

반응표면분석에 의한 천마의 건조조건 모니터링

김성호 · 김인호¹ · 강복희¹ · 이상한² · 권택규³ · 이진만[†]
경북과학대학 약용식품과, ¹경북과학대학 바이오건강산업연구소,
²경북대학교 식품공학과, ³계명대학교 의과대학 면역학교실

Monitoring of Drying Conditions for *Gastrodia elata* Blume by Response Surface Methodology

Seong-Ho Kim, In-Ho Kim¹, Bok-Hee Kang¹, Sang-Han Lee²,
Taeg-Kyu Kwon³ and Jin-Man Lee

Department of Herbs & Food Science, Kyungbook College of Science, Chilgok 718-851, Korea

¹Bio-Health Industrial Institute, Kyungbook College of Science, Chilgok 718-851, Korea

²Department of Food Science & Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

³Department of Immunology, School of Medicine, Keimyung University, 700-712, Korea

Abstract

The *Chunma* (*Gastrodia elata* Blume) requires a simple pre-treatment, due to inconvenience of preservation, toxicities, and pungencies in intact state. Various drying conditions were examined to establish the physicochemical properties of *Chunma* by the response surface methodology (RSM). Water activity and total phenolic acid contents of *Chunma* dried extracts were optimal at 79.56°C and 79.64°C for 7.17 hr and 8.74 hr, respectively, for their characteristics. Electron-donating ability and nitrite-scavenging activity were optimal at 79.79 and 79.99°C for 8.57 and 8.07 hr. We generated a regression equation for each variable and then superimposed the optimal condition in acquiring values for each drying process factor, physicochemical properties, resulting in that the optimal drying condition was at 75~80°C for 8~9 hr.

Key words : *Chunma*, drying condition, physicochemical properties, response surface methodology

서 론

천마(*Gastrodiae Rhizoma*)는 뿌리나뭇과 버섯과 편리공생하는 난초과(*Orchidaceae*)에 속하는 다년생 초본인 수자해 쫄(천마, *Gastrodia elata* Blume)의 뿌리를 지칭하는 것으로서(1,2) 고혈압, 신경성질환, 당뇨병 등(3)의 성인병 외에도 최근 새로운 약리 활성으로서 항혈전 작용(4), 항산화작용(5), γ -aminobutyric acid(GABA)성 신경전달 조절 작용(6)이 있는 것으로 알려져 있는 한약재이다. 또한 천마는 신농본초경, 약성론 등의 한방에서 무독한 것으로 여겨지고 있다. 천마는 우리나라의 강원도와 경기도 일부 지역에서 자생되

어 왔으나 최근 인공재배에 성공하여 생산이 가능하게 되어 그 식품학적 가치를 구명하여 기능성 식품으로 발굴할 가치가 있다고 생각된다. 천마의 임상적 효능은 이미 분초분헌에 널리 기재되어 한국과 중국 등의 동양권에서 천마의 약리적 효능에 대한 과학적인 연구활동이 이루어지고 있으나(7,8) 아직까지 천마의 성분분석이나 특성, 정확한 약리적 효능에 대한 자료는 미비한 실정이다.

지금까지 이루어진 국내 연구로는 천마의 여러 가지 효능에 대한 실험적 연구(2), 천마의 항혈소판 및 항혈전활성에 대한 연구(4), 천마 extract가 관상순환기에 미치는 영향(9), 일반성분에 대한 보고(10)정도가 있을 뿐이다. 현재까지 분리된 천마의 성분은 대부분 페놀성 화합물로서 gastrodin을 비롯한 페놀성 배당체(11), gastrodigenin 외 다수의 페놀성 화합물(12,13), 그리고 유허 함유 페놀성 화합

[†]Corresponding author. E-mail : jmlee@kbcs.ac.kr,
Phone : 82-54-972-9543, Fax : 82-54-979-9220

물 등(14)이 있으며, 비 페놀성 화합물로는 *circumaldehyde* 등(15)이 보고되는 등 천마의 약리적인 효능이 인정됨에 따라 가공식품으로의 개발 확대가 더욱 요구되고 있다. 한편 천마를 채취한 그대로 이용하는 데에는 생체보존에 따른 불편, 부패, 독성과 자극성 등의 부작용이 있어 간단한 가공 처리를 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 가공식품으로의 개발에 활용될 수 있는 기초자료를 제공하고자 건조조건에 따른 천마의 이화학적 및 항산화적 특성을 모니터링하기 위하여 반응표면분석법으로 최적 건조조건을 설정하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 천마(*Gastrodia elata* Blume)는 경북 칠곡군 기산면 지역에서 재배된 것을 구입하여 탈피하여 10 mm로 세절 후 autoclave를 이용하여 증자온도 100°C, 증자시간 40 min으로 증자를 한 후 실험재료로 사용하였다.

건조조건 설정을 위한 실험계획

본 실험에서는 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)(16)을 이용하여 최적 건조조건에 대한 예측과 건조조건에 따른 건조물의 이화학적 특성을 모니터링하였다. 건조조건의 최적화를 위한 실험계획은 중심합성계획법에 의하여 설계하였고, 반응표면분석법을 위해서는 SAS(statistical analysis system) program(17)을 사용하였다. 중심합성계획에서 독립변수(X_n)는 건조온도(40~80°C, X_1) 및 건조시간(4~12 hr, X_2)이며, 실험계획은 -2, -1, 0, 1, 2로 5단계 부호화하여 Table 1에 나타내었다. 천마의 이화학적 특성에 관련된 종속변수(Y_n)로는 수분활성도(Y_1), 수분함량(Y_2), 총 페놀성 화합물 함량(Y_3), 전자공여능(Y_4), 아질산염소거능(Y_5), 환원당 함량(Y_6) 및 갈색도(Y_7)로 각각 나타내었다. 이때 두 가지의 건조조건에 따른 2차 회귀모형식은 식 (1)과 같다.

Table 1. Level of drying conditions

Drying conditions	-2	-1	0	1	2
X_1 Temperature (°C)	40	50	60	70	80
X_2 Time (hr)	4	6	8	10	12

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 \quad (1)$$

여기서 Y는 건조한 천마의 이화학적 특성, X_1 및 X_2 는 건조조건, B_0 는 회귀계수이다.

추출

건조한 천마 분말시료 5 g에 80% ethanol 100 mL를 가하

여 90°C에서 2시간 환류추출한 후 여과하여 이화학적 특성 시험용액으로 사용하였다.

원료의 일반성분

천마의 일반성분으로서 수분과 회분 함량은 AOAC법(18)에 준하여 105°C 상압건조법과 직접회화법을 각각 사용하여 측정하였다. 조단백질은 자동질소분해증류장치(Kjedahl automatic distillation unit, J. P. Selecta. s. a. Co., Spain)에 의해, 조지방은 용매자동회수지방추출장치(Del-gras, J. P. Selecta. s. a. Co., Spain)를 사용하여 측정하였다.

수분활성도 및 수분함량 측정

수분활성도는 Thermoconstanter(TH 200, novasina Co., Swiss)를 사용하여 측정하였고, 수분함량의 측정은 Moisture balance(AMB 50, Adam equipment Co. Ltd., U.K.)를 사용하여 측정하였다.

총페놀성 화합물의 함량 측정

총 페놀성 화합물 함량은 Folin-Denis법(19)에 따라 비색정량하였다. 즉 각 시험용액을 일정하게 희석한 검액 2 mL에 Folin-Ciocalteu 시약 2 mL를 가하여 혼합하고, 3분 후 10% Na_2CO_3 2 mL를 넣어 진탕하고 1시간 실온에서 방치하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로는 tannic acid를 5~50 µg/mL의 농도로 조제하여 검량곡선의 작성에 사용하였다.

전자공여능 측정

시험용액의 전자공여능(electron donating ability, EDA) 시험은 α, α -diphenyl- β -picrylhydrazyl(DPPH)를 사용한 방법(20)으로 측정하였다. 즉, DPPH 시약 12 mg을 absolute ethanol 100 mL에 용해한 후 증류수 100 mL를 가하고 50% ethanol 용액을 blank로 하여 517 nm에서 DPPH 용액의 흡광도를 약 1.0으로 조정하였다. 이 용액 4 mL를 취하여 시험용액 1 mL와 혼합한 후 상온에서 10분간 방치시킨 다음 517 nm에서 흡광도를 측정하여 시료첨가구와 무첨가구의 흡광도 차이를 백분율(%)로 표시하여 전자공여능으로 하였다.

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

아질산염소거능 측정

조건에 따른 각 시료의 아질산염 소거능은 Kato 등(21)의 방법으로 520 nm에서 비색정량하였다. 즉 1 mM $NaNO_2$ 용액 1 mL에 조정 농도의 시료를 첨가하고 여기에 0.1 N HCl(pH 1.2)과 0.2 M 구연산 완충액(pH 3.0 및 4.2)을 사용하여 반응용액의 pH를 각각 1.2, 3.0 및 4.2로 조정하여 각 반응용액을 10 mL로 정용하였다. 각 반응용액은 37°C에서 1시간 동안 반응시킨 후 1 mL를 취해 2% 초산용액 5

mL를 첨가한 다음, Griess 시약(30% acetic acid로 각각 조제한 1% sulfanilic acid와 1% naphthylamine을 1:1로 혼합한 것, 사용직전 조제) 0.4 mL를 가하여 잘 혼합시켜 실온에서 15분간 방치시킨 후 분광광도계를 사용하여 520 nm에서 흡광도를 측정하여 아래 식에 의하여 아질산염 소거능을 구하였다.

$$N(\%) = \left(1 - \frac{A - C}{B}\right) \times 100$$

- N : 아질산염 소거율
- A : 1 mM NaNO₂ 용액에 시료를 첨가하여 1시간 방치시킨 후의 흡광도
- B : NaNO₂ 용액의 흡광도
- C : 시료자체의 흡광도

환원당 측정

각 시료의 환원당 함량은 dinitrosalicylic acid(DNS) 비색법(22)으로 분광광도계를 사용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하여 glucose 양으로 환산하였다.

갈색도 측정

각 시료의 갈색도는 UV-visible spectrophotometer(UV-1601PC, Shimadzu Co., Japan)를 사용하여 420 nm에서 측정하였다.

최적 건조조건 예측

조건에 따른 각 건조물의 최적 건조조건을 예측하기 위하여 각 이화학적 특성에 대한 반응표면을 superimposing 하였을 때, 중복되는 부분의 범위를 설정하였다(23). 또한 예측된 범위에서 임의의 점을 설정하여 회귀식에 대입한 후 그 예측된 최적값을 구하였다.

결과 및 고찰

일반성분

원료인 생천마의 일반성분을 분석한 결과는 Table 2와 같이 수분 77.59%, 조단백질 1.63%, 조지방 0.09%, 조회분 1.62% 및 탄수화물 19.07%로 각각 나타났다. 한편 Lee 등(24)은 생천마의 수분함량이 81.20%로 보고하여, 이 결과는 본 실험치와는 약간의 차이가 있었다.

Table 2. Proximate composition of *Gastrodia elata* Blume

(unit : %)				
Moisture	Crude Protein	Crude Fat	Ash	Carbohydrate
77.59	1.63	0.09	1.62	19.07

건조 천마는 생천마와 달리 주성분이 단백질과 탄수화물로서 Chung과 Ji(10)는 건조 천마의 일반성분으로 수분 11.8%, 회분 3.2%, 조단백질 7.6%, 조지방 0.5% 및 탄수화물 72.9%로 보고하였는데 생천마를 건조하므로 수분은 감소하며, 단백질 및 탄수화물의 함량이 증가된 것으로 추정된다.

수분활성도

중심합성계획에 의한 천마 건조조건에 따른 수분활성도는 Table 3에 나타내었고, 결과에 대한 반응표면 회귀식은 아래와 같다.

$$Y_{WA} = 7.4484052 - 0.122760X_1 - 0.0709310X_2 + 0.000530X_1X_2 + 0.005475X_1^2 + 0.019009X_2^2$$

수분활성도에 대한 회귀식 R²는 0.9815이고 유의성은 1% 이내의 수준에서 인정되었다. 예측된 정상점은 최소점이고, 이때 최소 수분활성도는 0.05로 예측되었으며, 이 예측된 수분활성도를 얻을 수 있는 건조조건들은 건조온도 75.93°C, 건조시간 7.72 hr이었다(Table 7). Fig. 1에서 보는 바와 같이 수분활성도의 contour map을 분석한 결과, 건조온도 55°C 이상과 건조시간 5.4~9.4 hr 범위에서 수분활성도가 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 수분활성도에 대한 건조조건은 Table 5와 같이 건조온도, 건조시간의 두 가지 변수 모두에서 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러므로 천마의 수분활성도를 조절하기 위해서는 건조온도, 건조시간을 모두 고려해야 할 것으로 사료된다.

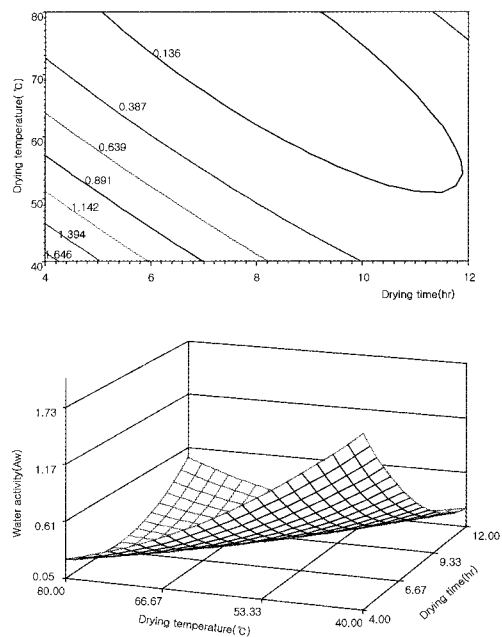


Fig. 1. Contour map (top) and response surface (bottom) of water activity by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

수분함량

건조조건에 따른 수분함량은 Table 3에 나타내었고, 이에 대한 contour map 및 반응표면은 Fig. 2와 같고 이때 회귀식은 다음과 같다.

$$Y_{MC} = 228.763214 - 3.111262X_1 - 26.597679X_2 + 0.008897X_1X_2 + 0.204875X_1^2 + 0.712121X_2^2$$

Table 3. Experimental data on water activity, moisture content, reducing sugar content and browning color of *Gastrodia elata* Blume under different conditions based on central composite design for response surface analysis

Exp. No.	Drying conditions		Water activity (Aw)	Moisture content (%)	Reducing sugar content (mg%)	Browning color (O.D.)
	Temp. (°C)	Time (hr)				
1	70	10	0.129	4.43	26.80	0.421
2	70	6	0.147	5.07	26.97	0.336
3	50	10	0.260	5.78	29.94	0.291
4	50	6	0.716	22.81	23.82	0.217
5	60	8	0.141	4.69	27.07	0.363
6	60	8	0.140	4.75	27.97	0.364
7	80	8	0.079	1.18	30.61	0.865
8	40	8	0.648	15.91	24.85	0.369
9	60	12	0.114	3.33	23.01	0.348
10	60	4	0.797	29.43	8.06	0.098

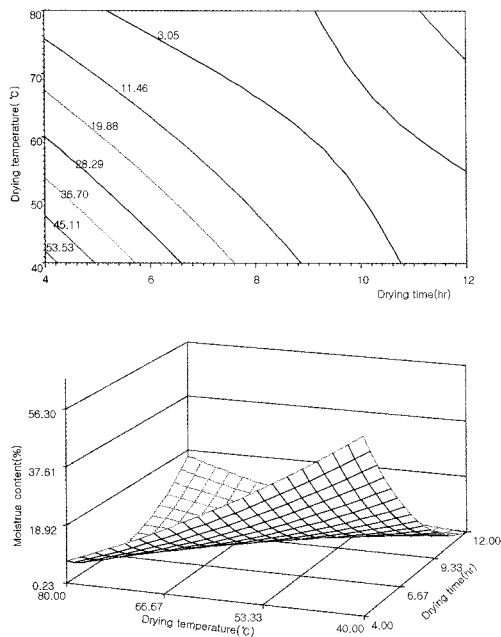


Fig. 2. Contour map (top) and response surface (bottom) of moisture content by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

Table 7에서와 같이 수분함량의 회귀식의 R²는 0.9794이었고, 1% 이내 수준에서 유의성이 인정되었다. 최적 건조조건을 위한 예측조건은 건조온도 79.71°C, 건조시간 7.32 hr 이었고, 이때 예측된 정상점은 안장점이었다. Fig. 2와 같이 건조물의 수분함량은 건조조건 모두에서 영향을 받는 것으로 나타났으며, 건조온도가 높을수록, 건조시간이 길수록 수분함량이 감소하는 경향을 나타냈다. 수분함량은 수분활성도의 반응표면과 유사하게 나타났으며, 따라서 수분함량이 수분활성도와 관련이 있는 것으로 사료된다.

총 페놀성 화합물 함량 변화

각 조건의 건조물에서 총 페놀성 화합물의 함량은 Table 4에 나타내었다. 그리고 최적 추출조건과 contour map 및 반응표면은 Table 7과 Fig. 3에 각각 나타내었으며, 이들의 회귀식은 다음과 같다.

$$Y_{TPC} = -56.973929 + 0.674024X_1 + 25.871607X_2 + 0.002137X_1X_2 - 0.056625X_1^2 - 1.193147X_2^2$$

Table 4. Experimental data on total phenolics content, electron donating ability and nitrite-scavenging ability of *Gastrodia elata* Blume under different drying conditions based on central composite design for response surface analysis

Exp. No.	Drying conditions		Total phenolics content (mg%)	Electron donating ability (%)	Nitrite-scavenging ability(%)		
	Temp. (°C)	Time (hr)			pH 1.2	pH 3.0	pH 4.2
1	70	10	97.40	58.96	60.39	60.85	27.15
2	70	6	95.16	50.63	62.38	59.83	30.29
3	50	10	88.69	44.06	58.06	57.20	26.61
4	50	6	81.92	34.97	63.15	60.85	29.09
5	60	8	93.75	57.70	61.71	58.99	26.61
6	60	8	93.91	56.93	61.59	59.22	26.54
7	80	8	103.90	88.38	70.79	69.97	29.97
8	40	8	86.23	41.28	61.94	61.46	23.91
9	60	12	93.17	56.81	57.56	55.06	20.34
10	60	4	57.07	40.15	62.38	60.24	28.15

Table 7에서와 같이 회귀식의 R²는 0.9121이었고, 5% 이내의 수준에서 유의성이 인정되었다. 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 한 결과, 최대값은 105.82 mg% 이었고, 이때의 건조조건은 건조온도 79.64°C, 건조시간 8.74 hr이었다. Fig. 3의 contour map에서 총 페놀성 화합물의 함량은 건조시간이 길수록 증가하였으나, 9 hr 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 총 페놀성 화합물 함량에 대한 건조조건은 건조온도보다는 건조시간에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 6).

전자공여능에 대한 건조조건의 영향

DPPH는 free radical의 안정된 모델로서 반응 중 DPPH의 감소는 radical의 소거 반응이 진행됨을 예측할 수 있어, radical에 의한 지질과산화의 초기 반응의 억제 정도를 판단할 수 있다(25). 천마의 각 건조물에 대한 전자공여능을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 이 결과를 이용하여 건조조건과 전자공여능에 대한 반응표면 회귀식은 아래와 같다.

$$Y_{EDA} = 32.635952 - 1.882405X_1 + 9.040595X_2 + 0.024984X_1X_2 - 0.009500X_1^2 - 0.397277X_2^2$$

이때 건조물의 전자공여능에 대한 R²는 0.8700으로 10% 이내의 유의성이 인정되었다. 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석을 한 결과 최대값은 83.36%이었고, 이때 건조조건은 건조온도 79.79℃ 및 건조시간 8.57 hr이었다(Table 7). 실험조건에 따라 얻은 건조물의 전자공여능에 대한 contour map 및 3차 반응표면은 Fig. 4에 나타내었다. 건조물의 전자공여능은 건조온도가 높을수록, 건조시간이 길수록 증가하는 반응표면을 나타내었으며, 건조시간보다는 건조온도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

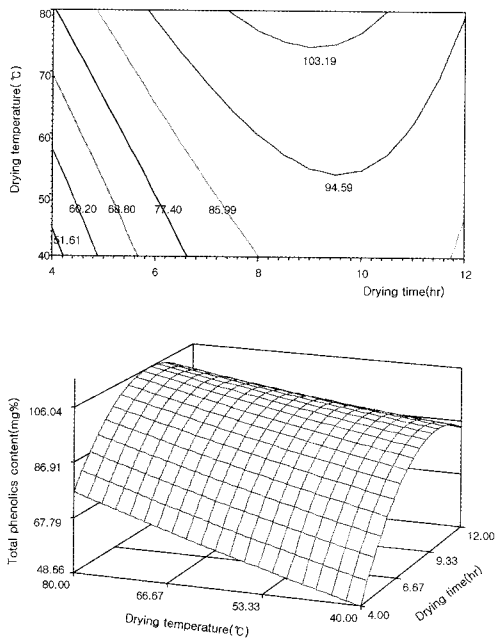


Fig. 3. Contour map (top) and response surface (bottom) of total phenolics content by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

Table 5. Regression analysis for regression model of water activity, moisture content, reducing sugar content and browning color depending on drying conditions of *Gastrodia elata* Blume

Drying conditions	F-Ratio			
	Water activity (Aw)	Moisture content (%)	Reducing sugar content (mg%)	Browning color (O.D.)
X1 Temperature (°C)	37.31***	21.71***	0.90	11.22**
X2 Time (hr)	42.26***	47.74***	11.98**	2.76

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

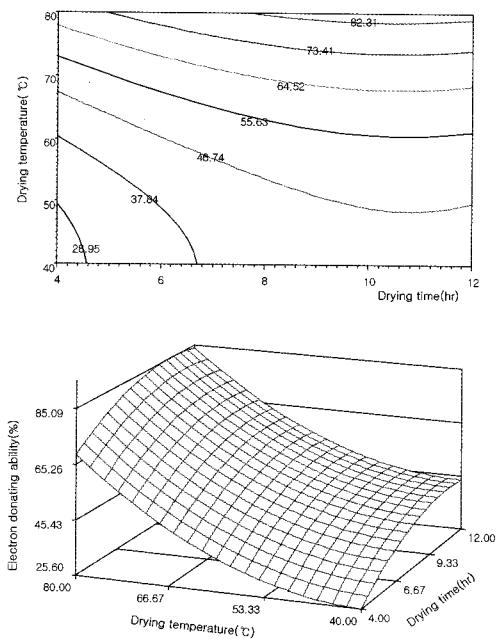


Fig. 4. Contour map (top) and response surface (bottom) of electron donating ability by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

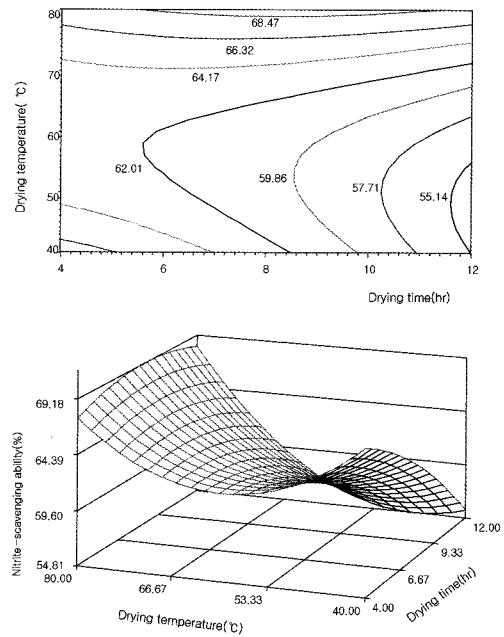


Fig. 5. Contour map (top) and response surface (bottom) of nitrite-scavenging ability(pH 1.2) by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

아질산염 소거능의 변화

각 건조물의 아질산염 소거능은 Table 4와 같이 pH에 따른 영향이 크게 나타났다. 즉, pH 1.2와 3.0에서는 50% 이상의 높은 아질산염 소거능을 나타내었으며, pH 4.2에서는 50% 이하의 낮은 아질산염 소거능을 나타내었다.

건조조건에 따른 건조물의 아질산염소거능에 대한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y_{pH1.2} = 116.351548 - 1.685179X_1 - 1.745595X_2 + 0.012797X_1X_2 + 0.038750X_1^2 - 0.079754X_2^2$$

$$Y_{pH3.0} = 137.0535357 - 2.247214X_1 - 2.791964X_2 + 0.017033X_1X_2 + 0.058375X_1^2 - 0.078237X_2^2$$

$$Y_{pH4.2} = 12.459405 + 0.215440X_1 + 2.223690X_2 - 0.000588X_1X_2 - 0.003250X_1^2 - 0.183147X_2^2$$

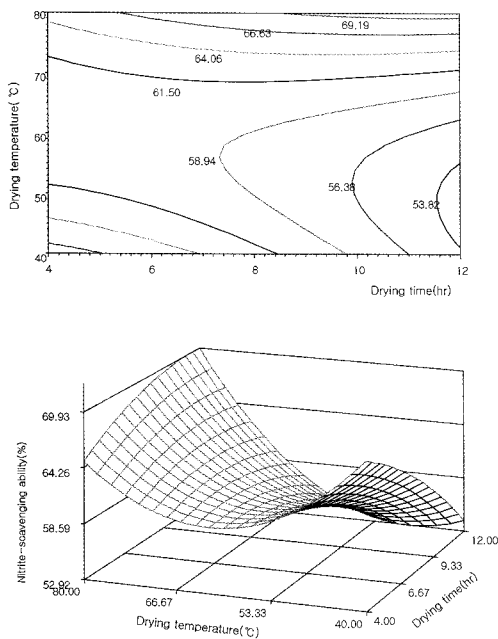


Fig. 6. Contour map (top) and response surface (bottom) of nitrite-scavenging ability(pH 3.0) by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

pH 1.2, 3.0 및 4.2에 따른 아질산염 소거능에 대한 건조물의 R²는 각각 0.8779, 0.9408 및 0.8350이며, pH 1.2, 4.2에서는 10% 이내에서 pH 3.0에서는 5% 이내에서 유의성이 인정되었다. 최적 예측 조건은 Table 7에 나타내었고, 이때 예측된 정상점이 안장점인 경우 능선분석을 실시하였다. pH 1.2, 3.0 및 4.2에 따른 아질산염 소거능에 대한 건조물의 건조조건별 아질산염 소거능에 대한 최대값은 각각 69.17, 68.94 및 30.84%로 나타났다. 이때 pH 1.2에서는 건조온도 79.99°C, 건조시간 8.07 hr, pH 3.0에서는 건조온도 79.84°C, 건조시간 8.49 hr, pH 4.2에서는 건조온도 77.68°C, 건조시간 6.13 hr이었다. Table 6에서 보는 바와 같이 pH 1.2, 3.0에서는 건조온도에 영향을 받았으나, 건조시간에는 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었으며, pH 4.2에는 건조시간에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 건조시간이 짧을수록 높은 효율을 나타내었다.

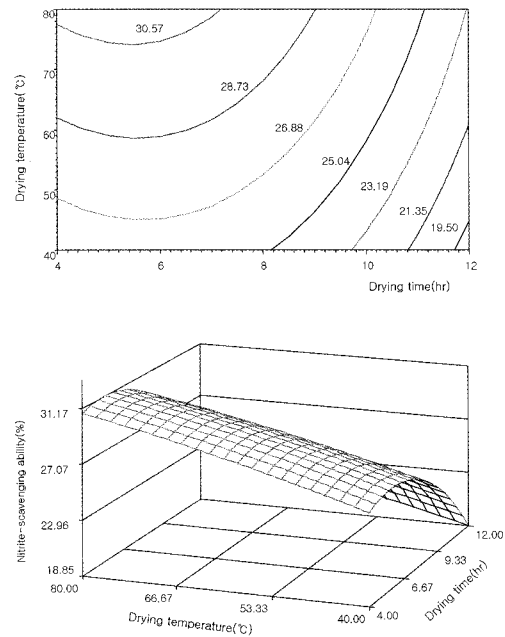


Fig. 7. Contour map (top) and response surface (bottom) of nitrite-scavenging ability(pH 4.2) by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

Table 6. Regression analysis for regression model of total phenolics content, electron donating ability and nitrite-scavenging ability depending on drying conditions of *Gastrodia elata* Blume

Drying conditions	F-Ratio				
	Total phenolics content (mg%)	Electron donating ability (%)	Nitrite-scavenging ability (%)		
			pH 1.2	pH 3.0	pH 4.0
X ₁ Temperature (°C)	2.88	7.03**	5.65*	14.24**	1.72
X ₂ Time (hr)	9.61**	1.26	2.56	3.51	4.85*

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

Table 7. Predicted levels of optimum drying conditions for *Gastrodia elata* Blume by the ridge analysis

Responses	R ²	Pro>F	X ₁ ¹⁾	X ₂ ²⁾	Maximum	Morphology	
Water activity (Aw)	0.9815	0.0015	75.93	7.72	0.05	Minimum	
Moisture content (%)	0.9794	0.0018	79.71	7.32	0.29	Saddle point	
Total phenolics content (mg%)	0.9121	0.0309	79.64	8.74	105.82	Saddle point	
Electron donating ability (%)	0.8700	0.0646	79.79	8.57	83.36	Saddle point	
Nitrite-scavenging ability (%)	pH 1.2	0.8779	0.0575	79.99	8.07	69.17	Saddle point
	pH 3.0	0.9408	0.0144	79.84	8.49	68.94	Saddle point
	pH 4.2	0.8350	1.000	77.68	6.13	30.84	Maximum
Reducing sugar content (mg%)	0.9145	0.0293	79.99	7.95	30.31	Saddle point	
Browning color (O.D.)	0.9304	0.0198	79.85	8.48	0.80	Saddle point	

¹⁾X₁: drying temperature(°C), ²⁾X₂: drying time(hr).

환원당 함량 변화

각 조건의 건조물의 환원당 함량의 결과는 Table 3에 나타내었고, 반응표면에 대한 회귀식은 다음과 같다.

$$Y_{RSC} = -81.337500 + 0.862333X_1 + 18.863750X_2 - 0.001144X_1X_2 - 0.078625X_1^2 - 0.790781X_2^2$$

건조물의 환원당에 대한 회귀식의 R²는 0.9145이고, 5% 이내의 수준에서 유의성이 인정되었다. 최적 예측조건은 Table 7과 같으며, 이때 예측된 정상점은 안장점으로서는 능선분석을 한 결과 그 최대값은 30.31 mg%로 나타났으며, 이때 건조온도 79.99°C 및 건조시간 7.95 hr에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 건조물에 대한 환원당의 contour map 및 3차 반응표면에서와 같이 건조온도가 높을수록 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 건조시간이 8 hr 이후로는 환원당 함량이 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 8).

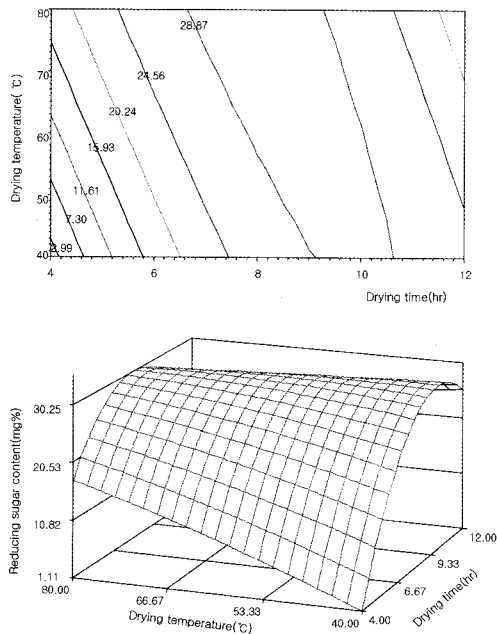


Fig. 8. Contour map (top) and response surface (bottom) of reducing sugar content by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

갈색도의 변화

Table 3은 건조조건에 따른 갈색도의 변화를 나타내었고, 결과에 대한 반응표면 회귀식은 아래와 같다.

$$Y_{BC} = 1.546119 - 0.073280X_1 + 0.138137X_2 + 0.000688X_1X_2 + 0.000137X_1^2 - 0.007433X_2^2$$

건조물의 회귀식의 R²는 0.9304이고 5% 이내에서 유의성이 인정되었으며, 예측된 정상점은 안장점으로 능선분석

을 실시하여 본 결과 최대값은 0.80으로 예측되었다. 이 예측값을 얻을 수 있는 조건은 건조온도 79.85°C, 건조시간 8.48 hr으로 나타났다. 건조조건별 갈색도 변화의 contour map 및 3차 반응표면은 Fig. 9와 같이 건조온도가 높을수록 갈색도가 증가하는 것으로 나타났으며, Table 5에서도 알 수 있듯이 건조온도에는 영향을 받지만 건조시간에 대한 영향은 다소 낮은 것으로 나타났다.

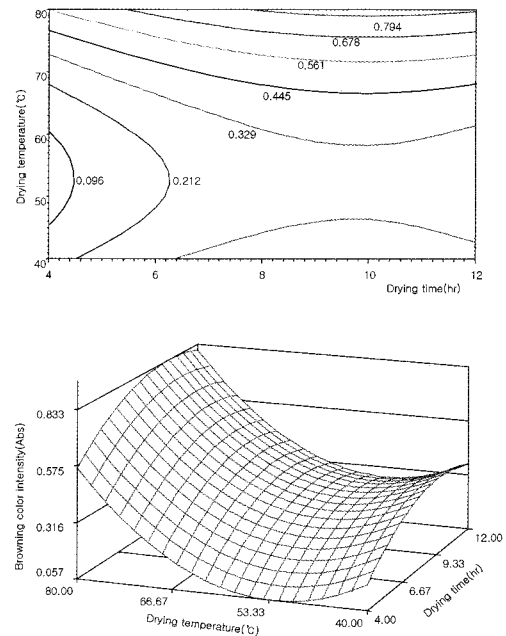


Fig. 9. Contour map (top) and response surface (bottom) of browning color by drying conditions of *Gastrodia elata* Blume.

최적 건조조건의 예측

조건에 따른 천마의 최적 건조조건을 설정하기 위하여 각 이화학적 특성에 대한 반응표면을 superimposing하여

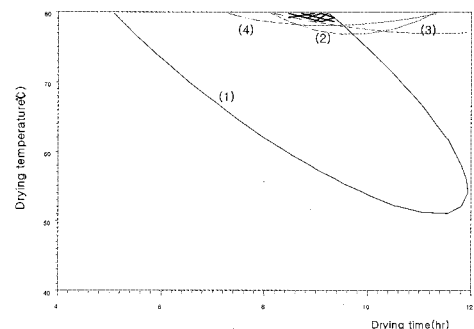


Fig. 10. Superimposed contour map for optimization of water activity, total phenolics content, electron donating ability and nitrite-scavenging ability by drying of *Gastrodia elata* Blume.

- (1) Water activity (Aw) (2) Total phenolics content (mg%)
- (3) Electron donating ability (%) (4) Nitrite-scavenging ability (%), pH 1.2)

Fig. 10에 나타내었다. 이 contour map으로부터 설정될 수 있는 최적 조건 범위는 Fig. 10의 빗금 친 부분으로써 Table 8에 최적 조건을 나타내었다. 천마의 최적 건조조건 범위는 건조온도 75~80°C와 건조시간 8~9 hr으로 나타났다.

Table 8. Optimum drying condition for response variables yielding the optimum response by superimposing contour maps

Drying conditions	Range of predicted condition
Temperature (°C)	77~79
Time (hr)	8~9

요 약

천마를 채취한 그대로 이용하는 데에는 생체 보존에 따른 불편, 독성 그리고 자극성 등의 부작용으로 간단한 전처리 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 천마를 이용한 가공제품의 개발을 위한 전처리 과정 중 건조 조건별로 천마의 이화학적 특성을 반응표면 분석법으로 모니터링하여 최적 건조조건을 설정하였다. 천마 건조물의 수분활성도는 건조온도 79.56°C, 건조시간 7.17 hr에서 가장 높은 값을 나타내었고, 총 페놀성 화합물 함량은 79.64°C, 8.74 hr에서, 전자공여능은 79.79°C, 8.57 hr에서 최대값을 나타내었으며, 아질산염 소거능(pH 1.2)은 건조온도 79.99°C, 건조시간 8.07 hr에서 각각 최고의 이화학적 특성을 나타내는 것으로 예측되었다. 천마 건조물의 이화학적 특성을 고려한 최적 건조조건 범위는 건조온도 75~80°C와 건조시간 8~9 hr으로 각각 나타났다.

감사의 글

본 연구는 경상북도/안동시 바이오산업기술개발(산업화)과제의 연구지원으로 수행된 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Society of oriental medicine (1993) The modern oriental medicine, Hakchang-sa, Seoul, Korea, p.446-447
2. Ku, B.H. (1991) Experimental studies on the pharmaceutical effects of *Gastrodia elata*. M.S. thesis, Kyung-Hee Univ., Seoul, Korea
3. Kim, C.M., Sin, M.K., An, D.K. and Lee, K.S. (1997) In Zoungyank Dictionary, Jungdam, Seoul, Korea, p. 4105-4110

4. Paik, Y.S., Song, J.K., Yoon, C.H., Chung, K.S. and Yun-Choi, H.S. (1995) Anti-platelet and anti-thrombotic effects of *Gastrodia elata*. Kor. J. Pharmacogn, 26, 385-389
5. Huh, K., Kim, J.S., Kwon, T.H., Kim, J.A., Yoag, C. S., Ha, J.H. and Lee, D.U. (1998) The mechanism of anticonvulsive effect of the rhizoma of *Gastrodia elata* in pentylenetetrazole treated rats. J. Kor. Pharm. Sci., 42, 330-335
6. Ha, J.H., Lee, D.U., Eah, K.Y., Ha, J.S., Kim, H.J., Yoga, C.S. and Huh, K. (1997) Modulation of ligand binding to the GABA-benzodiazepine receptor complex by *Gastrodia elata* Blume. J. Appl. Pharmacol., 5, 325-330
7. Kim, K.H. (1974) Studies on sterols *Gastrodia elata* Blume. J. Chungang Univ., 19, 215-225
8. Kim, I.Y. (1969) Studies on the pharmacosubstances of *Gastrodia elata* Blume(1). J. Chungang Univ., 14, 449-452
9. Kim, E.J., Ji, G.E. and Kang, Y.H. (1994) Effect of *Gastrodia Rhizoma* extract on global coronary circulation in rats. Korean J. Food Sci. Technol., 26, 213-220
10. Chung, H.S. and Ji, G.E. (1996) Composition and functionality of Chonma. Korean J. Food Sci. Technol., 28, 53-57
11. Lin, J.H., Liu, Y.C., Hau, J.P. and Wen, K.C. (1996) Parishins B and C from rhizomes of *Gastrodia elata*. Phytochem., 42, 549-551
12. Taguchi, H., Yosioka, I., Yamasaki, K. and Kim, I.L. (1996) Studies on the constituents of *Gastrodia elata* Blume. Chem. Pharm. Bull., 29, 55-62
13. Yun-Choi, H.S., Pyo, M.K. and Park, K.M. (1998) Isolation of 3-O-(4'-hydroxy-benzyl)- β -sitosterol and 4[4'(4'-hydroxybenzyloxy)benzyloxy] benzyl methyl ether from fresh tubers of *Gastrodia elata*. Arch. Pharm. Res., 21, 357-360
14. Yun-Choi, H.S., Pyo, M.K. and Park, K.M. (1997) Isolation of 4,4'-dihydroxybenz-yl sulfoxide from *Gastrodia elata*. Arch. Pharm. Res., 20, 91-92
15. Yun-Choi, H.S., Pyo, M.K. and Park, K.M. (1997) Circumaldehyde from *Gastrodia elata*. Nat. Prod. Sci., 3, 104-105
16. Wanasundara, P.K.J.P.D. and Shahidi, F. (1996) Optimization of hexametaphosphate-assisted extraction of flaxseed proteins using response surface methodology. J. Food Sci., 6, 604-607
17. SAS institute, Inc. (1988) In SAS/STAR User's Guide, Version 6. Cary, NC, U.S.A.

18. A.O.A.C. (1995) Official Methods of Analysis, 16th ed., Association of official Analytical Chemists. Washington D.C., U.S.A.
 19. Amerine, M.A. and Ough, C.S. (1980) Methods for analysis of musts and wine. Wiley&Sons, New York, p.99, p.176-180
 20. Blies, M.S. (1958) Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature, 181, 1199-1200
 21. Kato, H., Lee, I.E., Chnyen, N.V., Kim, S.B. and Hayase, F. (1987) Inhibition of nitrosamine formation by nondialyzable melanoidins. Agric. Bull. Chem., 51, 1333
 22. Miller, G.L. (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem., 31, 426-428
 23. Floros, J.D. and Chinnan, M.S. (1987) Optimization of pimento pepper lyepeeling process using response surface methodology. Trans of ASAE, 30, 560-566
 24. Lee, B.Y., Choi, H.S. and Hwang, J.B. (2002) Analysis of food components of Gastrodiae Rhizoma and changes in several characteristics at the various drying conditions, Kor. J. Food Sci. Technol., 34, 37-42
 25. Lee, K.D., Chang, H.K. and Kim, H.K. (1997) Antioxidative and nitrite scavenging activities of edible mushrooms. Korean J. Food Sci. Technol., 29, 432-436
-

(접수 2005년 11월 9일, 채택 2006년 10월 30일)