◇◇◇ 原著論文 ◇◇◇

凍結・解凍効果を利用した食品廃棄物の脱水処理

四宮陽子^{1†}, 宮脇長人²

¹ 実践女子大学生生活科学部食生活科学科

² 東京大学大学院農学生命科学研究科応用生命化学専攻

Freezing-thawing Pretreatment for Dehydration of Food Waste

Yoko SHIMIYA^{1†} and Osato MIYAWAKI²

¹ *Department of Food and Health Sciences, Jissen Women's University,
Osakaue 4-1-1, Hino-shi, Tokyo, 191-8510*

² *Department of Applied Biological Chemistry, The University of Tokyo,
Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8657*

Freezing-thawing dehydration, as a method with the less energy consumption for the reduction of food waste, was applied to about forty food-related samples chosen from vegetables and fruits, their waste, meat and fish, gel materials, and cooked food. Samples were frozen, thawed, and dehydrated either by centrifugation or compression. Freezing-thawing-dehydration treatment was very effective for vegetables and fruits, their waste, and gel materials to reduce their weight by 40 to 60% although it was not so effective for meat and fish. The average water content of samples decreased from 86.0% to 76.9% after the treatment. From these results and statistical data, 37% reduction in weight was expected for the total kitchen refuse. Freezing-thawing-dehydration is expected to be effective for transportation, incineration, and composting of food waste.

Key words: freezing-thawing-dehydration, food waste reduction, centrifuge dehydration, compression dehydration, composting of food waste

1. 緒 言

廃棄物問題は、その処理に伴う環境負荷の発生、最終処分場の逼迫、また、資源の有効利用の観点から、早急に解決が求められる課題である。我が国の一般廃棄物排出量は、年間約 5,000 万トン、1 人 1 日当たりでは約 1,100 g になるが、この 1 人 1 日当たりのごみ量は世界一多い[i]。その内食品廃棄物は 1,600 万トン／年を占め、内訳は事業系 600 万トン／年、家庭系 1,000 万トン／年になる。その他に産業廃棄物として 340 万トン／年が排出されている。産業廃棄物の約半分は肥料化、飼料化、その他の再生利用を行っているが、一般廃棄物 1,600 (万トン／年) の約 99% は焼却埋め立てされているのが現状である[1]。2001 年 5 月に施行された「食品リサイクル法」(食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律)[ii-iii]では、年間 100 トン以上の食品廃棄物を排

出する事業者に対して 5 年間で 20% の排出減を義務づけたが、もっとも多く排出している家庭系は対象外である。

食品廃棄物の特徴は、水分が多いこと、加工・調理の過程で塩分や油が多くなることなどであるが、乾燥から焼却までのエネルギーや焼却の過程で発生するダイオキシン等を考慮すると、食品廃棄物は焼却には向かない。さらに、食品廃棄物の多量の水分は腐敗やにおいの原因にもなり、肥料や飼料への変換においても前処理として脱水が必要である。加熱による水分蒸発には多くのエネルギーが必要なので、それ以外の省エネルギー的で家庭など小規模でも使用可能で安全な脱水方法の開発が望まれている。

食品中の水分は細胞や組織内に保たれているので、効率よく脱水するためには前処理としてそれらを破壊することが望ましい。加熱によっても細胞構造は破壊されるが、でんぷん糊化、タンパク質変性、種々の相互反応等が起こると、逆に保水性が高まることや、諸反応によるガスの発生なども考慮する必要が出てくる。粉碎による物理的破壊もあるが、微細な粉碎物と水分との分離は困難な操作になる可能性がある。一方凍結は、凍結時に形

(受付 2004 年 3 月 8 日、受理 2004 年 6 月 30 日)

1 〒191-8510 東京都日野市大坂上 4-1-1

2 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

† Tel: 042-585-8891, Fax: 042-585-8818, E-mail: yshimiya@univ.jissen.ac.jp

成される氷結晶が細胞構造を破壊するのみならず, 凍結変性, 凍結濃縮, 水和状態の変化等により, 解凍後は水分を分離しやすくなる。食品廃棄物, とくに家庭系食品廃棄物の 40 ~ 60% は野菜や果物の調理くずや食べ残しであるが[2], 一般に植物細胞は動物細胞に比較して, 凍結耐性が低く[3-4], 凍結・解凍操作により細胞膜構造が破壊され物性が大きく変化した[5-6], 脱水しやすくなる[7]ことが報告されている。また, 凍結・解凍操作に要するエネルギーは乾燥の約 1/7 であり, 省エネルギー的である。凍結・解凍操作による脱水効果への影響に関しては, 食品以外では上水および下水汚泥の脱水に関して古くから研究されている[8-9]。また, アンデス地方(ペルー)のチューニョや北海道のしばれ芋は, 凍結・解凍を利用して脱水した加工品と考えられるが, 食品に関しては著者らの予備的報告[7]を除いて, これまでにほとんど報告例がない。そこで, 本論文では約 40 種類の食品および調理くずに対して凍結・解凍処理と脱水操作を組み合わせて行い, 凍結・解凍処理の脱水効果について検討した。

2. 実 験

2.1 試料

試料は市販品を用い, 野菜・果物は一般的な調理に用いるように皮や芯などの調理くずを可食部と分離した。肉や魚は可食部を購入した。加工品は一定のメーカーのものを使用した。これらの食品は部位差をなくすために 7 ~ 8 mm 角に切断して均一に混ぜて測定した。調理食品は切断した後に食品によって 8 ~ 20 分ゆでた。飯は炊飯ジャーで炊いた。測定した食品試料は, 野菜・果物の調理くず(皮, 芯, 種など) 11 種類, 水分含量 90% 以上の野菜・果物 11 種類, 水分含量 90% 以下の野菜・果物 4 種類, 肉・魚 2 種類, ゲル状食品 4 種類, 調理食品 5 種類である。

2.2 凍結・解凍方法

重量を測定した 50 ~ 60 g の試料を, ビニル袋(ポリエチレン製, (株)紙叶)の中にメッシュ袋(高密度ポリエチレン製, ニッコー(株))を入れて作製した凍結用袋に入れて密閉し, 家庭用冷凍冷蔵庫(東芝 SF GR-437SIB, 東芝)に入れ -18℃ で 24 時間以上かけて完全に凍結させた。解凍は条件を調べるために, 凍結用袋に入れたまま 5℃ の冷蔵庫内と 37℃ の湯浴で解凍したが, 解凍温度は脱水後の残さ重量にあまり影響しないことが判明したので, 最終的には室温で解凍することとした。

2.3 脱水方法

凍結・解凍した試料は, 凍結用袋のメッシュ袋のみ 10 秒間持ち上げて残さとドリップに分離し, 重量を測

Fig. 1 Apparatus for dehydration.

1. Inner cylinder, 2. Outer cylinder, 3. Sample, 4. Paper filter, 5. Orifice, 6. Aluminium plate

定してから残さを脱水した。遠心分離による脱水では, Fig. 1 に示すようにガラス遠沈管(50 ml, KUBOTA)内部に通水孔をあけた PPCO 管(50 ml, NALGENE)とアクリル円筒(外径 25 mm 高さ 15 mm)を入れて, ドリップを分離できるようにした二重遠沈管を用いた。脱水効果の測定では遠沈管に約 5 g の試料を入れ, 遠心機(ユニバーサル冷却遠心機 5700, 久保田商事(株))で 2328 xg (3500 rpm), 30 分間遠心分離した。

荷重圧搾では, Fig. 1 に示すようにアルミニウム底板部に通水孔を開けたピストン状の荷重圧搾器を作製した。底板部の上にも紙を敷き, 精秤した試料約 20g を外筒部に入れ, 0.0865 MPa (10 kg) で 30 分間圧搾した。ただし, 解凍条件を調べる実験では, 2 枚のプレートにはさんで荷重を 0.01 ~ 0.04 MPa と変化させて圧搾した。

2.4 凍結・解凍操作の脱水効果の評価

凍結・解凍操作の評価は, 凍結・解凍しないで脱水した試料を対照として比較した。脱水効果は水分含量と残さ重量比で評価した。水分含量は 105℃ 常圧乾燥法で測定したが, 果物は糖が多量に存在するので 135℃ 常圧乾燥法で 2 時間乾燥した。脱水後の残さ重量比は, 試料量が少なく重量測定では採取時のロスなどによる誤差が大きくなったため, 下のように水分含量から換算して求めた。

$$Y = (1 - A) / (1 - B) \quad (1)$$

ただし, 100Y : 脱水前と比較した脱水後の残さ重量比 (wt%), 100A : 脱水前の水分含量 (wt%), 100B : 脱水後の水分含量 (wt%) である。

3. 結 果

3.1 凍結・解凍条件の影響

一般に, 食品の凍結過程においては, 最大氷結晶生成

Table 1 Samples to test the effect of thawing temperature.

Sample	
Waste (Vegetables & fruits)	Japanese radish (skin), Potato (skin), Apple (skin), Cabbage (core)
Vegetables & fruits (water content > 90%)	Eggplant, Sweet pepper, Japanese radish, Cucumber, Chinese cabbage
Vegetables & fruits (water content < 90%)	Apple, Carrot, Broccoli
Meat & fish	Chicken leg, Chicken meat, Tuna
Gel materials	Soybean curd, Konjak gel, Boiled egg white

Fig. 2 Effect of thawing temperature on the residual weight fraction of food samples after freezing–thawing and compression.

FT*; freezing–thawing, Comp; compression with 0.01–0.04 MPa.

*) significance level ($\alpha = 5\%$)

帯通過時間の長い緩慢凍結においては食品品質に対する損失がより大きくなることが知られている[10]。このことと、家庭等でも容易に操作可能であることを考慮して、家庭用冷凍冷蔵庫(−18℃)で緩慢凍結を行った。さらに、冷凍食品の解凍においては、解凍終温度は食品品質に影響するため[11]、解凍温度は脱水率にも影響する可能性があると考えられたので、食品の各グループから3～5種を選んで(Table 1)、解凍温度を37℃と5℃に変えて荷重圧搾(0.01～0.04 MPa, 30 min)に

よる脱水への影響を調べた。Fig. 2は37℃と5℃解凍の解凍直後の処理前と比較した残さ重量比(wt%)と脱水操作後の残さ重量比(wt%)を示す。野菜・果物は調理くずも含めて解凍後の残さ重量比は90%程度であったが、荷重圧搾によりさらに20～40%の減量効果が見られた。ゲル状食品は解凍後の残さ重量比が約75%とかなり減少したが、荷重圧搾によりさらに40%台にまで減量した。一方、肉や魚は解凍および荷重圧搾後の重量変化は少なかった。以上の結果の解凍温度37℃と

5℃による差を見ると、解凍直後には37℃解凍の方が残さ重量が少ない傾向があったが、t検定の結果有意差が見られたのは水分90%以下の野菜・果物の解凍後のみであり、脱水後には各食品グループで一定の傾向は見られなかった。冷凍魚の解凍においては、ドリップ量は解凍終温度に影響され、解凍終温度が高い方がドリップ量が多いとされている[11]。今回の測定でも肉や魚以外の食品にもその傾向は若干見られたが、脱水操作後の脱水率には解凍温度はあまり影響しないと考えられた。したがって、以下の解凍操作は室温で行った。

3.2 脱水条件の影響

遠心分離と荷重圧搾における操作条件の影響を調べるために、凍結・解凍したダイコンとトウフを試料として各操作条件による処理前と比較した脱水後の残さ重量比(wt%)を調べた。Fig. 3Aは遠心時間一定(30分)で遠心力を変化させた場合を示すが、遠心時間が30分の場合

Fig. 3 Effect of centrifugal force (A) and time (B) on the residual weight fraction of food samples with or without freezing-thawing.

●; with FT* Japanese radish, ▲; with FT* Soybean curd, ○; without FT* Japanese radish, △; without FT* Soybean curd.

*) freezing-thawing

Fig. 4 Effect of the load (A) and loading time (B) on the residual weight fraction of food samples with or without freezing-thawing.

●; with FT* Japanese radish, ▲; with FT* Soybean curd, ○; without FT* Japanese radish, △; without FT* Soybean curd.

*) freezing-thawing

は遠心力が弱くても試料の残さ重量比は40%以下になり、1188 x g でほぼ一定になった。また、凍結・解凍処理しないトウフは、した場合とほぼ同様に脱水していたが、ダイコンは、凍結・解凍処理なしの場合、残さ重量は10%程度しか減少しなかった。Fig. 3Bは遠心力一定(2328 xg)で時間を変化させた結果を示す。トウフは20分程度で安定したが、ダイコンの残さ重量比はその後わずかに減少し続けた。Fig. 4は荷重圧搾の結果で、同図Aは圧搾時間一定(30分)で荷重を変化させた場合である。トウフの脱水は遠心分離と同程度であったが、ダイコンは残さ重量比10%程度にまで減少し、いずれも0.05 MPaでほぼ一定となった。また、凍結・解凍処理しないダイコンの残さ重量比はほとんど減少せず、トウフは残さ重量比約56%であった。Fig. 4Bは荷重一定(0.0865 MPa)で時間を変化させた場合であり、遠心分離と同様にトウフは20分程度で安定したが、ダイコンの残さ重量比はその後わずかに減少し続けた。

以上のダイコンとトウフの結果から、脱水操作条件は、遠心分離の場合 2328 xg, 30 分間、荷重圧搾においては 0.0865 MPa, 30 分間とした。

3.3 凍結・解凍・脱水操作による試料食品の変化

以上の凍結・解凍・脱水操作の条件にしたがって処理した食品変化の典型的な例として、Fig. 5 にキャベツの芯とコンニャクの、生の状態、凍結・解凍・遠心分離後の状態、および遠心分離のみを行った対照試料の写真を示す。キャベツの芯は組織が硬く脱水しにくい試料なので、対照は生の状態とあまり変わらなかったが、凍結・解凍後遠心分離したものは組織が軟らかくなりかなり脱水された。コンニャクの対照試料は角が丸くなり少し脱水された程度であったが、凍結・解凍・遠心分離後は脱水されて干からびたようになった。このように凍結・解凍処理と脱水操作を組み合わせると、比較的簡単な脱水操作によって干からびたような状態にまで脱水することができた。試料食品がさいころ状に切断されているのは、食品の部位差を平均化するために 7～8 mm 角に切断して均一に混ぜて測定したためである。

3.4 各食品の凍結・解凍・脱水操作による減量効果

次に食品グループ別に凍結・解凍・脱水操作による減量結果を Table 2～7 にまとめ、処理前の水分含量 (wt%), 凍結・解凍しないで遠心分離した場合の無処理と比較した残さ重量比 (wt%) (対照), 凍結・解凍・遠心分離後の残さ重量比 (wt%), 凍結・解凍・荷重圧搾後の残さ重量比 (wt%), 凍結・解凍・遠心分離後の水分含量 (wt%), を示した。

Table 2 には野菜・果物の調理くず 11 種の結果を示した。調理くずの水分含量は平均 87.9% とかなり多い

が、組織が硬いために凍結・解凍処理しない場合は脱水率が低く、とくに皮類は残さ重量比 95% 以上のものが多かった。しかし凍結・解凍・脱水処理により、ダイコンの皮 (残さ重量比 19.2%, 遠心分離)、パイナップルの芯 (同 15.1%, 荷重圧搾) などにおいて極めて高い脱水効果が得られた。Fig. 5 に示したキャベツの芯の残さ重量比は 38.8% (遠心分離) であった。粘質成分があるサトイモの皮 (残さ重量比約 72%), や水分含量の少ないオレンジの皮 (同 75～78%) では脱水率はあまり高くなかったが、対照と比較するとかなりよく脱水した。これらの試料の凍結・解凍・脱水後の残さ重量比を平均すると、遠心分離、荷重圧搾ともに 40% 程度にまで減少しており、対照の 88.5% と比較するとかなり高い脱水率であった。また水分含量は処理前の平均 87.9% から 76.2% まで減少した。

Table 3 には水分含量 90% 以上の野菜・果物 (可食部) 11 種の結果を示した。脱水処理のみ行った対照の平均残さ重量比は 86.5% であったが、今回の測定は部位差を考慮して 7～8 mm 角に切断したために、切断による組織破壊の影響も含まれたと思われる。凍結・解凍後の脱水では組織の軟らかいコマツナ (残さ重量比 21.8%, 遠心分離; 同 19.9%, 荷重圧搾)、ナス (同 31.3%, 遠心分離; 同 33.2%, 荷重圧搾)、においてはかなり減量した。ダイコン (残さ重量比 58.4%, 遠心分離; 同 26.3%, 荷重圧搾)、キュウリ (同 63.0%, 遠心分離; 同 51.0%, 荷重圧搾)、ニンジン (同 68.6%, 遠心分離; 同 51.9%, 荷重圧搾)、のように組織が硬いものは荷重圧搾でつぶした方が脱水率が高いようであった。これらの試料の凍結・解凍・脱水後の残さ重量比を平均すると、遠心分離後 48.0%, 荷重圧搾後 39.0% と少し差が見られたが、対照の残さ重量比 86.5% と比較する

Fig. 5 Effect of centrifugation with or without freezing-thawing in cabbage core and konjak gel. FT*) freezing-thawing

Table 2 Freezing–thawing dehydration of food waste.

Sample	Initial water content (wt%)	Residual weight fraction (wt%)			Final water content** (wt%)
		Centrifuge without FT*	Centrifuge with FT*	Compression with FT*	
Watermelon (skin)	94.5	97.6	23.3	26.0	76.3
Cabbage (core)	94.3	92.9	38.8	30.8	85.3
Japanese radish (skin)	94.1	98.4	19.2	30.8	69.5
Broccoli (stem)	94.1	89.4	47.4	37.9	87.5
Banana (skin)	91.2	85.8	45.9	38.6	80.9
Taro (skin)	88.1	100.0	71.9	71.1	83.5
Pineapple (core)	86.0	65.6	29.2	15.1	81.7
Apple (skin)	84.5	84.5	31.6	28.7	74.6
Pineapple (rind)	83.9	69.7	43.2	38.6	76.4
Potato (skin)	79.9	96.3	43.0	48.3	53.3
Orange (peel)	76.7	93.3	75.4	78.3	69.1
Average	87.9	88.5	42.6	40.4	76.2
±	6.3	11.5	17.9	19.0	9.7

*) freezing–thawing

**) water content after centrifuge with FT

Table 3 Freezing–thawing dehydration of vegetables & fruits (water content > 90%).

Sample	Initial water content (wt%)	Residual weight fraction (wt%)			Final water content** (wt%)
		Centrifuge without FT*	Centrifuge with FT*	Compression with FT*	
Chinese cabbage (Komatsuna)	95.8	84.3	21.8	19.9	80.6
Japanese radish	95.4	88.3	58.4	26.3	92.1
Cucumber	95.3	89.9	63.0	51.0	92.5
Cabbage	94.5	88.5	43.7	30.7	87.3
Eggplant	94.0	94.6	31.3	33.2	81.0
Tomato	93.8	87.4	45.9	38.3	86.5
Sweet pepper	93.7	92.8	47.9	42.3	86.9
Asparagus	93.2	76.3	46.8	41.0	85.6
Shiitake mushroom	92.0	68.6	50.6	44.0	84.3
Carrot	90.6	94.3	68.6	51.9	86.3
Broccoli	90.2	86.6	50.6	50.8	80.5
Average	93.5	86.5	48.0	39.0	85.8
±	1.9	7.8	13.3	10.6	4.1

*) freezing–thawing

**) water content after centrifuge with FT

と、いずれもかなり高い脱水率である。また、水分含量は処理前の平均 93.5% から 85.8% まで減少した。

Table 4 には水分含量 90% 以下の野菜・果物（可食部）4 種の結果を示した。野菜は一般に水分含量が高いので、水分含量 90% 以下ではゴボウやサトイモのような根菜類や糖分が多い果物などが対象となる。Table 4 を 3 と比較すると、処理前の水分含量が平均 80.8% と低いために、脱水処理のみの場合、対照の残さ重量比は平均 95.1% とほとんど脱水されなかった。しかしながら、凍

結・解凍・脱水後の残さ重量比は、遠心分離後平均 58.4%、荷重圧搾後 53.2% となり、この場合にもかなり高い脱水効果を得ることができた。ジャガイモの脱水率が比較的高く残さ重量比 47.4% であったが、ゴボウは繊維質であり、サトイモには糖タンパク質が含まれ粘度が高いために脱水が妨げられたと考えられる。Table 4 における平均水分含量は処理前の平均 80.8% から 66.1% まで減少した。

Table 5 には肉と魚の例として鶏肉とマグロの結果を

Table 4 Freezing–thawing dehydration of vegetables & fruits (water content < 90%).

Sample	Initial water content (wt%)	Residual weight fraction (wt%)			Final water content ** (wt%)
		Centrifuge without FT*	Centrifuge with FT*	Compression with FT*	
Burdock	83.6	95.1	62.1	59.2	73.6
Taro	81.2	97.3	65.6	55.8	71.3
Banana	80.5	92.3	****	50.4	74.0***
Potato	77.9	95.7	47.4	47.4	53.3
Average	80.8	95.1	58.4	53.2	66.1
±	2.3	2.1	9.7	5.3	11.1

*) freezing–thawing

**) water content after centrifuge with FT

***) water content after compression with FT

****) accurate measurement is impossible

Table 5 Freezing–thawing dehydration of meat and fish.

Sample	Initial water content (wt%)	Residual weight fraction (wt%)			Final water content ** (wt%)
		Centrifuge without FT*	Centrifuge with FT*	Compression with FT*	
Chicken	73.7	96.7	100	100	73.9
Tuna	70.2	94.2	95.7	96.5	68.9
Average	72.0	95.5	97.9	98.3	71.4

*) freezing–thawing

**) water content after centrifuge with FT

Table 6 Freezing–thawing dehydration of gel materials.

Sample	Initial water content (wt%)	Residual weight fraction (wt%)			Final water content ** (wt%)
		Centrifuge without FT*	Centrifuge with FT*	Compression with FT*	
Konjak gel	97.2	71.8	29.1	29.1	90.3
Boiled egg white	88.3	86.3	57.4	60.6	79.6
Soybean curd	86.5	71.8	35.8	33.3	62.3
Kamaboko	77.2	95.7	86.2	87.6	73.6
Average	87.3	81.4	52.1	52.7	76.4
±	8.2	11.7	25.7	27.2	11.7

*) freezing–thawing

**) water content after centrifuge with FT

示した。肉や魚は凍結・解凍による脱水効果はほとんど見られず、脱水後残さ重量比はいずれも 95% 以上であり、水分含量も変化しなかった。この結果から見ても、肉や魚は植物性食品と比較すると凍結耐性が強いと言える。

Table 6 にはゲル状食品として多糖類系ゲルのコンニャクとタンパク質系ゲルの卵白、トウフ、カマボコの結果を示した。コンニャクは水分含量が非常に高い食品 (97.2%) であるが、対照の残さ重量比は 71.8% まで下がった。しかしこれは測定のために 7～8 mm 角に切断した影響が大きいのと考えられる。凍結・解凍・脱水後の残さ重量比は 29.1% (遠心分離、荷重圧搾) (Fig. 5) とさらに大きく下がった。コンニャクを凍結したシミコ

ンニャクという加工食品もあるが、凍結・解凍したコンニャクはスポンジ状に小孔が開き独特のテクスチャーを示した。卵白ゲルの凍結・解凍・脱水後の残さ重量比は 57.4% (遠心分離) であったが、コンニャクほどの脱水効果は見られなかった。トウフの凍結・解凍・脱水後の残さ重量比は 33.3% (荷重圧搾) にまで下がったが、トウフは凍結変性により組織がスポンジ状に変化したためと考えられる。かまぼこは水分含量が 77.2% と比較的低い食品なので、凍結・解凍・脱水後の残さ重量比は 86.2% (遠心分離) とあまり下がらなかったが、脱水後の水分は 73.6% まで下がった。ゲル状食品の平均水分含量は処理前の 87.3% から 76.4% にまで減少した。

Table 7 Freezing–thawing dehydration of cooked food.

Sample	Initial water content (wt%)	Residual weight fraction (wt%)			Final water content** (wt%)
		Centrifuge without FT*	Centrifuge with FT*	Compression with FT*	
Boiled japanese radish	96.2	73.3	58.4	35.1	93.5
Boiled potato	76.5	95.5	61.5	65.7	61.8
Boiled chicken	68.2	82.8	83.0	86.3	61.7
Japanese noodles	67.0	98.1	82.5	85.9	60
Cooked rice	63.4	92.7	97.6	94	62.5
Average	74.3	88.5	76.6	73.4	67.9
±	13.2	10.3	16.4	23.8	14.3

*) freezing–thawing

**) water content after centrifuge with FT

Table 7 には調理食品に対する結果を示した。食品は加熱によって細胞組織の破壊、でんぷん糊化、タンパク質変性などの諸変化が起こるので、凍結・解凍による影響は生鮮食品とは異なってくる。食品廃棄物の食べ残しは調理済みが多いので、参考にするために一般野菜のダイコン、でんぷんが多いジャガイモ、動物性の鶏肉、主食の飯、うどんについて調べた。加熱したダイコンを新鮮材料と比較すると、対照の残さ重量比は 15% 程度下がって 73.3% であったが、凍結・解凍・脱水後は新鮮の場合と同様に大きな脱水効果が得られ、残さ重量比は 35.1% (荷重圧搾) であった。加熱によりでんぷんが糊化したジャガイモの対照はほとんど脱水されなかったが (残さ重量比 95.5%), 糊化でんぷん食品であるうどんと飯も同様であった。しかし、これらの食品も凍結・解凍後は水分含量に応じてジャガイモ、うどん、飯の順に脱水が見られた。これらの食品の最終的な水分含量はいず

れも 60% 強であり、この付近が糊化でんぷんとの結合が強い水分の脱水限界ではないかと推測された。鶏肉は加熱により収縮して水分含量は生より 5% ほど減少して 68.2% になった。脱水効果は加熱肉の方が生肉よりも高かったが、凍結・解凍処理による効果は見られなかった。以上の調理食品の結果を平均すると、調理後に凍結・解凍・脱水を行った試料は加熱と脱水を組み合わせた対照よりも残さ重量比は 10 ~ 15% 低く、水分含量は 74.3% から 67.9% まで減少したので、調理食品においても凍結・解凍操作により、かなりの脱水効果が得られることがわかった。

以上の結果から各食品グループにおける、遠心脱水のみを行った対照の残さ重量比平均値と、凍結・解凍・遠心脱水処理後の残さ重量比平均値を Fig. 6 に示す。対照の残さ重量比はもっとも少ないゲル状食品でも平均 81.4%, それ以外の食品グループでは 90% 前後から 95%

Fig. 6 Freezing–thawing dehydration of various foods.
FT*) freezing–thawing

以上の値であり脱水効果はあまり見られなかった。これに対して、凍結・解凍処理をした試料では、組織の硬い野菜・果物の調理くずにもっとも脱水効果が見られ、残さ重量比は対照の1/2以下にまで減少した。また野菜・果物、ゲル状食品の脱水効果は高く、残さ重量比は40～60%以下とほぼ半減した。調理食品においても脱水効果が見られた。さらに、これら凍結・解凍処理により顕著な脱水効果が見られた試料は、いずれも、処理後の状態が半乾燥状態に近くなっており、廃棄物としてのハンドリング性が大きく向上した。

4. 考 察

以上により、凍結・解凍処理は野菜・果物類およびそれらの調理くずの脱水効果促進に大きな意義があることがわかった。一般に植物細胞は、細胞膜構造で仕切られた緻密な細胞構造の集合体で形成されているが、このため、植物細胞は大きな電気抵抗を示し[12]、複素インピーダンス測定により、この細胞構造に対応する Cole-Cole の円弧[13]を観測することができるが、凍結処理により、この Cole-Cole の円弧は完全に消失し、細胞構造が完全に破壊されることが報告されている[7]。このことは、植物細胞の膜構造が凍結に対して極めて脆弱であることを意味しており、そのために、凍結・解凍処理が脱水効果促進に大きく寄与したものであろう。これに対して、肉・魚などの可食部である筋肉細胞は、細胞構造が植物とはまったく異なっており、インピーダンス測定においては Cole-Cole の円弧はまったく観測されず[7]、さらに、膜の水透過係数が植物と動物細胞とでは大きく異なっ

おり、そのために細胞凍結に伴う細胞外凍結によって生ずる凍結誘起浸透圧脱水に対する応答が両者でまったく異なっており、このことが凍結耐性における大きな違いの原因であるとされている[4]。このために、肉・魚では凍結・解凍操作により細胞構造は破壊されることはなく、したがって脱水促進効果が観測されなかったものであろう。一方、ゲル状食品や調理食品は、前者は細胞構造を持たず、後者は加熱によりすでに細胞構造は破壊されているが、凍結に伴う微細氷結晶生成に基づくミクロな凍結濃縮効果により、タンパク質変性などが起こり、このことが凍結・解凍処理による脱水効果促進に寄与したと思われる。この効果を反映してトウフやコンニャクにおいては凍結・解凍後に大きなテクスチャー変化が見られたものであろう。

今回測定したすべての試料の水分含量を平均すると、処理前が86.04%、凍結・解凍・脱水後が76.9%であり、平均して約10%の水分減少効果が得られた。この水分含量は、コンポスト化において最適とされる水分含量(74～76%) [14]とほぼ一致する値であり、凍結・解凍・脱水操作が食品廃棄物コンポスト化の前処理としても有効であることを示唆した。また、脱水は従来通り厨芥類を焼却する場合にもかなりの省エネルギーになり、同時に廃棄物の減量にもなる。そこで、食品廃棄物排出源の約半分をしめる家庭の生ゴミ(厨芥類)全体に対して、凍結・解凍・脱水処理を行った場合にどの程度の減量が見込めるかについて、今回の測定結果を用いて試算した。Fig. 7A は京都市環境局による家庭系食品廃棄物調査(平成9年) [2]をもとに作製した円グラフである。家庭系食品廃棄物は大きく調理くず、食べ残し、その他

Statistics for kitchen refuse*

Dehydration effect for kitchen refuse

Fig. 7 Estimation of the dehydration effect for kitchen refuse by freezing-thawing-dehydration treatment.

1. Vegetables & fruits, 2. Meat, egg & fish, 3. Cooked rice & noodles, 4. Bread & sweets, 5. the Others,
6. Taste, 7. Drained water.

*) From "Research of the Kyoto-City Environmental Center (1997)"

嗜好品など、に分類される。調理くずでは素材から購入する野菜・果物のくずが多くを占め、肉や魚は可食部を購入することが多いので、くずとしては卵の殻や魚のあらなどである。食べ残しも野菜・果物をもっとも多く、飯、麺類、パンなどの主食品および肉・魚、その他があげられる。Fig. 7B は Table 2～7 の平均残さ重量比を用いて凍結・解凍・脱水による厨芥類全体に対する減量効果を試算した結果である。脱水による減量は全体の 32.5%、流出水分 4.2% を加えると 36.7% の減量が試算された。このように大きな減量効果が得られた理由としては、家庭系廃棄物では野菜・果物に由来する厨芥類の割合がかなり大きく、野菜・果物の調理くずは全体の 41.5%、野菜・果物の食べ残しが全体の 16.5% を占めることが挙げられる。以上から凍結・解凍・脱水処理は家庭系厨芥類のような植物系残さが多い食品廃棄物の脱水および減量にはきわめて有効と考えられる。本方法はガス等の発生もなく安全な方法であり、さきに述べたように省エネルギー的である。また、脱水減少部分をそのまま下水へ排水しても N 化合物は少なく他の成分も希薄で、排水全体に占める割合としては無視可能であり、排水負荷にはほとんど影響しないと考えられる。したがって本方法は、その大きな減量効果とハンドリング性の向上により、厨芥類の輸送および焼却処分において有効であるばかりでなく、コンポスト化の前処理としても有効性が期待される。

謝辞 本研究を実施するに当たり、実験にご協力頂きました実践女子大学生活科学部調理学第 3 研究室の中町敦子、川上千絵美、玉井咲子、野原愛子、藤田垂矢子、影森裕子、丹野陽子、野澤雅代、袴田美紗子、平林佳子、福原智恵の諸嬢に深く感謝致します。

引用文献

- 平成 8 年厚生省資料等から推計。
- 平成 9 年度京都市環境局資料により環境庁作成。
- E. Ishikawa, S. K. Bae, O. Miyawaki, K. Nakamura; Freezing injury of cultured rice cells analyzed by dielectric measurement. *J. Ferment. Bioeng.*, **83**, 222–226 (1997).
- E. Ishikawa, O. Miyawaki, K. Nakamura; Water permeability of plasma membranes of cultured rice, grape, and CH27 cells measured dielectrically. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **61**, 1826–1830 (1997).
- S. Ohnishi, T. Fujii, O. Miyawaki; Electrical and rheological analysis of freezing injury of agricultural products. *Intern. J. Food Propert.*, **5**, 317–332 (2002).
- P. Dejmek, O. Miyawaki; Relationship between the electrical and rheological properties of potato tuber tissue after various forms of processing. *Biosci. Biotech. Biochem.*, **66**, 1218–1223 (2002).
- 宮脇長人、四宮陽子；食品廃棄物の凍結・解凍・脱水処理、*化学工学論文集*, **28**, 618–620 (2002)。
- 井出哲夫、川崎健二、山城博隆、松田 晃；余剰活性汚泥の凍結融解処理—凍結温度の影響—、*下水道協会誌*, **23** (265), 21–30 (1986)。
- 川崎健二、石川和久、山城博隆、松田 晃、井出哲夫；余剰活性汚泥の凍結融解処理—凍結速度の影響—、*水質汚濁研究*, **11**, 520–526 (1988)。
- 加藤舜郎；“食品冷凍の理論と応用”、光琳書院、1970、p.324。
- 斎藤貴美子；冷凍魚の解凍について、*調理科学*, **29**, 67–72 (1996)。
- M. I. N. Zhang, D. G. Stout, J. H. M. Willison; Electrical Impedance Analysis in Plant Tissues: Symplasmic Resistance and Membrane Capacitance in the Hayden Model. *J. Exper. Botany*, **41**, 371–380 (1990)。
- E. S. Cole; Electrical Phase Angle of Cell Membrane. *J. Gen. Physiol.*, **15**, 641–649 (1932)。
- 藤田賢二；“コンポスト化技術—廃棄物有効利用のテクノロジー”、技報堂出版、1998、p.65。

引用 URL

- <http://www.mew.co.jp/kurashi/kankyo/gomi.html>
(環境省；くらしのメモ、環境シリーズ、ごみ問題編)
- http://www.maff.go.jp/sogo_shokuryo/data/051shokkanshitsu.../kenkyuukai_gaiyou.ht
(農林水産省；食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律)
- <http://www.maff.go.jp/soshiki/kambou/kikaku/hyoka/13sh06.pdf>
(農林水産省；平成 13 年度農林水産省政策評価実施方針)

要 旨

省エネルギー的な食品廃棄物の減量処理法として、凍結・解凍・脱水法について検討した。試料は野菜、果物、それらの調理くず、肉や魚、ゲル状食品、加熱食品から約 40 種類を選択した。それらの試料を凍結・解凍処理ののち、遠心分離または荷重圧搾で脱水した。凍結・解凍・脱水法は肉や魚にはそれほど効果はなかったが、野菜、果物、それらの調理くず、ゲル状食品に対しては大きな効果があり、40 から 60% の減量効果が得られ、また全試料の平均水分含量は、本操作により 86.0% から 76.9% に減少した。以上の実験結果と統計データを用いて台所の生ゴミ全体について、凍結・解凍・脱水効果を試算したところ約 37% の減量効果が予測された。本方法は食品廃棄物の輸送、焼却、コンポスト化のいずれに対しても有効であることが期待される。