生育段階の異なるキウイフルーツ澱粉の性質について

杉本温美*¹, 山本美千子*¹, 阿部一博*^{2,4}, 不破英次*³

(昭和 62 年 8 月 29 日受理)

Developmental Changes in the Properties of Kiwi Fruit Starches
(*Actinidia chinensis* Planch.)Yoshimi SUGIMOTO,*¹ Michiko YAMAMOTO,*¹ Kazuhiro ABE*^{2,4}
and Hidetsugu FUWA*³*¹ Department of Food and Nutrition, Faculty of Home Economics,
Mukogawa Women's University
(6-46, Ikebiraki, Nishinomiya 663, Japan)*² Osaka Prefecture Agricultural Research Institute
(Shakudo, Habikino 583, Japan)*³ Department of Food and Nutrition, Faculty of Science of Living, Osaka City University
(3-3-138, Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan)*⁴ Present address: University of Osaka Prefecture College of Agriculture
(4-804, Mozuumemachi, Sakai 591, Japan)

Samples of three varieties of kiwi fruit (*Actinidia chinensis* Planch., varieties: Bruno, Hayward and Abbot) were harvested 13 times in total, except for the Abbot variety (4 times in total), during the period of June to November, 1985. Lyophilized slices and starch granules were prepared from the fruit. Each slice was observed by scanning electron microscopy (SEM) and the properties of the starch granules were examined. The results obtained were as follows:

1) The average particle size of starch granules increased until September and then decreased. The most common particle size of the granules increased from 3-4 μm to 20-30 μm and then decreased to 6-8 μm during fruit development.

2) The susceptibility of kiwi fruit starch granules to hog pancreatin was approximately 30-65% that of normal maize. On SEM, we observed large holes on the surface of the starch granules in the early stages of the attack by pancreatin. This was quite different from in the case of normal maize starch granules, for which the enzymatic attack usually started with small pits on the surface of the granules, which then increased in number and in size during the subsequent enzyme attack.

3) The initiation temperature for gelatinization of the starches, as judged on differential scanning calorimetry (DSC), was 60-61°C for the Bruno and 61-63°C for the Hayward variety, and it scarcely changed during development. The enthalpy change, ΔH , varied among the kiwi fruit starches within a range of 3.4-4.3 cal/g.

4) The amylose contents of the starches (Bruno, Hayward and Abbot), as determined by the amperometric iodine titration method, were 16-22, 14-21 and 15-17%, respectively, which appeared to be similar to the respective amylose contents deduced from the blue values.

5) X-ray diffractography of the starches gave B-type patterns throughout the fruit development.

*¹ 武庫川女子大学家政学部 (663 西宮市池開町 6-46)*² 大阪府農林技術センター (583 羽曳野市尺度)*³ 大阪市立大学生活科学部 (558 大阪市住吉区杉本町

3-3-138)

*⁴ 現在, 大阪府立大学農学部 (591 堺市百舌鳥梅町 4-804)

最近、キウイフルーツは日本でも栽培され、国内産キウイフルーツが市場に多く出るようになった。さて、キウイフルーツ生育中の成分変化について、すでに Wright ら¹⁾、水野ら²⁾、福家ら^{3,4)}の報告がある。Fuke ら⁵⁾はさらに、生育時期中で澱粉含量の多かった 10 月に採取したキウイフルーツより澱粉を調製し、2, 3 の理化学的性状を明らかにしている。

今回、いくつかの異なる生育段階で 3 種類のキウイフルーツについて澱粉を調製し、それらの特性を検討し、以下の結果を得たので報告する。

実験方法

1. 材料

試料としたキウイフルーツは、ブルーノ、ヘイワード、アボットの 3 品種で、大阪府農林技術センターで 1985 年栽培したものを用いた。ブルーノは 6 月 6 日から 11 月 13 日、ヘイワードは 6 月 20 日から 11 月 20 日まで、それぞれ計 13 回、1～2 週間おきに採取した。アボットは 8 月 15 日、11 月 6 日、11 月 13 日、11 月 20 日の計 4 回採取した。採取したキウイフルーツは、それぞれについて重量をはかった後、皮をむいて小さく切り、Schoch の方法⁶⁾に準じて澱粉を調製した。

2. 方法

走査電子顕微鏡による観察⁷⁾、粒度分布の測定^{8,9)}、*in vitro*での澱粉粒の分解性¹⁰⁾、フォトペーストグラフィー¹¹⁾、示差走査熱分析¹²⁾、ヨード吸収曲線¹¹⁾、電流滴定⁸⁾ならびに X 線回折¹¹⁾の方法は既報のとおりである。

結果および考察

Fig. 1 よりブルーノの平均果実重量 (各 3～5 個の平均値) は 6 月 6 日 (以下、6/6 と略す) に約 0.2 g であったが、その後 9 月半ばまで順調に増加を続け、最終採取日 (11/20) には約 103 g になった。ヘイワードもブルーノとよく似た増加を示し、重量も最終採取日には 103 g であった。国産ヘイワードの採取時の平均果実重量を工藤¹³⁾は、110 g、福家ら^{3,4)}は 1982 年には 86 g、1984 年には 100 g と報告しており、今回採取したヘイワードの重量とはほぼ同じ程度である。しかし国産ブルーノについて福家ら³⁾は 60 g、工藤¹³⁾は 63 g と報告しており、それらと比べると今回のものは大きい。またアボットは 11/20 でも 71 g でブルーノ、ヘイワードと比べるといくぶん小さかった。

これらのキウイフルーツを厚さ 2～3 mm の輪切りにした後凍結乾燥し、走査電子顕微鏡 (以下 SEM と略す)

Fig. 1. Developmental changes in average weight of kiwi fruit.

で観察した結果を Fig. 2 に示す。ブルーノでは 6/6～9/12 (Fig. 2-1～3)、ヘイワードでは 7/12～9/12 (Fig. 2-5～7) の生育の初期に粒の大きさが増す傾向が観察できた。またこれらの粒形は、ブルーノでは初期 (6/6, 7/17) には丸みを帯びていたものがほとんどであったが、生育が進むといくぶん角のあるものも多くみられるようになった。また、ヘイワードでは粒形にあまり変化がなく、球形や角のある粒が観察できた。さらにアボットでは 8/15 (Fig. 2-9) と 11/6 (Fig. 2-10) を比較すると 8/15 より 11/6 のほうが粒が大きく、どちらかというとも 11/6 のほうが角のある粒が多かった。

次に粒度分布の結果を Fig. 3 に示した。最多分布は、ブルーノ (Fig. 3-1) では 7/17 で 3～4 μm 、8/1 で 4～5 μm 、8/15、9/12、9/26 で 10～20 μm 、8/29、10/11 で 20～30 μm で生育につれて大きくなる傾向があり、その後 10/23～11/20 では逆に 6～8 μm に減少した。ヘイワード (Fig. 3-2) でも 7/17 で 3～4 μm 、8/1 で 5～6 μm 、8/15 で 6～8 μm 、8/29～9/12 は 10～20 μm 、9/26 で 20～30 μm と生育とともに大きくなったが、逆に 10/11～11/20 には 6～8 μm と減少した。またアボット (Fig. 3-3) は 8/15 は 10～20 μm 、11/6、11/13 は 6～8 μm 、11/20 は 3～4 μm であった。Fig. 4 に粒度分布の結果より得られた平均粒径を生育をおって示した。キウイフルーツ澱粉の平均粒形はブルーノで 3.8～11.5 μm 、ヘイワードで 4.4～13.0 μm 、アボットで 4.4～6.9 μm で、これらを生育時期別にみると、ブルーノは 10/11、ヘイワードは 9/26 まで生育につれて大きくなったが、その後は逆に減少した。福家ら³⁾はキウイフルーツ (ブルーノ、ヘイワード) の生育中の澱粉含量を

Fig. 2. Scanning electron photomicrographs (SEM) of starch granules in lyophilized slices of developing kiwi fruit.

1-4: Fruit (Bruno) harvested on 1, June 6; 2, July 17; 3, September 12; 4, October 11.

測定し、6/30には1%以下だったものがしだいに増加し、8/31では約3%、9/30では4~5%、10/31には約6%で最高になり、その後減少して11/10には2~4%、さらに12/10には0.2~0.3%になったと報告している。また水野ら²⁾もマンティ、アボット、ヘイワードおよびブルーノの4種類のキウイフルーツについて澱粉含量の変化を測定し、アボットでは10月の下旬に約10%にもなることを報告している。したがって、平均粒径がブルーノでは10/23、ヘイワードでは10/11から小さくなった理由は、この時期は澱粉の蓄積より分解が大きいため、見かけ上、小粒がふえたものと考えられる。

Fig. 5に各生育段階のキウイフルーツ澱粉粒の豚脾臓 α -アミラーゼによる分解結果を、トウモロコシ澱粉粒の分解率(3 hr 反応で37.2%、24 hr 反応で87.7%)を100としたときの比率で表わした。キウイフルーツ澱粉は3 hr 反応で、ブルーノ29.3~60.3、ヘイワード26.2~40.2、アボット49.3~53.3、24 hr 反応でブルーノ25.7~

34.5、ヘイワード35.9~43.3、アボット47.5~49.6であり、トウモロコシ澱粉粒に比べるといずれも30~65%と分解性が悪く、なかでもブルーノは24 hr 反応における分解性がいちばん低い傾向を示した。また生育時期による変化は顕著でなかった。一般に地上澱粉は酵素によって分解されやすいと言われているが、それらのなかにもギンナンやバナナの澱粉粒のように酵素によって分解を受けにくい例外のあることを既報¹⁴⁾で示した。キウイフルーツ澱粉も例外で、バナナ澱粉粒ほどではないが、ギンナンの澱粉粒と同程度の低い分解性を示した。

Fig. 6は、酵素作用のあと、残った澱粉粒についてSEMで観察したものである。分解率が10%前後と低いものの粒の表面は、比較的分解前の表面に似ているが、20%以上の分解率になると表面のくずれ方が大きく、一面に浸食されるのが観察できた。さらにキウイフルーツ澱粉の穴のあき方は、小さなピンホールからしだいに大きくなっていくトウモロコシ澱粉粒の場合とは異なり、

Fig. 2. 5-8: Fruit (Hayward) harvested on 5, July 17; 6, August 15; 7, September 12; 8, October 11; 9 and 10: Fruit (Abbot) harvested on 9, August 15; 10, November 6.

粒の表面の一部が大きな円形でスポッとはずれて穴があいていく様子を観察できた (Fig. 6-2~4)。この穴のあき方は、中国大根澱粉粒¹⁵⁾でも確認している。

次に、これらの澱粉について、0.05%濃度でフォトペーストグラフィーを行った結果、いずれのキウイフルーツの澱粉も、一段の透光度増加を示した。Fig. 7にフォトペーストグラムから求めた糊化開始温度を、生育段階をおって表わした。7/17はブルーノ、ヘイワードともに58℃で低く、その後8/1~9/26は62~64℃と高く、

10月下旬には再び低くなる傾向を示した。このように生育時期によって糊化開始温度に差を生じる理由について鈴木¹⁶⁾らはサツマイモ澱粉、杉本らはサトイモ澱粉⁸⁾、ヤマノイモ澱粉¹²⁾およびクワイ澱粉¹⁷⁾の結果から、澱粉が生成される際の地温が影響するものと推定している。キウイフルーツは地上にあるため、地温よりも差のはげしい気温の影響を直接受けており、したがってブルーノでは10/11に急激に下がるという結果になったのかもしれない。Table 1に示差熱分析 (DSC) ならびにフォト

Fig. 3-1. Developmental changes in particle size distribution of kiwi fruit starches.

Fig. 3-2. Developmental changes in particle size distribution of kiwi fruit starches.

Fig. 3-3. Developmental changes in particle size distribution of kiwi fruit starches.

Fig. 4. Developmental changes in average granular size of kiwi fruit starches.

Fig. 6. SEM of starch granules of kiwi fruit attacked by pancreatin.

1-6: Starch granules of kiwi fruit harvested on August 15: 1, Bruno (% degradation by pancreatin, 12.9); 2, Bruno (% degradation by pancreatin, 28.7); 3, Hayward (% degradation by pancreatin, 18.2); 4, Hayward (% degradation by pancreatin, 36.9); 5, Abbot (% degradation by pancreatin, 17.5); 6, Abbot (% degradation by pancreatin, 38.0).

ペーストグラフィーによる糊化特性を示す。キウイフルーツ澱粉の糊化に伴う吸熱量はブルーノで 3.4~4.2 cal/g、ヘイワードで 3.6~4.3 cal/g、アボットで 3.8~4.2 cal/g であったが生育による変化はほとんどみられなかった。また DSC によるキウイフルーツ澱粉の糊化開始温度 (T_0) はブルーノで 60~61°C 前後、ヘイワードで 61~63°C 前後で生育による差はみられなかった。

Fuke ら⁵⁾は DSC によるキウイフルーツ澱粉の糊化温度を 72°C と報告しているが、Fuke ら⁵⁾の糊化温度は T_p (ピークの温度) で表わしているため、 T_0 よりもいくぶん高い。しかし、Table 1 より著者らの測定したキウイフルーツ澱粉のピークの温度 (T_p) はブルーノで 63~65°C、ヘイワードで 64~66°C、アボットで 64~67°C で Fuke ら⁵⁾の値よりもいくぶん低い、これは両者の測

Fig. 5. Digestion of starch granules of kiwi fruit by pancreatin.

Fig. 7. Developmental changes in the initiation temperature for gelatinization of kiwi fruit starches, as seen on photopastography.

Fig. 8. Developmental changes in the blue values of iodine complexes of kiwi fruit starches.

Fig. 9. Developmental changes in the amylose contents of kiwi fruit starches, as seen on amperometric titration.

Table 1. Heats of gelatinization and endotherm characteristics of kiwi fruit starches.

Starch		$\Delta H(\text{cal/g})$	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$T_c(^{\circ}\text{C})$	Onset ^{a)} ($^{\circ}\text{C}$)
Bruno	8/1	4.0	61.2	64.2	70.8	64
	8/15	3.8	60.8	64.2	69.4	62
	8/29	3.6	60.8	64.2	67.8	63
	9/12	4.2	60.8	63.3	67.2	64
	9/26	4.1	61.2	64.5	68.8	64
	10/11	4.1	59.8	63.6	68.3	60
	10/23	3.5	59.7	63.5	67.7	60
	11/6	4.1	61.0	64.6	68.6	60
	11/13	3.4	59.9	63.7	68.3	60
Hayward	8/1	3.9	60.7	64.0	70.0	63
	8/15	3.6	61.5	64.0	69.0	62
	8/29	3.8	61.5	63.8	67.4	64
	9/12	3.9	61.7	64.3	68.2	63
	9/26	4.3	62.5	66.3	70.4	63
	10/11	4.0	63.2	64.8	69.2	62
	10/23	4.1	62.7	65.2	69.7	60
	11/6	4.1	62.0	65.0	69.2	60
	11/13	4.0	61.2	64.6	70.0	60
	11/20	4.3	62.4	65.2	69.5	64
Abbot	8/15	3.9	62.9	65.5	69.2	62
	11/6	3.8	60.2	63.8	67.8	58
	11/13	4.2	60.3	64.5	69.0	60
	11/20	3.9	57.9	66.7	70.6	—

^{a)} Initiation temperature of gelatinization determined by photopastography.

定条件の差, とくに昇温速度 (Fuke ら $5^{\circ}\text{C}/\text{分}$, 著者ら $2^{\circ}\text{C}/\text{分}$) が異なるためであろう。

次に, キウイフルーツ澱粉のヨード吸収曲線を測定し, そのときの 680 nm における吸収強度 (青価) を生育段階をおって Fig. 8 に示した. ブルーノとヘイワードはよく似た傾向を示し, 11 月にはいるといずれも大きな増加がみられた. Fig. 9 に, 電流滴定によるアミロース含量を生育段階をおって表わした. アミロース含量は, 生育につれて増加する傾向がみられ, ブルーノでは 11/13 のアミロース含量 22%, ヘイワードでは 11/20 のアミロース含量 20% で青価の場合と同様, 他の時期よりも増加した. これは, 水野ら²⁾や福家ら³⁾がキウイフルーツ澱粉は 10 月に入ると蓄積から分解に進み糖含量が増加するとのべているように, この時期に入ると澱粉から糖へと分解が進み, その際の分解速度がアミロースよりもアミロペクチンのほうが速いため, 相対的な量としてアミロース含量が増加したためではないかと思われる。

今回電流滴定により求めたアミロース含量は 14~22% であったが, Fuke ら⁵⁾は 11%, また Matsumoto ら¹⁸⁾は 50% と報告している. この点については, 今後さらに検討していきたいと考えている。

次に, Fig. 10 にブルーノの X 線回折図を生育段階をおって表わした. 全期間 B 図型を示し, 生育による変化はみられなかった. ここには示していないが, ヘイワードとアボットについても同様の結果を得た. 二國ら¹⁹⁾, Hizukuri ら²⁰⁾は澱粉の X 線回折図型は, 澱粉粒の生成される際の温度によって異なることを, サツマイモや発芽大豆について示しているが, このことは, 著者らもサトイモ⁸⁾やヤマノイモ¹²⁾澱粉で確認した. しかし, キウイフルーツ澱粉ではいずれの種類も全期間 B 図型を示し, 中国大根澱粉¹⁵⁾やクワイ澱粉¹⁷⁾の場合と同様, 環境温度による変化がみられなかった. Hizukuri²¹⁾ら²²⁾は, 高速ゲルクロマトグラフィーとレーザー光散乱光度計を組み合わせた新しい分析法によって, 種々の澱粉のアミロ

Fig. 10. Developmental changes in the X-ray diffraction patterns of kiwi fruit (Bruno) starches.

ペクチンの平均鎖長を求め、X線回折図型がA図型の澱粉は、B図型のものよりも平均鎖長が短いことを明らかにしている。さらに、米澱粉やジャガイモ澱粉のX線回折図型が環境温度によって影響を受けないのは、アミロペクチンの平均鎖長が、米澱粉は非常に短く、ジャガイモ澱粉は非常に長いためであると述べている。今回、アミロペクチンの平均鎖長を測定していないのははっきりしたことはわからないが、おそらく、キウイフルーツや中国大根のアミロペクチンの平均鎖長は非常に長く、クワイ澱粉のアミロペクチンの平均鎖長は非常に短いのではないかと考えられるが、この点については、今後の研究で明らかにしていきたい。

要 約

3種類のキウイフルーツ（品種：ブルーノ、ヘイワードおよびアボット）を異なる生育段階で13回（アボットは4回）採取し、切片中の澱粉の形態ならびにキウイフルーツより調製した澱粉の特質を検討し、次の結果を

得た。

1) キウイフルーツ澱粉の平均粒径は生育とともに大きくなる傾向を示したが、糖が多量に生成される10月頃には逆に小さくなった。最多分布も3~4 μm から20~30 μm 、さらに6~8 μm と生育とともに変化した。

2) α -アミラーゼによる分解性はトウモロコシ澱粉粒の約30~65%で低いことがわかった。分解残渣澱粉のSEM観察より、トウモロコシ澱粉粒とは異なり、粒の表面の一部が大きな円形でスポッとはずれて穴があいていく様子を示した。

3) DSCによる糊化開始温度はブルーノで60~61°C、ヘイワードで61~63°Cで生育による変化はみられなかった。また、DSCによる糊化熱は3.4~4.3 cal/gであった。

4) 電流滴定によるアミロース含量は、青価の変化と同様の傾向を示し、ブルーノで16~22%、ヘイワードで14~21%、アボットで15~17%であった。

5) X線回折図型は、3種類ともに全期間を通じてB図型を示した。

本研究を行うにあたり、実験にご協力いただきました本学の湊千香子さん、杉原順子さんにお礼申し上げます。

文 献

- 1) H. B. WRIGHT and D. A. HEATHERBELL: *N. Z. J. Agric. Res.*, **10**, 405-414 (1967).
- 2) 水野 進, 寺井弘文, 福井正夫: 園芸学会講演要旨集, p. 368, 青森 (1981).
- 3) 福家洋子, 松岡博厚: 日食工誌, **29**, 642-648 (1982).
- 4) 福家洋子, 松岡博厚: 日食工誌, **31**, 31-37 (1984).
- 5) Y. FUKE and H. MATSUOKA: *J. Food Sci.*, **49**, 620-622, 627 (1984).
- 6) T. J. SCHOCH: in "*Method in Enzymology III*" (S. P. COLOWICK and N. K. KAPLAN eds.), Academic Press Inc., p. 5-6 (1954).
- 7) 遠藤慶子, 杉本温美, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **25**, 24-29 (1978).
- 8) 杉本温美, 西原公恵, 阿部一博, 藤田修三, 不破英次: 澱粉科学, **34**, 1-10 (1987).
- 9) 杉本温美, 西原公恵, 不破英次: 栄食誌, **37**, 465-473 (1984).
- 10) H. FUWA, M. NAKAJIMA, A. HAMADA and D. V. GLOVER: *Cereal Chem.*, **54**, 230-237 (1977).
- 11) 杉本温美, 西原公恵, 井上まゆみ, 不破英次: 澱粉科学, **29**, 19-26 (1982).
- 12) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 澱粉

- 科学, **34**, 11-20 (1987).
- 13) 工藤茂道:「キウイフルーツの新技術」, 磐梯広報社, 東京, p. 217 (1979).
- 14) 杉本温美, 大西恵子, 高谷友久, 不破英次: 澱粉科学, **26**, 182-190 (1979).
- 15) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 澱粉科学, **35**, 19-27 (1988).
- 16) 鈴木繁男:「デンプンハンドブック」(二國二郎編集), 朝倉書店, 東京, p. 529 (1960).
- 17) 杉本温美, 山本美千子, 阿部一博, 不破英次: 澱粉科学, **35**, 11-18 (1988).
- 18) S. MATSUMOTO, T. OBARA and B. S. LUH: *J. Food Sci.*, **48**, 607-611 (1983).
- 19) 二國二郎, 檜作 進, 藤井ミチ子, 土井健二, 長谷川浩, 森脇 勉, 奈良省三, 前田 巖: 農化, **37**, 673-676 (1963).
- 20) S. HIZUKURI, M. FUJII and Z. NIKUNI: *Nature*, **192**, 239-240 (1961).
- 21) S. HIZUKURI: *Carbohydr. Res.*, **141**, 295-306 (1985).
- 22) S. HIZUKURI, T. KANEKO and Y. TAKEDA: *Biachim. Biophys. Acta*, **760**, 188-191 (1983).