

둥굴레 근경의 증자 및 볶음조건에 따른 중금속(Pb, Cd) 제거 특성

김경태 · 노정은 · 이정은 · 김정옥 · 이기동¹ · 권중호[†]
경북대학교 식품공학과, ¹대구신기술사업단 전통생물소재산업화센터

Elimination of Heavy Metals(Pb, Cd) by Steaming and Roasting Conditions of *Polygonatum odoratum* Roots

Kyung-Tae Kim, Jungeun Noh, Jungeun Lee, Jung-Ok Kim¹, Gee-Dong Lee¹ and Joong-Ho Kwon[†]
Department of Food Science and Technology, Kyungpook National University of Daegu 702-701, Korea
¹DG-Traditional Bio-Materials Industry Center, Daegu 704-230, Korea

Abstract

Response surface methodology(RSM) was applied to monitor the elimination rate of heavy metals(Pb, Cd) and soluble solids depending on the steaming and roasting conditions of *Polygonatum odoratum* roots. Experiments of 16 different steaming and roasting conditions based on a central composite design for steaming time(60~180 min), roasting temperature(110~150 °C), and roasting time(10~50 min) were conducted, thereby predicting the steaming and roasting conditions for the maximal responses; soluble solids(71.47%) at 65.24 min, 126.93 °C and 37.58 min; Pb removal rate(18.87%) at 71.23 min, 119.81 °C and 24.35 min; Cd removal rate(50.85%) at 160.89 min, 126.43 °C and 15.81 min, respectively. The optimum conditions estimated by RSM for the maximized values of soluble solids and heavy metal elimination rates were 165~180 min of steaming time, 120~135 °C of roasting temperature, and 30~45 min of roasting time, respectively. These estimated values were in agreement with those measured by real experiments.

Key words : *Polygonatum odoratum*, RSM, Pb, Cd, elimination

서 론

산업사회의 발달로 생활이 편리해진 반면 환경오염은 인간의 생활환경에 위협이 되고 있다. 토양이나 수질의 중금속 오염으로 인해 먹이 사슬을 통해 인체에 이행, 축적되어 급성 또는 만성 중독을 일으킨다. 중금속류는 유기물이나 영양 염류와는 달리 자연 분해 및 미생물에 의한 분해가 극히 어렵고(1,2) 식수, 식품, 토양, 대기로부터 인체에 들어온 중금속이 체내로 들어오면 13-16년의 반감기를 가지고 장기간 체내에 축적되어 금속을 포함하는 여러 효소의 활성을 저하시키고 뼈, 신장, 간에 만성 중독증세를 유발하며 다른 중금속 또는 무기질과 상호작용하여 동물의 성장을 저해한다. 세계보건기구(WHO)에 의하면 음용수에서 600가지 이상의 유기오염 물질이 존재하며, 발암성 물질과 돌

연변이성 물질, 그리고 많은 유독성 물질이 포함되어 있다(3).

한편 어떤 생물은 특정의 원소를 체내에 흡수하며, 흡수된 금속은 생명성분과 결합하여 금속염 또는 유기금속 킬레이트 화합물이 되어 체내에 존재하게 되어 중금속 등을 제거하는 효과가 있다. 이와 같은 현상을 이용하여 동물 및 식물질 재료를 중금속 흡착제로 하여 수중에 함유되어 있는 중금속 원소를 제거하려는 몇몇 연구가 보고되고 있다(4-6). 가정에서 물을 끓여 마실 때 널리 사용되는 볶은 곶보리, 옥수수, 치커리, 결명자, 둥굴레 등의 중금속 제거에 관한 연구는 미비한 실정이다. 둥굴레(*Polygonatum odoratum* var. *pluriflorum* Ohwi)는 백합과(Liliaceae)에 속하는 다년생 초본으로 전국 산야의 그늘이나 고산의 초원에서 많이 자생되고, 인공적 재배도 가능한 식용식물이다. 둥굴레는 대체로 점액질이 풍부하고 전분질, 탄수화물, 아미노산, alkaloids, triterpenoid, convallarin, convallamarin 등

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

의 성분을 많이 함유하고 있고(7) 한방과 민간에서 등굴레 근경은 자양·강장효과 외에도 당뇨, 갈증해소, 허약증상, 영양불량, 폐결핵, 강심작용, 혈압저하, 혈당저하, 말기 암의 보조치료제 등에 효능이 있다고 보고되어 있다(8). 최근에는 생리화학적 연구가 활발히 진행되어 혈당강화효과가 보고된 바 있고(9,10), 등굴레는 볶음처리를 함으로써 등굴레 중의 환원당과 질소화합물이 갈색화 반응을 일으켜 갈색색소와 구수한 향미물질이 생성된다(11-13). 따라서 본 연구에서는 중심합성계획법과 반응표면분석을 활용하여 등굴레 근경의 증자 및 볶음조건에 따른 Pb, Cd 제거특성을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

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

증자 및 볶음처리 방법

등굴레 근경을 수증기로 60~180분 증자한 후 열처리의 균일성을 높이기 위하여 성형지름 6 mm로 성형(H Miller, Seoul, Korea)하고 약 2 cm 두께로 절단하여 50℃에서 24시간 열풍 건조하여 수분함량을 10% 이하로 한 것을 실험용 볶음기(THH-020, Seoul, Korea)를 이용하여, 미리 소정의 온도까지 상승시킨 오븐 내 볶음 드럼에 시료 150 g을 넣고 드럼 회전속도 분당 45 rpm으로 회전하면서 110~150℃, 시간 10~50분으로 소정의 볶음온도를 넘지 않도록 $\pm 2^\circ\text{C}$ 범위 내에서 조절하면서 열처리하였다. 볶음처리한 후 즉시 드럼에서 꺼내어 송풍냉각장치에 옮겨 실온까지 냉각시킨 다음 80 mesh로 분쇄하여 밀봉 보관하고 이를 각종 분석 시료로 사용하였다.

증자 및 볶음조건의 최적화를 위한 실험계획

본 실험에서는 등굴레 근경의 증자 및 볶음처리 조건 예측과 열처리 중 중금속 제거효과를 추적, 확인하기 위하여 반응표면분석(response surface methodology, RSM) program(14)을 활용하였다. 실험계획은 중심합성계획법(15)에 의하여 실험을 설계하였으며, 반응표면 회귀분석을 위해 SAS(statistical analysis system) program(16)을 사용하였다. 중심합성계획으로 설계된 등굴레 시료의 요인변수는 증자시간 (X_1), 볶음온도 (X_2) 및 볶음시간 (X_3)으로 각 요인 변수는 -2, -1, 0, 1, 2 다섯 단계로 부호화하여 실험값을 Table 1에 나타내었다. 실험계획에 의한 실험군 수는 Table 2와 같이 16구간으로 설정하여 실험을 실시하였다. 또한 이들 요인변수에 영향을 받는 반응변수(Y_n)들은 수용성 고

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

X_i	Independent variables	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

형분(Y_1), Pb 제거율(Y_2) 및 Cd 제거율(Y_3)로 하여 회귀분석에 사용하였다. 증자 및 볶음조건이 등굴레 근경의 수용성 고형분 및 Pb, Cd 제거에 미치는 영향은 예측된 모델식을 바탕으로 Mathematica program(17)을 이용하여 4차원 반응표면분석으로 해석하였다.

Table 2. Central composite design of optimization for 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

시험용액 조제

실험계획에 의해 설계된 증자 및 볶음조건에 따라 제조한 등굴레 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 등굴레 시료의 수용성 고형분은 시험용액 25 mL를 항량을 구한 수기에 취하여 105℃에서 증발 건조시킨 후 그 무게를 측정하고, 추출액

조제에 사용된 원료량(건물량)에 대한 백분율로서 고흡분 수율을 표시하였다(19).

Pb, Cd 제거율 측정

둥굴레 근경의 중금속 제거효과를 측정을 위해 먼저 Pb와 Cd 표준원액(각각 100 ppm) 20 mL를 1 L 메스플라스크에 넣고 증류수로 정용하여 2 mg/L (2 ppm) 농도로 조제하였다. 여기에 Table 2와 같이 중심합성계획에 의해 16구간으로 볶음 처리한 둥굴레 시료 5 g을 넣고 20분간 가열한 후 증류수로써 1 L로 정용한 후 중금속 양을 원자흡광광도계로 측정하여 중금속 Pb, Cd의 제거율을 분석하였다.

증자 및 볶음조건 최적화 및 실증시험

둥굴레 근경의 증자 및 볶음조건 최적화를 위해 반응변수인 수용성 고흡분 함량, 중금속제거율의 4차원 반응표면을 superimposing했을 때 중복되는 부분의 범위로 예측하였다. 또한 예측된 범위에서 임의의 점을 설정하여 회귀식에 대입하여 최적값을 예측하였으며, 동일조건에서 실제의 실험을 통하여 얻은 실험치와 비교하여 신뢰성을 검증하였다(19).

결과 및 고찰

수용성 고흡분 함량 변화

각 조건별로 증자 및 볶음처리 된 둥굴레 시료의 수용성 고흡분 함량을 비교한 결과는 Table 3에 나타내었으며, 결과에 대한 반응표면 회귀식은 Table 4에 나타내었다. 증자 및 볶음처리 중 둥굴레의 수용성 고흡분 함량은 67~71%로써 큰 차이가 없었으며, 특히 대부분의 가공조건에서 69~70%의 범위를 나타내었다. 이때 증자 및 볶음조건에 따른 수용성 고흡분 함량에 대한 회귀식의 R²가 0.8691로 5% 이내의 유의수준에서 유의성이 인정되었다(Table 4). 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 실시한 결과, 수용성 고흡분의 최대값은 71.47% 이었고, 이때의 증자 및 볶음조건은 증자시간 65.24분, 볶음온도 126.93℃ 및 볶음시간 37.58분 이었다(Table 5). 수용성 고흡분 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 고흡분 함량의 변화는 Fig. 1과 같이 볶음시간이 증가할수록 증가되었으며, 볶음온도 120~135℃의 범위에서 장시간 열처리함에 따라 수용성 고흡분 함량이 높게 나타났다. 이는 볶음에 의하여 전분이 텍스트린화 됨에 따라 수용성 성분들이 점차 많이 생성되었기 때문으로 생각된다. 또한 120~135℃ 범위 밖에서는 장시간 볶음처리를 할 경우 수용성 고흡분의 함량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 서 등(20)의

Table 3. Experimental data on soluble solids and elimination of Pb, Cd of *Polygonatum odoratum* root under different conditions based on central composite design for response surface analysis

Exp No ¹⁾	Functional properties		
	Soluble solid (%)	Pb (ppm/removal rate, %)	Cd (ppm/removal rate, %)
1	69.41	1634/18.3	1.09/45.5
2	68.13	1692/15.4	1.06/47.0
3	70.07	1692/15.4	1.12/44.0
4	70.41	1729/13.6	1.16/42.0
5	68.21	1711/14.5	1.31/34.5
6	68.49	1744/12.8	1.09/45.5
7	69.94	1802/9.9	1.15/42.5
8	69.02	1789/10.6	1.19/40.5
9	70.60	1801/10.0	1.20/40.0
10	70.49	1788/10.6	1.19/40.5
11	68.93	1693/15.4	1.13/43.5
12	67.71	1773/11.4	1.14/43.0
13	68.14	1735/13.3	1.09/45.5
14	70.94	1742/12.9	1.15/42.5
15	71.79	1682/15.9	1.19/40.5
16	69.78	1672/16.4	1.06/47.0

¹⁾The number of experimental conditions by central composite design

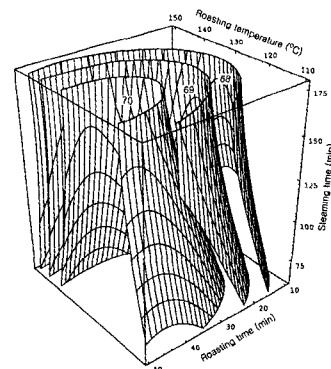


Fig. 1. Response surface for soluble solid content of *Polygonatum odoratum* root at values of 68, 69 and 70% depending on steaming and roasting conditions.

연구에서 볶음보리의 가용성 고흡분 함량은 볶음온도와 볶음시간이 일정범위 이상 증가되면 수용성 성분의 함량이 감소한다는 결과와 같은 경향이였다. 이러한 결과는 볶음조건이 온화한 경우는 볶음에 의해서 둥굴레의 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 관

Table 4. Polynomial equations calculated by RSM program for steaming and roasting conditions of *Polygonatum odoratum* root

Responses	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
Pb removal rate	$Y_{Pb} = 212.412500 - 2.264375X_1 - 0.330625X_2 - 0.643958X_3 + 0.007750X_1^2 - 0.002625X_1X_2 + 0.007000X_2^2 + 0.001542X_1X_3 + 0.001458X_2X_3 + 0.001625X_3^2$	0.8480	0.0620
Cd removal rate	$Y_{Cd} = 282.500000 - 2.884375X_1 - 1.340625X_2 - 0.496875X_3 + 0.007500X_1^2 + 0.011875X_1X_2 + 0.009375X_2^2 + 0.003958X_1X_3 - 0.006875X_2X_3 + 0.000972X_3^2$	0.8278	0.0850

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

여함으로써 가용성 물질이 감소하는 것으로 생각된다 (21,22). 이와 함께 과도한 열처리는 둥굴레의 구조가 수축 또는 경화되게 함으로써 물의 침투가 곤란한 구조로 바뀌어 추출되는 가용성 고형분의 함량을 낮추는 것으로 생각된다 (23).

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

Responses	Steaming time(min)	Roasting temperature(°C)	Roasting time(min)	Maximum	Morphology
Soluble solid (%)	65.24	126.93	37.58	71.47	Saddle point
Pb removal rate (%)	71.23	119.81	23.45	18.87	Minimum
Cd removal rate (%)	160.89	126.43	15.81	50.85	Saddle point

Pb, Cd 제거율 변화

중심합성계획에 의해 16구간으로 설정된 둥굴레 시료의 Pb와 Cd에 대한 제거율을 측정된 결과는 Table 3에 나타내었으며, 반응표면 회귀식은 Table 4에 나타내었다. Pb 제거율을 측정된 결과 회귀식의 R²는 0.8480으로 유의성이 10% 이내의 유의수준에서 인정되었다. 예측된 정상점은 최저점으로, 증자시간 71.23분, 볶음온도 119.81°C 및 볶음시간 24.35분일 때 최대값은 18.87% 였다(Table 5). Pb 제거율에 대한 증자 및 볶음조건의 영향은 Table 6에서와 같이 볶음온도에 가장 큰 영향을 받고 있었으며, 그 다음으로 증자시간에 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. Fig. 2에서도 알 수 있듯이 Pb 제거율은 볶음온도가 낮을수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 증자시간이 150분 이상에서 높은 값을 나타내었다. 또한 16구간으로 제조된 둥굴레 시료의 Cd 제거율을 측정된 결과 회귀식의 R²는 0.8278로 유의성은 10% 이내의 유의수준에서 인정되었다. 예측된 정상점은 안장점으로 최대값을 예측하기 위해 능선분석을 실시하였다. 그 결과 증자시간 160.89분, 볶음온도 126.43°C 및 볶음시간 15.81분일 때 최대값은 50.85% 였다(Table 5). Cd 제거율에 대한 증자 및 볶음조건의 영향은 Table 6에서 알 수 있듯이 증자시간에 가장 큰 영향을 받고 있었으며, 볶음시

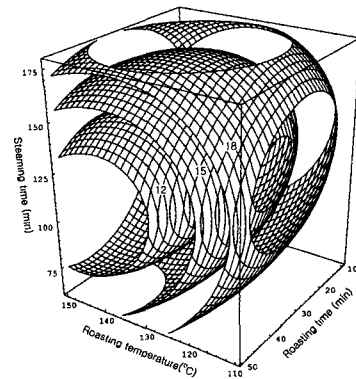


Fig. 2. Response surface for Pb removal rate of *Polygonatum odoratum* root at values of 12, 15 and 20% depending on steaming and roasting conditions.

간에도 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 Cd 제거율은 증자시간이 길고, 볶음시간이 짧을수록 증가하는 경향을 나타내었다.

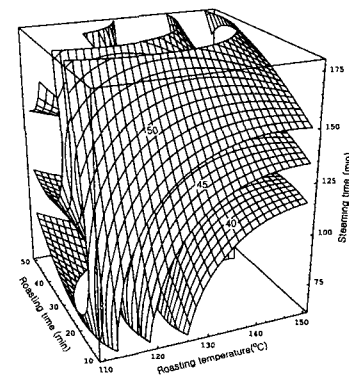


Fig. 3. Response surface for Cd removal rate in *Polygonatum odoratum* root at values of 40, 45 and 50% depending on steaming and roasting conditions.

대부분의 사람들은 수돗물 자체를 음용수로 사용하기 보다는 보리차, 옥수수차, 결명차 등으로 섭취하고 있다(24). 차를 제조하는 과정에서 물 중의 금속이온들이 제거되는 것은 보리나 옥수수의 알곡 표면에 존재하는 phytate [myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis (dihydrogen phosphate)],

Table 6. Regression analysis for regression model of functional properties in steaming and roasting conditions of *Polygonatum odoratum* root

Dependent variables	F-ratio		
	Steaming time	Roasting temperature	Roasting time
Soluble solid	1.11	3.51*	4.55**
Pb removal rate	3.98*	4.57**	1.98
Cd removal rate	4.94**	2.77	3.71*

*Significant at 10% level, **Significant at 5% level

섬유소(cellulose), lignin 등이 2가 및 3가의 금속이온과 킬레이트 또는 착물을 잘 생성하기 때문인 것으로 알려져 있다(26). 팥 등(26)은 볶은 겉보리, 옥수수, 등굴레, 치커리를 넣고 차를 제조할 때 중금속 흡착 제거율이 가장 높은 반응시간은 20분이고 각 중금속에 대한 시료량의 최적 투입량은 20 g/L 라고 보고하였다. 김(27)은 보리의 볶음 정도, 끓이는 시간 및 보리차 재료의 함량에 따른 중금속 제거 연구를 실시하였는데 볶음 정도와 끓이는 시간에 비례하여, 그리고 볶은 보리의 첨가량이 많을수록 제거율이 증가하였다는 결과를 보고하였다. 본 논문에서는 시료의 증자 및 볶음 조건도 중금속 제거율에 영향을 미치는 것으로 확인되어 볶음 등굴레의 끓이는 시간 및 첨가량에 따른 연구도 요망되고 있다.

증자 및 볶음조건 최적화 및 실증

중심합성 실험계획에 의해 증자 및 볶음조건을 달리하여 조제한 등굴레차에 대하여 반응변수에 해당하는 품질인자로서 수용성 고형분 및 Pb, Cd 제거율을 각각 평가하고 이들의 상대적인 값을 증자시간, 볶음온도 및 볶음시간에 대해 분석하여 4차원 반응표면으로 나타내어 보았다. Fig. 1~3에 각각 나타난 바와 같이 볶음조건에 대한 이들 반응 변수들의 값은 조금씩 다른 양상의 반응표면을 나타내고 있으므로, 수용성 고형분, Pb 제거율, Cd 제거율의 반응표면을 모두 겹쳐서 superimposing하여 보았다. 그 결과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 dark zone으로 표현된 부분이 얻어졌고, 이 부분이 등굴레차의 품질 및 Pb, Cd 제거 특성을 극대화시킬 수 있는 증자 및 볶음조건 최적 범위로서 Table 7에서와 같이 증자시간 165~180분, 볶음온도 120~135℃ 및 볶음시간은 30~45분의 범위로 각각 나타났다.

따라서 이와 같이 예측된 최적조건 범위 내에서 임의의 조건 즉, 증자시간 175분, 볶음온도 130℃ 및 볶음시간 35분을 회귀식에 대입하여 등굴레의 특성을 예측해 보았을 때 수용성 고형분 70.12%, Pb 제거율 15.16% 및 Cd 제거율 43.62%로 예측되었다(Table 8). 이상의 선택된 조건에서 실제 실험을 실시하여 각 특성치를 비교해 본 결과 수용성

Table 7. The range of optimum roasting conditions to yield maximum responses by superimposing for Pb and Cd elimination rate

Roasting conditions	Range of optimum condition
Steaming time (min)	165~180
Roasting temperature (°C)	120~135
Roasting time (min)	30~45

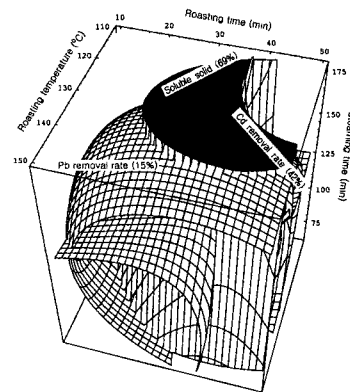


Fig. 4. Superimposed contour maps for optimization of soluble solid (69%), Pb removal rate (15%) and Cd removal rate (42%) of *Polygonatum odoratum* root.

고형분, Pb 및 Cd 제거율에서 예측치와 실제치는 매우 유사한 값을 나타내었으므로 본 연구에서 도출된 회귀식은 그 신뢰성이 검증되었다.

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 (%)	70.12	69.42
Pb removal rate (%)	15.16	14.85
Cd removal rate (%)	43.62	45.10

¹⁾Calculated using the predicted equation for response variables
Given conditions of independent variables steaming time 175 min, roasting temperature 130℃ and roasting time 35 min

²⁾Mean values of triplicates determinations

요 약

등굴레 근경의 증자 및 열처리 중 수용성 고형분 및 Pb, Cd 제거율의 변화를 확인하기 위하여 반응표면분석(RSM)을 활용하였다. 중심합성계획법에 따라 증자시간(60~180 min), 볶음온도(110~150℃) 및 볶음시간(10~50 min)을 달리하여 16구간으로 제조된 시료의 수용성 고형분 함량, Pb

및 Cd 제거율을 측정하고 회귀분석을 실시하였다. 예측된 가용성 고형분의 최대값은 71.47% 이었으며, 이때의 증자 및 볶음조건은 증자시간 65.24분, 볶음온도 126.93℃ 및 볶음시간 37.58분 이었다. 등굴레 시료의 Pb 제거율은 증자시간 71.23분, 볶음온도 119.81℃ 및 볶음시간 24.35분일 때 최대값 18.87%이었으며, Cd 제거율은 증자시간 160.89분, 볶음온도 126.43℃ 및 볶음시간 15.81분일 때 최대값 50.85%로 예측되었다. 증금속 제거율을 고려한 등굴레차의 품질특성을 극대화시킬 수 있는 증자 및 볶음조건은 증자시간 165~180분, 볶음온도 120~135℃ 및 볶음시간 30~45분 범위로 예측되었다. 이상의 예측범위 내의 임의의 점에서 실제 실험한 실험치는 반응표면분석법에 의해 예측된 값과 유사한 경향을 보여 도출된 회귀식의 신뢰성을 검증할 수 있었다.

참고문헌

- Te, K.H., King, L.D. and Morris, H.D. (1971) Complex reaction of zine with organic matter extracted from sewage sludge. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35, 748-752
- Petruzzellei, G., Guid, G. and Lubrano, L. (1978) Organic matter as an influencing factor on copper and cadmium adsorption by soil *Water Air Soil Pollut.*, 9, 263-269
- WHO. (1984) *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva, Austria
- Choi, S.I., Hwang, J.B., Kwon, J.H. and Kim, H.K. (1998) Suppressing effect of medicinal plants on the intestinal absorption of heavy metals. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 30, 456-460
- Paeng, J.J., Park, Y.S., Cheung, H.J., Park, H.S. and Kim, H.R. (1999) Effects of roasted barley, corn, solomon's seal, chicory on removal of heavy metals. *J. Korean Soc. Environ. Administ.*, 5, 573-580
- Park, K.H., Kwon, Y.D., Park, M.A. and Park, B.J. (2001) A study on adsorption kinetics of the heavy metals, Cd(II), Pb(II), Cu(II) and Zn(II) ions by the persimmon leaves *J. Korean Soc. Environ. Anal.*, 4, 159-167
- RDA. (1990) *Classification of Korean medicinal plant resources*. National Crop Experiment Station, Rural Development Administration, Korea, p.243-244
- Ahn, D.G. (1993) *Restorative of Korea*. Yeollin Chakdle, Seoul, Korea, p.307-312
- Kim, J.K. and Lee, Y.J. (1980) Pharmacognostical studies on the rhizome of *Polygonatum robustum* Nakai. *Kor. J. Pharmacogn.*, 11, 69-74
- Lim, S.J. and Kim, K.J. (1995) Hypoglycemic effect of *Polygonatum Odoratum* var *Pluriflorum* Ohwi extract in streptozotocin-induced diabetic rats. *Korean J. Nutr.*, 28, 727-736
- Lee, Y.T., Seog, H.M., Kim, S.S., Kim, K.T. and Hong, H.D. (1994) Changes in physicochemical characteristics of immature barley kernels during roasting. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 26, 336-342
- Choi, J.H., Kim, W.J. and Park, K.D. (1980) Color evaluation of red ginseng extract and its changes during heat treatment. *Korean J. Ginseng Sci.*, 4, 165-174
- Park, M.H., Kim, K.C. and Kim, J.S. (1993) Changes in the physicochemical properties of ginseng by roasting. *Korean J. Ginseng Sci.*, 17, 228-231
- Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J.L. (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, G.D., Lee, J.E. and Kwon, J.H. (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, L.A. and James, P.B. (1992) *The Mathematica Handbook*. Compatible with Mathematica, Version 2.0 Harcourt Brace, Massachusetts : An Imprint of a Division of Academic Press.
- Kwon, J.H., Belanger, J.M.R. and Pare, J.R.J. (2003) Optimization of microwave-assisted extraction (MAP) for ginseng components by response surface methodology. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 1807-1810
- Lee, G.D. and Kwon, J.H. (1998) The use of response surface methodology to optimize the Maillard reaction to produce melanoidins with high antioxidative and antimutagenic activities. *Int'l J. Food Sci. Technol.*, 33, 375-383
- Suh, C.S. and Chun, J.K. (1981) Relationships among the roasting conditions, colors and extractable solid content of roasted barley. *Korean J. Food Sci Technol.*, 13, 334-339
- Mok, C.K., Song, K.T., Lee, S.K., Na, Y.J., Park, J.H., Kwon, Y.A. and Lee, S.J. (2001) Optimization of roasting process as pre-treatment for extraction of Omija (*Schizandra chinensis* Baillon). *Korean J. Food Sci. Technol.*, 33, 333-337
- Kim, D.H. (1996) *Food Chemistry*. Tamgudang Publishing Co., Seoul, p.401-447
- Kim, B.M. (1999) *Food Preservation Technology*. Jinroyoungusa Publishing Co., Seoul, p.174-175

24. Kim, H.K. and Lee, S.H. (1999) Effect of barley tea on the reduction of the tap water chlorination by-products on top water and identification of maillard reaction products in the extracts of barley tea, corn tea, and *Cassia tora* seed tea using GC/MSD. J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol., 42, 256-261
25. Maga, J.A. (1982) It's chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and method of analysis. J. Agric. Food Chem., 30, 1-9
26. Paeng, J.I., Park, Y.S., Cheung, H.J., Park, H.S. and Kim, H.R. (1999) Effects of roasted barley, corn, solomom's seal, chicory on removal of heavy metals. J. Korean Soc. Environ. Administ., 5, 573-580
27. Kim, S.H. (1991) Studies on heavy metal absorption during the preparation of barley tea. Dongduk Women's University, M.S. thesis.
-
- (접수 2005년 3월 3일, 채택 2005년 5월 20일)