トルティーヤの力学特性に及ぼす炭酸カルシウム および水酸化カルシウムの影響†

大塚 愛*・森高初恵**・福場博保*・木村修一*・石原三妃***

Effects of Calcium Carbonate and Calcium Hydroxide on Physical Properties of Tortilla

Megumi OTSUKA*, Hatsue MORITAKA**, Hiroyasu FUKUBA*,
Syuichi KIMURA* and Miki ISHIHARA***

* *Course of Science for Living System Graduate School, Showa Women's University*

** *Department of Living Science, Showa Women's University*

*** *1-7, Taishido, Setagaya-ku, Tokyo 154-8533*

*** *Nagano Prefectural College, Miwa, Nagano 380-8525*

The effects of calcium carbonate and calcium hydroxide on physical properties of tortilla made from corn flour were investigated.

The apparent rupture strain of masa (unheated dough) increased by adding 1.0% or 1.5% calcium carbonate, but the apparent rupture stress decreased. The apparent rupture properties of tortilla did not change by the addition of calcium carbonate. But the apparent rupture properties of tortilla soaked in deionized water decreased with increasing concentration of calcium carbonate. The apparent rupture properties of masa, tortilla and tortilla soaked in deionized water increased with increasing concentration of calcium hydroxide.

Starch in masa and tortilla with calcium hydroxide was promoted to swell and hydrate as compared with that with calcium carbonate based on the observation by SEM. Many cavities were observed in the structure of tortilla with calcium carbonate. The water adsorption of tortilla increased by adding 1.0% calcium carbonate. Masa was tinged with red by the addition of calcium hydroxide.

From above results, the effects of calcium carbonate and calcium hydroxide on tortilla were different each other. Tortilla became easy to absorb the liquid by adding calcium carbonate and became difficult to break by the addition of calcium hydroxide.

(Received Apr. 19, 2001 ; Accepted Jul. 13, 2001)

トルティーヤは、伝統的にはトウモロコシ粒を一晩石灰（消石灰）に浸漬し茹でて、石棒のマノを使いメタテと呼ばれる三本脚の多孔質の火山岩から作られた石臼でよくすりつぶし、水と共にこねた後、手の平で薄い円形状に伸ばし、鉄板で焼いて作られる¹⁾²⁾。石灰（消石灰）

水にトウモロコシ粒を一晩浸漬して作るこの製法は、トウモロコシの薄皮を取れやすくする目的で行われているが、併せてトルティーヤのカルシウムレベルを上昇させ、結合状態にあるナイアシンを解離状態にし、生体への利用性を高める効果があることも報告されている³⁾。

† コーンフラワーの調理特性に及ぼすカルシウム剤の影響

* 昭和女子大学大学院生活機構研究科（〒154-8533 東京都世田谷区太子堂 1-7）

** 昭和女子大学生活科学科（〒154-8533 東京都世田谷区太子堂 1-7）

*** 長野県短期大学（〒380-8525 長野市三輪 8-49-7）

トルティーヤについては、これまでにいくつかの報告^{4)~6)}がなされている。しかし、炭酸カルシウム添加トルティーヤと水酸化カルシウム添加トルティーヤの力学特性の比較についての報告はなされていない。先の報告⁷⁾で、0.1~0.5%炭酸カルシウムあるいは0.1~0.5%水酸化カルシウムの添加により、コーンスターチの結晶性、力学特性、熱特性は影響を受けることを報告した。

そこで本報告では、コーンフラワーを原料として、トルティーヤの未加熱生地であるマサ、マサを焼いたトルティーヤ、水分の多い具材の影響を検討するために水に浸漬したトルティーヤを調製し、これらコーンフラワー調製試料の力学特性に及ぼす炭酸カルシウムおよび水酸化カルシウムの影響について検討した。

実験方法

1. 試料

コーンフラワーはイエローデントコーンを原料とした日本製粉株式会社製を用いた。コーンフラワーの組成(日本製粉株式会社測定値)をTable 1に示した。脱イオン水と混合した55%コーンフラワーのドウを10分間こねた後、厚さ2mm、直径85mmの円形状にのばし、密閉して20℃で1時間放置し未加熱試料のマサとした。トルティーヤは成形直後のマサを直ちに300℃で1分間焼き、20℃で1時間放置して調製した。水浸漬トルティーヤは、焼いたトルティーヤを20℃で1時間放置後、4分の1等分に切断し、脱イオン水中に10秒間浸漬し、取り出して3分間密閉容器に保存した。

2. 破断特性の測定

クリーブメーター(RE-33005, 山電社製)を用いて、厚さ2mm、半径42.5mm、先端角度90°の扇形試料を、20℃、1.0mm/secで定速破断測定を行った。プランジャーはディスク型を用いると底面と側面の境界部分で試料が切断され、試料の性状を十分に把握できなかったため、球状のプランジャーを用いた。試料は、中心部分を直径43mmにくりぬいた直径85mmのアクリル樹脂製の平板上に載せ、試料の上部には中心部分を直径23mmにくりぬいた円形のアクリル樹脂製の平板を置き、上下のアクリル樹脂平板を支柱に止め、試料を固定した。測定はプランジャーが完全に試料を貫通するまで行った。トルティーヤの測定には直径7mmの球状プランジャーを用い、マサおよび水浸漬トルティーヤの測定には直径10mmの球状プランジャーを用いた。マサおよび水浸漬トルティーヤの測定においては直径7mmの球状プランジャーを用いると炭酸カルシウムあるいは水

Table 1 Component concentration in corn flour

	Concentration
Carbohydrate	80.1%
Moisture	13.5%
Protein	4.5%
Fat	1.5%
Ash	0.4%

Particle size (<250 μ mesh) 90%

酸化カルシウムの濃度変化による力学的性状の変化を正確に測定できなかったため、プランジャーの大きさを10mmとした。試料とプランジャーの接触面積は球状プランジャー直径相当の円の面積とした。試料の破断時には、最低でも試料の厚さの2倍、最高では8倍程度まで伸長して破断した。測定初期段階ではプランジャーの先端部分のみで試料は押され、破断時にプランジャーは先端から1/3~1/2程度試料に包まれるように接触し、試料にはプランジャー直径相当の穴があいた。この状態は、試料の付着性によって異なった。このような伸張破断測定において、プランジャーにかかる力を力学的に解明し、計算するのは困難であったため、接触面積をプランジャーの直径相当の面積として算出した。山電の自動解析ソフトウェア(Ver. 20)により破断応力、破断エネルギー、破断歪を求めた。しかし、球状プランジャーを用いた測定であり、接触面積が真の値ではないため、破断特性値はすべて見かけの特性値として示した。

3. SEMによる組織の観察

炭酸カルシウムあるいは水酸化カルシウム添加マサおよびトルティーヤに金を定着し、走査型電子顕微鏡(JSM-5310LV, 日本電子株式会社製)を用いて50倍および2000倍で観察した。

4. 吸水率

トルティーヤを20℃で1時間放置後、脱イオン水中に10秒間放置した。取り出して20℃で3分間密閉放置後重量を測定し、脱イオン水浸漬前の重量と浸漬後重量の差を算出し、浸漬前重量(w)に対する差(Δw)の割合($\Delta w/w$)を吸水率として算出した。

5. 色相、彩度

炭酸カルシウムあるいは水酸化カルシウム添加マサの色相、彩度を色差計($\Sigma 80$, 日本電色工業株式会社製)を用いて測定した。

結果及び考察

1. 破断特性

(1) マサ

Fig. 1 は、トルティーヤの未加熱生地であるマサの破断特性（破断特性値は全て見かけの値として示している）に及ぼす炭酸カルシウム、水酸化カルシウムの影響を示したものである。炭酸カルシウムを 0.5% 添加したマサでは、炭酸カルシウム無添加マサの破断特性値との間に大きな差異はみられなかったが、炭酸カルシウムを 1.0% 以上添加すると破断応力は大きくなり、反対に破断歪は小さくなった。一方、水酸化カルシウムを 1.0% まで添加すると、マサの破断応力、破断エネルギーは著しく増加したが、水酸化カルシウム 1.5% 添加ではやや減少した。破断歪は水酸化カルシウム 0.3% 添加により増加したが、0.3% 以上の添加では水酸化カルシウムの濃度が変化してもほぼ一定であった。両カルシウム剤の pH は、10% コーンスターチゾルにおいて、0.4% 炭酸カルシウム添加では 8.8 であり、0.4% 水酸化カルシウム添加では 11.8 であった⁷⁾。これら炭酸カルシウム・水酸化カルシウム添加によるマサの力学特性の相違は、両カルシウム剤の pH の相違によると考えられ、コーンフラワーの成分であるコーンスターチやタンパク質に与える影響の違いが生じたためと考えられた。

(2) トルティーヤ

Fig. 2 に加熱生地であるトルティーヤの破断特性値を示した。炭酸カルシウム添加未加熱生地のマサの破断応力、破断エネルギーが 1.0% 以上の炭酸カルシウム添加では増加したにもかかわらず、炭酸カルシウム添加トルティーヤの破断応力、破断エネルギーは炭酸カルシウムの添加による大きな変化はみられなかった。

水酸化カルシウム添加においては、水酸化カルシウムの添加量が増加すると破断応力、破断エネルギーは 0.5% 添加まで著しく増加した。しかし、0.7% ではやや減少し、1.0% の添加で再び増加した。水酸化カルシウムの添加による破断特性値の増加は、添加した水酸化カルシウムが未加熱状態でデンプン粒子の崩壊を促進したことに加え、加熱過程でもデンプンの膨潤、水和が促進されたためであると考えられた。

(3) 水浸漬トルティーヤ

Fig. 3 は、水分の多い具材の影響を調べるために、脱イオン水に浸漬したトルティーヤの破断特性値を示したものである。コーンフラワー単独のトルティーヤの破断応力は、脱イオン水に浸漬する前 (Fig. 2) と比較し、そ

Fig. 1 Effects of calcium carbonate and calcium hydroxide on the apparent rupture properties of masa

(a) Apparent rupture stress, (b) Apparent rupture energy, (c) Apparent rupture strain

◆: Calcium carbonate, ■: Calcium hydroxide

の値は 1/2 程度となり減少した。炭酸カルシウムを添加した脱イオン水浸漬トルティーヤは、炭酸カルシウム濃度が同一の場合、脱イオン水に浸漬する前の破断応力、破断エネルギー、破断歪と比較すると減少した。破断特性値の減少の程度はどの炭酸カルシウムの濃度においてもコーンフラワー単独の場合より大きく、また炭酸カルシウムの添加濃度が増加すると、破断特性値はさらに減少した。一方、水酸化カルシウムを 0.5% 添加したトル

Fig. 2 Effects of calcium carbonate and calcium hydroxide on the apparent rupture properties of tortilla

(a) Apparent rupture stress, (b) Apparent rupture energy, (c) Apparent rupture strain
◆: Calcium carbonate, ■: Calcium hydroxide

ティーヤの破断応力は脱イオン水に浸漬する前に比較し減少した。しかし、脱イオン水に浸漬した水酸化カルシウム添加トルティーヤでは、脱イオン水に浸漬したコーンフラワー単独トルティーヤの破断特性値と比較すると高かった。また、脱イオン水浸漬による破断特性値の減少の程度は、コーンフラワー単独に比較し小さかった。破断歪は、1.5%の水酸化カルシウムを添加すると脱イ

Fig. 3 Effects of calcium carbonate and calcium hydroxide on the apparent rupture properties of tortilla soaked in deionized water

(a) Apparent rupture stress, (b) Apparent rupture energy, (c) Apparent rupture strain
◆: Calcium carbonate, ■: Calcium hydroxide

オン水浸漬前よりも大きくなった。

以上の結果、炭酸カルシウム添加トルティーヤでは脱イオン水浸漬の影響を受けやすく、反対に水酸化カルシウム添加トルティーヤでは、脱イオン水浸漬の影響を受けにくいことが判明した。

2. 組織

Fig. 4 は、2000 倍のマサの写真である。コーンフラ

Fig. 4 SEM photographs of masa containing calcium carbonate or calcium hydroxide
 (a) Corn flour alone, (b) Corn flour with 0.5% calcium carbonate,
 (c) Corn flour with 1.5% calcium carbonate, (d) Corn flour with 0.5% calcium hydroxide,
 (e) Corn flour with 1.5% calcium hydroxide

ワー単独のマサ (Fig. 4 (a)) では、粒状の生デンプンが見られた。0.5% 炭酸カルシウム添加マサ (Fig. 4 (b)) では、コーンフラワー単独マサとの間に大きな相違はみられなかったが、1.5% 炭酸カルシウム添加マサ (Fig. 4 (c)) では、デンプン粒子表面にわずかに溶出したと考えられるデンプンが見られた。一方、水酸化カルシウム添加マサでは、0.5% の添加 (Fig. 4 (d)) ですでにデンプン粒子間にデンプン粒子から溶出したと考えられるデンプンが見られ、1.5% 添加 (Fig. 4 (e)) ではデンプン粒子間に膜状に広がったデンプンが見られた。

Fig. 5 は、焼いたトルティーヤの切断面を 2000 倍に拡大した組織である。炭酸カルシウム添加では 0.5～1.5% (Fig. 5 (b)～(d)) へと添加濃度が増加すると、デンプンの粒形が徐々に消失している様子が観察され

た。水酸化カルシウム添加では、0.5% の添加 (Fig. 5 (e)) でデンプン粒子の崩壊が進み、0.7% 添加 (Fig. 5 (f))、1.5% 添加 (Fig. 5 (g)) ではデンプンの粒形は全く見られなくなり、組織は均一となった。

Fig. 6 は、焼いたトルティーヤの切断面である。コーンフラワー単独トルティーヤ (Fig. 6 (a)) と比較し、炭酸カルシウムの添加濃度が増加するに従い、本来緻密である組織の中に空洞が多く観察された ((Fig. 6 (b)～(d))。これは、加熱により炭酸カルシウムから二酸化炭素が生じたことによるためではないかと考えられたが、この点については今後の課題であると思われる。前述の未加熱生地では炭酸カルシウムの添加により破断特性値が増加したにもかかわらず、加熱生地である炭酸カルシウム添加トルティーヤでは、炭酸カルシウムの添加によ

Fig. 5 SEM photographs with a magnification of $\times 2000$ of tortillas containing calcium carbonate or calcium hydroxide

- (a) Corn flour alone, (b) Corn flour with 0.5% calcium carbonate,
 (c) Corn flour with 0.7% calcium carbonate, (d) Corn flour with 1.5% calcium carbonate,
 (e) Corn flour with 0.5% calcium hydroxide, (f) Corn flour with 0.7% calcium hydroxide,
 (g) Corn flour with 1.5% calcium hydroxide

り破断特性値が変化しなかった。これは、炭酸カルシウムの添加により増した生地強度が、加熱により組織中に生じた空洞のために低下し、生地強度としては相殺

されたことによると考えられた。一方、水酸化カルシウムを添加した場合には、添加濃度が増加するに従い、組織は空洞の無い緻密な状態となり (Fig. 6 (e) ~ (g)),

Fig. 6 SEM photographs with a magnification of $\times 50$ of tortillas containing calcium carbonate or calcium hydroxide

- (a) Corn flour alone, (b) Corn flour with 0.5% calcium carbonate,
 (c) Corn flour with 0.7% calcium carbonate, (d) Corn flour with 1.5% calcium carbonate,
 (e) Corn flour with 0.5% calcium hydroxide, (f) Corn flour with 0.7% calcium hydroxide,
 (g) Corn flour with 1.5% calcium hydroxide

前述の力学特性の結果を支持する組織状態であった。

これら一連の組織観察結果は、炭酸カルシウムあるいは水酸化カルシウムの添加量が増加すると、コーンフラ

ワー中のデンプン粒子の膨潤・崩壊が進行し、その結果未加熱生地であるマサ、加熱生地であるトルティーヤの組織構造が変化したことを示していた。

Fig. 7 Water absorption of tortilla

▲: Calcium carbonate, ■: Calcium hydroxide

3. 吸水率

Fig. 7は脱イオン水浸漬トルティーヤの増加重量を浸漬前トルティーヤの重量で除して求めた吸水率である。炭酸カルシウムを添加した場合、0.5%の添加で吸水率は一旦低下するが、添加濃度が増えたと吸水率は増加した。これは、コーンフラワーに炭酸カルシウムを添加するとデンプンの膨潤・水和が促進され、コーンフラワー単独の場合よりも組織は一旦緻密となるが、その後、炭酸カルシウムの添加量が増加すると空洞が多くなり、吸水しやすい構造へと組織が変化したためと推測された。また、前述の脱イオン水浸漬炭酸カルシウム添加トルティーヤの破断強度が低下したのは、組織の空洞に水が進入し、組織中に自由水が多くなったためであると考えられた。

一方、水酸化カルシウムでは添加により吸水率は低下した。これは、水酸化カルシウムの添加により組織が緻密になったためであると考えられた。その結果、脱イオン水浸漬トルティーヤの破断応力の低下割合は少なくなり、反対に水酸化カルシウムの添加濃度が増加するに従い破断特性値は増加したと考えられた。

4. 色相、彩度

Fig. 8は、マサの色相と彩度である。色相は、炭酸カルシウムを添加すると黄色味が増し、水酸化カルシウム添加では赤味の強い色相となった。彩度は、炭酸カルシウムを添加しても大きく変化しなかったが、水酸化カルシウムを添加すると増加した。

Fig. 8 Chromaticness and hue of masa containing calcium carbonate or calcium hydroxide

- ◆: 55% corn flour alone,
- : 55% corn flour with 0.5% calcium carbonate,
- : 55% corn flour with 1.0% calcium carbonate,
- △: 55% corn flour with 1.5% calcium carbonate,
- : 55% corn flour with 0.5% calcium hydroxide,
- ▲: 55% corn flour with 1.0% calcium hydroxide,
- : 55% corn flour with 1.5% calcium hydroxide

潤・崩壊、分子の膨潤・水和が促進されたが、変化の程度は小さかった。炭酸カルシウム添加では、加熱により空洞が組織中に観察され、吸水率が増加した。このため、炭酸カルシウム添加トルティーヤでは水分の多い具材を巻いて食べる際には、水分を良く吸収し食べ易さが向上すると考えられた。

一方、水酸化カルシウムを添加した場合には、デンプン粒子の膨潤・崩壊、分子の膨潤・水和は炭酸カルシウムを添加した場合よりも促進され、組織は緻密となった。従って、水酸化カルシウム添加では、調理操作上あるいは具材を包んで食べる際には破れにくくなり、これらの点で利便性は向上すると考えられたが、添加により強いアルカリ味が生じ、赤味の強い色調になるために、利用に際しては添加量に注意を払う必要があると考えられた。

要 約

コーンフラワーを原料としたトルティーヤ調製において、炭酸カルシウムを添加すると、デンプン粒子の膨

文 献

- 1) 杉野ヒロコ:「食の文化話題辞典」, ぎょうせい, p. 241 (1994).

-
- 2) GOMEZ, M.H., LEE, J.K., MCDONOUGH, C.M., ROONEY, L.W. and WANISKA, R.D. : *Cereal Chem.*, **69**, 275 (1992).
 - 3) 杉田浩一・村山篤子 : 「世界食材辞典」, 柴田書店, p. 345 (1999).
 - 4) NANDES, J. : *J. Food Sci.*, **60**, 438 (1995).
 - 5) PAREDES-LOPEZ, O. and SAHAROUNPULOS, M.E. : *J. Food Technol.*, **17**, 691 (1982).
 - 6) ROBLES, R.R., MURRAY, E.D. and PAREDES-LOPEZ, O. : *J. Food Sci. Technol.*, **23**, 91 (1986).
 - 7) 大塚 愛・森高初恵・福場博保・木村修一・石原三妃 : 食科工, **48**, 751 (2001).
- (平成 13 年 4 月 19 日受付, 平成 13 年 7 月 13 日受理)
-