

둥굴레차의 혈당강하 성분을 극대화시킬 수 있는 증자 및 볶음조건의 최적화

김경태¹ · 김정옥² · 이기동² · 김정숙³ · 권중호^{1*}

¹경북대학교 식품공학과

²대구신기술사업단 전통생물소재산업화센터

³계명문화대학 식품영양조리과

Optimization of Steaming and Roasting Conditions for Maximized Hypoglycemic Properties of *Polygonatum odoratum* Tea

Kyung-Tae Kim¹, Jung-Ok Kim², Gee-Dong Lee², Jeong-Sook Kim³ and Joong-Ho Kwon^{1*}

¹Dept. of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²DG-Traditional Bio-Materials Industry Center, Daegu 704-230, Korea

³Dept. of Food Nutrition & Culinary, Keimyung College, Daegu 704-703, Korea

Abstract

Response surface methodology (RSM) was applied in steaming and roasting processes of *Polygonatum odoratum* roots in order to monitor hypoglycemic components and sensory property. In steaming and roasting processes based on the central composite design with variations in steaming time (60~180 min), roasting temperature (110~150°C) and roasting time (10~50 min), coefficients of determinations (R^2) were 0.8691 ($p < 0.05$), 0.8253 ($p < 0.10$), 0.8727 ($p < 0.05$), 0.8706 ($p < 0.05$) and 0.8316 ($p < 0.10$) in soluble solid, stigmaterol, β -sitosterol, hypoglycemic component (total), and overall acceptability, respectively. The maximum value of soluble solid was 71.47% in 65.24 min of steaming time, 126.93°C of roasting temperature and 37.58 min of roasting time. The maximum value of hypoglycemic component (total) was 764.10 $\mu\text{g/g}$ in 107.76 min, 117.78°C and 14.70 min. Meantime, the maximum value of overall acceptability was 6.89 in 126.04 min, 115.79°C and 43.93 min. The predicted values in optimum conditions for hypoglycemic components and sensory property were in good agreement with experimental values.

Key words: *Polygonatum odoratum* root, steaming, roasting, β -sitosterol, stigmaterol, RSM

서 론

당뇨병은 내분비계 호르몬인 인슐린의 분비이상으로 혈중 포도당이 에너지원으로 이용되지 못하고 그 농도가 이상 수준이 되어 뇨로 배설되는 증상으로 혈중 포도당이 체내에 저장되지 못해 장기 내의 glycogen이 분해되는 등 탄수화물, 단백질 및 지방의 에너지 대사에 변화가 야기된다(1). 당뇨병은 최근 발병률이 급증하고 있는 추세이며 치료는 대부분 약물요법과 식이요법의 병행으로 이루어지고 있다. 최근에는 당뇨병의 치료를 위해 합성된 약물보다는 천연물에서의 약리물질을 탐색하는 연구가 이루어지고 있으며, 야생식물의 항암성, 항돌연변이원성 연구와 더불어 혈당강하효과에 관한 연구가 많이 보고되고 있다(2,3). 둥굴레(*Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum* Ohwi)는 백합과(Liliaceae)에 속하는 다년생 초본으로 전국 산야의 그늘이나 고산의 초원에서 많이 자생되고, 인공적 재배도 가능한 식용식물로서 혈압강하, 강심작용, 혈당저하 등의 질병 예방과 치료에 사용되

어왔다(4,5). 최근에는 생리화학적 연구가 활발히 추진되어 왕둥굴레의 에테르 추출물에서 β -sitosterol, stigmaterol 및 diosgenin이 단리 동정되었으며, 혈당강하효과가 있음이 보고되었다(6). Choi 등(7)은 둥굴레 뿌리 추출물이 90% 체장을 제거한 백서에서 인슐린 민감성을 호전시킴으로 체내 포도당 이용을 증가시켜 혈당을 강하시키는 효과가 있다고 보고하였다. 또한 Kim과 Lee(6)는 왕둥굴레가 현저한 혈당강하 작용으로 자원식물로서의 가치가 크다고 보고하였고, Lim과 Kim(8)도 당뇨 유발 흰쥐에 대한 혈당강하 효과를 보고하였다. 둥굴레 차의 고품질화를 위한 볶음조건의 최적화(9), 볶음전 증자처리가 둥굴레 근경의 수용성 성분 및 갈색화에 미치는 영향(10)과 가압볶음장치에서 둥굴레(황정) 근경의 볶음조건 최적화(11)에 관한 보고에서 열처리가 둥굴레의 품질을 향상시킨다고 밝혀져 기능성분을 이용한 고부가가치 가공제품개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 둥굴레 근경을 실험계획에 따라 증자 및 볶음처리하면서 관능적 품질과 혈당강하성분의 변화

*Corresponding author. E-mail: jhkwon@knu.ac.kr
Phone: 82-53-950-5775, Fax: 82-53-950-6772

를 반응표면분석에 의해 모니터링하고, 최적의 증자 및 볶음 조건을 설정하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용된 둥굴레(*Polygonatum odoratum*) 근경은 경남 함양에서 야생을 채취하여 재배한 것을 채굴하여 흙과 잔뿌리를 제거한 후 수세하여 사용하였다.

증자 및 볶음처리 방법

둥굴레 근경은 조건별로 증자하여 시료의 지름을 약 6 mm 로 성형(H Miller, Seoul, Korea)하고 약 2 cm 두께로 절단하여 50°C에서 24시간 열풍 건조하여 수분함량이 10% 이하로 한 것을 볶음 처리하였다. 볶음은 실험용 볶음기(THH-020, Seoul, Korea)를 이용하였으며, 미리 소정의 온도까지 상승시킨 오븐내 볶음 드럼에 시료 150 g을 넣고 드럼 회전속도 분당 45 rpm으로 회전하면서 볶음오븐의 온도는 소정의 볶음온도를 넘지 않도록 $\pm 2^\circ\text{C}$ 범위 내에서 조절하였다. 볶음 처리한 후 이 완료된 시료는 즉시 드럼에서 꺼내어 송풍냉각 장치에 옮겨 실온까지 냉각시킨 다음 80 mesh로 분쇄하여 밀봉 보관하고 이를 각종 분석시료로 사용하였다.

실험계획

본 실험에서는 둥굴레 근경의 적정 열처리 조건 예측과 열처리 중 주요성분 및 품질의 변화를 추적, 확인하기 위하여 반응표면분석(response surface methodology, RSM) program(12)을 활용하였다. 실험계획은 중심합성계획법(13)에 의하여 실험을 설계하였으며, 반응표면 회귀분석을 위해 SAS(statistical analysis system) program(14)을 사용하였다. 중심합성계획으로 설계된 둥굴레 시료의 요인변수는 증자시간(X_1), 볶음온도(X_2) 및 볶음시간(X_3)으로 각 요인변수는 -2, -1, 0, 1, 2 다섯 단계로 부호화하여 실험값을 Table 1에 나타내었다. 실험계획에 의한 실험군의 수는 Table 2와 같이 3개의 요인변수가 5수준을 갖도록 중심합성계획에 의해 16구간으로 설정하여 실험을 실시하였다. 또한 이들 요인변수에 영향을 받는 반응변수(Y_n)들은 수용성 고형분(Y_1), 혈당강하성분(Y_2) 및 관능적 특성(Y_3) 등으로 하여 회귀분석에 사용하였다. 또한 둥굴레 근경의 증자 및 볶음조건이 둥굴레 근경의 수용성 고형분, 혈당강하성분 및 관능적 특성에 미치는 영향은 예측된 모델식을 바탕으로 Mathematica pro-

Table 1. Levels of steaming and roasting conditions for *Polygonatum odoratum* root based on central composite design

X_i	Steaming and roasting conditions	Levels				
		-2	-1	0	1	2
X_1	Steaming time (min)	60	90	120	150	180
X_2	Roasting temperature ($^\circ\text{C}$)	110	120	130	140	150
X_3	Roasting time (min)	10	20	30	40	50

Table 2. Central composite design for optimization of steaming and roasting conditions of *Polygonatum odoratum* root

Exp. No. ¹⁾	Steaming time (min)	Roasting temperature ($^\circ\text{C}$)	Roasting time (min)
1	90 (-1)	120 (-1)	20 (-1)
2	150 (1)	120 (-1)	20 (-1)
3	90 (-1)	120 (-1)	40 (1)
4	150 (1)	120 (-1)	40 (1)
5	90 (-1)	140 (1)	20 (-1)
6	150 (1)	140 (1)	20 (-1)
7	90 (-1)	140 (1)	40 (1)
8	150 (1)	140 (1)	40 (1)
9	120 (0)	130 (0)	30 (0)
10	120 (0)	130 (0)	30 (0)
11	120 (0)	110 (-2)	30 (0)
12	120 (0)	150 (2)	30 (0)
13	120 (0)	130 (0)	10 (-2)
14	120 (0)	130 (0)	50 (2)
15	60 (-2)	130 (0)	30 (0)
16	180 (2)	130 (0)	30 (0)

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

gram(15)을 이용하여 4차원 반응표면분석으로 해석하였다.

실험용액 조제

실험계획에 의해 설계된 증자 및 볶음조건에 따라 제조한 둥굴레 시료 5 g에 증류수를 250 mL를 가하고 2시간 열탕에서 추출한 다음 원심분리(2,500 rpm, 15 min)한 후 여과한 것을 분석용 시험용액으로 사용하였다.

수용성 고형분 함량 측정

각 조건별로 증자 및 볶음 처리한 둥굴레 시료의 수용성 고형분은 시험용액 25 mL를 항량을 구한 수기에 취하여 105 $^\circ\text{C}$ 에서 증발 건조시킨 후 그 무게를 측정하고, 추출액 조제에 사용된 원료량(건물량)에 대한 백분율로서 고형분 수율을 표시하였다.

혈당강하성분의 분석

둥굴레 근경의 혈당강하성분으로 알려진 β -sitosterol과 stigmasterol의 분석을 위하여 둥굴레 시료 30 g을 메탄올과 클로로포름 혼합용액(1:2) 100 mL를 가하여 진탕기에서 24시간 진탕시켰다. 이를 여과(Whatman No. 41)하여 여액과 잔사를 분리하고 잔사에 혼합용액을 가하여 3회 추출한 후 여액을 합하여 회전식 증류기에서 감압 증발 농축하였다. 잔사에 1 N 알코올성 KOH 50 mL를 가하여, 이에 환류냉각기를 달고 수욕상에서 때때로 흔들어 주면서 1시간 동안 reflux시키면서 검화시켰다. 이때 반응온도는 80~85 $^\circ\text{C}$ 이었다. 검화시킨 액을 500 mL 분액여두에 옮기고 200 mL의 에테르와 200 mL 증류수를 가한 다음 10분간 진탕하고 30분간 방치한 후 에테르 층과 수층을 분리하였다. 수층을 다른 분액여두에 옮겨 에테르로 반복 추출한 후 에테르 층을 모아 증류수로 여러 번 세척하였다. 세척한 수층이 증성이 나타나

면 세척한 에테르 층을 분리하고 여기에 무수황산나트륨을 가하여 10시간 방치하여 수분을 제거하고 에테르 층을 회전식 농축기에서 증발 농축하고 클로로포름 5 mL에 녹이고 이에 1 mL를 취하여 유도체시킨 후 GC-MS로 확인하였다. GC/MS 분석은 HP-5973(HP Co., Wilmington, DE, USA)로써 column은 HP-5 MS(0.25 mm×0.25 μm×60 m)를 사용하였으며, column temp.는 200°C에서 2분간 유지시킨 후 300°C까지 5°C/min으로 승온하여 300°C에서 15분간 유지하였다. Carrier gas(flow)는 He(1.2 mL/min)을 사용하였고 split ratio는 1:20으로 하였다. 분석에서 얻어진 각 성분의 mass spectrum을 computer library searching(NIST, Wiley)을 이용하여 동정하였다.

관능검사

각 조건별로 증자 후 볶은 시료에 대하여 관능적 품질을 평가하기 위하여 식품공학과 대학원생 중에서 본 실험에 흥미가 있고 차이 식별능력이 있는 20명의 학생을 관능검사 요원으로 선정하여 이들에게 둥굴레차 특유의 색, 맛, 향을 평가하는 요령을 훈련시킨 뒤 전반적 기호도에 대한 관능시험을 실시하였다. 검사시료의 조제는 분말시료 5g을 1.5 mL 열수에 넣어 약 20분간 추출한 다음 고유한 향을 가장 잘 느낄 수 있는 50°C 부근에서 9점 채점법에 의해 실시하여, 9점 대단히 좋다, 1점 대단히 나쁘다로 나타내었다. 관능검사는 한번에 3종류의 시료를 제시하여 균형 불완전블록계획법으로 실시하였다(16).

증자 및 볶음조건의 최적화 및 실증 시험

둥굴레 근경의 혈당 및 콜레스테롤 저하효과 시험에 사용하기 위한 둥굴레 시료의 증자 및 볶음조건 최적화를 위해 반응변수인 수용성 고형분 함량, 혈당강하성분 및 전반적인 기호도의 4차원 반응표면을 superimposing했을 때 중복되

는 부분의 범위로 예측하였다. 또한 예측된 범위에서 임의의 점을 설정하여 회귀식에 대입하여 최적값을 예측하였으며, 동일조건에서 실제의 실험을 통하여 얻은 실험치와 비교하여 신뢰성을 검증하였다(17).

결과 및 고찰

수용성 고형분 함량의 변화

각 조건별로 증자 및 볶음처리 된 둥굴레 시료의 수용성 고형분 함량을 비교한 결과는 Table 3에 나타내었으며, 결과에 대한 반응표면 회귀식은 Table 4에 나타내었다. 증자 및 볶음처리 중 둥굴레의 수용성 고형분 함량은 67~71%로서 큰 차이가 없었으며, 특히 대부분의 가공조건에서 69~70%의 범위를 나타내었다. 결과에 대한 이때 증자 및 볶음조건에 따른 수용성 고형분 함량에 대한 회귀식의 R²가 0.8691로 5% 이내의 유의수준에서 유의성이 인정되었다(Table 4). 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 실시한 결과, 수용성 고형분의 최대값은 71.47%이었고, 이때의 증자 및 볶음조건은 증자시간 65.24분, 볶음온도 126.93°C 및 볶음시간 37.58분이었다(Table 5). 수용성 고형분 함량에 대한 가공조건별 영향을 살펴보면 볶음시간의 영향이 가장 크고, 그 다음이 볶음온도에 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며 증자시간에 대한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다(Table 6). 증자 및 볶음 조건에 따른 수용성 고형분 함량의 변화는 Fig. 1과 같이 볶음시간이 증가할수록 증가되었으며, 볶음온도 120~135°C의 범위에서 장시간 열처리함에 따라 수용성 고형분 함량이 높게 나타났다. 이는 볶음에 의하여 전분이 텍스트린화 됨에 따라 수용성 성분들이 점차 많이 생성되었기 때문으로 생각된다. 또한 120~135°C 범위 밖에서는 장시간 볶음처리를 할 경우 수용성 고형분의 함량이 감소하는 경향을 나타

Table 3. Soluble solid, hypoglycemic component and sensory evaluation of *Polygonatum odoratum* root under different conditions based on central composite design for response surface analysis

Exp. No. ¹⁾	Soluble solid (%)	Hypoglycemic component (μg/g)			Overall acceptability
		Stigmasterol	β-Sitosterol	Total	
1	69.41	103.45	763.98	867.43	5.34
2	68.13	82.14	540.19	622.33	6.00
3	70.07	47.16	357.93	405.09	6.34
4	70.41	108.46	431.82	540.28	6.07
5	68.21	37.30	263.35	300.65	5.50
6	68.49	51.33	307.34	358.67	6.17
7	69.94	46.62	298.10	344.72	4.34
8	69.02	52.31	311.39	363.70	5.17
9	70.60	38.46	226.20	264.66	5.33
10	70.49	52.12	362.68	414.80	5.17
11	68.93	30.49	184.91	215.40	6.00
12	67.71	38.98	237.69	276.67	4.50
13	68.14	70.40	491.02	560.79	5.00
14	70.94	69.77	462.71	532.48	6.17
15	71.79	59.02	390.62	449.64	4.83
16	69.78	79.52	521.54	601.06	7.00

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

Table 4. Polynomial equations calculated by RSM program on soluble solid, hypoglycemic component and sensory evaluation for steaming and roasting conditions of *Polygonatum odoratum* root

Response	Second order polynomials	R ²	Significance
Soluble solid	$Y_{SS} = -22.516250 - 0.049167X_1 + 1.426750X_2 + 0.307750X_3 + 0.000066667X_1^2 + 0.000125X_1X_2 - 0.005563X_2^2 + 0.000175X_1X_3 - 0.000850X_2X_3 - 0.002513X_3^2$	0.8691	0.0420
Stigmasterol	$Y_S = 509.120625 - 2.469271X_1 - 0.527562X_2 - 16.857438X_3 + 0.006661X_1^2 + 0.008221X_1X_2 - 0.015138X_2^2 - 0.002387X_1X_3 + 0.100338X_2X_3 + 0.061988X_3^2$	0.8253	0.0881
β-Sitosterol	$Y_{\beta} = 9371.810625 - 21.774625X_1 - 86.114875X_2 - 114.062500X_3 + 0.060178X_1^2 + 0.044658X_1X_2 + 0.217150X_2^2 + 0.069575X_1X_3 + 0.566562X_2X_3 + 0.468562X_3^2$	0.8727	0.0391
Hypoglycemic component (total)	$Y_T = 9880.025625 - 24.243896X_1 - 86.642438X_2 - 130.864812X_3 + 0.066839X_1^2 + 0.052879X_1X_2 + 0.202013X_2^2 + 0.067187X_1X_3 + 0.666863X_2X_3 + 0.529762X_3^2$	0.8706	0.0408
Overall acceptability	$Y_{Op} = 1.769375 + 0.030813X_2 + 0.520938X_3 - 0.081854X_1 + 0.000185X_1^2 + 0.000462X_1X_2 - 0.000321X_1X_3 - 0.004038X_2X_3 + 0.000837X_3^2$	0.8316	0.0803

X₁: Steaming time (min), X₂: Roasting temperature (°C), X₃: Roasting time (min).

Table 5. Predicted levels of steaming and roasting condition for the maximum responses of variables by the ridge analysis of *Polygonatum odoratum* root

Response	Steaming time (min)	Roasting temperature (°C)	Roasting time (min)	Maximum	Morphology
Soluble solid (%)	65.24	126.93	37.58	71.47	Saddle point
Stigmasterol (μg/g)	130.59	120.77	12.59	91.56	Saddle point
β-Sitosterol (μg/g)	105.92	117.50	15.11	676.59	Minimum
Hypoglycemic component (total, μg/g)	107.76	117.78	14.70	764.10	Saddle point
Overall acceptability	126.04	115.79	43.93	6.89	Saddle point

내었다. 이러한 결과는 Suh와 Chun(18)의 연구에서 볶음보리의 가용성 고형분 함량은 볶음온도와 볶음시간이 일정범위 이상 증가되면 수용성 성분의 함량이 감소한다는 결과와 같은 경향이었다. 이러한 결과는 볶음조건이 온화한 경우는 볶음에 의해서 덩굴레의 구조가 가용성 성분의 용출이 용이한 형태로 변화하였으나 볶음조건이 과도한 경우에는 유기산, 당 등 가용성 물질이 중합에 의해 불용성 거대분자를 생성하거나 Maillard 반응 또는 카라멜화 등 갈변반응에 의해 melanoidin 등의 색소 형성에 관여함으로써 가용성 물질이 감소하는 것으로 생각된다(19,20). 이와 함께 과도한 열처리하는 덩굴레의 구조가 수축 또는 경화되게 함으로써 물의

침투가 곤란한 구조로 바뀌어 추출되는 가용성 고형분의 함량을 낮추는 것으로 생각된다(21).

혈당강하 성분의 변화

중심합성계획에 따라 증자 및 볶음 처리한 덩굴레 근경의 혈당강하성분인 stigmasterol과 β-sitosterol의 함량을 측정 한 결과는 Table 3과 같으며, 반응표면 회귀식은 Table 4에 나타내었다. Stigmasterol의 함량 측정 결과 그 함량이 30.49 ~ 108.46 μg/g으로 증자 및 볶음조건에 따라 큰 차이를 나타내었다(Table 3). 회귀식의 R²는 0.8253으로 유의성이 10% 이내의 유의수준에서 인정되었다(Table 4). 예측된 정상점

Table 6. Regression analysis for regression model of soluble solid, hypoglycemic component and sensory evaluation in steaming and roasting condition of *Polygonatum odoratum* root

Steaming and roasting conditions	F-Ratio				
	Soluble solid	Stigmasterol	β-Sitosterol	Hypoglycemic component (total)	Overall acceptability
Steaming time (min)	1.11	1.89	2.84	2.82	3.47
Roasting temperature (°C)	3.51*	2.74	6.04**	5.67**	3.81*
Roasting time (min)	4.55**	3.66*	4.50*	4.58**	1.78

*Significant at 10% level; **Significant at 5% level; ***Significant at 1% level.

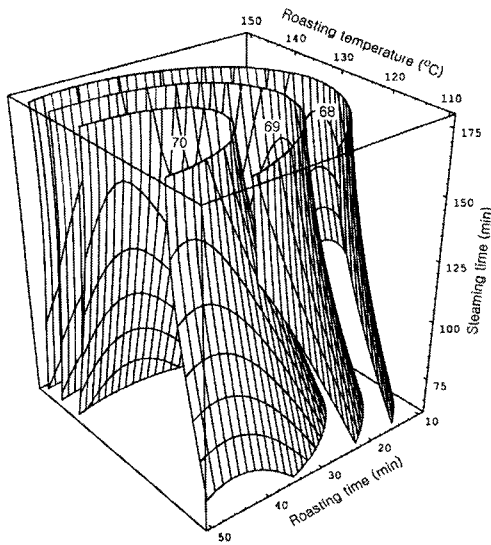


Fig. 1. Response surface for soluble solid content in *Polygonatum odoratum* root at constant values (soluble solid content: 68–69–70%) as a function of roasting temperature, roasting time and steaming time.

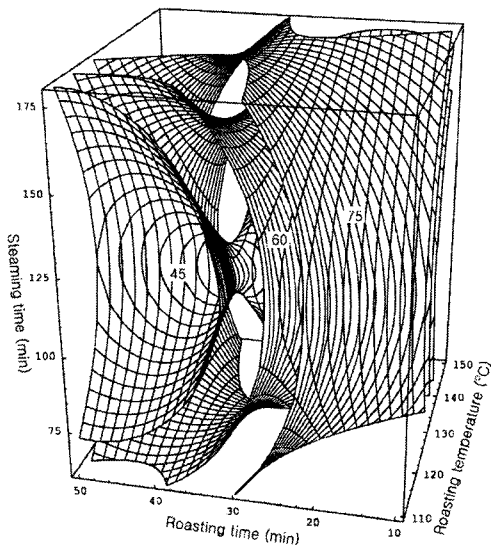


Fig. 2. Response surface for stigmasteryl in *Polygonatum odoratum* root at constant values (stigmasteryl: 45–60–75 µg/g) as a function of roasting temperature, roasting time and steaming time.

은 안장점으로 능선분석을 실시한 결과 최고값은 91.56으로 증자시간 130.59분, 볶음온도 120.77°C 및 볶음시간 12.59분이었다(Table 5). 그리고 Fig. 2는 증자 및 볶음조건에 따른 stigmasteryl 함량의 변화를 4차원 반응표면으로 나타낸 것으로 증자시간에 비해 볶음시간과 볶음온도의 영향이 크게 나타났지만, 본 실험의 반응변수(품질특성) 중 stigmasteryl 함량은 볶음온도가 높고 증자시간이 긴 편이었지만 최적 볶음시간은 12분 내외로 가장 짧은 것으로 나타났으며, 전반적으로 독립변수에 대한 유의성은 없는 것으로 나타났다(Table 6).

β -Sitosterol의 함량 측정 결과, 184.91~763.98 µg/g으로 열처리 조건에 따라 함량의 변화가 크게 나타났다(Table 3). 회귀식의 R^2 는 0.8727로 5% 이내의 유의수준에서 유의성이 인정되었다(Table 4). 예측된 정상점은 최저점으로 증자시간 105.92분, 볶음온도 117.50°C 및 볶음시간 15.11분일 때 최고값 676.59 µg/g을 나타내었다(Table 5). β -Sitosterol의 함량은 볶음온도에 가장 큰 영향을 받았으며, 그 다음으로 볶음시간에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다(Table 6). Fig. 3에서 보는 바와 같이 β -sitosterol의 함량은 볶음온도가 낮을수록 증가하는 경향이였다.

전체 혈당강하성분의 측정 결과 함량이 215.40~867.43 µg/g으로 4배 이상 큰 차이를 나타내었다(Table 3). 회귀식의 R^2 는 0.8706으로 유의성이 5% 이내의 유의수준에서 인정되었다(Table 4). 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 실시한 결과 최대값은 764.10 µg/g으로 증자시간 107.76분, 볶음온도 117.78°C 및 볶음시간 14.70분이었다(Table 5). Fig. 4는 증자 및 볶음조건에 따른 전체 혈당강하성분의 4차원 반응표면을 나타낸 것으로 볶음온도가 낮고 볶음시간이 길수록 증가하는 것으로 나타났다. 증자 및 볶음조건에 대한 영향은 볶음온도 및 볶음시간에 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며($p < 0.05$), 증자시간에 대한 영향은 미미한 것으로 나타났(Table 6).

식물성 스테롤은 식물성 기름이나 견과류, 과일 및 채소 등에서 발견되는 천연물질로 현재까지 자연계에서 알려지고 있는 것은 약 40여종이고, 그 중 β -sitosterol과 campesterol 이 각각 65%, 30%로 가장 많이 존재하며 그 외 stigmasterol 이 상당부분 차지하는 것으로 알려지고 있다(22). 식물성 스

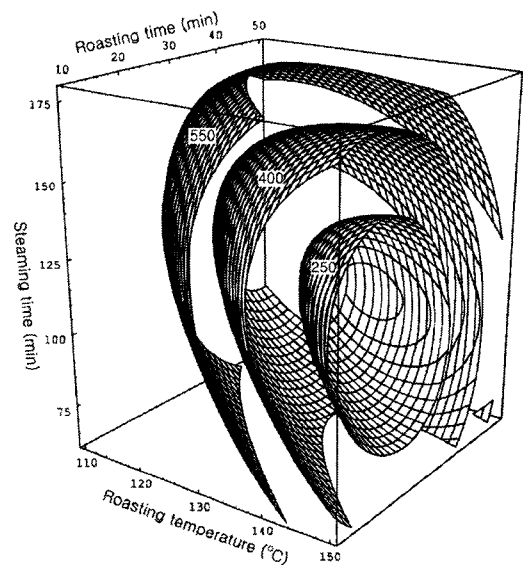


Fig. 3. Response surface for β -sitosterol in *Polygonatum odoratum* root at constant values (β -sitosterol: 250–400–550 µg/g) as a function of roasting temperature, roasting time and steaming time.

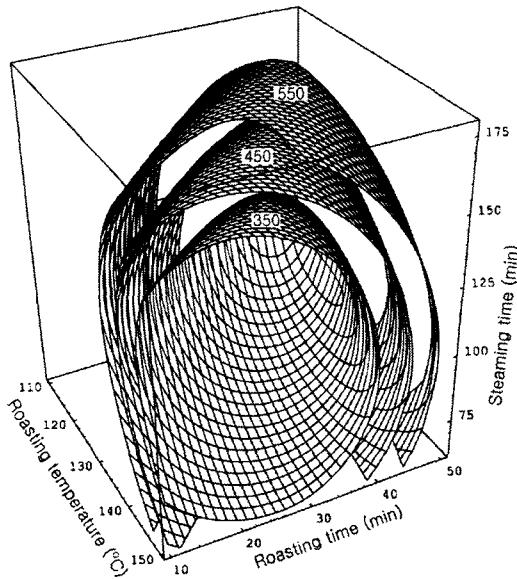


Fig. 4. Response surface for hypoglycemic component (total) in *Polygonatum odoratum* root at constant values (hypoglycemic component (total): 350–450–550 $\mu\text{g/g}$) as a function of roasting temperature, roasting time and steaming time.

테롤은 체내에서 콜레스테롤의 흡수를 경쟁적으로 억제시키는 작용을 하는데, 이 중 대부분은 β -sitosterol이 차지하고 있다(23). 위의 결과에서와 같이 둥굴레 근경에는 증자 및 볶음 조건에 따라 stigmasterol과 β -sitosterol의 총량이 최고 867.43 $\mu\text{g/g}$ 으로 나타나 혈중 콜레스테롤 억제에 우수한 효과를 나타낼 것으로 사료된다.

관능적 특성의 변화

각 조건별로 증자 및 볶음처리된 둥굴레 시료의 추출물의 관능적 특성의 변화를 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다. 또한 결과에 대한 반응표면 회귀식을 Table 4에 나타내었으며, 4차원 반응표면을 Fig. 5에 나타내었다. 관능적 특성의 측정 결과 전반적인 기호도의 회귀식의 R^2 가 0.8316으로 유의성이 10% 이내의 유의수준에서 인정되었다(Table 4). 증자 및 볶음조건이 전반적인 기호도에 미치는 영향을 측정하여 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 실시하였다. 그 결과 예측된 최대값은 6.89로 증자시간 126.04분, 볶음온도 115.9°C 및 볶음시간 43.93분일 때였다(Table 5). 전반적인 기호도는 볶음온도에 많은 영향을 받고 있는 것으로 나타났으며, 볶음온도가 130°C이상일 때는 30분이하의 조건으로 볶음을 실시하고, 볶음온도가 130°C이하의 온도에서는 30분 이상의 긴 시간동안 볶아주는 것이 관능적으로 우수한 것으로 예측되었다(Fig. 5). 이러한 결과는 볶음 처리함에 따라 쫄 냄새가 새로운 성분들의 생성으로 제거되고 둥굴레에 함유되어 있는 탄수화물과 단백질 등의 반응이 활발하게 일어나서 여러 가지 향미성분들이 생성되어 전반적인 기호도가 증진되어 나타나는 것으로 생각된다(24,25).

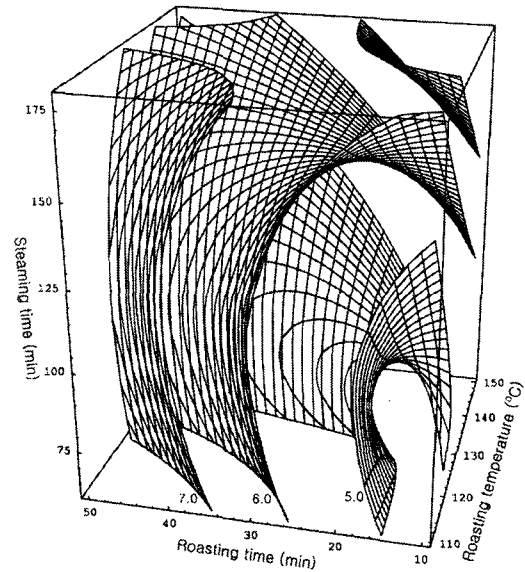


Fig. 5. Response surface for overall acceptability in *Polygonatum odoratum* root at constant values (overall acceptability: 5.0–6.0–7.0) as a function of roasting temperature, roasting time and steaming time.

증자 및 볶음조건의 최적화 및 실증

중심합성 실험계획에 의해 증자 및 볶음조건을 달리하여 조제한 둥굴레차에 대하여 반응변수에 해당하는 품질인자로서 수용성 고형분, 혈당강화성분 및 전반적인 기호도를 각각 평가하고 이들의 상대적인 값을 증자시간, 볶음온도 및 볶음시간에 대해 분석하여 4차원 반응표면으로 나타내어 보았다. Fig. 1~5에 각각 나타난 바와 같이 볶음조건에 대한 이들 반응변수들의 값은 조금씩 다른 양상의 반응표면을 나타내고 있으므로, 둥굴레차의 품질에 관련된 몇 가지 반응변수들을 모두 충족시킬 수 있는 조건을 얻기 위하여 반응표면을 겹쳐서 superimposing하여 최적범위를 예측하여 보았다. 그 결과 Fig. 6에 나타난 바와 같이 dark zone으로 표현된 부분이 얻어졌고, 이 부분이 둥굴레차의 품질특성을 극대화시킬 수 있는 증자 및 볶음조건의 최적 범위로써, Table 7에서와 같이 증자시간 145~170분, 볶음온도 115~140°C 및 볶음시간은 25~45분의 범위로 각각 나타났다.

따라서 이와 같이 예측된 최적조건 범위 내에서 임의의 조건 즉, 증자시간 160분, 볶음온도 125°C 및 볶음시간 30분을 회귀식에 대입하여 둥굴레의 품질특성을 예측해 보았다. 그 결과 수용성 고형분 69.87%, stigmasterol 함량 61.38 $\mu\text{g/g}$, β -sitosterol 408.60 $\mu\text{g/g}$, 전체 혈당강화성분의 함량 469.88 $\mu\text{g/g}$ 및 전반적인 기호도 6.20로 예측되었으며(Table 8), 동일조건에서 실제 실험을 통하여 얻은 실험치를 얻은 결과 수용성 고형분, 혈당강화성분 및 전반적 기호도의 값들은 반응표면분석법에 의해 예측된 값과 유사한 경향으로 나타나 도출된 회귀식의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

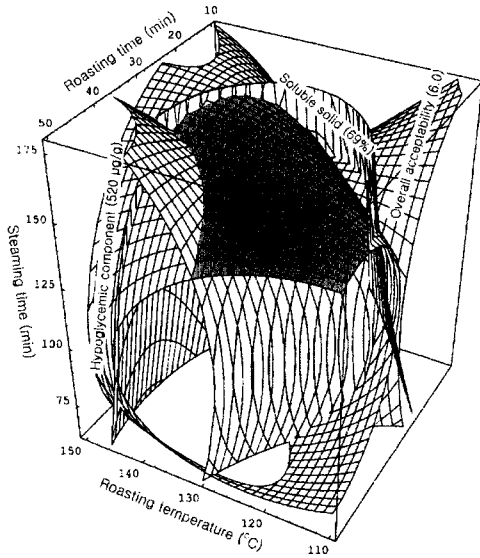


Fig. 6. Superimposed response surface for optimization of soluble solid (69%), hypoglycemic component (550 µg/g) and overall acceptability (6.0) of *Polygonatum odoratum* root.

Table 7. The range of optimum-roasting conditions of response variables yielding optimum response by superimposing of contour maps for measurement of hypoglycemic effect

Roasting conditions	Range of optimum condition
Steaming time (min)	150~175
Roasting temperature (°C)	115~140
Roasting time (min)	25~45

Table 8. Comparison between predicted and observed values of response variables at the given conditions within the range of optimum conditions

Response variables	Predicted values ¹⁾	Observed values ²⁾	
Soluble solid (%)	69.87	70.07 ± 0.19	
Hypoglycemic component (µg/g)	Stigmasterol	61.38	60.24 ± 0.32
	β-Sitosterol	408.60	420.29 ± 2.86
	Total	469.88	480.53 ± 2.71
Overall acceptability	6.20	6.30 ± 0.20	

¹⁾Calculated using the predicted equation for response variables. Given conditions of independent variables: steaming time 160 min, roasting temperature 125°C and roasting time 30 min.

²⁾Mean ± standard deviation of triplicates determinations.

요 약

둥굴레 근경의 증자 및 열처리 중 혈당강하성분과 관능적 품질 변화를 확인하기 위하여 반응표면분석(RSM)을 활용하였다. 중심합성계획법에 의해 증자시간(60~180분), 볶음온도(110~150°C) 및 볶음시간(10~50분)을 독립변수로 하여 16구간의 조건에서 실험을 실시하고, 둥굴레 추출물의 품질에 관련된 수용성 고형분, stigmasterol, β-sitosterol 및 관능적 특성(전반적 기호도)을 반응변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과 회귀식의 R²는 각각 0.8691(p<0.05), 0.8253(p<

0.10), 0.8727(p<0.05) 및 0.8316(p<0.10)이었다. 수용성 고형분의 최대값은 증자시간 65.24분, 볶음온도 126.93°C, 볶음시간 37.58분일 때 71.47%를 나타내었다. 총 혈당강하성분의 최대값은 증자시간 107.76분, 볶음온도 117.78°C, 볶음시간 14.70분일 때 764.10 µg/g로 나타났으며, 전반적인 기호도는 증자시간 126.04분, 볶음온도 115.79°C, 볶음시간 43.98분일 때 6.89의 최대값을 보였다. 혈당강하성분과 관능적 특성의 실험치는 반응표면분석법에 의해 예측된 값들과 유사하여 도출된 회귀식의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

문 헌

- Abrams JJ, Ginsberg H, Grundy SM. 1982. Metabolism of cholesterol and plasma triglycerides in nonketotic diabetes mellitus. *Diabetes* 31: 903-910.
- Bailey CJ, Day C. 1989. Traditional plant medicines as treatments for diabetes. *Diabetes Care* 12: 553-564.
- Hikino H, Takahashi M, Oshima Y, Konno C. 1988. Isolation and hypoglycemic activity of oryzabrans A, B, C and D, glycan of *Oryza sativa* bran. *Planta Medica* 54: 1-3.
- Lee CB. 1985. *Korea plant yearbook*. Hwangmoonsa, Seoul. p 213-214.
- Ahn DG. 1993. *Restorative of Korea*. Yeollin Chakdle, Seoul, Korea. p 307-312.
- Kim JK, Lee YJ. 1980. Pharmacognostical studies on the rhizome of *Polygonatum robustum* Nakai. *Kor J Pharm* 11: 69-74.
- Choi JS, Chung HY, Han SY. 1990. A preliminary study on hypocholesterolemic and hypoglycemic activities of some medicinal plants. *Kor J Pharm* 21: 153-157.
- Lim SJ, Kim KJ. 1995. Hypoglycemic effect of *Polygonatum Odoratum* var *Pluriflorum* Ohwi extract in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J Nutrition* 28: 727-736.
- Ryu KC, Chung HW, Kim KT, Kwon JH. 1997. Optimization of roasting conditions for high-quality *Polygonatum odoratum* tea. *Korean J Food Sci Technol* 29: 776-783.
- Kwon JH, Lim CH, Ryu KC, Chung HW, Lee GD. 1997. Effect of steaming prior to roasting of *Polygonatum odoratum* roots on its water soluble and browning. *Korean J Post-Harvest Sci Technol* 4: 155-162.
- Kim MB, Kim DK, Lee GD, Kwon JH. 1997. Optimizing of roasting conditions of *Polygonatum sibiricum* roots by a pressure roaster. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27: 80-86.
- Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. 1992. Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *J Food Sci* 57: 190-196.
- Lee GD, Lee JE, Kwon JH. 2000. Application of response surface methodology in food industry. *Food and Industry* 33: 33-45.
- SAS Institute, Inc. 1990. *SAS User's Guide*. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
- Martha LA, James PB. 1992. *The Mathematica Handbook, Copatible with Mathematica, Version 2.0* Harcourt Brace, Massachusetts. An Imprint of a Division of Academic press.
- Park SH. 1991. *Modern experimental design*. Minyoungsa, Seoul, Korea. p 547-557.
- Lee GD, Kwon JH. 1998. The use of response surface methodology to optimize the Maillard reaction to produce melanoidins with high antioxidative and antimutagenic

- activities. *Int J Food Sci Technol* 33: 375-383.
18. Suh CS, Chun JK. 1981. Relationships among the roasting conditions, colors and extractable solid content of roasted barley. *Korean J Food Sci Technol* 13: 334-339.
 19. Mok CK, Song KT, Lee SK, Na YJ, Park JH, Kwon YA, Lee SJ. 2001. Optimization of roasting process as pre-treatment for extraction of Omija (*Schizandra chinensis* Baillon). *Korean J Food Sci Technol* 33: 333-337.
 20. Kim DH. 1996. *Food chemistry*. Tamgudang Publishing Co., Seoul, Korea. p 401-447.
 21. Kim BM. 1999. *Food preservation technology*. Jinroyungusa Publishing Co., Seoul, Korea. p 174-175.
 22. Weihrauch JL, Gardner JM. 1978. Sterol content of foods of plant origin. *J Am Diet Assoc* 73: 39-47.
 23. Koo BS, Lee JW. 2004. Effect of phytosterol treatment on plasma lipids and glucose in rats. *Korean J Food Culture* 19: 429-434.
 24. Collins E. 1981. Steam volatile compounds of roasted barley. *J Agric Food Chem* 19: 532-534.
 25. Park NY. 2001. Dynamic changes in flavor-related components of *Polygonatum odoratum* root as affected by steaming and roasting. *PhD Thesis*. Kyungpook National University, Daegu, Korea.

(2004년 12월 22일 접수; 2005년 3월 24일 채택)