복되는 부분의 범위에서 최적 추출조건 범위를 설정하였다. 또한 예측된 범위에서 임의의 중심점을 최적조건으로 예측하고, 각 회귀식에 대입하여 예측값을 설정하였다. 예측된 추출조건에서 실제 추출실험을 실시한 후 추출물의 특성을 측정하여 실제값과 예측값들을 비교하였다.

결과 및 고찰

마이크로웨이브를 이용한 국내산 숙지황의 추출조건 최적화를 위하여 중심합성계획을 실시하였으며 본 실험에서 공정변수인 microwave power와 추출시간에 따른 숙지황 추출물의 추출수율, 총 페놀 함량, 전자공여작용, hydroxyl radical 소거활성, 혈당강하 활성의 값을 Table 3에 나타내었다. Table 3의 결과를 바탕으로 SAS 프로그램을 사용하여 분석한 결과는 Table 4와 5에 나타내었으며 추출수율, 총 페놀 함량, 전자공여작용, hydroxyl radical 소거활성, 혈당강하 활성과 같은 품질특성에 추출조건이 미치는 영향을 보기 위해 Fig. 1~5에 반응표면곡선을 나타내었다.

추출조건이 추출수율에 미치는 영향

추출조건이 추출수율에 미치는 영향은 Fig. 1에 나타내었다. 추출시간이 microwave power보다 수율에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 추출시간이 증가할수록 microwave power는 낮을수록 수율이 높게 나타났다. 또한 지나친 microwave power는 오히려 수율을 저하시키는 것으로 나타났으며 너무 낮은 조건의 추출시간에서도 수율은 상대적으로 낮게 나타났다. 본 실험결과는 50%의 에탄올농도에서 실시한 실험 결과인데, 이 등(2000)은 마이크로웨이브를 이용한 당귀의 유용성분 추출 시 에탄올 50% 농도에서 추출수율이 가장 높게 나타났으며 그 이상의 농도에서는 감소한다고 하였으며 또한 microwave power는 80 W에서 당귀의 유용성분 추출 시 효율적이라고 보고한 바 있으며 본 연구결과와 유사하였다. Table 4에서와 같이, R²는 0.9816로 높은 상관관계를 나타내었으며 1%의 수준에서 유의성이 인정되었다. 예측된 회귀식은 다

Table 3. Experimental points of the central composite design and the experimental data of *R. Radix Preparata*

Exp.No. ¹⁾	Microwave power (X ₁)	Extraction time (X ₂)	Yield (%)	Total phenolic (%)	EDA ²⁾ (%)	HRSA ³⁾ (%)	HE ⁴⁾ (%)
1	100(+1)	7(+1)	2.16	1.07	27.52	73.29	58.44
2	100(+1)	3(-1)	1.53	1.18	29.73	84.44	59.92
3	60(-1)	7(+1)	3.09	0.58	21.89	72.19	51.56
4	60(-1)	3(-1)	1.65	1.08	24.67	76.66	54.20
5	80(0)	5(0)	2.25	1.79	33.53	88.88	64.52
6	80(0)	5(0)	1.89	1.78	33.72	88.68	64.69
7	120(+2)	5(0)	1.21	0.91	26.34	72.90	56.32
8	40(-2)	5(0)	2.55	0.48	16.34	70.00	47.24
9	80(0)	9(+2)	3.97	0.54	18.78	72.22	49.90
10	80(0)	1(-2)	1.58	0.39	10.35	66.90	41.23

¹⁾experiments were performed in random order

²⁾electron donating ability

³⁾hydroxyl radical scavenging activity

⁴⁾hypoglycemic effect

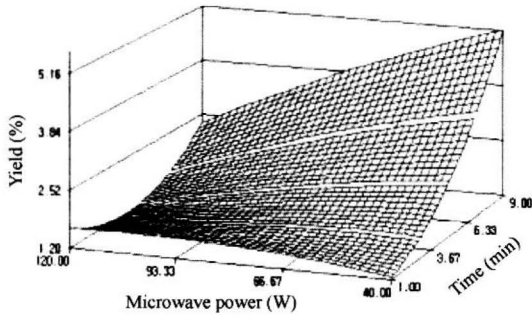


Fig. 1. Effects of extraction conditions on total yield (%).

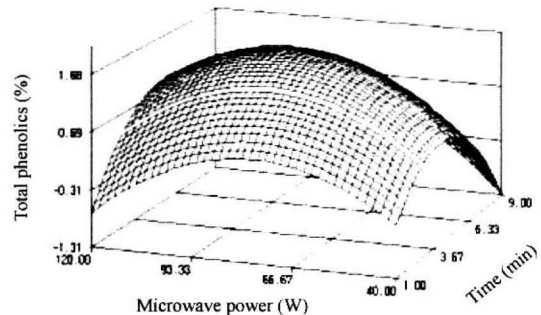


Fig. 2. Effects of extraction conditions on total phenolics (%).

음과 같다.

식에서 X₂²항이 5% 이내의 높은 유의성을 나타내어 추출시간이 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. Table 5에서와 같이, 반응표면분석을 통해 예측된 속지항의 정상점은 4.20%로 이때의 추출조건은 63.92 W와 8.66분이었다.

추출조건이 총 페놀 함량에 미치는 영향

총 페놀함량의 상관계수는 0.9149로 5%의 수준에서 유의성이 인정되었으며 예측된 회귀식은 다음과 같다(Table 4).

식에서 X₁, X₁², X₂²항은 5% 이내의 유의성을 보이고 있다. 반응표면 곡선을 나타낸 Fig. 2에서 총 페놀 함량에 대한 microwave power와 추출시간의 영향은 낮은 microwave power에서는 추출시간의 영향을 많이 받고 있으며 -1~+1의 구간인 추출시간(3~7분)과 microwave power(60~100 W)에서는 총 페놀 함량이 상대적으로 높게 나타났으며 그 외의 범

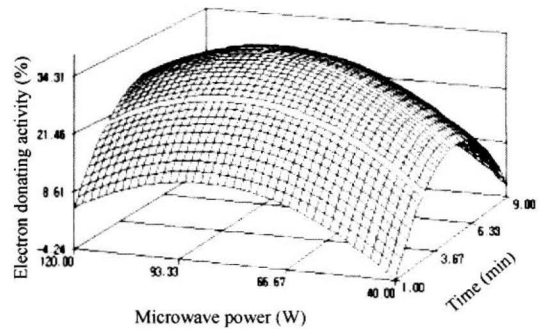


Fig. 3. Effects of extraction conditions on electron donating ability (%).

위에서는 감소하는 경향을 보였다. 즉, 아주 낮거나 높은 조건에서는 그 함량이 감소하는 것으로 나타났다. Kim 등(2002)은 팽이버섯 추출물의 총 페놀 함량은 50% 에탄올 용매를 추출용매로 사용 시 90 W의 microwave power가 가장 효율적이었으며 1~10

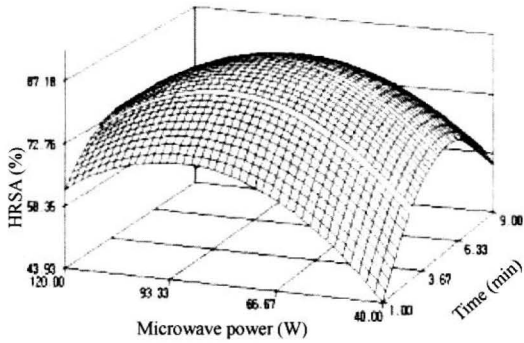


Fig. 4. Effects of extraction conditions on hydroxyl radical scavenging activity (%).

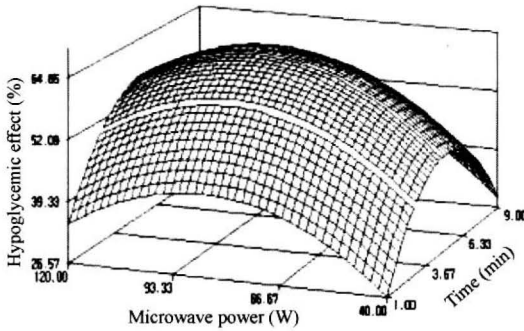


Fig. 5. Effects of extraction conditions on hypoglycemic effect (%).

분의 추출시간 동안에는 추출시간에 따라 총 페놀 함량은 비례적으로 증가한다고 보고한 바 있다. 또한 Lee 등(2000)은 천연물의 유용성분 추출 시 100 W 이하가 효율적이라고 보고한 바 있어 본 연구결과와 일치하였다. 반응표면분석을 통해 예측된 정상점은 추출조건이 117.32 W와 6.43분일 때 최대점이 0.9444로 총 페놀 함량은 예측되었다(Table 5).

추출조건이 전자공여작용에 미치는 영향

마이크로웨이브 추출공정 조건별 추출물의 전자공여작용은 Table 3에 나타내었으며 이에 대한 회귀식과 반응표면 곡선은 Table 4와 Fig. 3에 각각 나타내었다. R²값은 0.9411으로 5% 이내의 수준에서 유의성이 인정되었으며 예측된 회귀식은 다음과 같다(Table 4).

식에서, X₁, X₂, X₁², X₂²은 5% 이내의 높은 유의성을 보이고 있다. 반응표면 곡선을 나타낸 Fig. 3에서 전자공여작용에 대한 microwave power와 추출시간의 영향은 75~105 W범위의 microwave power와 4~6.5분 범위의 추출시간에서 상대적으로 높은 전자공여능을 보였으나 microwave power와 추출시간이 너무 낮거나 아주 높은 조건에서는 상대적으로 전자공여작용이 낮게 나타났다. Kim 등(2002)의 연구에서도 팥이버섯의 마이크로웨이브 추출 시 90 W에서 가장 효율적이며 120 W 이상의 지나친 microwave power조사에서는 총 페놀함량이 감소하였다고 보고 한 바 있는데 이는 본 연구결과와 일치한다. 이상의 전자공여작용에 대한 추출특성은 총 페놀 함량과 유사한 특성을 보였다. 이는 천연물의 환원성 및 항산화 작용이 배당체, 갈변물질, 페놀성 물질 등과 밀접한 관계가 있음을 시사한다(Lee 등, 1995; Kim 등, 1981). 또한 예측된 정상점은 26.6748%으로 예측되었으며 이때 추출조건은 119.63 W, 5.54 분이였다(Table 5).

추출조건이 hydroxyl radical 소거활성에 미치는 영향

Hydroxyl radical은 산소로부터 3전자 환원되어 생성되며, 체내에서도 hydrogen peroxide와 금속 이온에 의하여 생성된다. Hydroxyl radical은 반감기가 10⁻⁹ sec로 유리 라디칼 중에서 가장 짧고, 반응성이

Table 4. Estimated coefficients of second order response models for MAE of *R. Radix Preparata*

	Yield (%)	Total phenolic (%)	EDA (%)	HRSA (%)	HE (%)
Intercept	+0.2956	-3.8725	-56.7408	-28.0760	-25.9328
X ₁	+0.0261	+0.0969	+1.3432	+1.9172	+1.3570
X ₂	+0.2334	+0.5804	+12.1513	+14.6097	+11.7621
X ₁ X ₁	-0.0001	-0.0006	-0.0077	-0.0102	-0.0079
X ₁ X ₂	-0.0050	+0.0024	+0.0035	-0.0417	+0.0072
X ₂ X ₂	+0.0456	-0.0788	-1.1941	-1.1477	-1.1791
R ²	0.9816	0.9149	0.9411	0.8219	0.9408
Pr>F	0.0001	0.0290	0.0143	0.1140	0.0144

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{22}X_2^2$$

Table 5. Predicted levels of extraction conditions for the maximum responses of total yield, total phenolics, electron donating ability and hydroxyl radical scavenging activity of *R.Radix Preparata* by the ridge analysis

Y_n	X_1 (power/W)	X_2 (Time/min)	Max.	Morphology
Total yield	63.92	8.66	4.1977	Saddle point
Total phenolics	117.32	6.43	0.9444	Max.
EDA ¹⁾	119.63	5.54	26.6748	Max.
HRSA ²⁾	113.06	2.74	75.5920	Max.
HE ³⁾	119.29	5.74	57.0500	Max.

¹⁾ electron donating ability

²⁾ hydroxyl radical scavenging activity

³⁾ hypoglycemic effect

크므로 생체 내 산화에 가장 중요한 역할을 한다 (Ng 등, 2000). Fenton 반응에 의하여 생성된 hydroxyl radical의 소거활성을 2-deoxyribose oxidation법으로 측정된 결과는 Table 3에 나타내었으며 66.90~88.88로 큰 차이를 보였다. 또한 Microwave power와 추출시간이 hydroxyl radical 소거활성에 미치는 영향을 보기 위해 Fig. 4에 반응표면 곡선을 나타내었는데 hydroxyl radical 소거활성의 경우에도 전자공여작용의 추출특성과 유사한 특성을 보이면서 상당히 유사한 범위로 나타났다. R^2 는 0.8219이고 $Pro>F$ 는 0.114로 상대적으로 낮은 상관관계를 나타냈으며 예측 회귀식은 다음과 같다(Table 4).

식에서, X_1 , X_1^2 , X_2^2 은 5% 이내의 유의성을 나타내고 있다. 반응표면분석을 통해 예측된 숙지황의 정상점은 75.5920%로 예측되었으며 이때의 추출조건은 113.06 W와 2.74분이었다(Table 5).

추출조건이 혈당강하 활성에 미치는 영향

혈당강하 활성의 경우에도 전자공여작용, hydroxyl radical과 유사한 추출특성을 나타냈는데, 아주 낮거나 높은 조건에서는 상대적으로 혈당강하 활성이 낮게 나타났으며 Fig. 5에 혈당강하에 대한 추출조건을 살펴보면 혈당강하, 전자공여작용, hydroxyl radical은 매우 유사한 반응표면 곡선을 나타내고 있음을 알 수 있다. Ahn 등(1999)의 국내산 건지황과 숙지황의 생리활성 비교에 대한 연구결과 63.69%, 56.58%로 숙지황이 건지황보다 우수한 혈당강하 활성을 나타낸다고 보고한 바 있으며 돌연변이원, 발암원에 대한 억제작용 뿐 아니라 암세포에 대한 생육저해 작용이 있음을 확인한 바 있다. 본 실험에서는 한방에서 보약으로 사용되어 온 숙지황이 혈당상승에 관여하는 α -glucosidase의 활성

Table 6. The optimum range of microwave-assisted extraction conditions for response variables by superimposing of contour maps for *R.Radix Preparata*

Extraction conditions	Optimum ranges	Optimum condition
Microwave power (W)	7494	84
Extraction time (min)	4.66.3	5.5

Table 7. Predicted and experimental values of response variables for *R.Radix Preparata* at a given condition within the range of optimum microwave-assisted extraction conditions

Response variables	Predicted values	Experimental values
Total yield	4.23	4.90
Total phenolics	1.52	1.60
EDA ¹⁾	26.74	25.56
HRSA ²⁾	76.80	77.67
HE ³⁾	57.12	59.81

¹⁾ electron donating ability

²⁾ hydroxyl radical scavenging activity

³⁾ hypoglycemic effect

억제작용을 가짐을 확인할 수 있었다. Table 4에서와 같이, R^2 는 0.9408로 5% 수준에서 유의성이 인정되었으며 $Pro>F$ 는 0.0144로 나타났으며 예측된 회귀식은 다음과 같다.

식에서, X_1 , X_2 , X_1^2 , X_2^2 은 5% 이내의 유의성을 나타내고 있다. 반응표면분석을 통해 예측된 숙지황의 정상점은 57.0500%로 예측되었으며 이때의 추출조건은 119.29 W와 5.74분이었다(Table 5).

마이크로웨이브 추출공정 최적화

마이크로웨이브를 이용한 국내산 숙지황의 추출

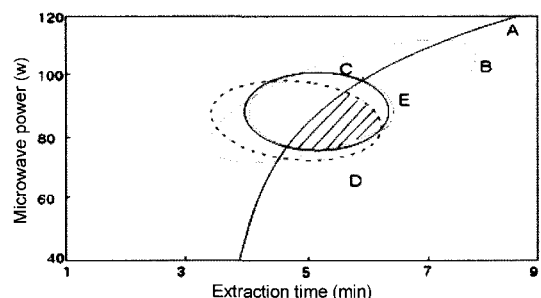


Fig. 6. Superimposing contour map of optimized conditions for yield, total phenolics, electron donating activity (EDA), hydroxyl radical scavenging activity (HRSA), hypoglycemic effect (HE) of *R. Radix Preparata* as functions of ethanol concentration, microwave power and extraction time by microwave-assisted extraction.

(a): yield, (b): total phenolics, (c): electron donating activity, (d): hydroxyl radical scavenging activity, (e): hypoglycemic effect

조건 최적화를 위해 추출물의 특성인 추출수율(Y_1), 총 페놀함량(Y_2), 전자공여작용(Y_3), Hydroxyl radical 소거활성(Y_4), 혈당강하활성(Y_5)의 contour map을 superimposing하여 최적 추출조건 범위를 예측하였다. Fig. 6과 같이 반응표면이 중복된 부분의 범위는 microwave power 74~94 W, 추출시간 4.6~6.3 분으로 나타났으며(Table 6) 이들을 각 회귀식에 대입하여 구한 예측값을 Table 7과 같이 설정하여 실제 추출실험을 실시하고 그 추출물의 특성을 측정하여 본 결과, Table 7과 같이 실제 값들은 예측된 값들과 유사한 수준으로 비교되었다.

요 약

국내산 숙지황의 유용성분을 효율적으로 추출할 수 있는 공정을 개발하고자 반응표면분석법에 의한 마이크로웨이브 추출공정 최적화를 실시하였다. 중심합성계획에 따라 microwave power(X_1), 추출시간(X_2)을 독립변수(X)로 하고 추출물의 특성 즉, 추출수율(Y_1), 총 페놀함량(Y_2), 전자공여작용(Y_3), Hydroxyl radical 소거활성(Y_4), 혈당강하활성(Y_5)을 종속변수로 하여 추출을 실시하였다. 그 결과, R^2 는 0.8219~0.9816으로 나타났으며 추출수율은 추출시간이 증가할수록, microwave power가 감소할수록 증가하였다. 전자공여작용과 hydroxyl radical 소거활성과 혈당강하 활성은 약 70~100 W의 microwave power과 약 4~6.5분의 추출시간의 범위에서 상대적으로 높게 나타났으며 아주 낮거나 높은 조건에서는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이들 추출물의 특성을 모두 만족시키는 최적 추출조건은 microwave power 84 W, 추출시간 5.5분으로 나타났으며 예측된 최적 추출조건의 임의의 점에서 실험한 결과, 각 종속변수들의 예측값과 실제값이 유사하게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 산학협동재단 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

Amerine, M.A. and C.S. Ough. 1980. Methods for analysis of musts and win. Wiley & sons. New York. 176-180
Ahn, S.W., Y.G. Kim and M.H. Kim. 1999. Comparison of biological activities on Rehmannia Radix and R. Radix

Preparata produced in Korea. Korean J. Medicinal Crop Sci. **7**: 257-262
Blois, M.S. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature. **181**: 1199-1201
Chen, S.S. and M. Spiro. 1994. Study of microwave extraction of essential oil constituents from plant materials. J. Microwave Power Electromagn. Energy. **29**: 231-241
Chung, S.K., T. Osawa and S. Kawakishi. 1997. Hydroxyl radical scavenging effect of spices and scavengers from Brown Mustard (*Brassica nigra*). Biotech. Biochem. **61**: 118-124
Erkki, P. and L. Pekka. 1986. HPLC separation and diode-array spectroscopy identification of DNP derivatives of carbonyl compound from whisky. J. of Chronol. **353**: 163-168
Kim, H.K., Kwon, Y.J., Kim, K.H. and Jeong Y.H. 2000. Changes of total polyphenol content and electron donating ability of *Aster glehni* extracts with different Microwave-assisted extraction conditions. Korean J. Food Sci. Technol. **32(5)**: 1022-1028
Kim, H.K., Choi Y.J., Jeong S.W. and Kim K.H. 2002. Functional Activities of microwave-assisted extracted from *Lyophyllum ulmarium*. Korean Journal of Food Preservation. **9(4)**: 358-390
Kwon, J.H., J.M.R. Belanger and J.R.J. Pare. 2003. Optimization of microwave assisted extraction (MAP) for ginseng components by response surface methodology. J. Agric. Food Chem. **51**: 1807-1810
Kim, S. D., Do, J.H. and Oh, H.I. 1981. Antioxidant activity of Panax ginseng browning products. J. Korean Agric. Chem. Soc. **24**: 161-166
Lee, J. W., Lee, S. K., Do, J.H., Sung, H. S. and Shin, K. W. 1995. Browning reaction of fresh ginseng(*Panax ginseng* C.A. Meyer) as affected by heating temperature. Korean J. Ginseng Sci. **19**: 249-253
Lee, S.Y., Shin, S.R., Kim, K.S. and Kwon, J.H. 2000. Establishment of extraction conditions for effective components from *Angelicagigas Nakai* using microwave-assisted process. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. **29**: 442-447
Mattina, M.J.I. W.A.I. Berger and C.L. Denson. 1997. Microwave assisted extraction of taxanes from Taxus biomass. J. Agric. Food Chem. **45**: 4691-4696
Ng, T.B., F. Liu and wang, Z.T. 2000. Antioxidant activity of natural products from plants. Life Sciences. **66(8)**: 709-723
Oshio, H. and H. Inouye. 1981. Iridoid glycosides of *R. glutinosa*. Phytochem. **21**: 133-138
Pare, J.R.J., M. Sigouin and J. Lapointe. 1991. Microwave-assisted natural products extraction. US Patent 5,002. Various international counterparts. **26**: 784
Pare, J.R.J., J.M.R. Belanger and M.R. Stafford, 1994. Microwave-assisted process: a new tool for the analytical

- laboratory. Trends in Analytical Chemistry. **13**: 176-184
- SAS Institute. Inc. 1990. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute. Cary, NC. USA
- Xuejun P, N. Guoguang and L. Huizhou. 2003. Microwave-assisted extraction of tea polyphenols and tea caffeine from green tea leaves. Chemical Engineering and Processing. **42**: 129-133
- Yong, Y.S., Y.K. Ming and S.C. Yuan. 2003. Microwave-assisted extraction of ginsenosides from ginseng root. Microchemical Journal. **74**: 131-139
- Zhongyu, L. and Z. Tongbao. 1984. Monosaccharide content in raw and processed roots of *Rehmannia glutinosa*. J. Phytol. **9**: 17-22