

아가리쿠스버섯에서 분리한 단백다당류 분말의 흡습특성과 예측모델

홍주현 · 윤광섭¹

(재)대구테크노파크 바이오산업지원센터, ¹대구가톨릭대학교 외식식품산업학부

Absorption Characteristics of and a Prediction Model for Spray-Dried Protein-bound Polysaccharide Powders isolated from *Agaricus blazei* Murill

Joo-Heon Hong and Kwang-Sup Youn^{1,*}

Bio Industry Center, Daegu Technopark, Daegu 704-801, Korea

¹Department of Food Science and Technology, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702, Korea

Abstract

We investigated the absorption characteristics of protein-bound polysaccharide powders of various molecular weights isolated from the mushroom *Agaricus blazei* Murill. The monolayer moisture content calculated using the GAB equation showed a higher level of significance than did the BET equation. The higher the water activity, the lower the isosteric heat of sorption. The fitness of the isotherm curve was shown to be in the order of the Khun, Oswin, Caurie and Henderson models. The prediction model equations for moisture content were established by use of $\ln(\text{time})$, water activity, and temperature.

Key words : *Agaricus blazei* Murill, protein bound polysaccharide, spray-dried powder, absorption characteristics, prediction model

서 론

버섯은 일반적으로 단백질, 아미노산, 효소, 비타민, 무기염류, 지방질 및 당 등과 같이 인체에 중요한 각종 영양성분을 함유하고 있고, 또한 맛과 향이 뛰어나며, 광범위한 약리작용도 나타내므로 예로부터 전통식품 및 민간약의 제제로서 널리 활용되어 왔다. 최근에 여러 종류의 버섯들이 항암효과가 있음이 알려졌는데 버섯이 항암효능을 나타내는 주된 원인은 버섯 속에 함유되어 있는 다당류(polysaccharides) 때문이라는 것이 인정되고 있다(1,2).

이러한 버섯들 중에 항암효과가 가장 뛰어난 것으로 알려져 있는 아가리쿠스버섯(*Agaricus blazei* Murill)은 흰들버섯, 신령버섯이라고도 하며 주름버섯목, 주름버섯과, 주름버섯속에 속하는 버섯으로 겉모양은 양송이버섯(*Agaricus bisporus*)과 유사하지만, 버섯 대가 두껍고 길며

향기가 강렬한 것이 특징이다. 아가리쿠스버섯에서 중요한 생리활성을 나타내는 물질은 β -glucan이며, 구조는 β -(1-6)-glucosyl의 분지를 가진 β -(1-3)-glucan임이 밝혀졌다(3,4). 이와 같이 항암효과를 갖고 있는 단백다당류는 담자균류의 수용성 추출액을 정제하므로써 제조될 수 있는 것으로 알려져 있으나, 대부분 열수추출 방법을 이용하는 관계로 유용성분을 추출하는데 한계가 있으며(5,6), 산업화를 위해 필수적인 문제인 유용성분을 효율적으로 추출할 수 있는 추출공정이나 분리공정에 관한 연구는 전무한 실정이다.

천연물에 함유되어 있는 유용성분의 분리에 많이 이용되고 있는 한외여과 공정은 10~200Å 이상의 크기를 갖는 천연 고분자성 거대물질이나 콜로이드성 분산물질들을 분리하는 공정으로 분리대상 물질의 분자량 범위는 1~500 kDa에 해당되며(7), Ohno 등(8)은 운지버섯의 특정 분자량을 가지는 다당류를 한외여과 공정을 이용하여 분리하였다. 추출물을 분말화하는 방법에는 진공건조(vacuum

*Corresponding author. E-mail : ksyoun@cu.ac.kr,
Phone : 82-53-850-3209, Fax : 82-53-850-3209

drying), 분무건조(spray drying) 및 동결건조(freeze drying) 등의 공정이 이용되고 있으나, 기능성 식품산업에서는 주로 분무건조와 동결건조 공정을 많이 이용하고 있다(9-11). 분무건조 공정을 이용한 분말화는 분말의 특성을 조절할 수 있고, 분말의 물성을 연속적인 조작을 통하여 일정하게 유지할 수 있으며 과립이나 타정 제품에 적용하기가 간편하다. 아가리쿠스버섯에서 추출 및 분리된 생리활성 물질인 단백다당류에 대한 항암활성 및 분자구조 규명 등에 관한 연구는 다양하게 진행되었으나 기능성 소재로의 활용도가 높은 분말의 물성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 분자량에 따라 다양한 생리활성을 나타내는 아가리쿠스버섯에서 분리한 단백다당류를 이용하여 이들의 흡습 특성을 비교하였으며, 고부가가치 기능성 약용소재로 개발하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 아가리쿠스 건버섯은 경상북도 경산시 소재 성림농장에서 구입하여 miller(Universal mill, CUM100, Netzsch Inc., Selb, Germany)로 분쇄하고 표준망체(40 mesh)를 통과한 분말을 -18℃에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

단백다당류의 분리 및 분무건조

아가리쿠스버섯 단백다당류의 분자량에 따른 분말화 과정은 Fig. 1과 같으며, 전보(12)의 최적 막분리 및 분무건조 조건에서 행하였다. 즉, 가압추출 2시간 후 4배의 에탄올을 가해 침전된 단백다당류에 증류수를 가하고 5°Brix로 희석하였다. 10 kDa과 150 kDa pore size의 막을 이용하여 시료 온도를 40℃로 하고 막횡단 압력을 1.2 bar(10 kDa), 2 bar(150 kDa)로 한외여과한 다음 10 kDa이하, 10~150 kDa, 150 kDa이상의 세 가지 분획물을 얻었다.

이 세 가지 분획물은 Nozzle type의 spray drier(Mini Spray Dryer B-191, Buchi Inc., Flawil, Switzerland)를 이용하여 10°Brix의 농도로 조절한 시료를 가열공기온도(inlet temperature) 200℃, 분무속도(compressed air flow) 10 L/min, 시료공급속도(feed rate) 8 mL/min에서 분무건조 하여 분말화하였다. 분자량의 차이에 따라 10 kDa이하, 10~150 kDa, 150 kDa이상의 세 가지 분획물의 분무건조 분말을 각각 SD-1, 2, 3으로 하였다.

평균수분함량

평균수분함량은 수분활성도 측정기(Thermoconstanter, TH200, Novasina Technology, Inc., San Jose, CA, USA)로 측정하였다. 즉 0.3 g의 분무건조 분말을 chamber 내에 담고

기기 내부의 수분활성도를 포화 염 용액을 이용하여 0.11, 0.33, 0.53, 0.75, 0.90로 유지시킨 후 10, 20, 30℃의 온도에서 주어진 수분활성도에 평형이 될 때까지 흡습시켜 평형수분 함량을 구하였다.

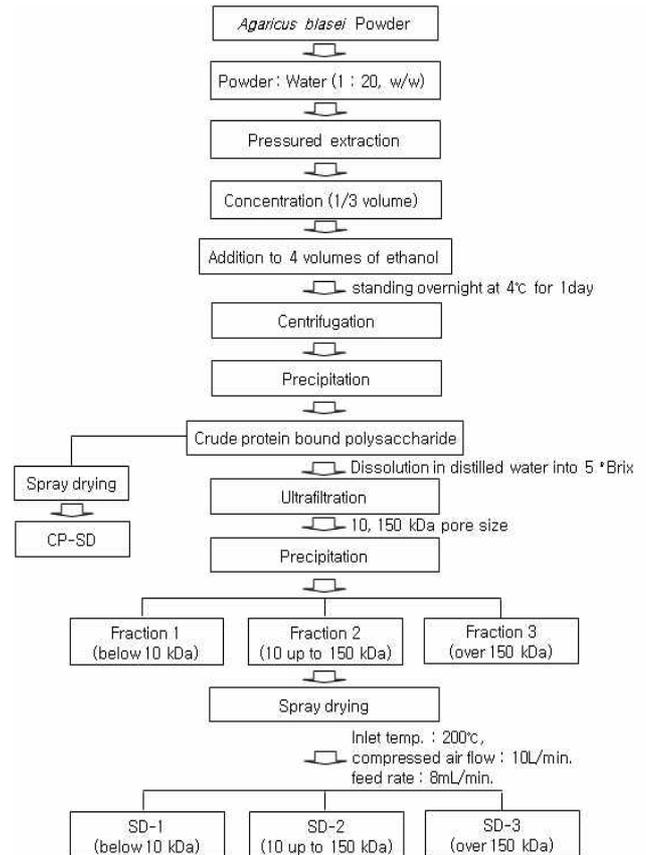


Fig. 1. Procedures for the extraction, separation and spray drying of protein bound polysaccharide from *Agaricus blazei* Murill.

단분자층 수분함량

적정 저장안정 수분함량인 단분자층 수분함량을 산출하기 위하여 다음과 같은 Brunauer-Emmett-Teller(BET)식과 Guggenheim-Anderson-Boer(GAB)식을 이용하였다. BET 식 (1)은 수분활성도가 0.05~0.45인 범위까지만 적용이 가능하다. 따라서 최근 BET모형을 확장한 GAB식 (2)이 널리 사용되며 많은 경우 수분활성도 0.9까지 적용되는 것으로 보고되고 있어 본 연구에서는 이 두 가지 식을 적용시켜 계산하였다.

$$\text{BET 식} \quad \frac{A_w}{m(1-A_w)} = \frac{1}{m_1 C} + \frac{C-1}{m_1 C} A_w \quad (1)$$

$$\text{GAB 식} \quad m = \frac{m_1 C k A_w}{(1 - k A_w)(1 - k A_w + C k A_w)} \quad (2)$$

A_w : 수분활성도

m : 평균수분함량

m_1 : 단분자층 수분함량
 C, k : 상수

M_i : 실험식의 수분함량
 n : 실험식의 갯수
 M_{j^*} : 등온흡습곡선 상의 수분함량

흡습엔탈피의 결정

평형수분함량에 도달하는데 필요한 흡습엔탈피 ΔH_s 는 Clausius-Clapeyron의 변형식 (3)을 이용하여 구하였다.

$$-\ln P = -\frac{\Delta H_s}{RT} \quad (3)$$

$\ln P$: 주어진 온도 (T)에서 평형상태의 수증기 부분압에 대한 자연대수

ΔH_s : 흡습엔탈피 (kcal/mol)

R : 기체상수 (1.987 cal/mol · K)

T : 절대온도 (K)

등온흡습곡선 모델식의 적합성

일반적으로 식품에 정확히 들어맞는 등온흡습곡선의 모델식은 아직 밝혀지지 않았고 식품마다 이화학적 특성 및 모양이 다르므로 정확한 모델식을 적용하는데는 다소 무리가 있다. 지금까지 연구된 모델식 중 여러 가지 식품에 잘 적용되는 식으로는 아래의 6가지 식들이 가장 적합성이 높은 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 실험에서는 분자량이 다른 분무건조 분말의 평형수분함량 예측 시 어떤 모델식이 적합하고 여러 가지 온도 및 입자 구조에 대해 어떻게 적합성이 달라지는지를 살펴보고자 지금까지 연구된 모델식들 중 적합성이 높은 것으로 예상되는 다음의 식들을 적용시켜 그에 따른 적합성을 알아보하고자 하였다.

Bradley equation $\ln \frac{1}{A_w} = K_2 K_1^M$

Kuhn equation $M = \frac{a}{\ln A_w} + b$

Caurie equation $\ln M = \ln A - r A_w$

Halsey equation $A_w = \exp\left(-\frac{1}{M^p}\right)$

Henderson equation $1 - A_w = \exp(-KM^p)$

Oswin equation $M = a \left(\frac{A_w}{1 - A_w}\right)^n$

M : 평형수분함량 (w.b. %)

A_w : 수분활성도

Other Alphabet : 상수

또한, 등온흡습곡선 모델과 실험식과의 편차 P(%)는 다음 식(4)에 의해 계산하였다.

$$F(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|M - M^*|}{M} \quad (4)$$

평형수분함량 예측

SPSS package program(Statcal Pakage for Social Sciences, version 10.0, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 이용하여 수분함량을 종속변수로 하고 시간과 수분활성도 및 온도를 독립변수로 하여 각 상호관계를 여러 가지 함수로 분석한 다음 최적함수를 선정 한 후 시간, 시간과 수분활성도, 시간과 수분활성도 및 온도에 대하여 예측모델을 수립하여 평형수분함량을 예측하였다.

결과 및 고찰

온도와 수분활성도에 따른 평형수분함량

건조식품의 안정성은 저장온도, 수분활성도 및 수분함량에 따라서 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다(13). 분자량 크기에 따라 분무건조한 분말의 흡습특성을 알아보하고자 10, 20, 30℃의 온도에서 수분활성도를 0.11, 0.33, 0.53, 0.75 및 0.90로 조절한 용기 내에서 평형에 도달하기까지의 수분함량의 변화를 측정하였다(Fig. 2).

평형에 도달하는 시간은 수분활성도에 따라 차이가 있는데, 0.75, 0.90의 높은 수분활성도에서는 평형에 도달하는 시간이 길어지고 0.11, 0.33, 0.53의 수분활성도에서는 비교적 단시간에 평형에 도달하였다. 또, 높은 수분활성도에서는 흡습초기에 빠른 속도로 흡습이 이루어지다가 평형에 가까워지고 시간이 지남에 따라 완만한 경사를 보였으며 수분활성도가 높아짐에 따라 빠르게 흡습을 시작하는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 일반적인 연구결과와 일치하였다. 그리고 온도가 높아짐에 따라 평형에 도달하는 시간이 더 단축되었으며 낮은 온도보다는 높은 온도에서 초기 흡습이 빠른 것으로 나타났다. 특히, 10℃, 0.75 이상의 수분활성도에서는 SD-1이 높은 수분활성도를 보여 평형에 가장 빨리 도달하였으며, 30℃, 0.75 이상의 수분활성도에서는 SD-3이 평형에 가장 빨리 도달하였다.

단분자층 수분함량

단분자층은 등온흡습곡선에서 처음부분 즉, 물분자가 carboxyl group이나 amino group과 이온결합으로서 polar bond를 형성하여 수분활성도가 낮은 곡선부분을 말한다. 분말식품류의 저장안정성을 나타내는 것으로 알려진 단분자층 수분함량을 구하기 위하여 BET식과 GAB식을 이용하여 그 계수 값을 Table 1에 나타내었다. 그러나 BET식에 적용하였을 경우에는 만족할만한 유의성을 얻을 수가 없었으나 GAB식에 적용한 결과 SD-3를 제외한 구간에서 R²가

0.97 이상으로 높은 유의성을 가져 본 연구에서의 단분자층 수분함량을 예측하는데 무리가 없을 것으로 생각되었다. Sukumar 등(14)은 양과추출액 분말에 대한 흡습특성 연구에서 온도가 내려감에 따라서 단분자층 수분함량은 다소 올라가는 경향을 보였다고 보고 하였는데, 본 실험에서는 단분자층 수분함량이 비교적 적게 함유된 까닭에 온도 및 분자량에 따른 유의적인 차이는 발견되지 않았다.

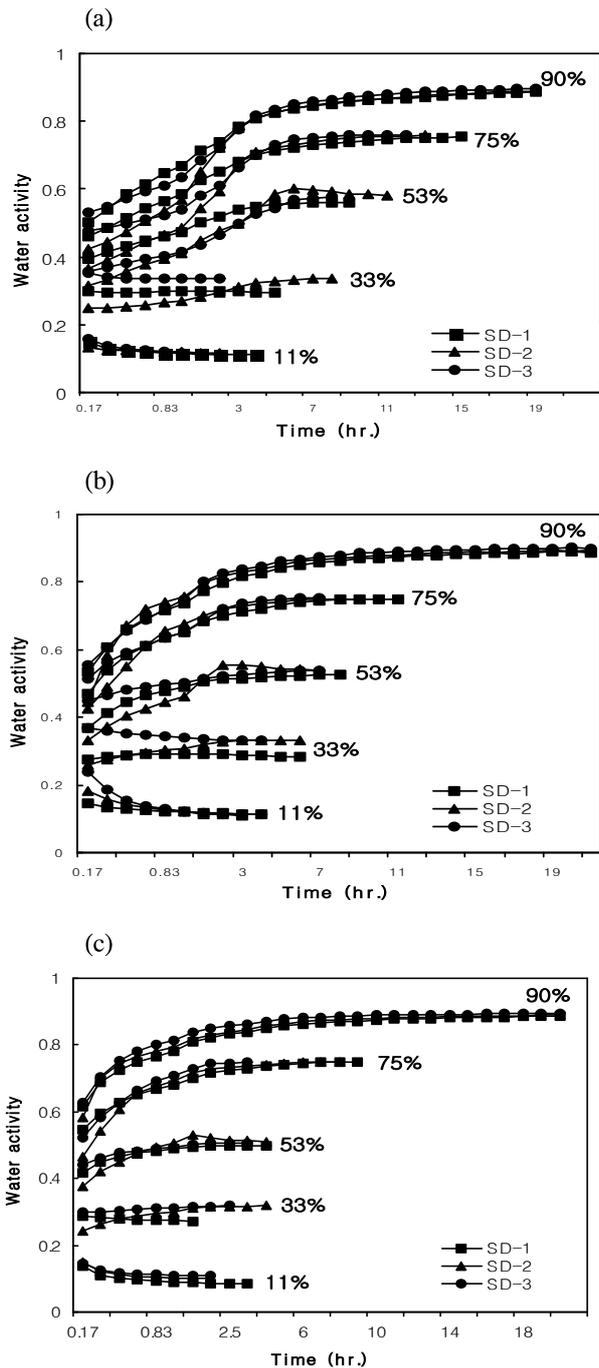


Fig. 2. Effect of various humidities on changes in water activity of spray dried powders (SD-1, 2, 3) at different temperature. (a)10°C; (b)20°C; (c)30°C.

Table 1. The regression coefficients and monolayer moisture content of spray dried powders (SD-1, 2, 3) by BET and GAB equation with different molecular weight and temperature

Temp (°C)	BET equation				GAB equation					
	C	mL	SigF	R ²	C	k	mL	SigF	R ²	
SD-1 ¹⁾	10	-17.261	0.056	0.032	0.828	5.919	1.104	0.014	0.001	0.999
	20	1.600	0.070	0.119	0.611	18.853	1.056	0.004	0.000	1.000
	30	0.796	0.082	0.592	0.107	-26.811	0.808	0.004	0.003	0.997
SD-2 ²⁾	10	-38.510	0.063	0.002	0.970	53.540	0.360	0.014	0.022	0.978
	20	0.578	0.084	0.487	0.172	-4.247	-0.640	0.044	0.001	0.999
	30	2.651	0.063	0.048	0.779	-126.051	0.592	0.002	0.008	0.992
SD-3 ³⁾	10	-19.003	0.051	0.015	0.893	27.737	0.454	0.015	0.163	0.837
	20	15.199	0.047	0.005	0.952	15.920	0.890	0.007	0.003	0.997
	30	-11.279	0.050	0.003	0.966	-433.474	0.042	0.016	0.116	0.884

¹⁾The SD-1 is below 10 kDa.

²⁾The SD-2 is 10 up to 150 kDa.

³⁾The SD-3 is above 150 kDa.

흡습엔탈피

분자량이 다른 분무건조분말의 흡습 시 요구되는 엔탈피를 Table 2에 나타내었다. 분자량의 크기에 따라서는 큰 차이가 없으나 수분활성도가 0.11에서 0.90으로 증가함에 따라 흡습엔탈피의 값은 급격히 감소되는 경향을 보였다. 등온흡습곡선을 보면 수분활성도가 증가할수록 수분함량도 높아졌는데 수분활성도가 높을수록 필요로 하는 흡습에너지가 낮아져 흡습이 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다. 이러한 경향은 Apostolopoulos 등(15)의 연구결과와 유사하게 나타났으며, 일반적인 분말식품들은 통상 7~10%의 수분함량에서 저장되기 때문에 흡습성이 큰 분말을 저장할 경우 대기의 수분을 효과적으로 차단시켜 줄 수 있는 방습포장재나 적절한 저장조건을 유지해 주는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 분무건조 분말 각각의 흡습엔탈피를 살펴보면 0.11에서 SD-1이 900.93 cal/mol로 SD-2와 3에 비해 흡습엔탈피가 상대적으로 낮았는데, 이는 공극면적이 적으면 흡습하는데 가장 적은 에너지를 방출한다고 보고한 Cadden (16)의 결과와 일치하였다.

Table 2. The absorption enthalpy of spray dried powders (SD-1, 2, 3) with different molecular weight and water activity

Water Activity	Enthalpy of absorption (cal/mol)		
	SD-1 ¹⁾	SD-2 ²⁾	SD-3 ³⁾
0.11	900.93	1284.71	1274.16
0.33	732.85	643.09	645.42
0.53	367.08	355.95	357.04
0.75	163.80	164.06	165.54
0.9	60.93	60.27	62.28

¹⁾The SD-1 is below 10 kDa.

²⁾The SD-2 is 10 up to 150 kDa.

³⁾The SD-3 is above 150 kDa.

등온흡습곡선의 적합도

흡습곡선 모델의 적합도를 알아보기 위해 6개의 기존 모델식을 이용하여 적합도를 조사하여 Table 3에 나타내었다. 가장 높은 적합도를 나타낸 식은 Kuhn과 Oswin 모델로 분자량의 차이나 온도에 관계없이 결정계수가 0.997이상의 높은 적합도를 보여 아가리쿠스버섯에서 분리한 분무건조 분말의 예측 식으로 활용이 가능함을 알 수 있었고, 그 외 Bradley 모델을 제외한 모든 모델식이 0.970~0.997 등으로 높은 결정 계수값을 보여주었다. 그러나, 표에서 보듯이 적합도가 높은 모델식이라도 온도 및 기타 분말의 특성에 따라서 그 식에 적용되는 인자들의 값이 달라지므로 얻어진 계수 값을 사용하여 예측모델을 계산하면 각 조건에서의 다양한 예측값을 얻을 수 있다.

다른 분말들과 온도에 따른 적용에서 가장 높은 적합도를 나타낸 모델식은 Oswin 모델로 0.24~2.23%의 가장 적은 편차를 보여 본 시료의 흡습특성에 적용 가능할 것으로 사료된다.

평형수분함량 예측모델

분자량이 다른 분무건조 분말의 평형수분함량을 예측하기 위한 모델식을 수립하였다. 먼저 각 독립변수에 따른 종속변수의 변화를 알아보려고 산포도를 그린 후 적절한 함수를 선택하여 가장 적합도가 높은 함수를 선정하였다 (17,18). 즉, 시간의 변화에 따른 아가리쿠스버섯에서 분리한 단백다당류 분무건조 분말의 흡습 중 평형수분함량을 예측하기 위하여 온도 및 수분활성도를 달리하여 최적함수

Table 3. The regression coefficient and significance values for the absorption model of spray dried powders (SD-1, 2, 3) with different molecular weight and temperature

	Temp. (°C)	Bradley				Kuhn				Caurie			
		lnK2	lnK1	SigF	R ²	b	a	SigF	R ²	ln A	r	SigF	R ²
SD-1 ¹⁾	10	0.188	-0.269	0.003	0.843	-0.484	-1.087	0.000	0.999	-2.689	5.399	0.000	0.995
	20	0.199	-0.296	0.026	0.849	-0.417	-0.992	0.000	1.000	-2.670	5.260	0.000	0.996
	30	0.212	-0.321	0.023	0.861	-0.363	-0.922	0.000	0.999	-2.927	5.540	0.000	0.997
SD-2 ²⁾	10	0.182	-0.256	0.031	0.833	-0.511	-1.137	0.000	0.998	-2.538	5.259	0.000	0.990
	20	0.224	-0.306	0.024	0.856	-0.332	-0.963	0.000	1.000	-2.566	5.154	0.000	0.992
	30	0.220	-0.318	0.024	0.858	-0.334	-0.927	0.000	1.000	-2.662	5.214	0.000	0.993
SD-3 ³⁾	10	0.242	-0.298	0.022	0.863	-0.296	-0.992	0.000	1.000	-2.524	5.177	0.000	0.992
	20	0.217	-0.302	0.025	0.852	-0.354	-0.975	0.000	1.000	-2.553	5.136	0.000	0.992
	30	0.204	-0.313	0.027	0.847	-0.372	-0.936	0.000	1.000	-2.618	5.137	0.000	0.992
	Temp. (°C)	Halsey				Henderson				Oswin			
		ln a	n	SigF	R ²	ln K	n	SigF	R ²	ln a	n	SigF	R ²
SD-1 ¹⁾	10	-0.516	-0.683	0.001	0.981	-0.530	0.668	0.002	0.976	0.012	1.040	0.000	0.997
	20	-0.551	-0.703	0.001	0.987	-0.496	0.684	0.002	0.970	-0.039	1.012	0.000	0.996
	30	-0.627	-0.665	0.001	0.977	-0.421	0.655	0.001	0.985	-0.156	1.067	0.000	0.999
SD-2 ²⁾	10	-0.459	-0.699	0.001	0.980	-0.586	0.686	0.001	0.980	0.092	1.016	0.000	0.999
	20	-0.515	-0.714	0.001	0.979	-0.532	0.702	0.001	0.985	0.012	0.996	0.000	1.000
	30	-0.562	-0.706	0.001	0.981	-0.485	0.694	0.001	0.982	-0.055	1.007	0.000	1.000
SD-3 ³⁾	10	-0.477	-0.708	0.002	0.973	-0.569	0.700	0.001	0.988	0.066	0.999	0.000	0.998
	20	-0.512	-0.717	0.001	0.981	-0.534	0.704	0.001	0.982	0.016	0.992	0.000	1.000
	30	-0.558	-0.718	0.001	0.985	-0.489	0.702	0.001	0.978	-0.049	0.992	0.000	1.000

¹⁾The SD-1 is below 10 kDa.
²⁾The SD-2 is 10 up to 150 kDa.
³⁾The SD-3 is above 150 kDa.

Table 4에서는 본 연구에서 높은 적합성을 보인 Oswin, Caurie, Henderson 및 Khun 등 4개의 모델식을 선정하여 각 시료별로 온도에 따른 실험값과 예측모델에 의한 계산값으로 percent 편차 P(%)로서 적합도를 표시하였는데 P(%)값이 낮을수록 높은 적합성을 나타낸다(17). 분자량이

를 구한 결과 ln 함수가 대부분의 구간에서 가장 높은 적합도를 보여 저장시간에 따른 수분함량을 예측하기 위한 모델로 선정하였다.

수분활성도와 온도에 따른 평형수분함량의 변화는 일차식의 선형이 가장 높은 적합도를 보였다. 따라서 Table 5에

Table 4. The mean relative percent deviation for the various absorption models of spray dried powders (SD-1, 2, 3) with different molecular weight and temperature

Temp.(°C)	P*(%)				
	Oswin	Caurie	Henderson	Khun	
SD-1 ¹⁾	10	1.19	5.49	12.93	2.82
	20	2.23	2.29	14.33	2.87
	30	1.36	9.18	10.22	2.04
	Average	1.59	5.65	12.49	2.58
SD-2 ²⁾	10	0.29	12.79	11.76	2.35
	20	0.90	4.22	9.94	1.99
	30	0.59	3.40	10.47	2.09
	Average	0.59	6.80	10.72	2.14
SD-3 ³⁾	10	1.76	7.36	8.86	1.77
	20	0.24	4.57	10.75	2.15
	30	0.69	3.71	11.97	2.39
	Average	0.9	5.21	10.53	2.11

¹⁾The SD-1 is below 10 kDa.

²⁾The SD-2 is 10 up to 150 kDa.

³⁾The SD-3 is above 150 kDa.

단백다당류를 이용하여 제조한 분무건조 분말의 평형수분 함량을 예측하기 위해 수립된 모델식을 나타내었다. 첫 번째 모델식은 시간만을 독립변수로 할 경우이고, 두 번째 모델식은 시간과 수분활성도를 변수로 한 선형회귀 모델식이며, 세 번째 모델식은 시간과 수분활성도 및 온도를 변수로 하여 수립된 모델식으로써 온도 항을 첨가하여 온도의

변화를 예측할 수 있을 것으로 생각되었다. 이때 두 번째 모델식은 SD-1, 2, 3에서 R² 값이 0.949~0.969로 높은 적합도를 보였고 세 번째 모델식의 적용에서는 R²가 0.96~0.971로 두 번째 모델식보다 적합도가 높아졌음을 알 수 있었다. 따라서 시간과 수분활성도 및 온도를 독립변수로 한 세 번째 모델식의 적용으로 흡습 중 평형수분함량의 예측을 통해 분말의 최적 저장조건을 결정하는데 활용 가능함을 확인하였으며, 분자량이 다른 분무건조 분말 SD-1, 2, 3의 설정된 예측 모델식을 아래와 같이 결정하였다.

Moisture content = Constant+a(ln(time))+b(Aw)+c(temperature)

SD-1 : Moisture content = 1.663 + 4.827a + 78.249b + 0.128c

SD-2 : Moisture content = 0.128 + 6.652a + 71.843b + 0.319c

SD-3 : Moisture content = 3.212 + 5.259a + 74.584b + 0.225c

요 약

아가리쿠스버섯에서 분리한 단백다당류를 분무건조한 분말의 저장안정성을 알아보기 위하여 저장 중 흡습특성을 조사하였다. 평형수분함량은 수분활성도가 높아짐에 따라 빠르게 증가하는 양상이었으며, 높은 온도에서 낮은 함량을 나타내었다. 단분자층 수분함량은 BET식보다 GAB식이 높은 유의성을 나타내었다. 수분활성도가 증가함에 따라 필요로 하는 흡습에너지가 낮아져 흡습엔탈피는 감소하여 흡습이 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다. 등온흡습곡선의 적합도는 Kuhn과 Oswin 모델이 R² 0.99 이상으로 높은 적합도

Table 5. The linear regression parameter coefficients of the prediction model equations for moisture content with time, water activity and temperature of spray dried powders (SD-1, 2, 3)

Model	Independent Variables	SD-1 ¹⁾			SD-2 ²⁾			SD-3 ³⁾		
		Coefficients	Std. error	R ²	Coefficients	Std. error	R ²	Coefficients	Std. error	R ²
I ⁴⁾	Constant	47.9439	1.522	0.382	47.222	1.404	0.459	50.496	1.456	0.438
	ln (time)	11.589	0.971		12.496	0.900		12.198	0.959	
II ⁵⁾	Constant	4.045	0.743	0.969	5.874	0.985	0.949	7.564	0.915	0.960
	ln (time)	4.757	0.240		6.434	0.306		5.159	0.290	
III ⁶⁾	Aw	78.519	1.183	0.971	72.823	1.561	0.960	74.779	1.441	0.965
	Constant	1.663	0.986		0.128	1.157		3.212	1.169	
	ln (time)	4.827	0.235		6.652	0.274		5.259	0.273	
	Aw	78.249	1.156		71.843	1.399		74.584	1.350	
	Temp.	0.128	0.036		0.319	0.042		0.225	0.041	

¹⁾The SD-1 is below 10 kDa.

²⁾The SD-2 is 10 up to 150 kDa.

³⁾The SD-3 is above 150 kDa.

⁴⁾The model equation is Moisture content = Constant+a(ln(time)).

⁵⁾The model equation is Moisture content = Constant+a(ln(time))+b(Aw).

⁶⁾The model equation is Moisture content = Constant+a(ln(time))+b(Aw)+c(temperature).

를 나타내었고, Oswin 모델이 가장 편차가 작은 것으로 나타났다. 흡습 중 평형상대습도 예측 모델을 수립하기 위해 온도와 수분활성도의 경우 일차함수, 시간의 경우 로그함수가 높은 적합도를 보였으며, 평형상대습도 예측모델식은 수분활성도만을 변수로하는 모델식, 수분활성도와 시간을 변수로 하는 모델식과 수분활성도, 시간, 온도를 변수로 하는 모델식을 나타내어 가장 높은 R²가 0.965로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2007년 대구가톨릭대학교 연구년에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Fujii, T., Maeda, H., Suzuki, F. and Ishida, N. (1978) Isolation and characterization of a new antitumor polysaccharide, KS-2, extracted from culture mycelia of *Lentinus edodes*. J. Antibio., 31, 1079-1090
2. Komatsu, N., Okubo, S., Kikumoto, S., Kimura, K., Saito, G. and Sasaki, S. (1969) Host mediated antitumor action of schizophyllan, a glucan produced by *Schizophyllum commune*. Gann, 60, 137-144
3. Misuno, T. (1990) Antitumor activity and some properties of water soluble polysaccharides from fruiting body of *Agaricus blazei* Murill. Agric. Biol. Chem., 54, 2889-2896
4. Hirokazu, K., Ryuichi, I., Teturo, K. and Takashi, M. (1989) Fractionation and antitumor activity of the water-in-soluble residue of *Agaricus blazei* fruiting bodies. Carbohyd. Res., 186, 267-273
5. Mizuno, T., Keiko, O. and Naomi, H. (1986) Fractionation and characterization of antitumor polysaccharides from Maitake, *Grifola frondosa*. Agric. Biol. Chem., 50, 1679-1688
6. Foon, K.A. (1989) Biological response modifiers, the new immunotherapy. Cancer Res., 49, 1621-1639
7. Maziero, R. and Bononi, V.L. (1995) Exopolysaccharide and biomass production in submerged culture by edible mushrooms. Science and Cultivation of Edible Fungi. Balkema, Rotterdam, p. 887-892
8. Ohno, R., Imai, K., Yokomaku, S. and Yamada, K. (1975) Antitumor effects of protein-bound polysaccharide preparation, PS-K, against 3-methylcholanthrene-induced fibrosarcoma in C57BL/6 mice. Gann., 66, 679-681
9. Ratti, C. (2001) Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. J. Food Eng., 49, 311-319
10. Litvin, S., Mannheim, C. H. and Miltz, J. (1998) Dehydration of carrots by a combination of freeze-drying, microwave heating and vacuum drying. J. Food Eng., 36, 103-111
11. Rey, L., May, J. and Marcel, D. (2001) Freeze-drying/Lyophilization of pharmaceutical and biological products. European J. Pharm. Biopharmaceutics, 51, 163-164
12. Hong, J.H., Youn, K.S. and Choi, Y.H. (2004) Characteristics of ultrafiltration and spray drying for crude protein bound polysaccharides isolated from *Agaricus blazei* Murill. Korean J. Food Preserv., 11, 47-52
13. Labuza, T.P., McNally, L., Gallagher, D., Hawkes, J. and Hurtado, F. (1972) Stability of intermediate moisture foods. J. Food Sci., 37, 154-160
14. Sukumar, D., Hemavathy, J. and Bhat, K.K. (2002) Moisture sorption studies on onion powder. Food Chem., 78, 479-482
15. Apostolopoulos, D. and Gilbert, S.G. (1990) Water sorption of coffee solubles by frontal inverse gas chromatography: thermodynamic considerations. J. Food Sci., 55, 475-477
16. Cadden, A.M. (1987) Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. J. Food Sci., 52, 1595-1599
17. Bonquet, R., Chrife, J. and Igleasis, H.A. (1978) Equations for fitting water sorption isotherms of foods; I. A. review. J. Food Technol., 13, 159-163
18. Bonquet, R., Chrife, J. and Igleasis, H.A. (1978) Equations for fitting water sorption isotherms of foods ; II. Evaluation of various two-parameter model. J. Food Technol., 13, 319-322

(접수 2009년 5월 22일, 채택 2009년 9월 25일)