

乾湿球温度制御乾燥法を用いた乾燥熱の食品成分への影響

有馬秀幸*・小野 等*2

Effects of the Food Composition by Different Dry Methods
Hideyuki Arima and Hitoshi Ono

1. 緒言

食品乾燥時には、揮発（芳香）成分の散逸や変化、タンパク質の変性、色の変化、糖質の変化等数多くの変化が起こることが知られている。乾燥条件によって、食品中の成分がどのように変化しているかを調べることは、乾燥条件の検討や乾燥装置を製造する上で非常に重要である。本研究において用いた乾湿球温度制御乾燥法は、乾燥時に試料から排出される蒸気を利用し乾燥庫内の湿度を制御することにより、試料表面の過度な硬直を 방지、乾燥効率を向上させる乾燥方法である。今回、通風乾燥法として乾湿球温度制御乾燥法を用いて、イチゴとトマトを供試材料として、乾燥条件による食品成分への影響を調べたので報告する。

2. 実験方法

2・1 供試材料

試料には、鳥取県産のイチゴ（章姫）と山口県産のトマトを用いた。イチゴは香氣成分及び色の变化のモデル試料として、トマトは味覚成分の変化のモデル試料として用いた。

2・2 乾燥試料の作成

イチゴは3～5mmの厚さにスライスし、トマトは1/8又は1/12カットした後に乾燥を行った。乾燥は、凍結乾燥法及び通風乾燥法（乾湿球温度制御乾燥法）を用いて行った。

2・3 成分分析

2・3・1 一般栄養成分分析

水分含量は、減圧・乾燥助剤法を用いて70℃ 5時間の乾燥を行い測定した。タンパク質含量は、ケルダール法を用いて測定した。脂質含量は、酸分解法を用いて測定した。灰分は、灰化法（550℃）を用いて測定した。炭水化物は、差引き法を用いて計算した。なお、イチゴには90%以上の水分が含まれていることから、一般栄養成分分析については、トマトのみ測定した。

2・3・2 香氣成分分析

香氣成分の測定は、CP-3800 GAS CHROMATOGRAPH（バリアンテクノロジー社）を用いて行った。なお、イチゴは香りが重要な要素であることから、香氣成分分析についてはイチゴのみ測定した。

2・3・3 有機酸・糖類分析

有機酸（リンゴ酸・乳酸・クエン酸・コハク酸）と糖類（マルトース・グルコース・フルクトース）の分析は、液体クロマトグラフ（島津製作所（株）製）で行った。なお、分離カラムは、ODS-100V（有機酸分析）とShodex sugar SH-1011（糖分析）を用いた。

2・3・4 アミノ酸分析

アミノ酸成分の分析は、アミノ酸分析装置（JLC500/V）を用いて行った。

2・3・5 色の測定

色の測定は、分光測色計CM-3600d（コニカミノルタセンシング社）を用いて行った。

3. 実験結果および考察

3・1 イチゴ

表1に示す3つの異なる通風乾燥条件及び凍結乾燥法（FD）の4つの条件で乾燥を行ったイチゴについて、水分含量測定、イチゴに特徴的な香氣成分、味に影響を及ぼす有機酸・糖類・アミノ酸分析を行った。

3・1・1 水分含量比較

表2に示すように、乾燥サンプルの水分含量を測定した結果、イチゴ青果は89.7%、乾燥法S-1、S-2サンプル（以後S-1及びS-2）は、それぞれ5.8%と6.0%、乾燥法S-3サンプル（以後S-3）は、1.9%、凍結乾燥品（以後FD）は5.7%であった。

3・1・2 香氣成分比較

香氣成分として、イチゴに含まれている代表的な7種類（酢酸エチル、酢酸メチル、酪酸エチル、酪酸メチル、カブロン酸エチル、カブロン酸メチル、酢酸ヘキシル）の香氣成分について測定を行った。その結果、図1に示すようにS-2とFDサンプルと比較してS-1及びS-3

表1 通風乾燥（乾湿球温度制御乾燥法）による乾燥条件

サンプル		乾球設定温度(°C)	湿球設定温度(°C)	時間(h)
乾湿球温度制御乾燥法(S-1)	ステップ1	40.0	26.0	1
	ステップ2	50.0	26.0	5
乾湿球温度制御乾燥法(S-2)	ステップ1	34.0	26.0	1
	ステップ2	40.0	27.5	4
	ステップ3	40.0	27.5	3
	ステップ4	50.0	30.0	1
乾球温度制御乾燥法(S-3)	ステップ1	65	制御無し	1
	ステップ2	70	制御無し	4

※ 乾燥条件—1ステップ1～2間、乾球昇温:3°C/h

表2 乾燥イチゴの水分含量比較

サンプル	水分含量(%)
イチゴ青果	89.7
S-1	5.8
S-2	6.0
S-3	1.9
凍結乾燥品	5.7

*食品技術グループ *2（株）木原製作所

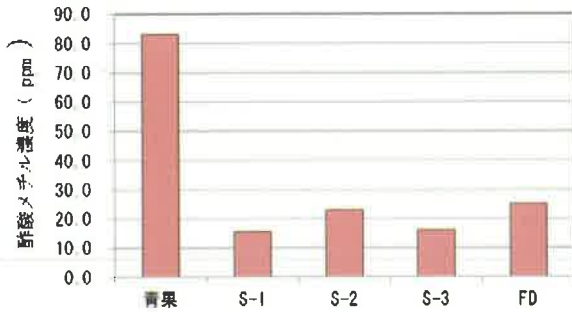


図1 乾燥条件による酢酸メチル含有量の比較

サンプルは、酢酸メチルの含有量が少なかった。その濃度は、青果 83ppm に対し、FD:25ppm, S-1:17ppm, S-2:23ppm, S-3:16ppm であった。この結果は、酢酸メチルの沸点が 57.8℃ と低いために、より低温で乾燥可能な凍結乾燥法と比較して、通風乾燥法で乾燥させたイチゴの値が低くなったと考えられる。また、高温 (50℃) の乾燥時間が、S-2 サンプル (表 1S-2 ステップ 4 : 1 時間) は、S-1 サンプル (表 1S-1 ステップ 2 : 5 時間) より短いために酢酸メチル含量が多く残ったものと考えられた。この結果より、イチゴの香りを残すためには高い温度での乾燥時間を可能な限り短くしなければならないことが確認された。

3・1・3 有機酸分析

有機酸分析は、4 種類の有機酸 (リンゴ酸、乳酸、クエン酸、コハク酸) について、その含有量分析を行った。その結果、図 2 に示すように青果や乾燥条件による乾燥イチゴ間には、その含有量に有意差は確認されなかった。

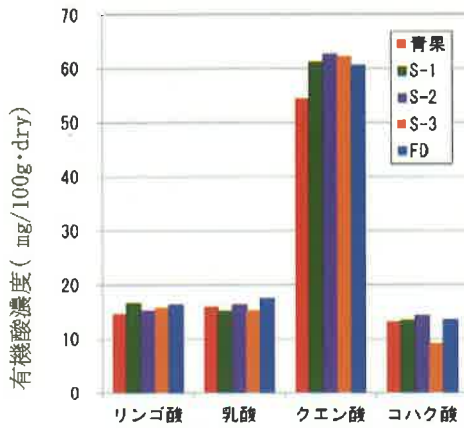


図2 乾燥条件による有機酸含有量の比較

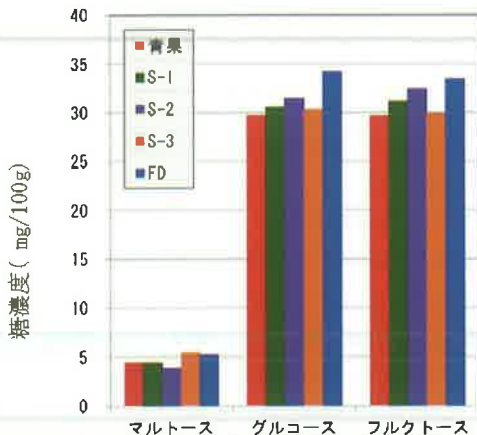


図3 乾燥条件による糖含有量の比較

3・1・4 糖類分析

糖類の分析として、3 種類の糖 (マルトース、グルコース、フルクトース) について、その含有量分析を行った。その結果、図 2 に示すように有機酸含有量と同様、青果とさまざまな乾燥条件により乾燥させた乾燥イチゴ間には、その含有量に有意差は確認されなかった。

3・1・5 色の分析

乾燥イチゴについて、色の測定を行った。イチゴの特徴である赤色は 650nm 付近に波長領域をもっている。図 4 に示すように、凍結乾燥品が最も明るい赤色を示し、S-1 サンプルが最も暗い赤色を示した。この結果は、通風乾燥法により乾燥させたイチゴの色は、水分含量により大きく影響を受け、水分含量の少ないサンプルほど明るい赤色を示すことが示唆された。このことは、予備実験として行った水分含量の異なる乾燥イチゴの測色結果と一致している (data not shown)。また、図 5 及び図 6 に示すように凍結乾燥を行ったイチゴは、明るい赤色 (ピンク色に近い) をしているが、通風乾燥法により乾燥を行ったサンプルは、やや黒みがかった赤色をしていた。これは、イチゴの表面のアントシアニンを始めとする赤色素が、乾燥熱によりやや黒みがかった赤色に変色したためであると考えられる。

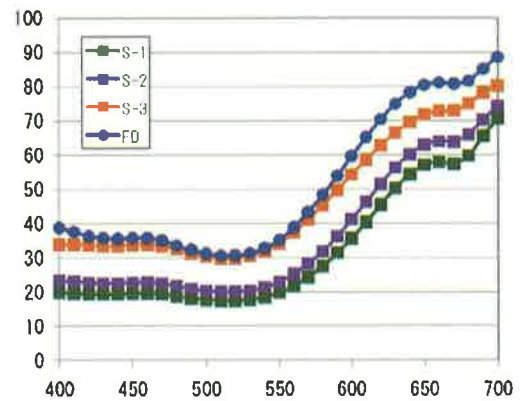


図4 乾燥条件による色の変化



図5 様々な条件で乾燥させたイチゴスライス

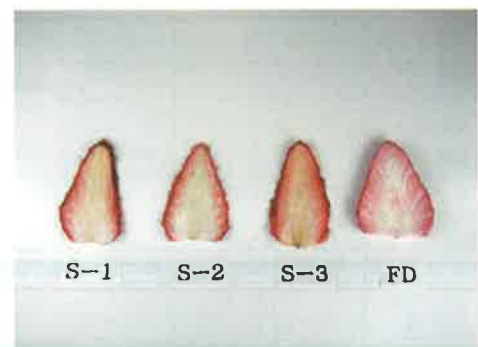


図6 様々な条件で乾燥させたイチゴ粉末

3・1・6 まとめ

イチゴについて、さまざまな乾燥条件により乾燥を行い品質への影響を調べた結果、味に関係する4種類の有機酸（リンゴ酸、乳酸、クエン酸、コハク酸）や3種類の糖類（マルトース、グルコース、フルクトース）については、乾燥条件による含有量の差は確認されなかった。香り成分については、乾燥条件により、低沸点(57.8℃)である酢酸メチルの量に差が確認されたが、分析を行った他の香り成分には差が確認されなかった。しかしながら、官能的には青果のイチゴの香りと乾燥させたイチゴの香りに明らかな差が確認されているので、この香りの差を数値化するためには、より詳細な分析が必要と思われる。また、通風乾燥法にて乾燥させたイチゴの色は、乾燥後の水分含量が多くなるほどやや暗みがかった赤色となり、水分含量が色差に影響していることが確認された。さらに、イチゴの表面の色は、凍結乾燥を行ったサンプルについては、明るいピンク色を呈したが、その他の方法で乾燥を行ったサンプルは、やや黒みがかった赤色をしていた。これは、イチゴの表面のアントシアニンを始めとする赤色色素が、乾燥熱によりやや黒みがかった赤色に変色したためであると考えられる。今回の実験結果より、イチゴの香りを可能な限り変化させることなく乾燥させるためには、低い温度で乾燥させることが望ましいと思われる。しかしながら、問題として乾燥速度も求められてくることから、乾燥初期の恒率乾燥期間はやや高い温度で湿度を低めに制御し、減率乾燥期間は低い温度で湿度を高く制御することにより、乾燥時間の短縮が図れるかもしれない。一方、凍結乾燥法にて乾燥させたイチゴと比較して、通風乾燥法により乾燥させたイチゴは、測定した一般栄養成分含量、有機酸成分含量、糖成分含量には大きく影響しないことが確認された。

3・2 トマト

3・2・1 一般栄養成分分析結果

表3に示す3つの異なる通風乾燥条件及び凍結乾燥法 (FD) の4つの条件で乾燥を行った「トマト」について栄養分析を行った。その結果、表4に示すように乾燥法の違いによる一般栄養成分に有意差は確認できなかった。

表3 「トマト」の乾燥条件

【条件1】			
	乾球設定温度(℃)	湿球設定温度(℃)	時間(h)
ステップ1	65.0	42.0	1
ステップ2	55.0	33.0	23
(累計時間)			24
【条件2】			
	乾球設定温度(℃)	湿球設定温度(℃)	時間(h)
ステップ1	60.0	36.0	2
ステップ2	40.0	32.0	1
ステップ3	40.0	32.0	4
ステップ4	55.0	34.7	15
ステップ5	55.0	34.7	2
(累計時間)			24
【条件3】			
	乾球設定温度(℃)	湿球設定温度(℃)	時間(h)
ステップ1	40.0	-	4
ステップ2	45.0	-	20
(累計時間)			24

表4 乾燥法の違いによる食品一般栄養成分分析

(g/dry・100g)

	タンパク質	脂質	炭水化物	灰分
青果	13.4	0.0	79.1	7.5
条件1	9.8	1.2	81.1	7.9
条件2	11.1	2.1	79.1	7.8
条件3	11.5	1.6	77.3	9.5
FD	9.9	1.4	80.8	7.9

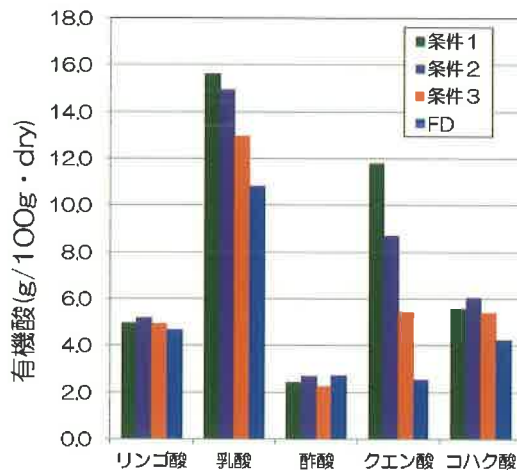


図7 乾燥条件による有機酸含有量の比較

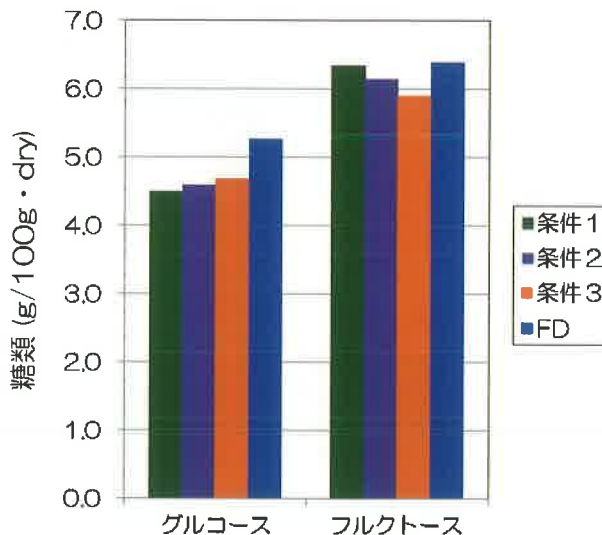


図8 乾燥条件による糖分含有量の比較

3・2・2 有機酸分析

4種類の有機酸（リンゴ酸、乳酸、酢酸、クエン酸、コハク酸）について、その含有量分析を行った。その結果、図7に示すようにクエン酸含有量において有意差が確認された。凍結乾燥法で乾燥させたサンプルのクエン酸量と比較して、乾燥条件1、乾燥条件2及び乾燥条件3により乾燥させたトマトは、それぞれ約6倍量、約4倍量及び約2倍量のクエン酸を含んでいた。特にクエン酸はトマトの酸味に大きく影響していることから、乾燥トマトの製造においては、凍結乾燥法より通風乾燥法（乾湿球温度制御乾燥法）が優れている可能性が示唆された。

3・2・3 糖類分析

3種類の糖(マルトース, グルコース, フルクトース)について, その含有量分析を行った. その結果, 図8に示すように青果や乾燥条件による含有量の有意差は確認されなかった.

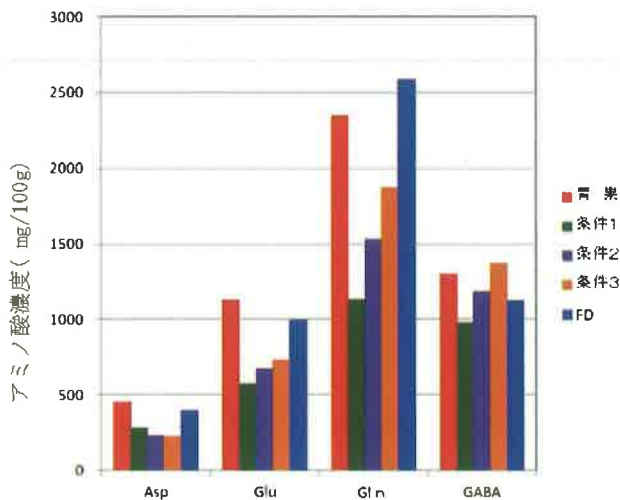


図9 乾燥条件によるアミノ酸含有量の比較

3・2・4 アミノ酸分析

乾燥方法の違いによるアミノ酸含有量の違いを測定した結果, 図9に示すように主に検出されたアスパラギン酸(Asp), γ -アミノ酪酸(GABA)については, その含有量に有意差が確認されなかった. グルタミン酸(Glu), グルタミン(Gln)については, 乾燥条件によりその含有量に差が生じた. この含有量は, 高い温度の時間に反比例しており, 乾燥熱による影響であると考えられた. また, 通風乾燥法により乾燥させたトマト(図10-(B))は, 青果(図10-(A))や凍結乾燥法(図10-(C))により乾燥させたトマトには存在していないアミノ酸が確認された. この結果は, 乾燥中における乾燥熱が, アミノ酸合成系の酵素反応に影響したものと考えられるが, 同定には至らなかった.

3・2・5 まとめ

「トマト」について, さまざまな条件により乾燥を行い品質への影響を調べた結果, 一般栄養成分(タンパク質, 脂質, 炭水化物, 灰分)については, 乾燥条件による含有量の差は確認されなかった. 一方, 有機酸成分については, 凍結乾燥法で乾燥させたサンプルのクエン酸量と比較して, 乾燥条件1, 乾燥条件2及び乾燥条件3により乾燥させたトマトは, それぞれ約6倍量, 約4倍量及び約2倍量のクエン酸を含んでいた. 特にクエン酸はトマトの酸味に大きく影響していることから, 乾燥トマトの製造においては, 凍結乾燥法より通風乾燥(乾湿球温度制御乾燥法)が優れていることが確認された. また, アミノ酸分析の結果から, グルタミン酸(Glu), グルタミン(Gln)含有量が高い温度における乾燥時間に反比例していることから, アミノ酸含有量が乾燥温度により影響を受けることが確認された. さらに, 通風乾燥法で乾燥させたトマトには, 同定には至らなかったが青果や凍結乾燥法により乾燥させたトマトには存在していないアミノ酸が確認された.

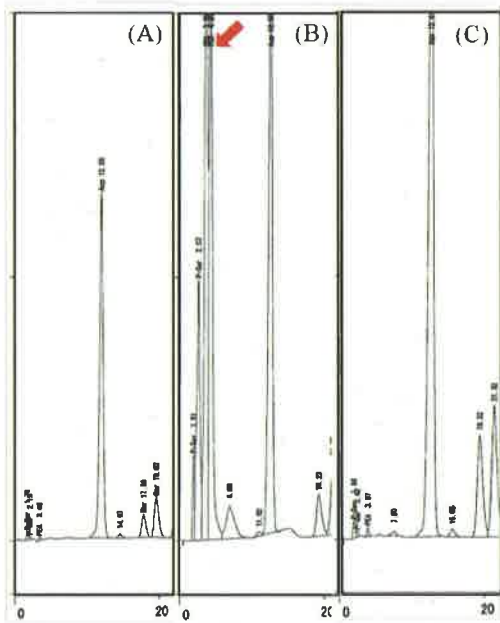


図10 異なる乾燥法により乾燥させたトマトのアミノ酸分析結果 (A): 青果トマト, (B): 乾湿球温度制御乾燥法, (C): 凍結乾燥法

4. 結 言

2種類のモデル試料を用いて, 乾燥法による, 揮発(芳香)成分の散逸や変化, タンパク質の変性, 色の变化, 糖質の変化等を測定した. 凍結乾燥法は, 低温で乾燥できるため食品成分の変化が少なく, 品質の変化が最も少ない乾燥法と言われている. その凍結乾燥と比較して, 通風乾燥法を用いて乾燥させた乾燥物は, 一般栄養成分や有機酸成分, 糖成分等には大きく影響しないことが確認された. イチゴを用いた香り成分変化については, 測定結果としては有意差がなかったが, 官能的には乾燥熱の影響を少なからず受けることが確認された. しかしながら, 総合的な観点から, 通風乾燥法は凍結乾燥法と食品成分的には遜色のない乾燥を行えると思われる. また, 今回用いた乾湿球温度制御した通風乾燥法は, 凍結乾燥法と比較して乾燥時間が短く, 乾燥熱を乾燥エネルギーとして再利用していることから, 非常に安価に乾燥させることの出来る有効な食品乾燥法であるといえよう.