

おからの気流乾燥に関する研究

誌名	日本大学農獣医学部学術研究報告
ISSN	00780839
著者	唯野, 哲男 横屋, 敬七 広川, 隆一
巻/号	38号
掲載ページ	p. 149-154
発行年月	1981年3月

おからの気流乾燥に関する研究*

唯野哲男・横屋敬七・広川隆一**

(食品化学工学研究室)

昭和55年9月29日受理

緒 言

わが国の大豆消費量は、ここ数年毎年340万トン位であり、このうち豆腐関係に消費される大豆は約50万トンである。これより副産されるおからは約65万トン(水分84%、固形分10.4万トン)である。おからには栄養的に有効な成分がかなり残存しているにもかかわらず、腐敗が非常に早いために、一部惣菜に使用されるほかは、飼料用が主であり¹⁾、捨て場に困る場合もある。本研究においては、おからの乾燥により、二次加工原料としての活用法を目的とし、乾燥法として気流乾燥を行なった。おからは、水分含量が多く、また非常に水分で膨潤しており、従来の高速熱風による気流乾燥では、狭い円管への分散供給が困難であり、また短時間の乾燥時間では、製品水分が多いか、無理に高温熱風を使用すると、復水性が劣化する。そこで、この研究では、断面積の太い乾燥塔を使用し、低速熱風による気流乾燥を行なった。供給熱風量が、断面積が大きいだけに、普通の気流乾燥に比べ、多量を必要とするが、実工場では、サイクロンからの廃風を、低下温度だけ加熱して、連続的に再サークルすることを前提とし、この実験では、測定値の正確を期するため、廃風のサークルは行なわなかった。

また、予備実験的に熱風温度は200°C位が品質面で良好であったので、本報告では、主として、200°Cの熱風使用例について報告する。風速は、普通の気流乾燥の20 m/secに対し、約3 m/secの低速で、乾燥塔内のおからの滞留時間を、普通の気流乾燥の数倍の5秒位にした。結論的に、熱容量係数は小さいが、実用面で参考になる結果が得られたので報告する。

実験方法

1. 試料

大豆処理量日産5.0トンの、豆腐工場としては大型工場(ホーム食品、神奈川)からのおからを、産出直後に

近くの気流乾燥機(テスト・プラント)に輸送し、同一ロットのおからを使用した。一般成分の分析は、農芸化学試験法³⁾に準じて行ない、その分析値はTable 1の通りであり、新鮮なのでpHもほぼ中性に近い。

Table 1 General composition of Okara (%)

Moisture	84.50
Protein	4.73
Lipid	1.50
Carbohydrate	
Sugars	7.00
Fibre	1.50
Ash	0.40
pH	6.71

原料おからの見掛け比重は、ベックマン式ガス置換による固体容積測定法で、1.080、また水分50~60%のおからで、0.940であった。最終の乾燥後のおからの粒子比重は、非常に軽い多孔質粉体であるため、見掛け密度は顕微鏡による見掛け体積と篩分法による重量径により推算した。その値は約800 kg/m³である。また、おからの粒径は、原料おからについては、含水率が非常に多いために測定できないが、乾燥品粒径平均400 μ 、中間水分のおからの粒径540 μ (水分50~60%)であった。

2. 実験装置並に操作

Fig. 1に実験装置の概要を示した。熱風としては、ブタンガスの燃焼ガスと二次空気を用いた。燃焼装置はカスケード制御方式である。原料の供給は、スクリー・フィーダーを用い、乾燥塔の下部断面の金あみで、全面に均一に分散するようになっている。この点、塔の断面が非常に大きくて、0.46×0.46m²であるので、有利である。塔の高さは5.20m、下部からの熱風は、数枚の整流板により、できるだけ均等速度になるよう調節した。予備操作としては、十分に熱風のみを通し、完全に目的温

Bull. Coll. Agr. & Vet. Med., Nihon Univ., No. 38, p.149~154 (1981).

* Studies on Pneumatic Drying of "Okara".

** Tetsuo TADANO, Keishichi YOKOYA and Ryūichi HIROKAWA, Lab. Food Chemical Engineering, Coll. Agr. & Vet. Med., Nihon Univ.

Table 3 Heat balance and Coeff. of heat capacity

		Expt. 1	Expt. 2	Expt. 3	Expt. 4
Q_1	kcal/hr	93,970	93,970	93,970	103,100
Q_2	kcal/hr	62,800	71,100	76,100	82,450
$\Delta Q(Q_1 - Q_2)$	kcal/hr	31,170	22,870	17,870	20,650
$(\Delta t)_{l,m}$	°C	116.5	128	135	161
M	kg H ₂ O/hr	47.53	36.56	24.66	24.90
Q	kcal/hr	30,290	22,920	15,890	16,620
$(ha)_a$		228	178	113	109
$(ha)_M$		222	150	100	88
$(ha)_{theo.}^*$		244	162	122	122

* $(ha)_{theo.}$: approximately theoretical value at terminal velocity of Okara's (\bar{d}_m)

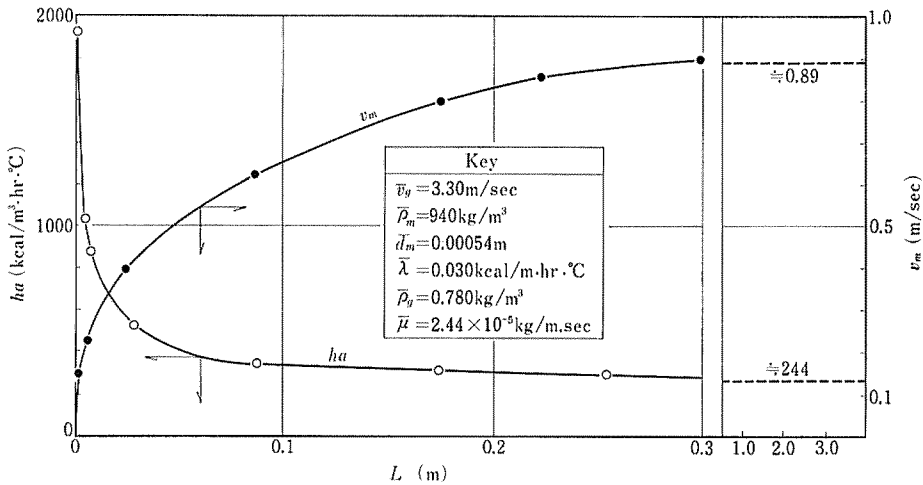


Fig. 2 Relation between dryer's length, particle velocity and heat capacity coefficient.

また粒子の有効表面積 a を求めて、熱容量係数 $(ha)_{theo.}$ を計算してみる⁴⁾。そのために、初めに粒子の飛ばしう速度 v_m 並に相対終末速度を完全球形として求める。

$$\begin{aligned} \frac{dv_m}{d\theta} &= \frac{\rho_g C_D (\pi/4) d_m^2 (V_g - v_m)^2}{2(\pi/6) d_m^3 \rho_m} - g \\ &= \frac{3 \cdot \rho_g \cdot C_D (V_g - v_m)^2}{4 \cdot d_m \cdot \rho_m} - g \end{aligned} \quad (3)$$

Expt. 1 につき、

$$\begin{aligned} \bar{\rho}_m &= 940 \text{ kg/m}^3, \quad \bar{d}_m = 0.00054 \text{ m} \\ \bar{\rho}_g &= 0.780 \text{ kg/m}^3, \quad V_g = 3.30 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

とおくと、

$$\frac{dv_m}{d\theta} = 1.15 C_D (3.30 - v_m)^2 - 9.8 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{一方, } (Re) &= \frac{d_m (V_g - v_m) \cdot \bar{\rho}_g}{\mu} \\ &= \frac{0.00054 (3.30 - v_m) (0.780)}{2.244 \times 10^{-5}} \\ &= 17.2 (3.30 - v_m) \end{aligned} \quad (5)$$

いま、 $\Delta\theta$ 毎の v_m を仮定し、(5)の (Re) より抵抗係数 C_D ⁵⁾ を算出し、この C_D を用いて、(4)式より v_m を求め、仮定と一致するまで繰返し試行法³⁾を行なって、 v_m と塔長 L との関係の求めると、Fig. 2 のようになる。また、

$$(Nu) = \frac{h d_m}{\lambda} = 2 + 0.6(Re)^{1/2} (Pr)^{1/3} \quad (6)$$

(6)式に、(4)(5)式からの (Re) を入れると、 h が求まる。

一方、熱風と接する粒子群の a は、

$$\begin{aligned} a &= \left\{ \frac{W(1+w_1)\pi d_m^2}{(\pi/6)d_m^3 \rho_m} \right\} / (3600) D^2 \cdot v_m \quad (7) \\ &= \frac{W(1+w_1)}{G(1+H)d_m \rho_m} (\pi/(\pi/6)) / v_m \end{aligned}$$

(7)式から求められる。実際の値を入れると

$$a = 0.81/v_m \text{ m}^2/\text{m}^3 \quad (8)$$

そこで、 $(ha)_{theo.}$ を求めると、Fig. 2 のようになる。 v_m は、塔入口では 0 m/sec で a の最大値(∞)、この

時の $(ha)_{theo.}$ は、 $\Delta\theta$ を小さくすることによる推定値、ついで、 v_m が大きくなるにつれて、 $(V_g - v_m)$ つまり熱風との相対速度が小さくなり、 (Re) も減少し、一方(8)式のように a も小さくなり、 (ha) も減少してくる。やがて、終末速度0.89 m/secに達すると、 (ha) も244 kcal/m²·hr·°Cに落着く。

相対終末速度 v_t m/sec は、

$$v_t = \left\{ \frac{4}{225} \cdot \frac{\rho_m^2 \cdot g^2}{\mu \cdot \rho_g} \right\}^{1/3} \cdot d_m \quad (9)$$

(9)の Allens eq. から求められ、

$$v_t = 2.31 \text{ m/sec, 従って } v_m = 3.20 - 2.31 \\ = 0.89 \text{ m/sec (出口風速} = 3.20 \text{ m/sec)}$$

この v_m から L 5.20 m までに要する時間を区間速度毎に求めてみると、塔入口から出口までに、5.8秒の粒子滞留時間となる。この通過所要時間は、普通の気流乾燥の数倍にあたる。一方、風速が遅いので、 h は数分の一である。平均の (ha) は、終末速度の $(244 + \alpha)$ kcal/m²·hr·°Cということになるが、 ha が244より高い区間は僅かであり、平均244と考えても僅差である。Table 3の $(ha)_{theo.}$ はこの終末速度の (ha) である。 $(ha)_M$ と比較してみると、ほぼ同じ位の値である。完全球形と仮定したこと、各物性値などは平均値であること、実験の粒子は完全分散ではないことなどを考えると、比較的良い一致を示したと言えよう。また、Expt. 1~3の (ha) が、ほぼ仕込量に比例しているのは、 a が仕込量に比例することによる。僅かずつではあるが、仕込量の多いほど、 $(ha)_{expt.}$ が高目になった。

Table 4 Rehydration and shelf life of dried product

	Expt. 1	Expt. 2	Expt. 3	Expt. 4
moisture % (wet base)	25.3	17.0	12.7	7.4
rehydration*	excellent	good	good	poor
shelf life** (approx.) 5°C	short ½ month	2 months	5 months	8 months (room temp. 3 months)

* tested as compared with freeze dried "Okara".

** sample was packaged in 0.1 mm polyethyren bag.

Table 4は、乾燥おからの復水性と貯蔵性試験の結果である。復水性は、凍結乾燥したおからを標準とし、試験管中に一定量の試料を取り、これに加水し、数分毎に膨潤性を比較してみた結果の判定である。Expt. 4は凍結乾燥品の $\frac{1}{2}$ 以下であった。Expt. 1はほぼ凍結乾燥品と同じ位、Expt. 2~3は80%ほどの復水率であった。一方、ポリエチレン袋での貯蔵試験では、多少のばらつきはあったが、Expt. 3の水分12.7% (湿式基準)が5°C

で5カ月位品質が維持できた。Expt. 4は貯蔵性は優れていたが復水性が非常に劣る。以上の結果から、Expt. 3が乾燥品として有効であった。実用的には廃風の再循環が必要なことは当然であるが、おからの供給量を増加させるために、特殊な分散機を工夫する必要もあろう。また、豆腐工場の規模や立地条件なども考慮する必要がある。場合によっては、高速気流乾燥で中間水分まで脱水し、流動層式で仕上げ乾燥も考えられる。

要 約

同一ロットのおからについて、低速熱風による気流乾燥を行なった。乾燥条件は、風速3.30 m/sec、入口熱風温度208°C (供給原料60, 45, 30 kg/hr)および254°C (供給原料30 kg/hr)、装置は、乾燥塔の断面積0.46×0.46 m²、高さ5.20 mである。原料おからは水分84.5%で、難流動性のややスラッジ状で、水による膨潤した状態である。従って、前期乾燥条件は、原料の分散とか、塔内の粒子滞留による乾燥時間を考慮した条件である。熱容量係数は、実測値と理論値と比較的良好一致をみた。乾燥品の復水性、保存性からは、入口熱風208°C、原料供給30 kg/hrの条件が良好であった。

謝 辞

本研究は、昭和53年度日本大学学術研究助成金による共同研究の一環として行なった。ここに、大学当局に心からの謝意を表します。また、御協力頂いた青山氏 (ホーム食品)、および土田氏 (共和機械) 並に両社に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Ranz, W.E. and W.R. Marshall Jr: (1952) *Chem. Eng. Prog.*, 48, 141, 173.
- 2) 桜井芳人, 他: (1970) 総合食糧工業 (恒星社厚生閣, 東京), 330~340.
- 3) 京都大学農学部農芸化学教室: (1970) 農芸化学実験書, 第二巻 (産業図書, 東京), 515~523.
- 4) 桐原良三: (1970) 乾燥装置 (日刊工業新聞, 東京), 217~220.
- 5) 八田四郎次, 前田四郎: (1966) 化学工学概論 (共立出版, 東京), 275.

Nomenclature

- a : effective area of particles per unit volume m²/m³
 C_D : coeff. of flow resistance
 C_H : heat capacity at H kcal/kg dry air °C
 D : sectional area of dryer m²
 d_m : diameter of particle m

G : supplied dry air weight kg dry air/hr
 g : acceleration m/sec²
 H : humidity kg H₂O/kg dry air
 h : heat transfer coeff. kcal/m²·hr·°C
 L : available dryer length m
 M : supplied material weight kg/hr
 Nu : Nusselt No.
 Pr : Prandtl No.
 Q : heat energy kcal/hr
 Re : Reynold No.
 R_w : latent heat of evaporation at t_w kcal/kg
 T : product temp. °C
 t : gas temp. °C
 V_g : gas velocity m/sec
 v_m : flow velocity of particle m/sec

v_t : relative terminal velocity m/sec
 W : supplied dry solid material kg/hr
 W' : supplied material kg/hr
 w : moisture content kg H₂O/kg dry solid
 λ : thermal conductivity of gas kcal/m·hr·°C
 μ : viscosity of gas kg/m·sec
 ρ : density kg/m³

Subscription

1 : inlet of dryer
 2 : outlet of dryer
 g : gas
 m : Okara
 p : product

Studies on Pneumatic Drying of "Okara"

Tetsuo TADANO, Keishichi YOKOYA and Ryūichi HIROKAWA

Lab. Food Chemical Engineering, Coll. Agr. & Vet. Med., Nihon Univ.

(Received September 29, 1980)

"Okara" is a byproduct from "Tōfu" (bean curd) manufacture. In Japan, about 500,000 tons/year of soybean is consumed for "Tōfu", and about 650,000 tons/year "Okara" (moisture: 85%) is byproduced.

Fresh "Okara" is made for side-dish etc., but most is used as feed, because of its very corruptible nature.

We have studied on Pneumatic drying of "Okara" to prolong its shelf life, and to find various uses of food for it. "Okara" is a little sludgy and a very swollen

material. There are some difficult problems in supplying raw material to dryer, and to dry in a short time. In this study, we used low velocity hot air (3.20 m/sec, 208°C, 254°C) and large section drying tower versus raw material feeding rate.

Moisture content was in the range of 7.4%~25.3%. Heat capacity coefficient (ha) experimental values were comparatively agreed with (ha) theoretical values.