Faba bean のデンプンの性状について†

女 屋 光 子**, 渡 辺 幸 雄*

太 田 富 貴 雄*, 綾 野 雄 幸*

* 千葉大学園芸学部農芸化学科

Some Properties of Starch Isolated from Faba Bean†

Mitsuko ONAYA,** Yukio WATANABE,*

Fukio ÔHTA,* Yûkô AYANO*

* Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Horticulture,
Chiba University, Matsudo, Chiba

Characteristics of the starch isolated from faba bean (*Vicia faba* L., var. *minor*) were examined.

By the light and scanning electron microscopic observations, it showed clearly the starch granules were ellipsoid in their shapes, and the length of longer axis were between 15μ and 40μ with an average 23.8μ .

The X-ray diffraction pattern of the starch was similar to that of broad bean starch, and from this pattern, the starch can be classified into the C-spectrum group according to the classification by Katz. The shape of Brabender's amylogram of the starch was similar to that of broad bean starch and the gelatinization temperature was 70°C . The amylose content of the starch was found to be approximately 22.1% by the colorimetric iodine method and 29.9% by the potentiometric iodine-titration method. The digestibility of the starch by pancreatic α -amylase or by the extract of rat small intestine was higher than that of broad bean starch.

(Received July 13, 1978)

faba bean (*Vicia faba* L., var. *minor*) はカナダにおいてソラマメから品種改良、育成された豆で、現在、家畜用飼料として生産されている。faba bean (ファーバビーン) に関する研究はカナダのマニトバ大学が中心になり、もっぱら家畜のたん白質源としての飼料適性について行なわれている。それによると、この豆は栄養価が高く、消化性にすぐれ、毒性もなく、動物の嗜好に適するため、かなり高いレベルまで飼料に配合することが可能であり、家畜の配合飼料素材として利用が高まっている。このように faba bean が家畜飼料のたん白質源として注目されるようになったのは、1972~1973 年のカナダ経済の変動に由来するものといわれ、その当時の魚粉や大豆粕の減少、さらに、あらゆるたん白質源の高騰

がそれに拍車をかけたものといわれる¹⁾²⁾。最近では、ファーバビーンの商品への利用性を検討した研究も見られ、ファーバビーン乾燥ミール³⁾、ファーバビーン粉末化にともなう種皮の色調や香気に及ぼす影響⁴⁾、ファーバビーン粉を小麦粉に混入したときのレオロジーや製パン性⁵⁾⁶⁾、などが報告されている。しかし、その成分の性状について詳細な研究はみあたらない。

このたび、豊年製油株式会社のご好意によりファーバビーンが入手できたので、わが国の食糧資源として利用するうえで、この豆がどのような性状、栄養価をもっているかを知ることが有意義であると考え、一連の実験を行なった。今回は、ファーバビーンからデンプンを分離し、その 2, 3 の性状を調べたので報告する。

実験の材料および方法

1. 実験材料

ファーバビーンは形状はおおむね楕円形で、長径 8~12 mm, 短径 6~8 mm, 千粒重は平均 440 g であった

† Faba bean の栄養学的研究 (第1報)
Nutritive Studies of Faba Bean (Part 1)

* 〒271 松戸市戸定 648

** 現在、お茶の水女子大学附属食物化学研究施設
〒112 東京都文京区大塚 2-1-1

Table 1. Composition of faba bean.

	Whole bean (%)	Dehulled bean (%)
Moisture	14.3	12.8
Crude protein (N×6.25)	23.7	25.5
Crude fat	1.3	1.5
Crude fiber	6.5	2.0
Ash	2.7	2.9
Nitrogen free extract	51.5	55.3

(Photo. 1)。

入手した ファーバビーンを 千葉大学 園芸学部 園場で 10 月に播種し、栽培したところ、翌年 4 月末から開花し (Photo. 2)、結実した (Photo. 3)。植生はソラマメと非常に類似し、茎は粗大で直立し、約 60 cm の高さになった。葉は互生、偶数羽状複葉で緑白色を呈した。花は蝶形で白色を呈し、翼弁に黒色の斑点が見られた。豆果は上を向き、細長い楕円形で、種子は初め緑白色、熟すと茶褐色を呈した。

ファーバビーン的一般成分は Table 1 に示したように、約 50% が糖質で、他の豆類の一般成分と類似率をとって比較すると、ソラマメと最も近似していた。

2. デンプンの分離

デンプンの分離は豆を粉化し、60 メッシュで篩別したのち、蒸留水で洗浄をくり返して行なった。すなわち、粉化したファーバビーンに約 3 倍量の蒸留水を加えてよく攪拌し、そのまま冷所で一夜放置後、まず 60 メッシュ、次いで 200 メッシュで篩別した。篩別液に蒸留水を追加し、十分攪拌したのち、冷所に一夜放置した。デンプンは沈降するので上澄を傾瀉し、再度蒸留水を加え、上澄液がビュレット反応を呈さなくなるまで、この攪拌、沈降、傾瀉をくり返した。得られた沈殿層はエタノール、次いでエーテルで洗浄、脱水したのち、減圧乾燥してデンプン標品とした。

3. デンプンの化学分析

水分は 105°C の常圧加熱乾燥法、灰分は乾式灰化法、窒素量はケルダール法によって求めた。デンプン価は試料に 1 N 塩酸を加え、沸騰湯浴中で 2 時間分解し、生成した還元糖量をソモギー・ヨード滴定法⁷⁾でグルコース相当量として求めた。全リン含量は湿式灰化後、AOAC 法⁸⁾で求めた。

4. デンプン粒の観察と粒径分布

デンプン粒の観察は光学顕微鏡 (オリンパス FH 型)、偏光顕微鏡 (オリンパス POM 型) および走査型電子顕微鏡 (日立、明石 MINI-SEM 101 型) で行なった。粒

径分布は光学顕微鏡写真を引き伸ばしたものについてデンプン粒の 1 粒ごとに長径を測定して作成した。測定粒子数は約 1,000 粒であった。

5. X 線回折

X 線回折条件は理学電機 X 線回折装置 (D-2F 型) を使用し、X 線管は対陰極銅のもので、ニッケルフィルターにより $K\beta$ 線を除去した。操作条件は電圧 30 kV、電流 10 mA、時定数 2 秒、検出スリット 0.3 mm、測角器の走査速度 2°/分 とした。

6. アミログラフィー

デンプン懸濁液の加熱にともなう粘度変化はブラベンダー社製のアミログラフ (Vs, 6E 型) で測定した。所定濃度になるよう秤取した試料デンプンを 450 ml の蒸留水に懸濁し、まず 25°C で 15 分間の予備攪拌をした後、92.5°C まで 1.5°C/分で加温し、同温度で 10 分間保ってから 25°C まで 1.5°C/分で冷却した。

7. アミロースおよびアミロペクチンの分別

分別法は Schoch⁹⁾ の方法に準じた。すなわち、試料デンプン 20 g に *n*-ブタノール 100 ml、蒸留水 1 l を加え加熱、糊化させたのち、121°C、10 分オートクレーブした。熱時に遠心分離して不純物を除去し、さらに *n*-ブタノール 50 ml、イソアミルアルコール 50 ml を追加し再び加熱したのち、内容物を布に包んで室温まで徐冷した。この操作によりアミロースは沈殿するのでこれを遠心分離した。得られた沈殿物は *n*-ブタノール飽和の冷水に懸濁し、遠心分離をくり返し、上澄にメタノールを加えたとき、濁りが生じなくなるまで洗浄した。次にエタノール、エーテルで脱水し、アミロース画分とした。アミロペクチンは最初の遠心分離液にメタノールを加えて沈殿させ、エタノール、エーテルで洗浄、脱水して調製した。

8. アミロース含量

アミロース含量はヨウ素呈色度およびヨウ素親和力から求めた。ヨウ素呈色度による方法は McCready ら¹⁰⁾の方法に準じ、分別したアミロースとアミロペクチンを種々の比に混合 (全濃度は一定) し、それらの呈するヨウ素呈色度をデンプンのそれと比較して求めた。ヨウ素親和力は小林ら¹¹⁾のヨウ素電流滴定法により測定し、次式よりアミロース含量を算出した。

アミロース含量 (%)

$$= \frac{\text{試料デンプンのヨウ素親和力}}{\text{分別したアミロースのヨウ素親和力}} \times 100$$

9. 人工消化試験

1) ラット小腸抽出酵素の調製 成熟ラットの小腸の内容物を除いたものに、1/15 M リン酸塩緩衝液 (pH 6.8) を加え、ホモゲナイズし、冷アセトンを経過濃度 70% になるよう加え、生じた沈殿を遠心分離して集め、

Photo. 1.

Photo. 2.

Photo. 3.

Photo. 1-3. Photograph of faba bean.

Photo. 4. Photograph of faba bean starch under a light microscope.

最初はアセトン・エーテル等量混合液, 次いでエーテルで洗浄したのち, 1/15 M リン酸塩緩衝液 (pH 6.8) で抽出し, 遠心分離してその可溶性画分を凍結乾燥した。酵素単位は 37°C で 1 時間にグルコースとして計算して 1 μ mol に相当する還元力を生ずる酵素量を 1 単位としたが, 本実験で調製した酵素標品は 1 mg が, ほぼ 1 単位に相当した。

2) ラット小腸抽出酵素による消化試験 太口目盛付試験管に試料デンプンを無水物換算して 50 mg を秤取し, 1/15 M リン酸塩緩衝液 (pH 6.8) 10 ml, 1/10 M 塩化ナトリウム 5 ml を加え, 37°C で 10 分間ブレイ

ンキュベートしたのち, ラット小腸抽出酵素を所定濃度になるよう 1/15 M リン酸塩緩衝液に溶解したものを 5 ml 加え, 蒸留水で全量を 50 ml とし, これにトルエン 1 滴を加え, 37°C で 24 時間反応させた。その間, 1, 3, 6 および 24 時間目に反応液を 5 ml ずつとり, 濾過し, 濾液の一定量について生成する還元糖量をソモギー・ヨード滴定法で定量した。消化率は, 次式より算出した。

$$\text{消化率 (\%)} = \frac{(\text{消化により生成する glucose 量}) - (\text{酵素ブランク})}{(\text{塩酸分解試料の生成 glucose 量})} \times 100$$

ただし, 塩酸分解試料の生成グルコース量は同一試料

Photo. 5. Photograph of faba bean starch under a polarized light microscope.

Photo. 6. Photograph of faba bean starch under a scanning electron microscope.

50 mg に 1 N 水酸化ナトリウム 10 ml を加え、冷所に一夜放置して完全に糊化させたのち、1 N 塩酸で中和し、さらに、3 N 塩酸 10 ml を加えて沸騰湯浴中で3時間加水分解したのちについてソモギー・ヨード滴定法により測定した。

3) α -アミラーゼによる消化試験 使用した α -アミラーゼはペーリンガー社製、豚の膵臓 α -アミラーゼで 1 μ g が 1 単位に相当した。実験方法ならびに消化率の算出はラット小腸抽出酵素による消化試験に準じた。

10. 餡粒子の分離

餡粒子の分離は渡辺ら¹²⁾の方法に準じた。すなわち一夜水に浸漬した豆を2倍量の水で10分間煮沸したのち、豆の1/3量の水を加え、再び煮沸し、沸騰後20分間保ってから煮液を除去した。新たに2倍量の水を加え、やわらかくなるまで煮沸した。煮液を除去し、搗潰したのち、水を加え、40メッシュで種皮を篩別した。餡は静置沈降させ、3倍量の水で5回水ざらしを行ない、餡細胞を分離した。

Photo. 7. "Ann" cells separated from raw "Ann" prepared with faba beans.

Photo. 8. "Ann" cells separated from cooked "Ann" of faba bean, which was boiled with 30% sugar syrup.

Table 2. Composition of the starch isolated from faba bean.

Moisture	11.8%
Starch value*	95.6%
Ash	0.12%
Total nitrogen	0.13%
Total phosphorus	3.2 mg%

* Total sugar content as glucose produced on hydrolysis.

結果および考察

1. ファーバビーンのデンプンの化学成分について

試料デンプンの化学成分を Table 2 に示した。デンプン価は 95.6 と高く、灰分および総窒素量は 0.12%、0.13% と低い値を示した。これより、ファーバビーンデンプンは簡便な水洗法でも十分に分離できるといえる。また、リン含量は 3.2 mg% で、他の豆¹³⁾ではオオ

Fig. 1. Distribution pattern of length of longer axis of faba bean starch.

テボウ、アオエンドウとほぼ等しかった。

2. デンプン粒の観察と粒径分布

試料デンプンの光学顕微鏡写真を Photo. 4 に示したが、デンプン粒は楕円形で、粒径分布を調べると (Fig. 1)、長径の長さは 15~40 μ のものが約 96% を占め、おおむね正規分布を示した。平均粒径 (長径) は 23.8 μ で、平均粒径よりも大きい粒子側にゆるやかな分布が認められた。他の豆類デンプンの粒径¹⁴⁾と比較すると、アズキ、エンドウ、インゲンマメ、ナタマメ、ソラマメ、ハッシュウマメ、フジマメなどよりは小さく、リョクトウよりわずかに大きく、小粒に属するものと考えられる。偏光顕微鏡で観察すると (Photo. 5)、美しい偏光十字を示し、形成核はほぼ中央にみられた。また、複粒も確認された。走査型電子顕微鏡で観察すると (Photo. 6)、複粒の癒合部分が明確に示された。

3. X 線回折

試料デンプンの X 線回折図を Fig. 2 に示した。なお比較としてソラマメ、パレイショ、普通トウモロコシの各デンプンについて測定した X 線回折図もあわせて示した。ファールビーンのデンプンは比較の普通トウモロコシデンプン (A 図形) やパレイショデンプン (B 図形) とは異なり、ソラマメデンプンの回折図と類似していることから、ファールビーンデンプンは Katz の命名した C 図形に属するものと考えられる。

4. アミログラフィー

試料デンプンのアミログラムをソラマメ、パレイショ、普通トウモロコシの各デンプンのアミログラムと比較して Fig. 3 に示した。ファールビーンおよびソラマメのデンプンはいずれも 5% 濃度では粘度の出現がみられなかったため、7% および 9% 濃度でのアミログラムを示し

Fig. 2. X-ray diffractograms of starches.

Fig. 3. Amylograms of starches.

—●— Potato (5%), —○— Normal corn (5%),
F B
— Faba bean, — Broad bean

た。ファールビーンデンプンは 70°C で粘度が出はじめ、加熱にともない粘度が徐々に上昇し、ブレイクダウンはなく、コンシステンシーが大きかった。これは、ファールビーンデンプンが冷却時にゲル化が早く、ミセルが強く膨潤や崩壊がしにくいためと考えられる。ソラマメデンプンとくらべると、ファールビーンデンプンは粘度曲線の立上り温度がやや低く、粘度は加熱時、冷却時を通して高かったが粘度変化は類似していた。ファールビーンの冷却時 (25°C) の、最高粘度は 7% 濃度で 340

Table 3. Amylose contents of the starches isolated from faba beans and broad beans.*

	Method	
	Colorimetric**	Calculated***
Faba bean	22.1	29.9
Broad bean	19.8	28.3

* Values are per cent on dry basis.

** By the method of McCready and Hassid.¹⁰⁾

*** By the potentiometric iodine-titration method.¹¹⁾

BU, 9% 濃度で 1,351 BU を示したが, 比較のパレイシヨおよび普通トウモロコシの各デンプンが 5% 濃度で 1,026 BU および 360 BU を示したことから, ファーバビーンデンプンの粘度は, いも類・穀類デンプンよりもかなり低いと考えられる。他の豆類デンプンとくらべると, 川村¹⁵⁾の分類による A グループに属し, ソラマメ, エンドウ, インゲンマメの各デンプンと類似していた。また, Lineback ら¹⁶⁾が horse bean のデンプンについて測定したアミログラムとも類似していた。Schoch ら¹⁷⁾の分類にしたがえばファーバビーンデンプンはタイプ C に属し, エンドウや化学的に cross-bond したデンプンのアミログラムと類似していた。

ブンのアミログラムと類似していた。

5. アミロース含量

試料デンプンのアミロース含量を Table 3 に示した。比較のため, ソラマメデンプンについても同様に定量しあわせて示した。ファーバビーンデンプンのアミロース含量はヨウ素呈色度から求めた場合 22.1%, ヨウ素親和力から求めた場合 29.9% で, 測定法により相当な差異があることを認めた。これはソラマメデンプンのアミロース含量についても示され, 川村¹⁸⁾によれば, ヨウ素呈色度による方法では遊離のヨウ素による影響が考慮されないで低い値になるという。なお, 川村¹⁸⁾はソラマメのアミロース含量を, ヨウ素呈色度では 20.5%, ヨウ素親和力 (電圧滴定法) では 26.8% と報告している。豆類デンプンのアミロース含量はヨウ素親和力で求めた場合, 30% 前後のもの (キントキ, ナガウズラ, リョクトウ, ソラマメ), 20% 前後のもの (アズキ, ササゲ, フジマメ), それ以下のもの (ナタマメ) に分類されている¹⁹⁾が, ファーバビーンデンプンのアミロース含量はかなり高い部類に属することがわかった。

6. 消化性

試料デンプンに α -アミラーゼおよびラット小腸抽出酵素を作用させて分解を行なった結果を Table 4 に示した。なお比較として, ソラマメ, 普通トウモロコシの各デンプンについてもあわせて示した。

ファーバビーンデンプンの α -アミラーゼによる分解

Table 4. Digestibility of raw starches by porcine pancreas α -amylase and extract of rat small intestine.

Starches	Duration of digestion (hr)	Units of enzyme	Degradation (%)					
			α -amylase			Extract of rat small intestine		
			25	50	100	30	60	100
Faba bean	1		1.5	2.6	7.1	3.5	8.7	8.2
	3		5.2	7.5	16.5	9.4	20.8	27.1
	6		9.8	16.4	31.4	19.3	34.7	48.4
	24		25.9	30.4	31.5	51.9	81.6	80.3
Broad bean	1		1.3	1.9	6.3	2.5	3.4	5.5
	3		4.3	5.8	14.7	7.8	13.9	17.5
	6		8.5	11.5	26.0	11.4	21.4	32.6
	24		20.3	26.3	27.8	41.3	60.8	63.3
Normal corn	1		2.7	3.4	8.0	7.0	13.8	16.4
	3		8.1	9.8	15.7	20.9	44.0	51.0
	6		12.9	17.0	28.7	41.6	67.3	87.1
	24		24.5	29.4	32.3	88.7	98.3	98.3

率は普通トウモロコシデンプンにくらべ酵素量 25 単位ならびに 50 単位の場合、6 時間までの反応では低い値を示したが、24 時間反応では普通トウモロコシデンプンとだいたい同じ分解率になった。また酵素量に関係なくソラマメデンプンよりは高い分解率を示した。

ラット小腸抽出酵素による分解率は酵素量や反応時間に関係なく、普通トウモロコシデンプンよりは低く、ソラマメデンプンよりは高い値を示したが、その分解傾向は α -アミラーゼ分解の場合と同様であった。ファーバビーンデンプンの分解率は反応時間の経過にともない、普通トウモロコシデンプンのそれに近づく傾向にあり、60 単位、24 時間反応で 81.6% の分解率を示したのが、48 時間反応では 99.0% となり、ほとんど完全に分解された。以上の結果から、ファーバビーンデンプンの消化性はソラマメデンプンよりは優れているが、普通トウモロコシデンプンよりはやや劣ることが示された。しかし、反応時間の経過にともない普通トウモロコシデンプンの分解率に近づき、60 単位、48 時間反応で完全に分解されることから、ファーバビーンデンプンは反応初期に酵素作用を受けにくいものと考えられる。

7. ファーバビーンの製餡特性

ファーバビーンはデンプン含量が高く、そのアミログラムは谷地田ら²⁰⁾がアズキデンプンで報告したものとよく似ていたことから、餡になる性質を具備しているものと考えられる。そこでファーバビーンから餡細胞を分離した結果、生餡は色調もよく、顕微鏡観察から (Photo. 7)、餡細胞は 10 数個のデンプン粒を内包し、餡細胞の大きさは平均長径 260 μ で、根本ら²¹⁾の分類によれば大粒子群に属した。生餡にショ糖を 30% 加えて、加熱して練り餡にすると (Photo. 8)、餡細胞は丸味を帯び、餡細胞を包む膜が明瞭となり、なかには加熱により糊化膨潤したデンプン粒の存在が認められた。また練り餡は風味、舌感が良好で、十分嗜好に適するものであった。

要 約

カナダ産のファーバビーン (*Vicia faba* L., var. *minor*) からデンプンを分離し、その 2, 3 の性状を調べた。

1) デンプン粒の形状は楕円形で、その長径は 15~40 μ の範囲にあり、平均粒径は 23.8 μ であった。また複粒が確認された。X線回折図形は Katz の分類における C 図形に属した。

2) アミログラムからは、粒度曲線の立上り温度が 70°C₂ で、加熱にともない粘度が徐々に上昇し、ブレークダウンはなく、コンシステンシーが大きいことが認め

られた。加熱時の最高粘度は 7% 濃度で 230 BU, 9% 濃度で 590 BU, であり、ソラマメデンプンよりは高いが、パレイショならびに普通トウモロコシデンプンにくらべかなり低いことが示された。

3) アミロース含量はヨウ素呈色度による方法で求めた場合 22.1%, ヨウ素親和力による方法で求めた場合、29.9% となり、他の豆類デンプンに比し高い部類に属した。

4) α -アミラーゼならびにラット小腸抽出酵素による消化性はソラマメデンプンよりは優れているが、普通トウモロコシデンプンよりは劣った。

本研究を実施するにあたり試料を提供していただいた豊年製油株式会社に謝意を表します。また、豆類のデンプンの性状に関して有益なご教唆をいただいたお茶の水女子大学の福場博保教授にこの欄をおかりして感謝いたします。本研究の一部は昭和 52 年の第 31 回日本栄養・食糧学会において講演発表した。

文 献

- 1) Broeska, R.J.: The Japan-Canada Grains Symposium, p.1 (1974), Hakone, Japan
- 2) Manitoba Department of Agriculture, Publication No. 543, p.1 (1974)
- 3) Watson, J.W., McEwen, T.J. and Bushuk, W.: *Cereal Chem.*, 52, 272 (1975)
- 4) Hoehn, E., Vaisey, M. and Medeiros, A.F.: *Cereal Chem.*, 53, 597 (1976)
- 5) McConnell, L.M., Simmons, D.H. and Bushuk, W.: *Cereal Sci. Today*, 19, 517 (1974)
- 6) D'Appolonia, B.L.: *Cereal Chem.*, 54, 53 (1977)
- 7) Somogyi, M.: *J. Biol. Chem.*, 195, 19 (1952)
- 8) AOAC, 8th. Ed., 115 (1955)
- 9) Wilson, E.J., Schoch, T.J. and Hudson, C.S.: *J. Am. Chem. Soc.*, 65, 1380 (1943)
- 10) McCready, R.M. and Hassid, W.Z.: *J. Am. Chem. Soc.*, 65, 1154 (1943)
- 11) 小林恒夫, 吉田恵一: 澱粉工誌, 8, 48 (1960)
- 12) 渡辺長男, 半藤百合子: 食研報告, 10, 89 (1955)
- 13) Muramatsu, K.: *Agric. Biol. Chem.*, 26, 25 (1962)
- 14) 川村信一郎, 壺井 好, 藤井 保: 香川県立農科大学学術報告, 7, 87 (1955)
- 15) 川村信一郎, 福場博保: 香川県立農科大学学術報告, 9, 38 (1957)
- 16) Lineback, D.R. and Ke, C.H.: *Cereal Chem.*, 52, 334 (1975)
- 17) Schoch, T.J. and Eleen, C.M.: *Cereal Chem.*, 45, 564 (1968)
- 18) 川村信一郎: 農化, 32, 749 (1958)
- 19) 川村信一郎: 農化, 33, 296 (1959)
- 20) 谷地田武男, 皆木豊栄, 根本芳郎, 鈴木繁男: 新潟食研報告, 9, 39 (1966)
- 21) 根本芳郎: 二国二郎監修, 澱粉科学ハンドブック, p. 551 (1977), 朝倉書店 (東京)

(昭和 53 年 7 月 13 日受理)