

半乾燥野菜の構造の解明と 調理特性の追究

久松裕子

生活習慣病の予防には、野菜摂取量の増加があげられている。そのために、野菜に 90%近く含まれる水分を適度に減らした半乾燥野菜を利用することの有効性を追究してきた。既報では、乾燥処理法として用いた天日乾燥処理（平均気温 23℃，平均湿度 20%，平均風速 2m/s）と恒温庫乾燥処理（60℃，無風）において、調製後の半乾燥野菜の基礎特性が異なっており、天日乾燥処理により野菜の重量を 30%減少させた「半乾燥野菜」において他にはない良好な品質が生ずることを明らかにしてきた。その要因を解明することは、より具体的な半乾燥野菜の調製条件の提案を可能とし、食生活における効果的な野菜の利用方法を提案することに繋がる。

そこで本論文では、天日乾燥野菜の基礎特性が良好となるのは特異的な組織変化が生ずることが要因と仮説を立て、これを解明するために、ダイコンを用いて半乾燥野菜の組織、物性および機能性評価から探求した。また、カボチャや野菜以外の植物性食品であるキノコ、果物においても、ダイコンと同様の組織構造、及びそれに伴う基礎特性の変化が発現するかを検討した。さらに家庭における調理で利用することを想定して、天日乾燥処理した半乾燥野菜の調理特性について追究した。

第 1 部では、半乾燥野菜について組織構造の相違を解明し、これに伴う物性及び抗酸化能の変化との関係について追究した。

第 1 章では、ダイコンの生及び各半乾燥試料の組織構造を走査型電子顕微鏡（SEM）にて微視的に観察すると共に、これらの物性値から組織構造の相違を推測可能であるか検討した。

SEM 像で観察すると、恒温庫乾燥試料では細胞が均一に萎れていたが、天日乾燥試料の表面には細胞が平らに潰れた膜状組織が形成され、その内部に生試料と同様に張りのある細胞組織が認められた。また、組織構造の相違は物性値に反映されることが確認できた。天日乾燥試料は比較的破断応力が高く、崩壊しにくい組織構造、すなわち膜状組織の存在が示唆され、初期弾性率が高く、破断歪率が低値を示したことは、内部に張りがあり歯切れの良い生に近い細胞組織が存在することを反映すると考えられた。さらに天日を遮断した風乾燥で処理した試料の破断応力値は天日乾燥試料以上に高く、硬く強靱な膜状組織の存在が推察された。すなわち、この膜状組織の形成には、

試料内部の水分の拡散を助長しない温度管理とともに、表面のみ乾燥を促す程度の風が必要条件となると考える。

第2章では、半乾燥処理による野菜の抗酸化能の変化と組織構造との関係について追究した。

茹で加熱前の生及び天日乾燥試料について化学発光（ケミルミネッセンス）法によるペルオキシラジカル捕捉活性測定により抗酸化能を比較すると、天日乾燥試料の抗酸化能は生試料より低下していた。一方、既報から、茹で加熱後では天日乾燥試料が生試料よりも抗酸化能を高く保持でき、天日乾燥野菜で形成された膜状組織が茹で加熱時の溶出抑制に関与することが推察される。

第3章では、1章及び2章の結果を踏まえて、ダイコンとは性質の異なりデンプン含量の多いカボチャ試料の破断特性値から組織構造の変化について検討した。

カボチャ試料においても、生試料よりも天日乾燥試料の破断応力値が高く、煮崩れが起りにくいことから、ダイコンと同様に膜状組織の形成が示唆された。デンプン質の多い野菜において、煮崩れは外観を悪くする他、摂取量の低下にも繋がるため、これを抑制する手法としても天日乾燥処理は有効である。

第2部では、野菜以外の植物性食品に半乾燥処理が応用できるかを検討するため、半乾燥処理キノコと果物において野菜と同様に良好な基礎特性が生ずるかを追究し、最適な調製条件を考察すると共に、組織構造変化を推察した。

第1章では、乾燥方法の異なる半乾燥キノコを調製し、その品質及び抗酸化能から構造変化を推察するとともに最適な半乾燥条件を追究した。

マイタケ試料について、茹で加熱した天日乾燥試料は生試料と比較すると、抗酸化能が高かった。各試料の茹で汁の抗酸化能についても比較すると、天日乾燥試料では抗酸化能が有意に低く、色素の溶出も抑制されていたことから、抗酸化成分の溶出抑制が示唆された。すなわち、ダイコンと同様に、キノコにおいても天日乾燥処理による膜状組織の形成が推察された。これに加えて天日乾燥試料では、生試料と比較してビタミンD₂量が増加することも確認されたことから、半乾燥キノコ試料の調製条件は、天日乾燥により重量を50%減少させる条件が最適であると判断した。

第2章では、果物をフルーツソースとして用いることを想定し、半乾燥処理したキウイ試料を調製し、その基礎特性から実用の可能性を検討した。併せて、半乾燥野菜で生ずる組織構造の変化が半乾燥キウイ試料にも認められ

るかを推察した。

天日乾燥キウイは生に近い色を呈し、ペルオキシラジカル捕捉活性、及びスーパーオキシドアニオンラジカル消去能（SOD 様活性）にも有意な低下は認められなかった。また、調理品となじみやすい適度な粘稠性を有していたことから、健康機能性の高いフルーツソースとして実用可能な性状であった。この品質変化は、生と同様の組織が保持されていたことを示唆しており、半乾燥野菜と同様の構造が形成されたものと推察した。

第 3 部では、家庭において半乾燥野菜を調理に利用することを想定して、茹で調理による重量変化と、砂糖及び食塩による調味特性について検討した。

天日乾燥野菜を茹で加熱することは、重量や嵩を減らすことに繋がるということが明らかになり、野菜摂取量を増加させる方法として有効であることが認められた。そして、純水のみで茹でた天日乾燥試料は糖度が高く、その値は 5% 砂糖溶液で茹でた生試料と同程度であった。この結果は天日乾燥野菜の利用時には砂糖の使用量と摂取量を減らすことができることを意味する。一方、食塩で調味すると、生試料と天日乾燥試料で同程度の塩分濃度となった。しかし、茹で加熱による重量の相違を考慮すると、仕上がり量の少ない天日乾燥試料では食塩摂取量を減らすことができる。

本研究では、半乾燥野菜の野菜摂取量増加のための優れた特性を引き出すには、天日乾燥による組織変化が重要であり、それは内部の水分拡散を抑制しながら食品表面を風乾させることで形成される膜状組織であることを明らかにした。また、萌芽的な成果として、キノコや果物においても一部の半乾燥野菜と同様の基礎特性が生ずることが示唆された。

さらに、実際の調理を想定して、天日乾燥野菜の調理方法について検討し、出来上がりの嵩を減らせるだけでなく、野菜自体の甘味を生かし調味料の使用量を減らせることがわかった。これらのことから、半乾燥野菜の利用は、野菜本来の良好な嗜好性を損なわず、生活習慣病予防として高い健康機能性を保持しながら、野菜摂取量増加に寄与し、調理の簡便化も図ることが可能であり、日々の食生活に有効活用できることが考えられる。

Elucidation of the structure of half-dried vegetables and investigation of their cooking properties

Yuko Hisamatsu

Increasing vegetable consumption is one way to prevent lifestyle-related diseases. Close to 90% of vegetables is water, so the current study examined the effectiveness of using half-dried vegetables that had a moderately decreased water content. A previous study dried vegetables with the sun (mean air temperature of 23°C, mean humidity of 20%, mean wind velocity of 2 m/s) and in a temperature-controlled cabinet (60°C), and that study found that the essential characteristics of half-dried vegetables differed after cooking. The previous study also found that sun drying produced “half-dried vegetables” of high quality that weighed 30% less. Ascertaining the factors for these benefits of sun drying will allow the determination of more specific conditions for cooking half-dried vegetables, and ascertaining those factors would help to determine how vegetables could be used effectively in meals.

This paper has examined the tissue, physical properties, and function of half-dried daikon radish. In addition, this paper has examined whether pumpkin, mushroom and fruit have tissue structured like that of the daikon radish and whether the essential characteristics of those foods change in accordance with their structure. Moreover, this paper has examined cooking properties for vegetables that were half-dried in the sun in order to facilitate their use in home cooking.

Part 1 examines differences in the structure of half-dried vegetable tissue and it examines the relationship between the structure of vegetable tissue and changes in the physical properties and antioxidant capacity of vegetables.

Chapter 1 described how the structure of fresh and half-dried Japanese radish tissue was observed with a scanning electron microscope (SEM). Chapter 1 also examines whether differences in the structure of fresh and half-dried tissues can be predicted based on their physical properties.

A look at SEM images reveals that cells in specimens that were dried in a temperature controlled cabinet were uniformly desiccated. However, cells on the surface of sun-dried samples formed membranous tissue. The tissue contained resilient cell tissue like in the fresh samples. In addition, physical properties were found to reflect differences in the structure of tissue. Sun-dried samples had a

relatively high breaking stress and tissue that was less susceptible to degradation. In other words, results suggested the presence of membranous tissue. A high Young's modulus and a low breaking strain reflect the presence of cell tissue like the fresh samples. Moreover, samples that were dried in air had a breaking stress higher than that of sun-dried samples. Samples dried in air presumably contain firm, sturdy membranous tissue. In other words, temperature must be controlled without encouraging moisture to diffuse in the specimen and air must promote drying of the surface alone for membranous tissue to form.

Chapter 2 examines the relationship between changes in the antioxidant activity of vegetables as a result of partial drying and the structure of vegetable tissue.

Peroxyl radical scavenging activity was measured in fresh samples and sun-dried samples using chemiluminescence before samples were boiled, and the antioxidant activity of samples was compared. Sun-dried samples had less antioxidant activity than fresh samples did. However, a previous study indicated that sun-dried samples after boiling retain their antioxidant activity better than fresh samples after boiling. Membranous tissue that forms in sun-dried vegetables is presumably involved in inhibiting dissolution during boiling.

Pumpkin has a high starch content and differs from daikon radish. In light of the results in Chapters 1 and 2, Chapter 3 examines changes in the structure of pumpkin tissue based on the disruption of pumpkin samples.

Sun-dried pumpkin samples had a higher breaking stress than fresh samples did and sun-dried samples were less likely to become mushy, suggesting the formation of membranous tissue like those in the Japanese radish. The starchy vegetables degrade when those vegetables become mushy, resulting in decreased intake of vegetables. Thus, sun-drying is an effective way to keep those vegetables from becoming mushy.

In order to determine if non-vegetable foods can be half-dried as well, Part 2 examines whether half-dried mushroom and fruit have the same essential quality as fresh vegetables. Part 2 discusses optimal conditions for preparation and it speculates on changes in the structure of half-dried tissue.

Chapter 1 describes how mushrooms were dried in different ways and then used in cooking. Chapter 1 also predicts structural changes based on quality and antioxidant activity and it examines optimal conditions for half-drying.

Sun-dried maitake samples had greater antioxidant activity than fresh samples had. A comparison of the antioxidant activity in soup from boiled samples

indicated that sun-dried samples had significantly lower antioxidant activity and less elution of pigments. Thus, the elution of antioxidant components was presumably inhibited. In other words, membranous tissue presumably formed in a mushroom as a result of sun-drying, much as it formed in the Japanese radish. In addition, sun-dried samples were found to have more vitamin D₂ than fresh samples. A 50% decrease in the weight of half-dried mushrooms as a result of sun-drying was deemed to be optimal for preparation of half-dried mushroom samples.

Chapter 2 describes how half-dried kiwi samples were prepared, assuming fruit would be turned into a fruit paste. Chapter 2 also examined the potential practicality of using half-dried kiwis based on their essential quality. Moreover, Chapter 2 speculated whether changes in the structure of half-dried tissue would be found in half-dried kiwi samples.

Sun-dried kiwi had a coloring like that of fresh kiwi, and sun-dried kiwi had no significant decrease in its peroxyl radical scavenging activity or superoxide anion radical scavenging activity (like that of SOD). Sun-dried kiwi also has a viscosity that goes well with cooked food, so sun-dried kiwi could be practically made into a fruit paste with considerable health benefits. Changes in the quality suggested that sun-dried kiwi had tissue like that found in fresh kiwi. A structure like that found in half-dried vegetables was presumably formed in sun-dried kiwi as well.

Assuming that half-dried vegetables will be used in home cooking, Part 3 examined changes in the weight of boiled vegetables and the properties of seasoning with sugar and salt.

Boiling sun-dried vegetables was found to reduce their weight and bulk. Boiling those vegetables was found to be an effective way to increase the intake of vegetables. In addition, sun-dried samples that were boiled in pure water alone had a high sugar content. That content was equivalent to boiling fresh samples in a 5% sugar solution. This finding means that sugar use and intake can be reduced when using sun-dried vegetables. When seasoned with salt, fresh samples and sun-dried samples had an equivalent salt concentration. Given the differences in weight as a result of boiling, however, salt intake can be reduced through use of sun-dried samples that yield a smaller amount of prepared food.

Structural changes due to sun-drying were crucial to exploiting the superior properties of half-dried vegetables in order to increase the consumption of half-dried vegetables. This research has revealed that membranous tissue is formed by that moisture is kept from diffusing when the surface of food is air-dried. A

promising finding is that such drying may cause mushrooms and fruit to have essential quality like that of some half-dried vegetables.

Assuming that half-dried vegetables will be used in actual cooking, this research has examined methods of cooking using sun-dried vegetables. Findings revealed that half-drying reduced the final bulk of those vegetables and it reduced the use of seasonings by capitalizing on the sweetness of the vegetables themselves. Thus, half-dried vegetables don't hamper their original palatability and half-drying retains the considerable health benefits of vegetables in terms of preventing lifestyle-related diseases. Half-dried vegetables may help to increase vegetable consumption and it may help to make cooking easier. Half-dried vegetables can be used effectively in regular meals.

平成 28 年度 学位論文

半乾燥野菜の構造の解明と
調理特性の追究

東京家政大学大学院
人間生活学総合研究科
人間生活学専攻

久松 裕子

指導教員 小林 理恵 准教授

目 次

序 論

1. はじめに	1
2. 我が国の食生活の変化と生活習慣病	2
1)我が国の食生活の変化	
2)生活習慣病予防としての野菜の摂取	
3. 野菜の乾燥加工における歴史と変遷	5
1)生野菜と乾燥野菜	
2)新しい食品である“半乾燥野菜”	
4. 学術的背景	7
5. 半乾燥野菜の基礎特性	8
6. 本研究の概要	11

第 1 部 半乾燥野菜の構造の解明

第 1 章 半乾燥ダイコンの構造

1.1 はじめに	14
1.2 実験方法	14
1.2.1 実験材料	
1.2.2 試料調製	
1.2.3 測定方法	
1.3 結果及び考察	18
1)生及び半乾燥ダイコン試料の SEM 観察	
2)生及び半乾燥ダイコン試料の物性による組織構造の検討	
3)天日乾燥ダイコン試料における組織構造変化の要因	

1.4 小括	27
第2章 生及び半乾燥試料における機能性と組織構造の関係	
2.1 はじめに	29
2.2 実験方法	30
2.2.1 実験材料	
2.2.2 試料調製	
2.2.3 測定方法	
2.3 結果及び考察	31
1)半乾燥ダイコンのペルオキシラジカル捕捉活性	
2.4 小括	33
第3章 半乾燥カボチャの構造変化の推察	
3.1 はじめに	34
3.2 実験方法	34
3.2.1 実験材料	
3.2.2 試料調製	
3.2.3 測定方法	
3.3 結果及び考察	35
1)半乾燥カボチャの破断強度測定	
3.4 小括	38
第2部 その他の半乾燥植物性食品の基礎特性と構造変化の推察	
第1章 半乾燥キノコの基礎特性による良好な乾燥条件と構造変化の推察	
1.1 はじめに	39

1.2	実験方法	40
1.2.1	実験材料	
1.2.2	試料調製	
1.2.3	測定方法	
1.3	結果及び考察	44
1)	重量変化率の経時変化	
2)	茹で加熱による重量及び形状の変化	
3)	半乾燥によるおいの変化	
4)	半乾燥キノコのアミノ酸量	
5)	半乾燥キノコのビタミン D ₂ の変化	
6)	ペルオキシラジカル捕捉活性による抗酸化能の評価	
7)	茹で汁の色差測定と抗酸化能測定	
8)	官能評価の結果	
1.4	小括	62

第 2 章 半乾燥果物の基礎特性による良好な乾燥条件と構造変化の推察

2.1	はじめに	64
2.2	実験方法	66
2.2.1	実験材料	
2.2.2	試料調製	
2.2.3	測定方法	
2.3	結果及び考察	69
1)	抗酸化能測定	
2)	テクスチャー測定	

3)色度測定	
4)糖度及び pH 測定	
2.4 小括	77
第 3 部 半乾燥野菜の調理への利用の検討	
1 はじめに	79
2 実験方法	79
2.1 実験材料	
2.2 試料調製	
2.3 測定方法	
3 結果及び考察	82
1)重量測定の結果	
2)砂糖調味試料の糖度の比較	
2)食塩調味試料の塩分量の比較	
4 小括	88
総括	90
引用文献	97
公表論文目録	105
謝辞	106

序 論

1. はじめに

我が国では 50 年前に比べて食生活が大きく変化した。米，魚，野菜の摂取量は減り，代わりに畜産物及び油脂類の摂取量が増加することにより栄養素の摂取バランスが乱れ，これが生活習慣病が増加した要因の一つとなっている。そのため，生活習慣病の予防を推進する国民の健康づくり運動が進められ，この発症の予防には，食生活を含む生活習慣の根本的な見直しが必要だと指摘されている。食生活の乱れを是正する取り組みの一つとして，野菜摂取量の増加が目標となっているが，達成はされていない。野菜摂取量増加の対策はさまざまに工夫されているが，その中に，乾燥加工された野菜の利用がある。しかし著者は，野菜摂取量を増加させるために水分を適度に残るよう調製された「半乾燥野菜」を利用することがより有効であると考えた。

そこで本研究では，野菜摂取量増加の一助となることを目指して，半乾燥処理した植物性食品の加工及び調理方法について検討したので報告する。

序章では，生活習慣病増加の経緯から予防に適した野菜摂取量の増加方法について説明し，野菜摂取量増加の目的に合わせた良好な半乾燥野菜とはどういう状態なのか仮説を述べる。さらに，これまでに報告した半乾燥野菜を茹で加熱した試料の基礎特性の結果をまとめ¹⁾，本研究を行うに至った社会的背景及び研究背景を述べる。

2. 我が国の食生活の変化と生活習慣病

1) 我が国の食生活の変化

2013年にユネスコ無形文化遺産に登録された「和食」は、日本料理とそれらを取り巻く文化そのものを指す言葉である²⁾。³⁾和食は、外来の食物や料理、食文化の影響を受け、時代や社会に合わせながら変化し、日本独自の文化として形づくられたものである。

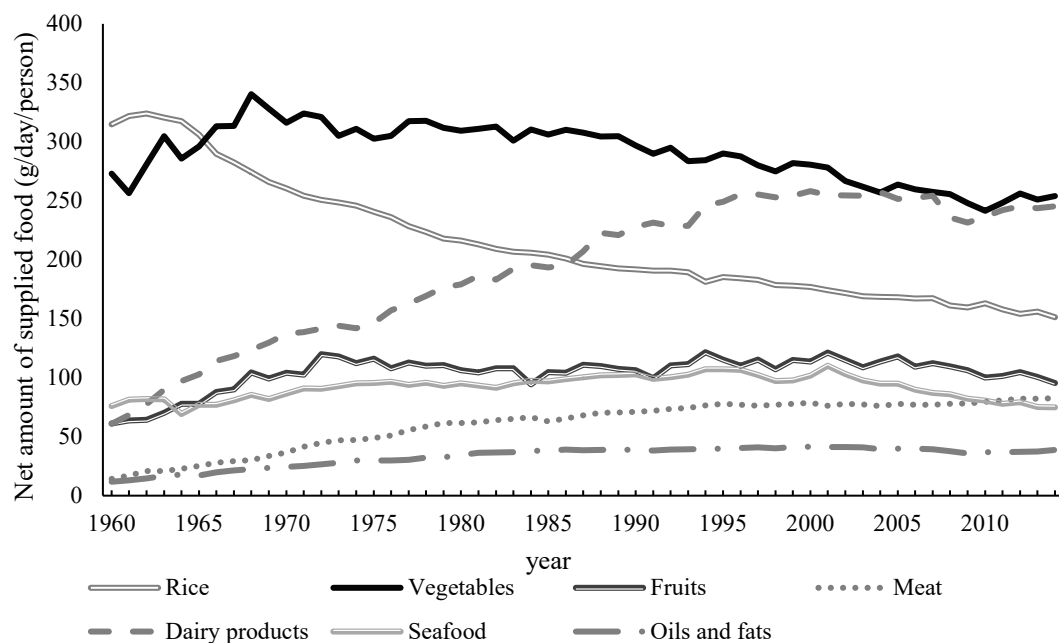


Fig.1. Changes in the net amount of supplied food in Japan

This chart was created based on “food balance sheet” reported by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

URL:<http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/> (2016/12/21)

特に高度経済成長以降の 1980 年頃にはこれまでの米，魚，野菜に，少量の肉や乳製品を加えたことでよりバランスの良い食事となった。

しかし Fig.1 に示す約 50 年間における国民 1 人 1 日あたりの供給純食料を見ても明らかなように，1990 年頃から和食の

特色である米と魚と野菜の摂取量は激減し，代わりに肉や乳製品などの畜産物の比重が増加し，日本の食事は欧米化が進んだ⁴⁾。

2)生活習慣病予防としての野菜の摂取

この急激に進んだ日本の食事の欧米化は，現在増加している生活習慣病の原因と言われている。Fig.2 は，わが国での生活習慣病における医療費の推移である。生活習慣病は現在も増え続け，死因別の死亡割合においてもその半数以上を占めている。

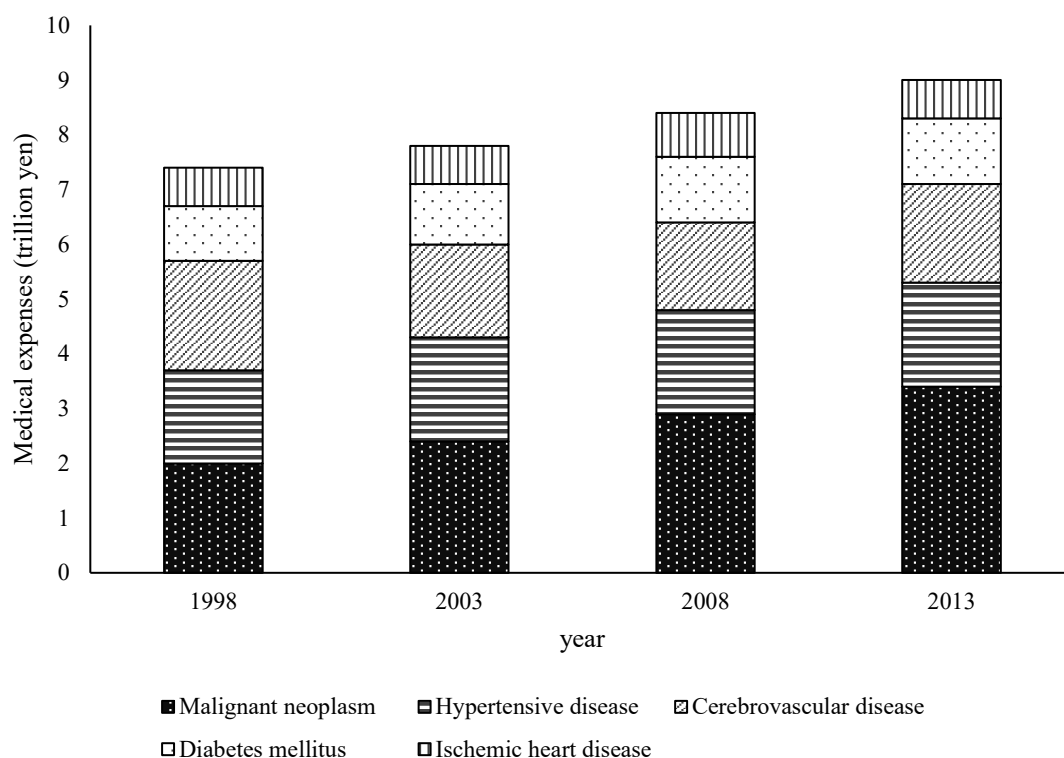


Fig.2. Change in the medical expenses in the lifestyle-related disease

This chart was created based on “national medical expenses” reported by the Ministry of Health, Labour and Welfare.

URL:<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/37-21c.html> (2016/12/21)

さらに 2014 年に行われた厚生労働省による国民の寿命に関する調査では、健康上の問題がない状態で日常生活を送ることができる期間を示す健康寿命と平均寿命との間に男性で 9.02 歳、女性で 12.4 歳の差が生じていた⁵⁾。これにより、人の一生のうち、約 10 年は健康上の問題で日常生活が制限される期間が存在していることがわかる。よって、現在では健康寿命を延ばすため、生活習慣病に対する予防医学が必要とされている。

健康寿命を伸ばすために生活習慣病を予防する取り組みはすでに始まっており、国民の健康づくり運動である健康日本 21 によりその具体的な目標が設定されている。この健康日本 21 の食生活の分野では、野菜の摂取量増加が目標となっている。しかし、目標量 350 g/日に対して現在の摂取量は約 78% であり、健康日本 21 の取り組みが開始された 2000 年以降、一度も達成はされていない⁶⁾。

野菜の摂取目標量が 350 g に設定されているのには理由がある。健康日本 21 では、野菜摂取を目標とする理由の一つに抗酸化ビタミンの摂取があげられている。野菜は成分の約 90% が水分であるが、微量の含有成分の持つ高い機能性が注目されている。これらの摂取においては、特定の成分を強化した食品から摂るのではなく、野菜から摂取することで循環器疾患や悪性新生物の予防に高い効果があることが報告されている^{7, 8)}。さらに野菜摂取が生活習慣病の予防となる理由として、予防医学において注目される植物性化学物質(フィトケミカル)を含み、抗酸化作用や抗腫瘍作用などの機能性が認

められることもあげられる⁹⁾。

特に抗酸化能は，多くの疾病の発症，増悪の原因となる活性酸素を捕捉，消去する能力のことであり¹⁰⁾，広く生活習慣病の予防に寄与するものと考ええる。すなわち，健康増進のためには，単なる野菜摂取量増加ではなく，疾病の原因となる活性酸素を捕捉，消去する抗酸化能を有効利用できる手法で野菜摂取量を増加させる工夫が必須であると考ええる。

3. 野菜の乾燥加工における歴史と変遷

1) 生野菜と乾燥野菜

上記で述べたように，野菜の利用により，機能性の高い抗酸化ビタミンや植物性化学物質の摂取が期待できる。しかし，生野菜は水分が多く，嵩が大きいいため，多量には摂取しにくいと思われる。これを解消する対策として，野菜に約 90%含まれる水分を減らすことで，嵩を減らし，摂取しやすくする方法を考えた。野菜の水分を減らした食品としては，既に乾燥野菜が利用されており，市販品も流通している。これらは，保存性を高めることを目的に，細菌の繁殖を防げる 10%以下に水分を減らした食品である。

乾燥野菜は世界中に存在し^{11), 12)}，日本においても昔から乾燥加工を行ってきた。日本における乾燥野菜の歴史は古く，『日本書記』には乾燥ダイコンの記述がみられ，平安時代には，仏教の広がりとともに様々な乾燥野菜が精進料理に用いられるようになった¹³⁾。

さらに，乾燥野菜は郷土料理にも多く用いられてきた¹⁴⁾。これは和食の特徴にある「自然を尊ぶ」という，日本人の精神

に基づいた文化によるものである。食材には、嗜好性、及び栄養価が最も高くなる旬の時期が存在する。昔から存在する乾燥野菜とは、旬の時期に大量に収穫した食材を乾燥させて長期保存を可能とし、その土地で旬の時期以外にも食し、または別の土地へ運ぶなど、食材を余すことなく使い切る知恵であった。

例えば古くから存在する乾燥ダイコンの“干しダイコン”は我が国を代表する伝統的な乾燥野菜のひとつである。様々な“干しダイコン”が存在し、その土地で採れたダイコンの種類や製品の形によって千切り干し、丸切り干し、割り干し等がある¹⁵⁾。製法としては、それぞれの形に切ったダイコンを天日で水分をほぼ完全に除くまで乾燥させる方法が一般的である。そして出来上がった“干しダイコン”は生のものに比べ、嵩が減り、においに変化し¹⁶⁾、糖量が増加し、硬くなる¹⁷⁾。

このように、乾燥野菜はその利点として保存性が高まるだけでなく、成分が濃縮し、生とは別の味、色、におい、食感が付与されるなどがあげられる¹⁸⁾。一方で、乾燥野菜には欠点もある。それは、調理において水戻しやあく抜きなどの処理の手間がかかり、出来上がり量の予測がつきづらいことや、出来上がりの味やテクスチャーが生野菜とは異なることから、調理の際の加熱や調味の加減がわかりづらくなってしまう。さらに、乾燥により食品中の抗酸化ビタミンが減少してしまう¹⁹⁾。

2)新しい食品である“半乾燥野菜”

乾燥により抗酸化ビタミンが減少するのであれば、水分を

調整することで、抗酸化ビタミンの減少も抑制できるのではないかと考えた。そこで著者が着目したのは、生野菜と同様に調理ができ、健康増進に有効な成分の多大な損失をさせない程度に水分を乾燥させて嵩を減らす「半乾燥」という乾燥方法である¹⁾。昔は食品の保存状態が悪いという問題を克服するために乾燥野菜が存在したが、現在では冷蔵庫などの保存技術も発達し、保存性を高めることに重点を置く必要はないと考える。

また、1975年以降食生活における変化には、肉や乳製品の摂取量が増加しただけでなく、食の簡便化が進んだ。これは、核家族化や単身世帯化が進み、共働き家庭が増加したことによるものである。よって、調理の手間を省き簡便化できるのは、現代社会においては利点になると考える²⁰⁾。そのため、「半乾燥野菜」を導入することで、より利便性が向上し、かつ野菜摂取量の向上にも繋がるのではないかと考えた。

つまり半乾燥野菜は、日本人が昔から利用してきた乾燥野菜の利点を生かしつつ、社会及び生活環境、文化ならびに疾病構造が変化してきた現代に適応させた新しい食品だと考える。

4. 学術的背景

これまでに乾燥野菜の製造、保存、その後の水戻し等に関する研究は数多く行われてきた。しかし、半乾燥野菜を野菜摂取量増加の目的として加工、調理する研究報告は、著者の知る限りみあたらない。例えば、半乾燥キャベツについて半乾燥後の保存性が高く、保存中ビタミンCやアミノ酸量が維

持されることが報告されているが²¹⁾、これは保存性に目的を置いた研究である。

海外では、保存性以外に半乾燥野菜の抗酸化能についての研究が見られ、乾燥により抗酸化成分は減少し、その能力も低くなることが報告されている²²⁾。

日本では、半乾燥野菜についての書籍やレシピ本は既に出版されており、その中には野菜の味が甘く濃厚になり、独特な歯ごたえが生まれることや、調理時間が短縮することなどが記載されている^{23, 24, 25)}。これらの記述は有益な情報ではあるものの、科学的に検証されていない。

5. 半乾燥野菜の基礎特性

このような社会的及び学術的背景を受け、著者の修士論文では、調理前に半乾燥処理を行うことで、野菜摂取量増加の一助となるのではないかと考察した¹⁾。この既報においては、工業的ではなく、家庭において利用することを想定して半乾燥野菜を調製し、日本古来の加熱調理法である茹で加熱をした試料の基礎特性について研究を行った。その結論として、天日乾燥法により重量減少率 30%の状態にすることで良好な半乾燥野菜を調製可能であることを報告した¹⁾。その概要については Table 1, 2 に示す。Table 1 は野菜の中でも特に水分の多いダイコン、Table 2 はデンプンの多い野菜であるカボチャの結果である。表中には内部温度 98℃まで茹で加熱した生試料に対する各乾燥方法の重量減少率 30%試料の基礎特性を比較した結果を示した。それぞれの表中に示す [-] の欄は

Table 1. Basic property of sample boiled half-dried Japanese radish

Measurement item		Sun-dry	Machine-dry
Boiling time		Short	Short
Physical property	Rupture stress	[-]	Hard
	Rupture strain	[-]	Supple
Color	Lightness	Dark	Dark
	+Red↔Green-	[-]	[-]
	+Yellow↔Blue-	Vivid yellow	Light yellow
Smell	Strength of the smell	Weak	[-]
Component	Sugar content	Much	Much
	Amino acid content	Much	Much
Antioxidant activity	Peroxyl radical scavenging activity	High	[-]

The table shows the differences from the basic property of fresh vegetable sample. There is a significant difference in the item with description: $p < 0.05$

生試料に対して有意差が無かった項目，括弧中に記載した欄は危険率 10%未満で有意傾向がみられる結果であり，特性を記載した欄は危険率 5%未満で有意差があることを示す。

結果から，ダイコンとカボチャの半乾燥による基礎特性はほぼ同様の傾向だった。しかし，天日乾燥試料と恒温庫乾燥試料では基礎特性に違いがみられた。天日乾燥試料は，物性は生試料に近いが，表面色は濃くなり，においが弱く，抗酸化能が高くなった。恒温庫乾燥試料は，物性は硬くしなやか

Table 2. Basic property of sample boiled half-dried pumpkin

Measurement item		Sun-dry	Machine-dry
Boiling time		Short	Short
Physical property	Rupture stress	[-]	(Hard)
	Rupture strain	[-]	(Supple)
Color	Lightness	[-]	[-]
	+ Red ⇔ Green -	Red	[-]
	+ Yellow ⇔ Blue -	Yellow	[-]
Smell	Strength of the smell	[-]	[-]
Component	Sugar content	Much	Much
	Amino acid content	Much	Much
Antioxidant activity	Peroxyl radical scavenging activity	High	[-]

The table shows the differences from the basic property of fresh vegetable sample. There is a significant difference in the item with description: $p < 0.05$

になり，色は淡く，においや抗酸化能は生と同程度となった。そしていずれの乾燥方法でも，茹で時間は短縮し，糖及びアミノ酸含量は増加した。

すなわち，乾燥方法により半乾燥試料の出来上がりの基礎特性には違いがあり，天日乾燥法を用いることで比較的良好な半乾燥状態となっていることがわかった。また，恒温庫乾燥のように一定温度を保つような条件は家庭では難しいが，天日乾燥には特別な機械などを必要としないため，家庭でも調製が可能である。これらのことから，野菜摂取量を増加さ

せるためには天日乾燥法で 30%水分を除いた半乾燥野菜を利用することが有効であることを提案した。

6. 本研究の概要

上述の通り，これまでの研究から半乾燥野菜は天日乾燥を行った場合に良好な状態となることがわかった。しかし，天日乾燥処理と恒温庫乾燥処理の過程で半乾燥野菜の基礎特性が異なる仕組みは不明である。そのため，実際の半乾燥野菜の調製やそれらの調理への利用を提案するには，さらに追及する必要がある。

そこで天日乾燥野菜と恒温庫乾燥野菜の基礎特性が異なる要因を明らかにし，これにより発現する野菜の調理特性を追究することで，半乾燥野菜の良好な乾燥方法を具体的に提案することを目的とした。さらに，野菜を天日乾燥処理することで得られる基礎特性が，キノコや果物にも同様に生ずるのかを検証することで，植物性食品の調理において広く半乾燥処理が適するか否かを検討し良好な半乾燥条件の提案を目指した。

第 1 部では，半乾燥野菜の加工及び調理条件について検討した。第 1 章にて半乾燥野菜の基礎特性の結果¹⁾から，良好な半乾燥状態の提案を目指して，乾燥方法により基礎特性の違いが生ずる仕組みを追究した。検討の手段として，試料にはダイコンを用いて，半乾燥野菜の試料表面近傍の微視的な組織観察を試み，その結果と物性との関連性，さらに表面だけではなくダイコン全体の組織構造を物性により追究し，その組織構造変化の原因を追究した。測定は，走査型電子顕微

鏡(Scanning Electron Microscopy:以後 SEM と略記)による組織観察と併せて、破断試験を実施した。

第 2 章では、機能性における抗酸化能の評価を行った。これまでの報告から²²⁾半乾燥野菜の抗酸化能は低くなるとされていた。しかし、基礎特性の実験結果(Table 1, 2)からは茹で加熱後の天日乾燥試料における抗酸化能は生試料よりも高くなった。そこで、茹でる前の半乾燥試料の抗酸化能との比較から、上記の結果が生ずる原因を追究することとした。

第 3 章では、1 章及び 2 章の結果を踏まえて、ダイコンとは性質の異なるカボチャを試料とし、構造変化について検討した。基礎特性の結果からダイコンと同様に天日乾燥試料で抗酸化能が高くなっていたことで、膜状組織形成の可能性が示唆された。そこで、カボチャにおいても物性測定を行い、その破断特性値から組織構造の変化について検討を行った。

第 2 部では、野菜以外の植物性食品に半乾燥処理が応用できるかを検討するため、キノコと果物を使用して野菜と同様の基礎特性が生ずるかを追究し、そこから良好となる調製条件の提案、及び構造変化の推察をした。

第 1 章では、野菜と同様にキノコを試料として半乾燥処理を行った。キノコ類は、特有の香りとうま味を有し、嗜好特性に優れているだけでなく、抗腫瘍作用、コレステロール低下作用及び肥満抑制作用などの様々な生理機能を有しており、健康機能食品の素材としても注目が高まっている食材である²⁶⁾。そのため、半乾燥野菜と同様に半乾燥キノコの基礎特性とともにその構造について検討した。

第 2 章では，野菜よりも摂取不足が顕著である果物の摂取量増加のために，半乾燥処理法を応用することが可能なのではないかと考えた。果物は，適度な甘みと酸味を有し，特有の色，食感が好まれている食品である。また健康増進の観点からも，野菜と同様に果物中に含有される食物繊維，抗酸化ビタミンおよび各種フィトケミカル等の機能性成分への期待も高い。そこでフルーツソースとして利用することを想定して，果物を用いた半乾燥試料を調製し，その健康機能性評価の指標として抗酸化能を測定するとともに，嗜好性に関わる品質(テクスチャー，色度，糖度，pH)を生試料と比較し，半乾燥処理果物の基礎特性から，実用の可能性を検討した。

第 3 部では，第 1 章で得た組織観察の結果と合わせて，茹で加熱調理品の重量測定，糖度測定ならびに塩分測定，及び官能評価を実施し，実際の調理への利用を目指して，調味特性を追究した。

最後に，これまでの得られた研究成果と将来の展望について総括としてまとめた。

第 1 部 半乾燥野菜の構造の解明

第 1 章 半乾燥ダイコンの構造

1.1 はじめに

これまでの研究において野菜類の半乾燥試料を調製し，これらを茹で加熱した調理品の基礎特性及び健康機能性を検討した。その結果，天日乾燥により重量を 30%減少させた半乾燥試料は，加熱時間が短縮され，調理品の甘味やうま味が強くなり，さらに抗酸化能も高くなる半乾燥方法であったことから，半乾燥条件として良好であると提案してきた¹⁾。

しかし，恒温庫乾燥ではなく，天日乾燥で良好な半乾燥品が調製できた具体的な原因はいまだ不明である。これらの茹で半乾燥野菜の基礎特性の結果から，天日乾燥試料において膜状組織が形成されていることが主な要因であるという仮説を立てた。そこで，本研究ではその仮説を立証する手段として，半乾燥野菜における微視的な組織観察及び物性をそれぞれ追究した。

1.2 実験方法

1.2.1 実験材料

根菜類アブラナ科のダイコン(青首大根，千葉県産：2~5 月に購入)を試料とした。各試料は都内のスーパーで実験当日に購入した。茹で加熱調理を想定し，煮物に一般的に使用される野菜の中から，水分量の多い野菜のモデルとしてダイコンを選択した。

1.2.2 試料調製

試料野菜のダイコンは厚み 15 mm の輪切りにし，中心部を

φ 32 mm のアルミ製セルクル型で円柱状に抜き取った。これをダイコン 1 本につき，3 切れで 1 回分の生試料とし，総重量を 36 ± 0.3 g に調整した。

既報¹⁾に準じて，天日乾燥(直射日光下，温度 $18.0 \pm 1.2^\circ\text{C}$ ，湿度 $21.7 \pm 2.1\%$ ，風速 1.9 ± 0.9 m/s：乾燥時間約 5 時間)，ならびに恒温庫乾燥(温度 60°C ：乾燥時間約 3.5 時間)により重量減少率 30%の半乾燥試料を調製した。さらに今回は，組織構造変化の原因追究のために風乾燥試料を調製した。角筒(30 cm×21 cm×67 cm)の内部に，試料を乗せたステンレス製の平ザルを設置した。直ちに角筒の一方の面からサーキュレーターを用いて一定の風(温度 23°C ，湿度 20%，風速 2 m/s)を送り，重量減少率 30%の試料を調製した。

1.2.3 測定方法

1) 走査電子顕微鏡(SEM)観察

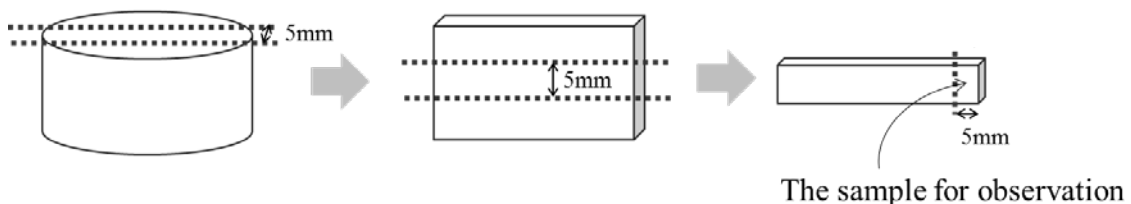


Fig.1-1. Sample preparation for observing with a scanning electron microscopy

試料はダイコンのみ用意した。いずれの試料も Fig.1-1 に示すように観察部位を統一して組織を切り出した。すなわち，円柱状試料の中心部を 5 mm 幅で繊維と平行に切り出した後，その中央部を 5 mm 幅で繊維と直角に切り出し，最終的に乾燥処理時の表面部を含んだ一辺 5 mm の立方体の試料を観察

に用いた。切り出した試料は液体窒素にて急速凍結後切断し、固定した。その後、昇華し乾燥させ、水分の所在と組織の構造について SEM(株)日立ハイテクノロジーズ製、走査電子顕微鏡 SU8240)にて観察した。観察条件は、加速電圧 1kV、試料傾斜角 0° とした。

2)破断試験

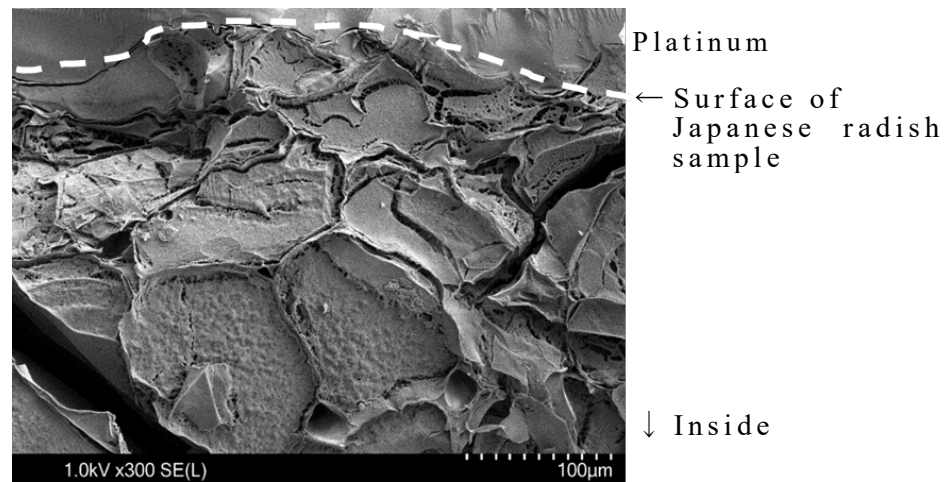
レオメーター II (山電(株)製, RE2-3305C)を用いて、生及び半乾燥野菜試料の破断試験を実施した。測定条件は、プランジャー: 円柱状 $\phi 2 \text{ mm}$, 測定速度: 1 mm/s , 測定歪率: 90%とし、生及び各半乾燥処理した円柱の試料平面部分から一定速度で、表面から試料高さの 90%までプランジャーを圧縮貫入させた。圧縮貫入時の波形から破断特性値は、破断応力と破断歪率、さらに測定開始から破断点までの初期 10%における線形領域から以下の (i) 式により初期弾性率 E_0 を求めた。

$$E_0 (\text{Pa}) = \sigma_t / \varepsilon_t \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (i)$$

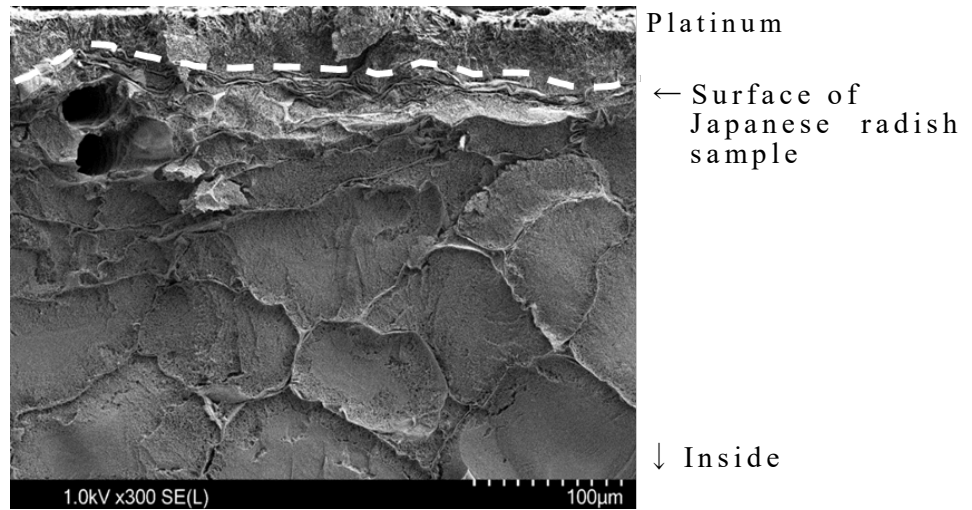
(σ_t : 応力, ε_t : 歪率)

3)統計処理

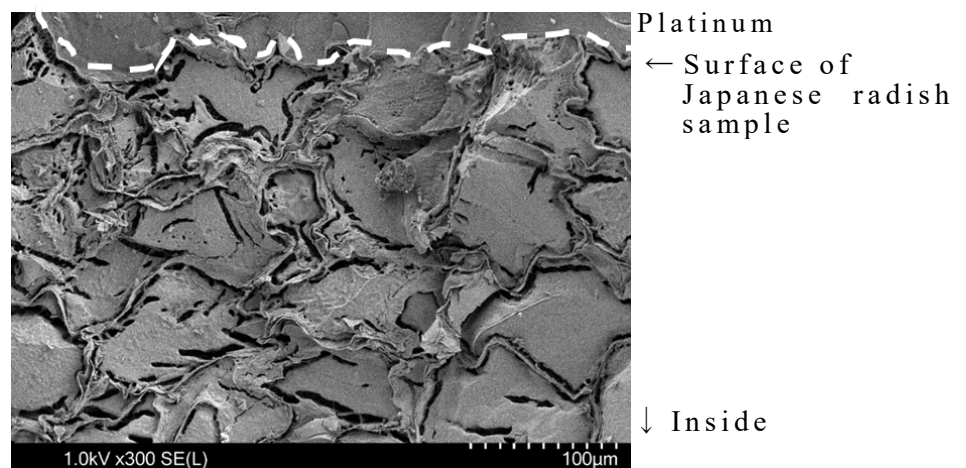
SEM 観察は予備実験実施後に本実験を行った。破断試験は 1 種類の試料(円柱形ダイコン試料 3 個 1 組について 8 回繰り返した。生試料及び各半乾燥試料について得られたそれぞれの値の平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の検定は、統計ソフト R(Ver.3.3.1) にて、一元配置分散分析後に多重比較 Tukey 法を用いて検定した。いずれも有意水準を 5 %未満とした。また、危険率 5%以上 10%未満の差について、有意傾向があると判定した。



Fresh



Sun-dry



Machine-dry

Fig.1-2. Scanning electron micrographs (SEM) of each Japanese radish samples($\times 300$)

SEM images of Japanese radish is shown below the dotted line.

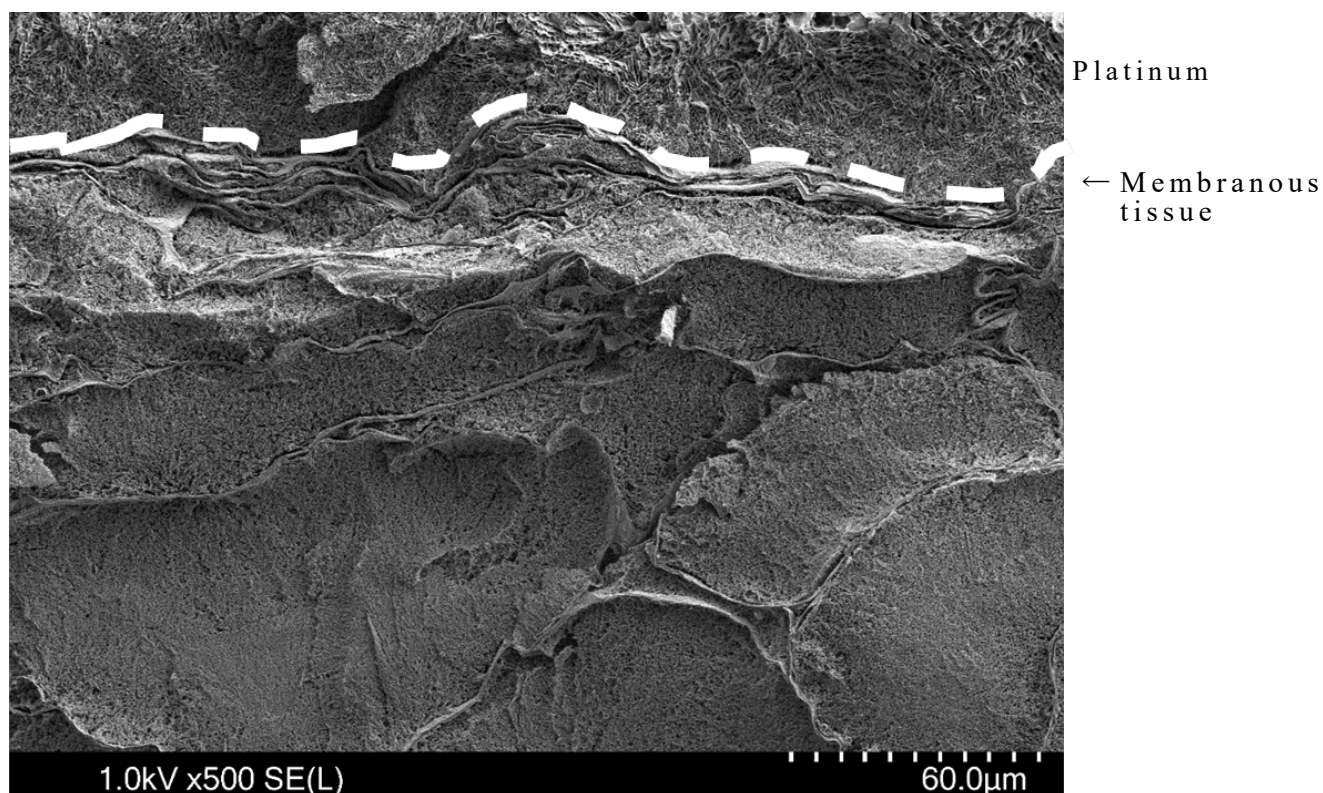


Fig.1-3. The scanning electron micrograph of sun-dried Japanese radish sample ($\times 500$)

1.3 結果及び考察

1) 生及び半乾燥ダイコン試料の SEM 観察

Fig.1-2 に，生ダイコン試料，天日乾燥ダイコン試料，及び比較のために恒温庫乾燥ダイコン試料の SEM 写真を示した。写真の上部が試料表面，下部がその内部の組織である。

生試料では細胞に張りがあり，ほぼ均一な組織構造であったが，恒温庫乾燥試料では生試料と比較して，細胞が一様に萎れており，乾燥により水分が全体から均一に抜けている様子が観察された。これらに対し天日乾燥試料では，内部は生試料と似た組織が存在し，表面から約 $30 \mu\text{m}$ までの間で細

胞が平らに潰れて膜状の組織を形成しているのが観察された (Fig.1-3.)。

このことから、仮説として考えた膜状組織は実際に形成されており、それは天日乾燥の条件にて発現することが明らかとなった。各半乾燥試料はいずれも重量減少率 30%となるように調整している。しかし、組織構造が異なる要因として、恒温庫乾燥は 60℃で乾燥していることが考えられる。これは、乾燥野菜を工業的に製造する際に最も一般的な熱風乾燥と同じ温度である²⁷⁾。熱風乾燥では、熱で内部の水分を表面に拡散させ、風により表面の水分の乾燥を促進させることで、全体の水分を素早く均一に乾燥させる²⁸⁾。今回の恒温庫乾燥においても、工業的な乾燥野菜製造時と同様に内部での水分の移動が起き、表面付近で均一な乾燥状態となったと思われる。

本実験の天日乾燥試料の SEM 写真において、表面のみ乾燥し、内部に生と同様の組織の存在が確認できたということは、内部から表面に水分が拡散しなかったことになる。内部の水分拡散が起こりにくい乾燥条件では、試料表面における乾燥・収縮・硬化が進行して、さらなる水分移動の障害となるため、乾燥効率は悪く、工業的な乾燥野菜製造において避けられてきた²⁹⁾。既報¹⁾においても恒温庫乾燥試料に比べて天日乾燥試料の調製には時間を要した。これは、天日乾燥では低温域(18±1.2℃)で乾燥させることで、内部の水分拡散が起こりにくくなり、表面のみで風(1.9±0.9 m/s)による乾燥が進行したためであると考えられる。

2)生及び半乾燥ダイコン試料の物性による膜状組織の検討

第 1 章より，天日乾燥法により野菜表面に膜状組織が形成するという仮説が実証され，これが天日乾燥試料に特徴的な基礎特性を与える要因と考えた。しかし SEM 観察は，組織の局所的な観察結果である。そこで，食品組織の変化は物性に反映されることから³⁰⁾，さらに破断試験による物性値から組織構造との関係を検討することとした。

SEM 観察に用いた生ダイコン，天日乾燥ダイコン，及び恒温庫乾燥ダイコン試料の試料表面から一定の速度でプランジャーを圧縮貫入させた結果，Fig.1-4 のような波形が得られた。ここから，ダイコンの組織構造を推察できる特性値として，

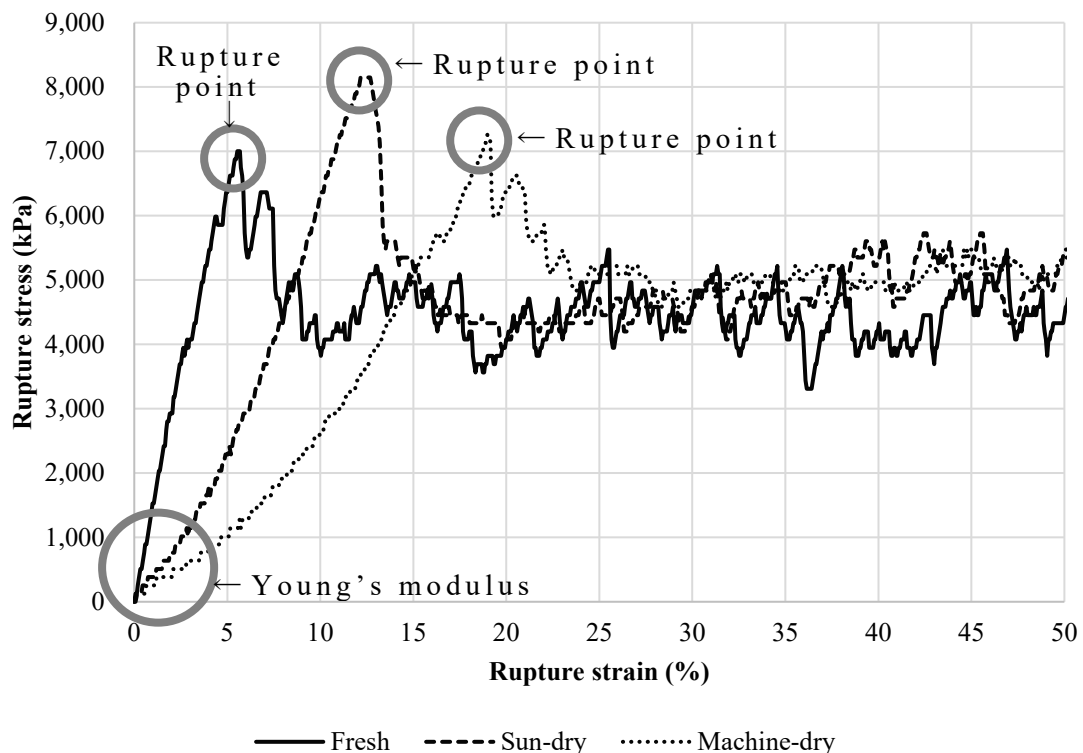


Fig.1-4. Rupture stress-strain diagram of Japanese radish samples

試料に力をかけ始めた圧縮時における初期の硬さを示す初期弾性率，試料内部にプランジャーが貫入した瞬間を示す破断点から試料の硬さを示す破断応力，及び試料のしなやかさを示す破断歪率を解析し Fig.1-5 に示した。

Fig.1-5 の(A)には初期弾性率，(B)には破断応力と破断歪率を示した。初期弾性率では，すべての試料間に有意差がみられ，生>天日乾燥>恒温庫乾燥の順で値が低く，噛み始めの歯ごたえが低下した。これと同様に(B)に示す破断歪率においても，特に恒温庫乾燥試料では有意に高くなり，しなやかになった。これは，乾燥による水分の減少により細胞の膨圧が低下したことが要因と考えた。さらに乾燥法別でみると，SEM観察で見られたように，恒温庫乾燥試料では細胞が均一に萎れ，全体の張りが弱く変形しやすくなったが，天日乾燥試料では，表面に潰れた膜状組織があるものの，内部は生と同様に膨圧を保っていたことが物性値の差として表れたものと推察した。

一方，半乾燥試料の破断応力値は，乾燥法に関わらず，生試料と比較して有意に高く，硬くなっていた。天日乾燥試料では表面に形成された膜状組織によるものと考えられるが，その構造が観察されなかった恒温庫乾燥試料でも硬くなった。修士課程で行った基礎特性の結果により¹⁾，ダイコンの恒温庫乾燥試料は茹で加熱後でも生や天日乾燥試料に比べて破断応力値が有意に高く，加熱による軟化が抑制されていたことから，60℃での加熱によりペクチンの脱エステル反応による細胞壁の硬化が起きたことが要因と考えられる³¹⁾。

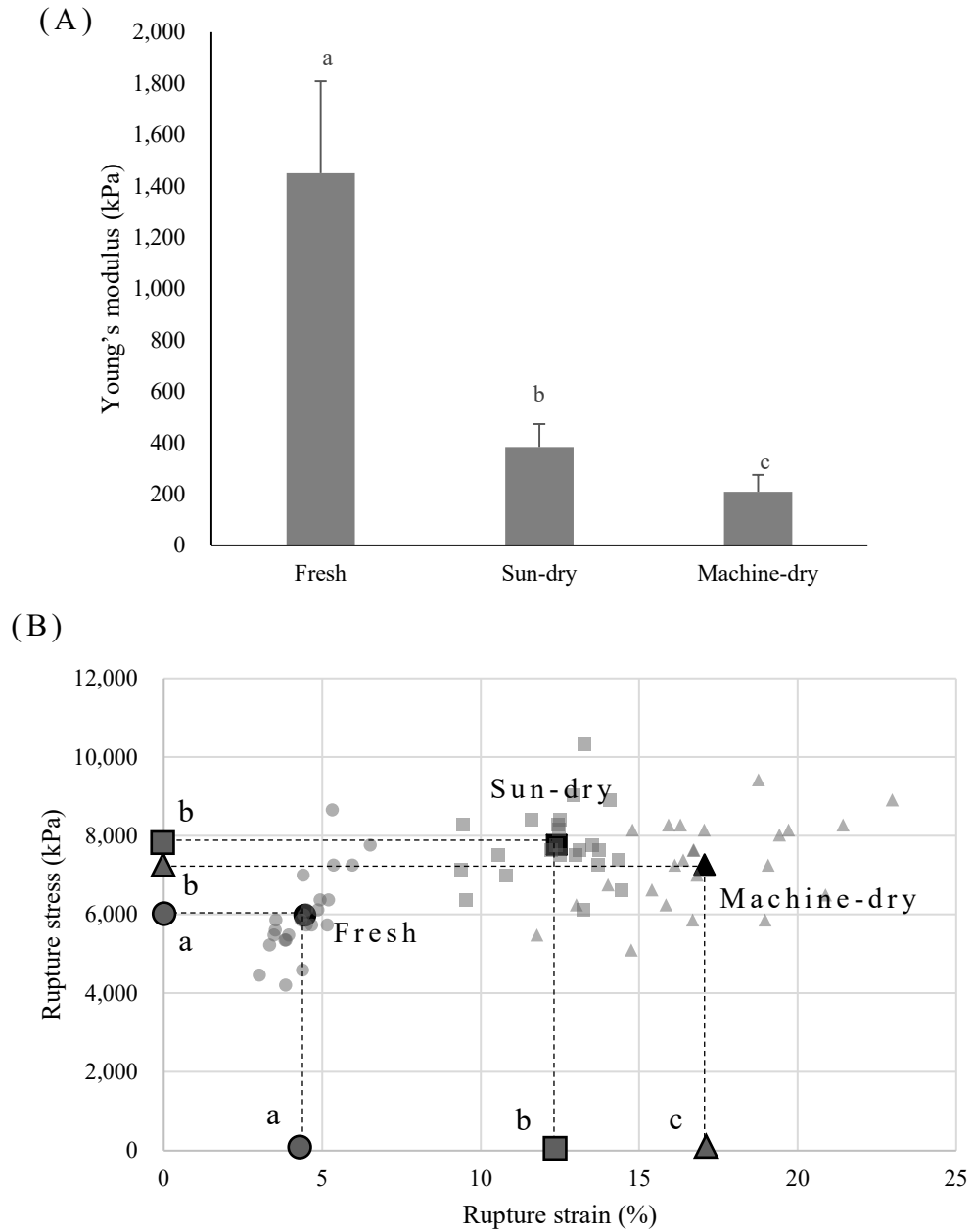


Fig.1-5. Rupture properties of Japanese radish samples

● : Fresh sample, ■ : Sun-dry sample, ▲ : Machine-dry sample

(A) $E_0(\text{Pa}) = \sigma_t / \varepsilon_t$

(E_0 : Young's modulus , σ_t : Stress , ε_t : Strain)

(B) The dark figure shows the mean.

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

(n = 8).

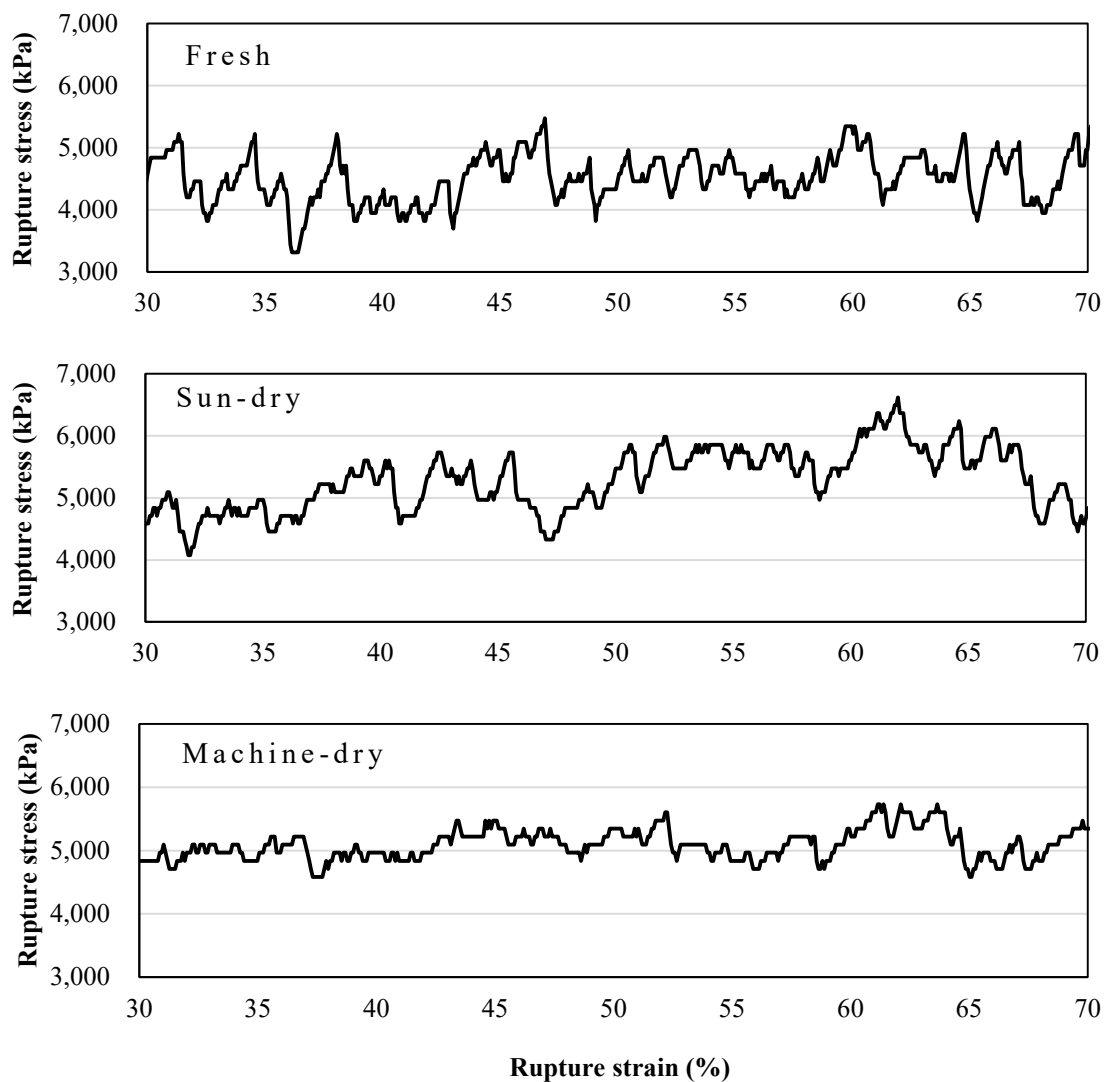


Fig.1-6. Rupture stress-strain diagram at 30 -70 % penetration of Japanese radish samples

さらに試料表面より内部の構造が推定できるか検討するために，破断試験の測定波形のうち試料表面から貫入させ，圧縮貫入率 30%から 70%までの間の応力-歪曲線を比較した。

結果は Fig.1-6 に示すように，いずれの試料の曲線も凹凸が繰り返される波形が描画された。それぞれの上昇波形のピークは，圧縮貫入の進行に伴い，ダイコンの細胞が順次破断崩

壊していることを示すと考えられる。生試料と天日乾燥試料は比較的類似しており，曲線の凹凸が大で，内部の細胞が破断しにくく，比較的強靱であることが伺えた。しかし，恒温庫乾燥試料ではこの凹凸が小さくなっていた。これは，外力に対する抵抗が小さく，細胞が脆弱となっていることを示唆している。このことから，試料表面だけではなく，内部の組織は天日乾燥で生に近く，恒温庫乾燥は萎れた組織となっていることが推察できる。よって天日乾燥試料は，半乾燥処理をしても生に近い構造を内部に保つことができることから，そのままの状態で生試料と同様に調理に用いることが可能であり，乾燥野菜のような水戻しの必要がないことが示唆された。

以上より，SEM観察で見られた半乾燥法による組織構造の違いは，破断特性値にも反映しているため，組織構造を推定をするために，破断特性値は有益な情報となると考える。

3)天日乾燥ダイコン試料における組織構造変化の要因

天日乾燥試料の構造は表面に膜状組織を形成し，内部は生に似た組織となることがわかった。恒温庫では，無風で60℃の加熱により乾燥が進行するが，天日ではその輻射熱と風により乾燥が進行すると考えられる。そこで，この膜状構造の形成を促す主要因を追究するために，天日を遮断した条件で，風乾燥試料を調製し，組織構造について検討した。第1章2)において述べたように，組織構造は破断特性値に反映されることから，これまでと同様に圧縮貫入試験を行った。その応力-歪曲線(Fig.1-7)から，初期弾性率，破断応力，及び破断歪

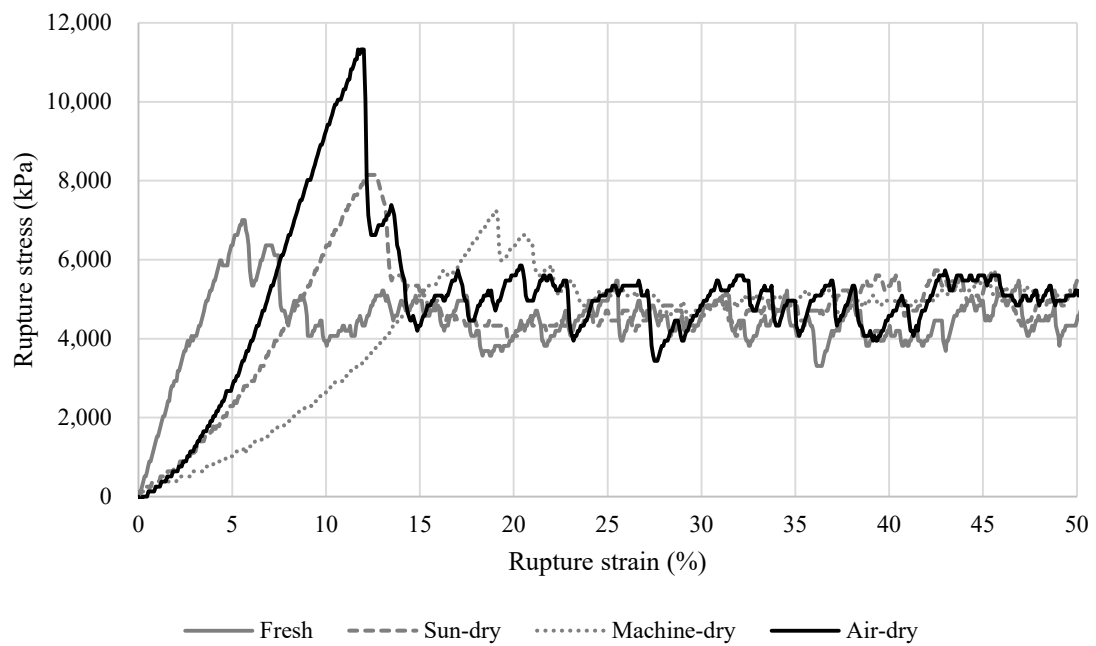


Fig.1-7. Rupture stress-strain diagram of Japanese radish samples

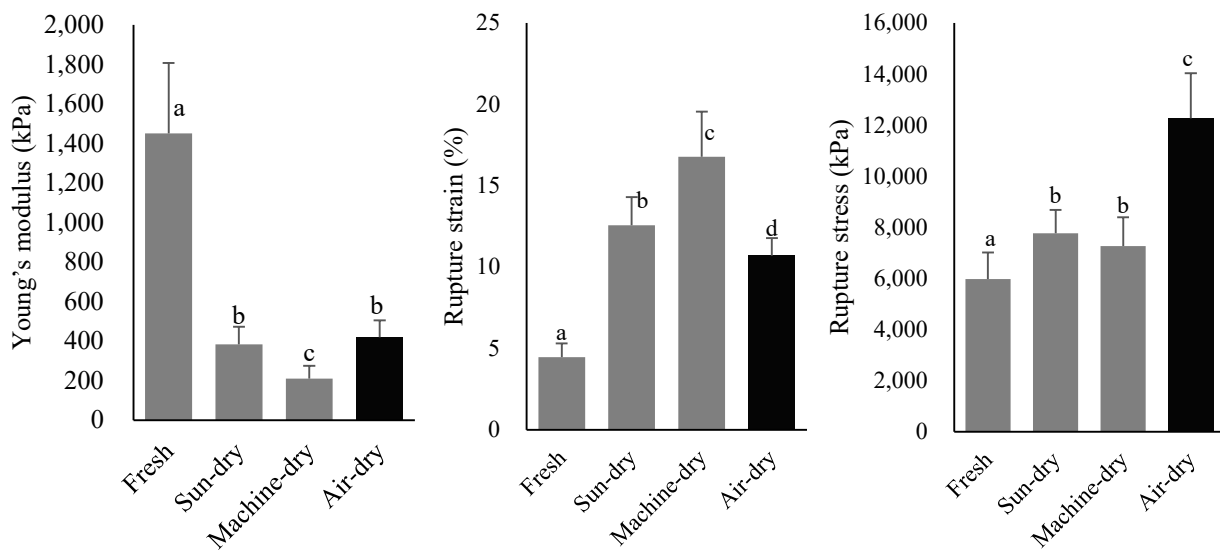


Fig.1-8. Rupture properties of Japanese radish samples

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).
($n = 8$).

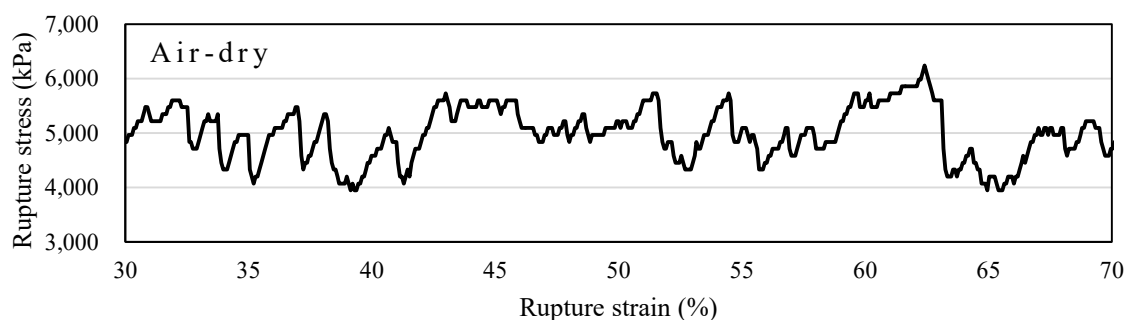


Fig.1-9. Rupture stress-strain diagram at 30 -70 % penetration of air-dried Japanese radish samples

率 (Fig.1-8) を求め、生、天日乾燥及び恒温庫乾燥試料の測定結果と比較した。

初期弾性率では風乾燥試料は天日試料と同程度の値となり、さらに破断歪率は、天日乾燥よりも生に近い値となった。表面からの圧縮貫入率 30~70%間の応力-歪曲線 (Fig.1-9) から、風乾燥試料は生および天日乾燥試料 (Fig.1-6) と類似した凹凸の大きな波形を示していたことから、内部においても生に似た組織が残っていたことが示唆された。しかし、風乾燥試料の破断応力値は天日、恒温庫乾燥よりも有意に高く最も硬くなることがわかった。風乾燥時には、輻射熱を遮断し、天日乾燥時に近い風速条件に整えたにも関わらず、恒温庫とほぼ同じ速度 (約 3.5 時間) で乾燥が進んだ。試料調製の項目 (1.2.2) に示した天日乾燥時の風速は重量減少率 30% 到達までの 30 分毎に風速を計測した平均値であるのに対し、風乾燥は一定の風速で風を試料に当てていた。これにより、風乾燥は乾燥開始時から安定して表面からの乾燥が進んだことで、天日乾燥以上に早く重量減少率 30% に到達したと推察した。そ

のため、膜状組織が密に形成され、表面組織を貫入させるためにより強い力を要する硬い組織となったと考えられる。

これらのことから、天日乾燥試料の構造を形成させる主要因は、風により表面組織の乾燥が早く進行することであると考ええる。風乾燥で天日と同様の構造を形成させることが可能であれば、過程においても良質な半乾燥野菜を調製できる。しかし、本研究においては調理後に、天日乾燥試料と同様の基礎特性が発現するかは確認できていないため、今後さらに検討する必要がある。

1.4 小括

半乾燥野菜の良好な品質特性が生ずる仕組みを探るため、ダイコンの生及び各半乾燥試料を SEM 観察により比較すると共に、物性値から半乾燥処理による組織構造の相違を検討し、以下の結果が得られた。

- 1)SEM を用いて組織を観察すると、恒温庫乾燥試料では細胞が均一に萎れていた。しかし天日乾燥試料では、表面に細胞が平らに潰れた膜状の組織が形成されていた。
- 2)ダイコン試料の物性試験の結果から、天日乾燥試料は、恒温庫乾燥試料よりも初期弾性率が高く、破断歪率が低くなり、生試料に値は近いものの、生試料と比較して破断応力が高くなった。これは、組織観察で確認された天日乾燥試料の膜状組織が破断特性値に反映しているものと考えた。
- 3)輻射熱を遮断して風乾燥による組織構造の変化を物性から検討した結果、風乾燥試料は天日乾燥に近い破断特性値を示

し，風乾燥試料においても膜状組織の形成が示唆されたことから，この構造形成を促す主要因は風乾燥であることが考えられた。

4)天日乾燥試料の膜状組織形成には，試料内部の水分の拡散を助長しない温度管理とともに，表面のみ乾燥を促す程度の風が必要条件となると考える。さらに，天日乾燥試料は生に類似した組織が内部にあることから，水戻しをせずに生と同様に調理に用いることが可能であると考えた。

第 2 章 生及び半乾燥試料における機能性と組織構造の関係

2.1 はじめに

野菜摂取量の増加が健康増進に寄与する理由は，食物繊維，カリウム，及び抗酸化ビタミンの摂取量を増やすことにある。特に抗酸化ビタミンの抗酸化能は，現代社会において過剰に発生しやすい活性酸素を捕捉，安定化させる能力である。

酸素があれば必ず活性酸素が発生し，活性酸素は生体の殺菌消毒など自身を防御する働きがあるが，過剰になると生体にとって毒性を示す。そのため，生体には活性酸素を無毒化する防御機構(抗酸化能)が備わっている。しかし，活性酸素は紫外線，電磁波，たばこなどの生体外要因や，過激な運動，強いストレスなどの生体内要因により容易に発生する。そのため，現代社会において活性酸素は過剰になりやすく，生体が持つ抗酸化能だけでは無毒化しきれずに様々な疾病の原因となっている³²⁾。そこで，ヒトの防御機能だけではなく，食品から抗酸化能を持つ成分を摂取することが重要となっている。

このように活性酸素が多くての疾病の発症，増悪の原因となることから，調理過程における食品の抗酸化能の損失を抑制することは疾病予防の一助となる。

これまでに，乾燥という加工方法により，食品の抗酸化ビタミンが破壊されることが報告されている¹⁹⁾。しかし既報¹⁾に示すように，茹で加熱した半乾燥試料の抗酸化能は，天日乾燥試料において生試料よりも高くなる結果が得られた。その要因として，茹で加熱過程における各試料からの抗酸化成

分の損失状態に相違があると推察された。

そこで、第 2 章では、茹でる前の半乾燥試料の抗酸化能を測定し、既報の結果と比較することで、原因を追究することとした。

なお、既報で得られた乾燥方法別の基礎特性の違いと¹⁾、第 1 部第 1 章の結果より、半乾燥処理として天日乾燥法が優れていることがわかった。そこで本章では生試料と天日乾燥試料を比較した。

2.2 実験方法

2.2.1 実験材料

1.2.1 の試料と同様にダイコン(青首ダイコン，千葉県産：2~5 月に購入)を用いた。

2.2.2 試料調製

1.2.2 のダイコン試料の調製と同様に，1 本の大根から円柱状の試料 3 つを切り出して 1 試料とし，生及び天日乾燥ダイコン試料をそれぞれ調製した。各試料は-80℃の超低温フリーザ(三洋電機製，MDF-U482)内で予備凍結後，凍結乾燥機(ヤマト科学製，DC800)を用いて-80℃で 48 時間の凍結乾燥処理後粉砕し，凍結乾燥粉末試料とした。これを 0.2 g 採取して 70v/v%エタノール 20 mL を加え，加熱還流法を用いて 37℃で 30 分間抽出した。得られた各抽出液を 0.45 μ m のフィルターでろ過し，抗酸化能の測定用試料とした。

2.2.3 測定方法

1)半乾燥ダイコン試料の抗酸化能(ペルオキシラジカル捕捉活性)の測定

測定は既報³³⁾に準じて、ラジカル発生基剤の 2, 2-アゾビス(2-アミジノプロパン)二塩酸塩(AAPH)を用いた化学発光(AAPH-CL)法³⁴⁾により、活性酸素ペルオキシラジカルの捕捉活性を求め、試料の抗酸化能を評価した。

ペルオキシラジカルの発生に由来する発光値は、ルミテスター(キッコーマン(株)製, LUMITESTER C-100)により測定した。コントロールである 0.1M リン酸緩衝液(pH7.0)の発光ピーク値を 1/2 にする上記各試料液濃度(%)を IC₅₀ 値と定義し、この数値から各試料の抗酸化能を評価した。つまり、IC₅₀ 値が小さいほどペルオキシラジカル捕捉活性(抗酸化能)が大きいことを示している。

2)統計処理

測定は 4 回繰り返し、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の検定は、2 試料の比較の場合はエクセル関数にて対応のない t 検定とし、有意水準を 5 %未満とした。

2.3 結果及び考察

1)半乾燥ダイコンのペルオキシラジカル捕捉活性

既報¹⁾では、ダイコンの茹で生試料及び茹で半乾燥試料(天日及び恒温庫)の抗酸化能を比較し、茹で天日乾燥試料の抗酸化能は茹で生試料に比べて有意に高くなることを明らかにした。その原因は第 1 章の SEM 写真で観察されたように、表面に形成された膜状組織により成分の流出が抑制されたためであると考えられた。そこで、今回は茹で加熱前の生試料を対照に、天日乾燥させたダイコン試料のペルオキシラジカル捕捉活性を測定し比較した(Fig.1-10)。その結果、生試料の IC₅₀

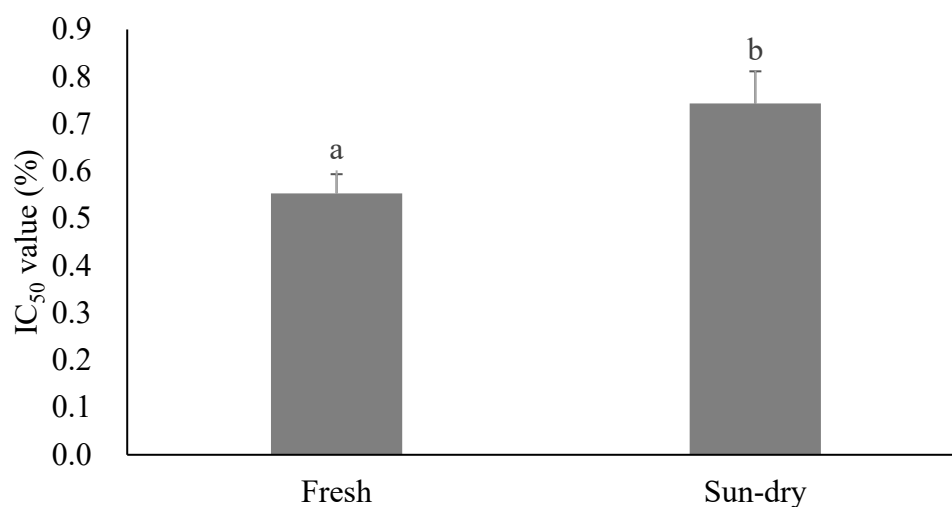


Fig.1-10. Comparison between two types of Japanese radish samples in the antioxidant activity

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).
Values represent mean \pm SD (n = 4).

値は $0.55 \pm 0.04\%$ に対して天日乾燥試料の IC_{50} 値は $0.74 \pm 0.07\%$ となり抗酸化能は有意に低くなっていた。

加熱前に半乾燥試料の抗酸化能が生試料より低くなったのは、ダイコンの主要抗酸化成分であるビタミン C の減少が要因として考えられる。ビタミン C は分解されやすく、生ダイコンでは 21 mg/100 g であるのに対し、100g の生ダイコンを乾燥させた切り干しダイコンでは 1.71 mg/5.91 g と、乾燥の工程で約 90% 以下にまで分解される³⁵⁾。今回は、重量減少率 30% の半乾燥試料であり、分解の程度は少ないと予測されるがビタミン C 含量の低下が推察される。

一方、茹で加熱後は生試料よりも天日乾燥試料の抗酸化能が高くなった¹⁾。茹で加熱では、水溶性成分の損失が大きく、茹で汁に成分が溶出しやすい³⁶⁾。ビタミン C も水溶性であ

ることから，茹で加熱中に各試料から溶出することが考えられる。しかし，茹で加熱前後の生試料及び天日乾燥試料の抗酸化能の高低関係は逆転していたことから，天日乾燥による表面の組織構造の変化(膜状組織の形成)が，茹で水中への成分の溶出を抑制したのではないかと推察された。

このことから SEM 観察から明らかとなった天日乾燥試料における膜状組織の形成は，調理過程における抗酸化成分の損失を抑制するために必要な構造変化であると考ええる。

2.4 小括

本実験で測定した茹でる前の天日乾燥試料の抗酸化能は生試料に比べて低い値であったが，既報¹⁾に示すように茹で加熱後の抗酸化能では，天日乾燥試料の方が有意に高かったことから，水溶性の抗酸化成分の溶出が抑制されたことが要因と考えられ，これには天日乾燥試料で形成された膜状組織が関与することが推察された。

第 3 章 半乾燥カボチャの組織構造変化の推察

3.1 はじめに

本研究の第 1 章において半乾燥ダイコンの組織構造を観察し，これまでの研究で最適な乾燥方法とされた天日乾燥では表面に膜状組織が形成されていることがわかった。そして，その変化は物性試験からも推察可能であることを述べた。

そこで，第 3 章ではダイコンと同様に茹で加熱調理を想定し，煮物に一般的に使用され，デンプン含量の多い野菜のモデルとしてカボチャを選択し，物性評価から組織構造の推察を行った。尚，半乾燥カボチャの基礎特性は，ダイコンと同じ傾向を示すことを既報¹⁾にて明らかにしている。

3.2 実験方法

3.2.1 実験材料

果菜類ウリ科のカボチャ(西洋カボチャ，茨城県産：6~8 月に購入)を試料とした。各試料は都内のスーパーで実験当日に購入した。

3.2.2 試料調製

試料野菜のカボチャは縦・横それぞれが約 40 mm，厚み 15 mm に切り出し，中心部を $\phi 32$ mm のアルミ製セルクル型で円柱状に抜き取った。これをカボチャ 1 つにつき 3 切れで 1 組の生試料とし，総重量を 36 ± 0.3 g に調整した。

さらに既報¹⁾に準じて，天日乾燥(直射日光下，温度 $18.0 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $21.7 \pm 2.1\%$ ，風速 1.9 ± 0.9 m/s：乾燥時間約 3.5 時間)，ならびに恒温庫乾燥(温度 60°C ：乾燥時間約 3 時間)により重量減少率 30%の半乾燥試料を調製した。

3.2.3 測定方法

1)破断試験

第 1 部第 1 章 1.2.3 測定方法 2)に示す破断測定条件と同様に，レオメーターⅡ(山電(株)製，RE2-3305C)を用いて，生及び半乾燥野菜試料の破断試験を実施した。比較した破断特性値は，破断応力，破断歪率，及び初期弾性率である。

2)統計処理

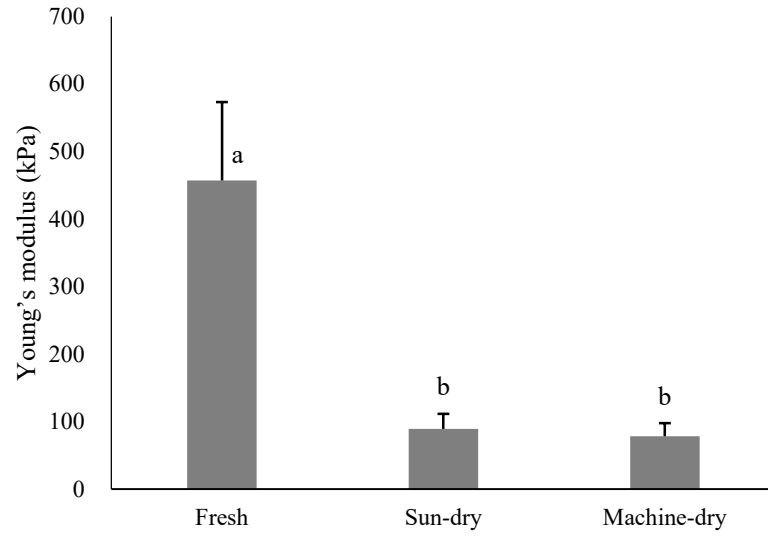
破断試験データは 4 回繰り返し，得られた値の平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の検定は，統計ソフト R(Ver.3.3.1)にて，一元配置分散分析後に多重比較 Tukey 法を用いて検定した。いずれも有意水準を 5 %未満とした。また，危険率 5%以上 10%未満の差について，有意傾向があると判定した。

3.3 結果及び考察

1)半乾燥カボチャの破断強度測定

第 1 部第 1 章の結果を受けて，物性試験からも組織構造を推察できると考え，カボチャについても破断試験を行った。Fig.1-11-(A)に示すように，生試料と比較して半乾燥試料で有意に初期弾性率が低下し，Fig.1-11- (B)では，破断歪率においても値が有意に高くなった。この物性値の相違はダイコン試料と同様であり，成分の異なるカボチャ試料の内部構造は生試料とは異なる状態になっていることが推察された。しかし，カボチャ試料では初期弾性率及び破断歪率において天日乾燥と恒温庫乾燥試料で有意差はなかった。

(A)



(B)

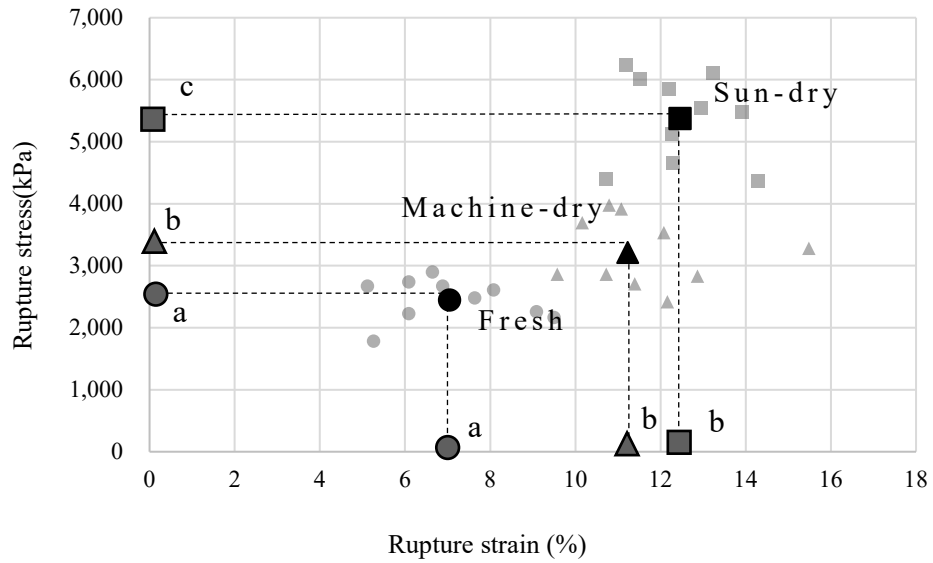


Fig.1-11. Rupture properties of pumpkin samples

● : Fresh sample, ■ : Sun-dry sample, ▲ : Machine-dry sample

(A) $E_0(\text{Pa}) = \sigma_t / \varepsilon_t$

(E_0 : Young's modulus , σ_t : Stress , ε_t : Strain)

(B) The dark figure shows the mean.

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

($n = 4$).

一方、破断応力においては、生試料よりも半乾燥試料が高く、特に天日乾燥試料では有意に値が高く硬くなっていた。(Fig.1-11-(B))。この相違は、ダイコンの天日乾燥試料の SEM 観察及び破断試験で確認された膜状組織の形成を示唆するものと思われる。恒温庫乾燥試料においてもダイコンと同様に細胞壁のペクチンの硬化が推察されるが、これに加えて、デンプン質の多い野菜は、24 時間程度の常温(20℃)保存により切断面の細胞壁で厚みが増すことから³⁷⁾、これと同程度の温度条件であった天日乾燥試料の破断応力が他の試料よりも有意に高くなったと考えた。

さらにカボチャの天日乾燥試料では、煮崩れが起きにくいことが観察された(Fig.1-12)。デンプン質の野菜は、茹で加

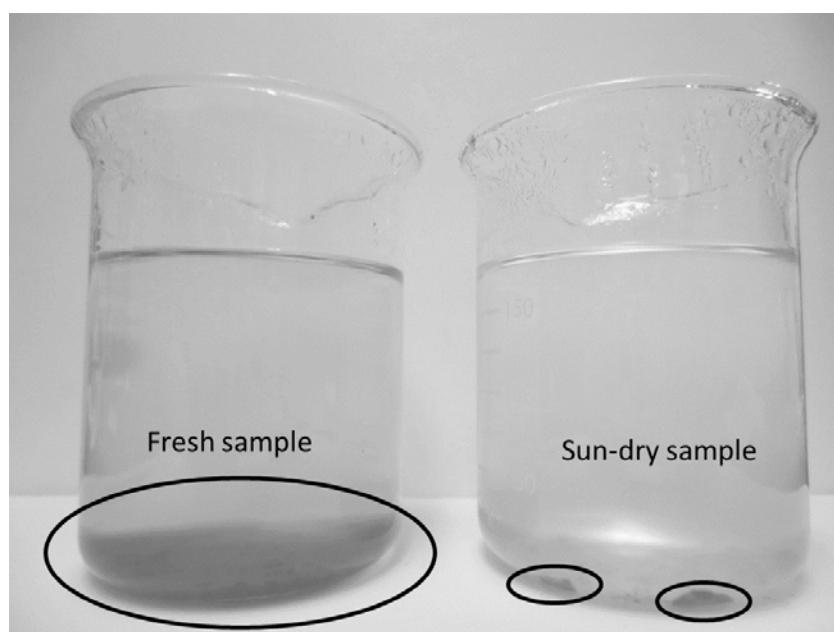


Fig.1-12. Comparison between two types of mushy pumpkins after processing boiled samples

Mushy pumpkin is shown in each circle.

熱により細胞壁及び細胞壁間をつなぐ中間組織に偏在しているペクチンが溶出し，細胞同士が分離することで煮崩れが起こる。そのため，この現象を抑制できたということは，生試料とは表面組織が異なっていることを示唆するものである。煮崩れは，食材の喫食部分を減らすことに繋がることから，煮崩れを防止するための調理手法として，通常食材の角をとる面取りという作業が必要となる。これは手間がかかるだけでなく，調理時の廃棄量を増やすことにも繋がる。そのため，天日乾燥により煮崩れが抑制されることは，調理の簡便化を図り，野菜の喫食量の増加に繋がると考える。

以上より，根菜類のダイコンだけでなく，果菜類のカボチャにおいても半乾燥試料表面の組織において，同様の膜状組織が形成されていることが推察された。

3.4 小括

カボチャを試料として物性値から半乾燥処理による組織構造の相違を検討し，以下の結果が得られた。

カボチャ試料の物性測定の結果から，天日乾燥と恒温庫乾燥試料において，初期弾性率と破断歪率は同程度だったが，破断応力が天日乾燥で有意に高くなった。これは，カボチャ試料においてもダイコン試料と同様に膜状構造が形成されていることを示唆するものである。さらに，膜状構造が形成されることで，水戻しの必要がないだけでなく，面取りをせずに茹で加熱時の煮崩れを防ぐことができるため，調理の簡便化が可能であることがわかった。

第 2 部 その他の半乾燥植物性食品の基礎特性と構造変化の推察

第 1 章 半乾燥キノコの基礎特性による良好な乾燥条件と構造変化の推察

1.1 はじめに

これまでの研究から，野菜摂取量の増加は健康増進に効果があることが明らかとなっているが^{7,8)}，野菜と同様に機能性で注目されているのがキノコである。キノコは，低エネルギー食材であり，特有の香りとうま味を有することから嗜好特性も優れている。またキノコは，抗腫瘍作用，コレステロール低下作用及び肥満抑制作用などの様々な生理機能を有しており，健康機能食品の素材としても注目が高まっている²⁶⁾。

さらに，キノコには乾燥食品も存在する。日本では古くから干しシイタケが食材として重宝され，広く調理に利用されている。干しシイタケは，単に食品を乾燥させて長期保存を可能にするだけでなく，太陽光を受けて干すことにより，ビタミン D₂ が生成することは，生とは異なる栄養学的利点である¹³⁾。これはシイタケのみならずほとんどのキノコに含まれているエルゴステロールが，日光に当たることで変化するためである³⁸⁾。しかし，現在市販されている干しシイタケはほとんどが工業的に製造された熱風乾燥品のためビタミン D₂ 含量は少ない³⁹⁾。そして乾燥野菜と同様に，干しシイタケもそのままでは食べることができず，水で戻す手間がかかる。

そのため，半乾燥野菜で良好な基礎特性が得られた天日乾

乾燥による半乾燥処理は野菜のみならず，キノコにも有効であると考えた。また，半乾燥状態であれば，乾燥による上記付加価値を高めるとともに，下処理なしで生と同様に調理に利用できるのではないかと予測した。

本章では，キノコを既報¹⁾と同様に天日乾燥法及び恒温庫乾燥法にて半乾燥処理し，茹でた調理品の品質と機能性を評価した。さらに，第1部で検討したように，キノコの天日乾燥試料においても茹で汁への各種成分の溶出が抑制されているのではないかと考えた。そこで，キノコ本体だけではなく茹で加熱後の茹で汁についても，色度及び抗酸化能測定を行い，成分の溶出状態を推察することとした。これらの結果から，半乾燥野菜と同様にキノコにおいても，天日乾燥処理により良好な基礎特性が得られるかを追求するとともに，最適な乾燥条件を検討した。

1.2 実験方法

1.2.1 実験材料

都内小売店で市販されている北海道産シイタケ(学名 *Lentinula edodes*)，長野県産ブナシメジ(学名 *Hypsizygus marmoreus*，以下”シメジ”)及び新潟県産マイタケ(学名 *Grifola frondosa*)を，3~6月の期間で購入し，実験に用いた。

1.2.2 試料調製

シイタケは柄及び石突部分を，シメジとマイタケは石突部分のみを除去した。各試料の総重量を 30.0 ± 0.1 g に調整し，これを基準の生試料とした。キノコの乾燥方法は，天日乾燥法(平均温度 23℃，平均湿度 40%)と恒温庫乾燥法(ヤマト科学

(株)VD600, 庫内温度 60℃)とともに, 既報¹⁾に準じて, 重量減少率 30%(30%試料)及び 50%(50%試料)になるまでの平均乾燥時間を算出し, それぞれの乾燥条件とした。

上記条件にて調製した半乾燥各キノコ試料は, ϕ 140 mm の片手鍋を用いて, 200 mL の沸騰水中で茹で加熱した。加熱の終点は, 試料の中心内部温度 98℃到達時までの時間を 3 回測定した平均時間とした。また茹で汁試料は, 茹で加熱後にキノコを除き, 茹で汁をろ過したものを 200 mL に調整し測定用試料とした。

1.2.3 測定方法

1)重量減少率の経時変化

基準の生試料を対照とし, 天日乾燥と恒温庫乾燥試料の 1 時間ごとの重量減少率の経時変化を追跡した。なお, 天日乾燥は大学校舎屋上にて行った。その際にはネット(形状 400×400×550 mm, 既成の魚干し網)を用い, 直射日光下で 1 日 8 時間(9 時-17 時)乾燥させた。それ以外の時間はラップで試料を包み, これをチャック付ビニール袋に入れて 7℃(冷蔵庫野菜室)で保存し, 3 日連続で乾燥をさせた。

2)茹で加熱による重量及び形状の変化

各キノコ試料の乾燥前(生), 乾燥後, 及び茹で加熱後の重量を測定した。さらに, 画像解析ソフト Image J⁴⁰⁾(アメリカ国立衛生研究所製)を用いて, 各試料の平面スキャン画像からその面積を測定し, 各試料の乾燥及び加熱による重量及び形状の変化について比較検討した。

3)におい識別測定

特有のにおいを有するマイタケについては、におい識別装置(㈱島津製作所製, FF-2A) と解析ソフトウェア(㈱島津製作所製, Asmell)を使用し、絶対値表現解析の手法により各試料の”におい”を総合的に捉え数値化した⁴¹⁾。測定には重量減少率の異なる茹で加熱試料を用いた。それぞれを 5.0 g ずつ計りとり、測定用のサンプルバックの中に入れ、窒素を充填して室温に 1 時間放置後、バック内に充填した窒素を新しいサンプルバックへ移し、測定に供した。

9 種のガス(硫化水素系, 硫黄系, アンモニア, アミン系, 有機酸系, アルデヒド系, エステル系, 芳香族系, 炭化水素系)を基準ガスとして用いて解析評価した。

解析項目は、基準ガスと測定データのパターンの類似性を 0~100% で表した[類似度]と、試料の”におい”の強さの評価に[臭気指数相当値]を用いた。[臭気指数相当値]とは、”におい”を何倍希釈すると無臭になるかを指数で定義した値である。

4) アミノ酸含量の測定

(1) 試料調製: 各茹で試料を凍結乾燥後粉砕し、この中の 0.1 g を採取して純水 10 mL を加え、37℃で 30 分間加熱抽出した。

(2) アミノ酸含量の測定: アミノ酸分析は Bidlingmeyer らの方法⁴²⁾を若干改変した方法により行った^{43,44)}。アミノ酸分析用の水抽出液を PITC プレカラム法により誘導体化した後、高速液体クロマトグラフ装置(SHIMADZU, LC-20AT, LC-20Ai, SPD-20AV, SPD-20AVi)を用いた。カラムは, LiChro CART 250-4.0 column (関東化学)を使用した。標準液はアミノ酸混合標準液 H 型(和光純薬工業㈱製)を使用し、遊離アミノ酸 17 種を

定量測定した。

5) ビタミン D₂ の測定

(1) 試料調製：4)(1)の凍結乾燥試料をそれぞれ 0.2 g 採取し，固相抽出及び LC/MS を用いた迅速分析法⁴⁵⁾により抽出及び測定を実施した。

(2) ビタミン D₂ 含量の測定：高速液体クロマトグラフ装置(東ソー製 CCPM2 ポンプ，資生堂製 SI-2 蛍光分光光度計検出器)で測定した。カラムは，ジューエルサイエンス製 ODS カラム Inertsil ODS-3(φ 2.0×250 mm)を使用した。

6) 化学発光(AAPH-CL)法によるペルオキシラジカル捕捉活性の測定

(1) 試料調製：第 1 部 2.2.2 試料調製と同様に行い，抽出溶媒は 70 v/v% エタノール 20 mL と超純水 20 mL を用いた。

(2) 抗酸化能の測定方法：第 1 部 2.2.3 と同様に行った。

7) 茹で汁の色度測定と抗酸化能測定

(1) 色度測定

色度は測色色差計(日本電色工業製，ZE6000)を用いて，透過測定を行った。測定値は，L*a*b*表色系の色度図を用いて示した。これは無彩色の座標が a*=0，b*=0 で示され，a*は+(プラス)方向で赤，対極の-(マイナス)方向で緑，b*は+(プラス)方向で黄，-(マイナス)方向で青となり，絶対値の数値が大きくなるほど鮮やかさが増す。また，a*-b*平面に直交した L*軸は透過度を示しており，数値が 100 に近いほど透過し，0 に近いほど混濁している。そして 2 色の平均値の座標間距離で色差($\Delta E^* = \{ (L^* - L^*)^2 + (a^* - a^*)^2 + (b^* - b^*)^2 \}^{1/2}$)の大きさを比較

した。

(2)抗酸化能測定

第 1 部 2.2.3 測定方法と同様に行った。

8)官能評価

パネルは官能評価の授業を受けた本学栄養学専攻の学生 31 名(21±1 歳：女子)とした。官能評価用試料には，4)のアミノ酸含量の測定結果から含量が多かった試料を用いることにした。生試料ならびに，恒温庫及び天日乾燥の重量減少率 50%の茹で加熱試料について，5 段階評点法による官能評価を実施した。5 段階評点法での評価項目は，色，香り，硬さ，歯触り，味，総合評価とし，特に味に関しては，総合的な味とうま味について分け，7 項目とした。

9)統計処理

得られた値の平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の検定は，2 試料の比較の場合はエクセル関数にて対応のない t 検定とした。また，3 試料以上の場合は統計ソフト R(Ver.3.1.2)にて，一元配置分散分析後，多重比較 Tukey 法を用いて検定し，有意水準を 5 %未満とした。また，危険率 5%以上 10%未満の差について，有意傾向があると判定した。

1.3 結果及び考察

1)重量変化率の経時変化

乾燥法の異なる各キノコ試料の重量減少率の経時変化を乾燥曲線として Fig.2-1 に示した。キノコの種類別でみると，シメジ，マイタケは重量減少率が大で乾燥が速く進み，シイタケでは遅かった。キノコは，水分の蒸発が試料の表面で生じ

るため ⁴⁶⁾，表面積が大であるシメジ，マイタケで乾燥時間が

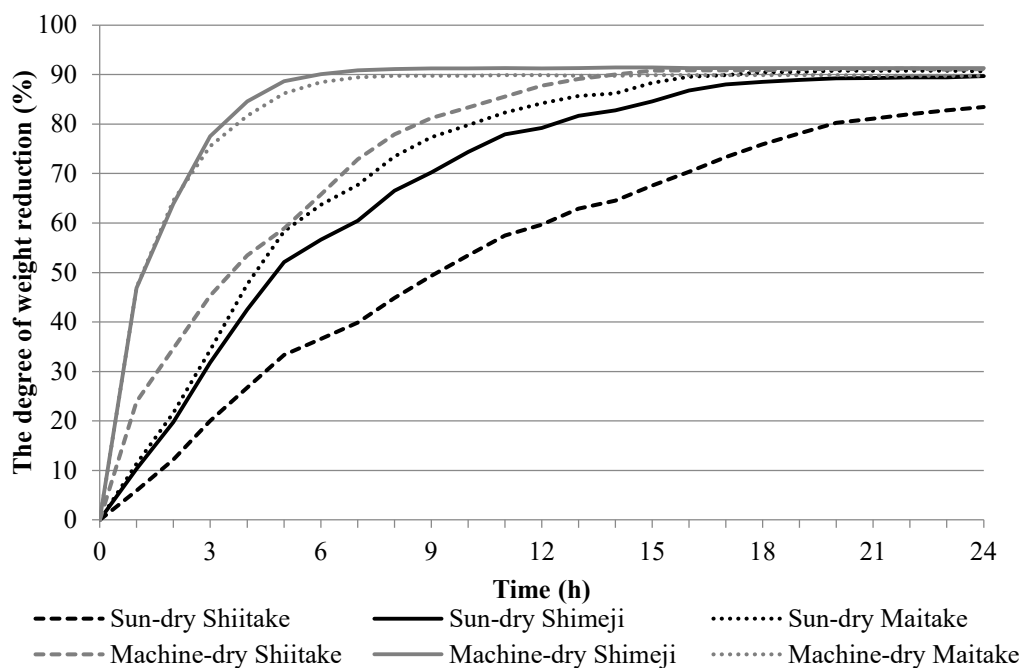


Fig.2-1. Temporal changes in the degree of decrease in weight of various mushroom samples by each drying treatment (n=3)

Table 2-1. Drying time (h) of mushroom samples determined from weight reduction curves given in figure 2-1

Rate of weight decrease	Sun drying		Machine drying	
	30 %	50 %	30 %	50 %
Shiitake	4.6	9.1	1.8	3.5
Shimeji	2.9	4.8	0.5	1.2
Maitake	2.7	4.3	0.5	1.2

Numbers indicate hours (n=3).

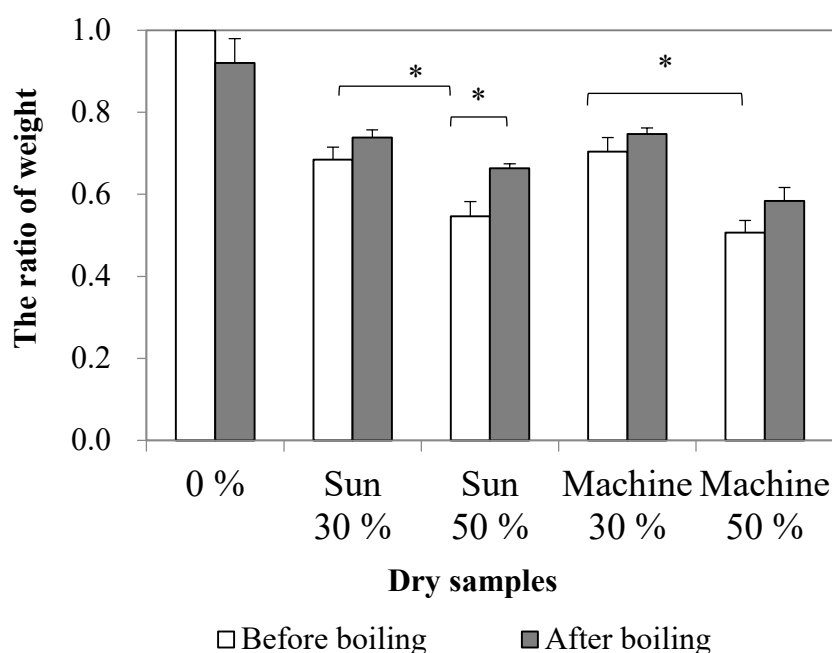


Fig.2-2. Comparison of the weight before and after boiling treatments of Shiitake samples with different drying processes

* : Significant difference ($p < 0.05$).

Significant differences among the boiled standard sample and the other samples are $p < 0.05$.

This figure represents the weight ratio of each sample to the non-dry sample.

Each value is mean \pm SD (n=6).

短くなったと考えられた。また，乾燥法の違いでは，キノコの種類に関係なく，温度の高い恒温庫で乾燥速度が早かった。

これらの乾燥曲線の実測値から，Table 2-1 に示すように各試料及び乾燥法別に 30%試料及び 50%試料調製時の乾燥時間を決定し，以後の測定実験用試料の調製条件とした。

2) 茹で加熱による重量及び形状の変化

茹で加熱後，茹で汁とキノコ試料はガーゼで漉し分け，キノコ各試料はガーゼに乗せたまま皿の上に移動させ，室温に

なるまで約 15 分放置した。得られた結果の中から、シイタケ各試料の乾燥及び茹で加熱による重量変化を Fig.2-2 に示した。半乾燥試料は、乾燥法及び乾燥時間に関わらず、茹で加熱後の重量は生試料のそれに比べて軽くなった。これは、乾燥により組織が脆弱化、もしくは損傷した状態となり、茹で加熱を行うことで水が組織内に保持できなかったためと考えられる。また、平面スキャン画像から求めたシイタケ各試料の面積の測定結果を Fig.2-3 に示した。この結果から、いずれの試料においても、乾燥後よりも茹で加熱後で平面面積は減少した。

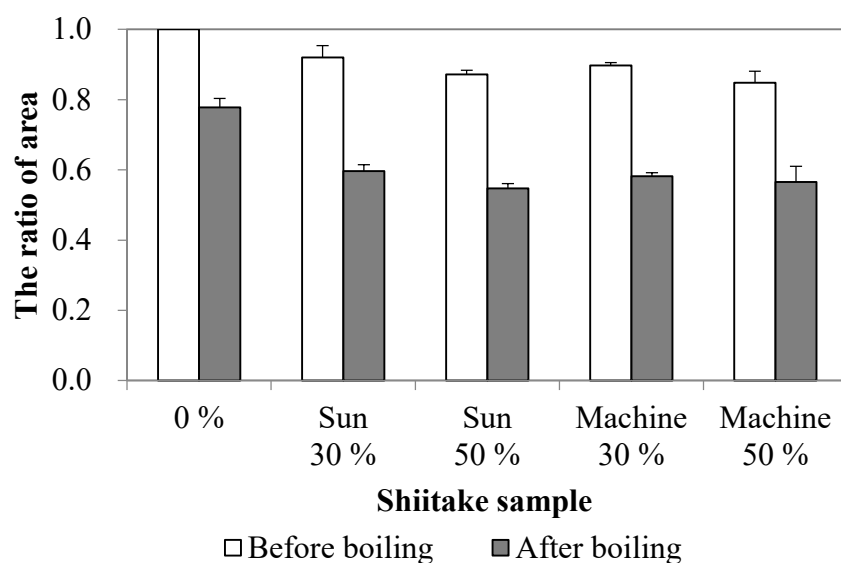


Fig.2-3. Comparison of the apparent area rate before and after boiling treatments of Shiitake samples with different drying process

Significant differences among the boiled standard sample and the other boiled samples are $p < 0.05$.

Boiled before and after in all the dried sample: Significant difference ($p < 0.05$).

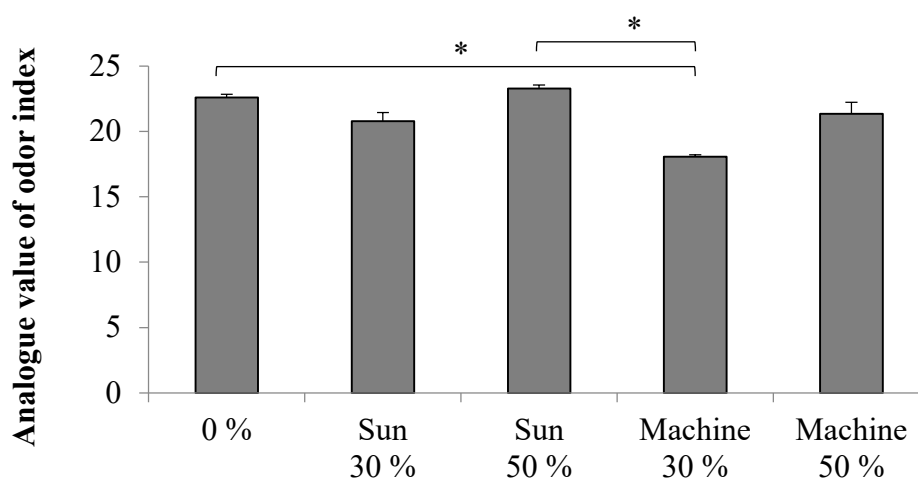
Values shown in the figure is represented by the area ratio of each sample to the non-dry sample.

Each value is mean \pm SD (n=3).

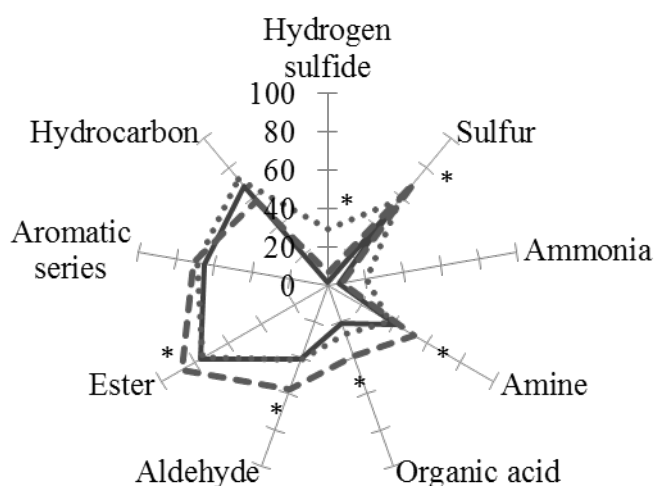
これは、乾燥ならびに茹で加熱による組織の変化が原因だと考えられた。乾燥時には、脱水により細胞が膨圧を失い、細胞壁と細胞膜が剥離して原形質分離を起こす。そのため乾燥した箇所の細胞は、膨圧を失い形状が崩壊したのではないかと推察される⁴⁷⁾。これらのことから、乾燥なしの生試料よりも各乾燥試料の方が茹で加熱後面積が小さくなったのは、試料中の脱水が起きた細胞において、細胞膜、細胞壁共に変性・縮小化したためと推察される。

3) 半乾燥によるにおいの変化

”におい”の強さの指標とした [臭気指数相当値] の結果を、マイタケ試料を例にして Fig.2-4-(A) に示した。半乾燥処理後茹で加熱した試料は、キノコの種類に関わらず、30%乾燥させることで”におい”は一旦弱くなり、その後 50%まで乾燥が進むことで”におい”が強くなる傾向が見られた。また、各基準ガスとの類似性で”におい”の質を表した [類似度] (Fig.2-4(B)) から、50%試料の”におい”の強さ (臭気指数相当値) は生試料と同程度であっても、9種ガスのダイアグラムの形状が異なり、半乾燥試料では、”におい”の質の変化が見られた。本来、乾燥処理では保存性や輸送性を優先させるため、製品の成分や組織の不可逆的な変化が起きて復元性が悪く、全く別の新しい加工品となると言われている⁴⁸⁾。これらのことから、半乾燥処理でもこれらの不可逆的な変化が生じ、”におい”の質の変化に関与したのではないかと推察される。



(A) Odor strength



(B) Odor quality

— 0 % - - - Sun 50 % Machine 50 %

Fig.2-4. Comparison of (A) the odor strength and (B) the odor quality of boiled Maitake samples during different drying process.

(A) *: Significant difference ($p < 0.05$, $n=3$).

Each value is mean \pm SD.

(B) *: Significant difference to the standard (0 % weight loss) sample ($p < 0.05$, $n=3$).

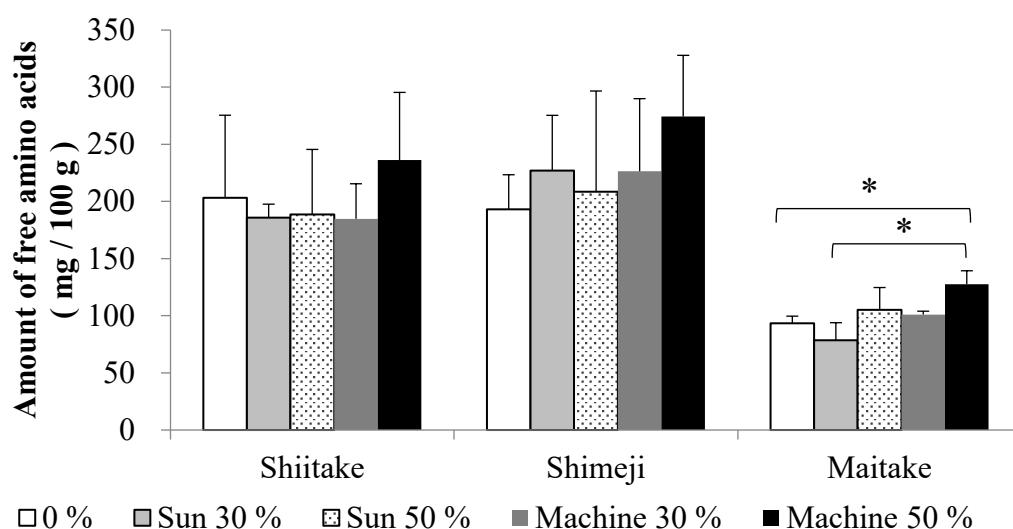


Fig.2-5. Amount of free amino acids of the boiled mushroom samples after different drying processes

*: Significant difference ($p < 0.05$).

Each value is mean \pm SD (n=3).

4) 半乾燥キノコのアミノ酸量

茹で加熱試料の遊離アミノ酸 17 種を測定し、それを合わせたものを総量として Fig.2-5 に示した。また、数値は生重量 100 g あたりに換算した値を示した。キノコ 3 種の試料のうち、マイタケ試料において、生試料に対し、恒温庫乾燥法による 50 %試料の遊離アミノ酸総量は有意に増加した。

そこで、測定したアミノ酸のうち、アスパラギン酸、スレオニン、セリン、グルタミン酸、プロリン、グリシン、アラニンを「甘味及びうま味を強く感じるアミノ酸」群とし、バリン、メチオニン、イソロイシン、ロイシン、チロシン、フェニルアラニン、ヒスチジン、アルギニンを「苦味を強く感じるアミノ酸」群として分類し⁴⁹⁾、有意差のみられたマイタ

ケ試料について Fig.2-6 に示した。これらの結果から，恒温庫

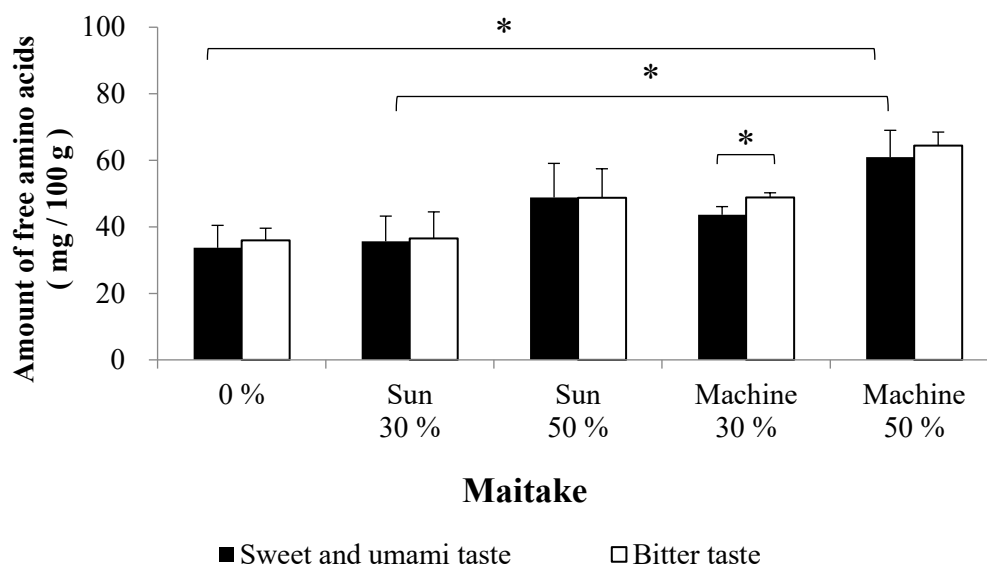


Fig.2-6. Amount of free amino acids divided by the taste of the boiled Maitake samples during different drying processes

Free amino acids with umami and sweet taste: Aspartic acid, threonine, serine, glutamic acid, proline, glycine and alanine.

Free amino acids with bitter taste: Valine, methionine, isoleucine, leucine, tyrosine, phenylalanine, histidine and arginine.

*: Significant difference ($p < 0.05$).

bitter taste: Significant differences among the boiled Machine 50% sample and the other samples are $p < 0.05$.

Each value is mean \pm SD (n=3).

乾燥試料ではアミノ酸の総量は増加するものの，苦味を感じるアミノ酸群が比較的多くなることが推察された。

また，乾物の干しシイタケは過度の水戻しを行うことで，苦味が強くなり嗜好性を低下させてしまう⁵⁰⁾ことから，水戻し操作をせずにそのまま調理に使用することができる半乾

乾燥処理は、キノコに適した加工手法であると考えた。

なお、キノコの代表的なうま味成分としてのグアニル酸は、乾燥物の水戻し後の加熱や生シイタケの昇温加熱により増加することが報告されている^{51,52)}。本研究では測定していないが、今回の半乾燥各キノコ試料を、水戻しはせずに茹で加熱処理を行っていることから、生と同程度のグアニル酸量であることが推察された。

5)半乾燥キノコのビタミン D₂ の変化

ビタミン D₂ を測定した結果、測定キノコ試料のビタミン D₂ 含有量は、個体差が大であった。栽培中や収穫後でも、日光照射によりエルゴステロールからビタミン D₂ が生成する。さらに、わずかな日光照射でもビタミン D₂ は生成され、含有量に差が生じ、個体差が大きくなる⁵³⁾と言われている。そのため、Fig.2-7 には生試料を 1 としたときの各試料の D₂ 含量の変化率を算出し、その平均値を示した。

いずれのキノコも生試料に対して有意差は認められなかった。マイタケの天日試料ではビタミン D₂ の増加傾向 ($p<0.1$) が見られたが、シメジではいずれの乾燥方法においてもほぼ変化が見られず、シイタケでは有意差が認められなかった。天日によりビタミン D₂ が生成されるのは、日光中の有効紫外線によるエルゴステロールの光化学反応によるものである⁵⁴⁾。本来、シイタケはエルゴステロールの存在が認められ、菌傘側よりも菌褶(キノコの傘の裏側ひだ状部)側の方において重量当たりの含量が多い⁵⁵⁾。本実験のシイタケ試料の乾燥は菌褶を上向きにして行っただが、試料調製で重量のみを統一

し菌褶の面積については考慮しなかったために、ビタミン D₂ の生

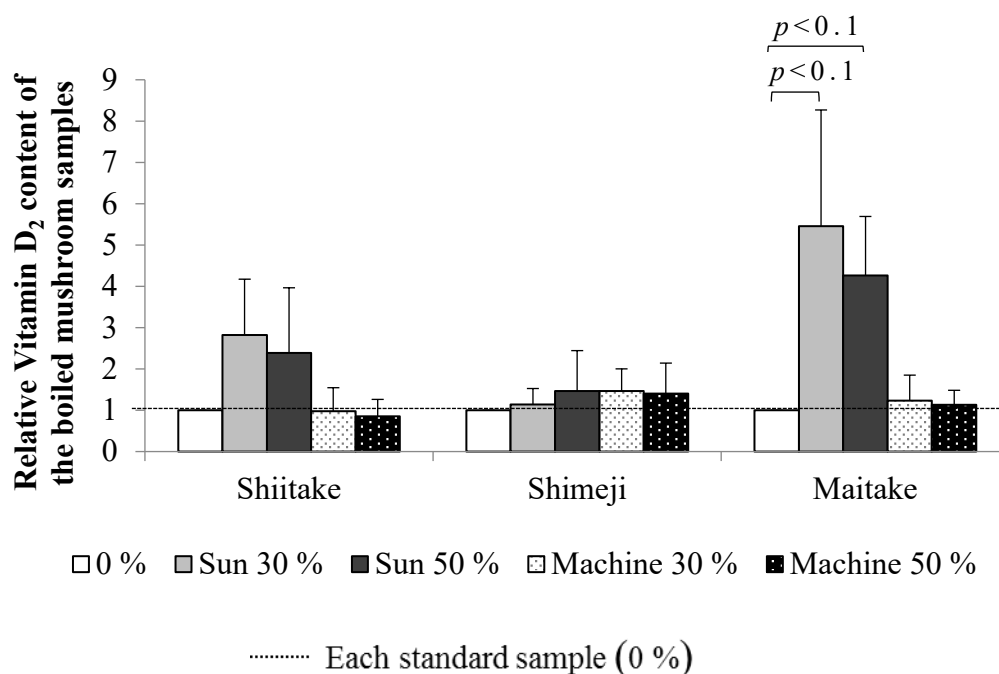


Fig.2-7. Relative Amount of vitamin D₂ of the boiled mushroom samples after different drying processes

This figure represents vitamin D₂ ratio of each sample to the non-dry sample.

Each value is mean ± SD (n=3).

成量にバラつきが生じ、偏差が大となり有意差が認められなかったものとする。

本測定結果から、マイタケ中にもエルゴステロールが存在することが推察された。しかし、シメジにはほとんど含有されない、もしくは日光照射部分に存在していない可能性が考えられた。

6) ペルオキシラジカル捕捉活性による抗酸化能の評価

化学発光法によるペルオキシラジカル捕捉活性の結果を

Fig.2-8 に示す。水，及び 70v/v%エタノール抽出試料において同様の傾向が見られたため，本報では 70v/v%エタノール

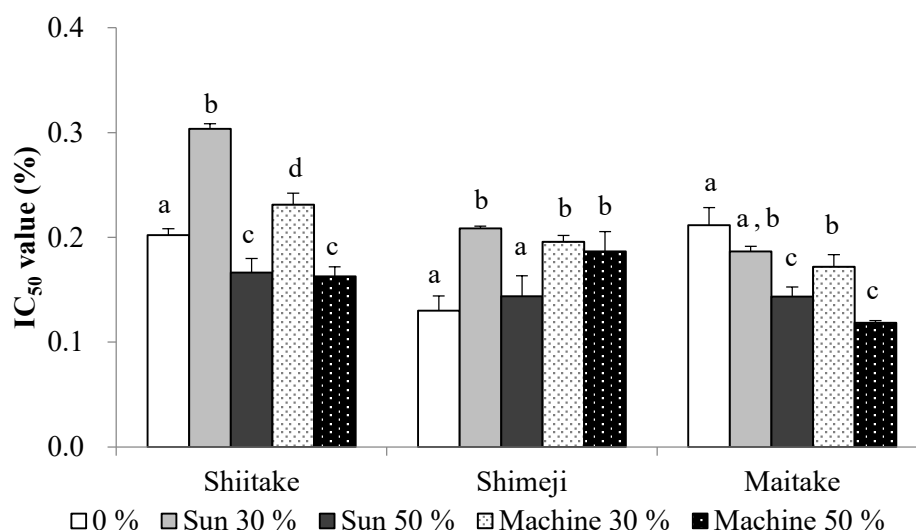


Fig.2-8. Peroxyl radical scavenging activity of boiled mushroom samples during different drying processes

Each sample is extracted by 70v/v% ethanol solution.

Different letters within each mushroom sample indicate significant difference ($p < 0.05$, $n=3$).

抽出試料の結果を示している。シイタケ及びシメジ試料では，いずれの抽出液においても，重量減少率 30%で抗酸化能は低下した。さらに，天日乾燥による重量減少率 50%試料では，いずれの試料においても抗酸化能が生試料と同程度もしくは高くなった。これには，半乾燥野菜と類似した膜状組織の形成が考えられた。しかし，天日乾燥だけではなく恒温庫乾燥も高くなっていた。キノコは，形状の個体差が大きく，表面積も野菜より大きいと考えられ，これは半乾燥野菜調製時と比べて乾燥速度が早く，内部の水分拡散よりも表面の乾燥が早く進んだと考えた。このことから，茹で加熱中でも表面組

組織は元の形に戻らず，Fig.2-3 で示したように形状は小さくなり，同時にその膜状組織により，茹で汁中へ水溶性の抗酸化成分の溶出を防ぐことができたのではないかと推察された。そのため，重量減少率 30%では，膜状組織が形成するには乾燥が不十分で一時的に抗酸化能が低下するものの，50%では試料表面の乾燥がさらに進行したため，膜状組織形成が起こり，抗酸化能が高くなった可能性がある。この推察事項の検証については，今後組織観察等で追究する予定である。シメジ試料においては，天日 50 %試料が生試料と同等の抗酸化能を示した以外は，他の試料に抗酸化能の向上は認められなかった。

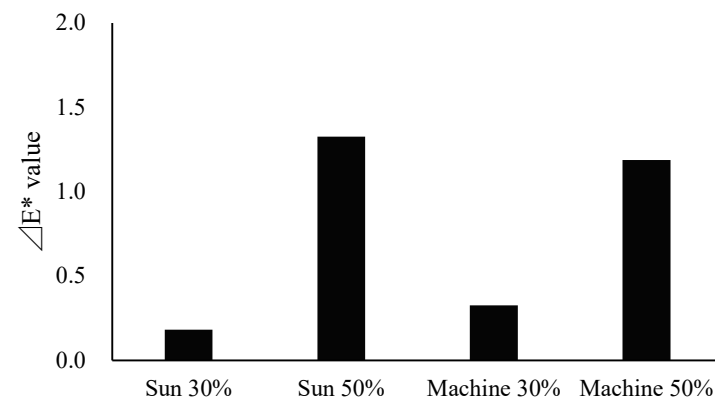
以上より，キノコ類に高い抗酸化能を期待する場合には，シイタケ及びマイタケの天日及び恒温庫乾燥試料共に 50%試料が煮物用食材として適すると推察された。

7)茹で汁の色度測定と抗酸化能測定

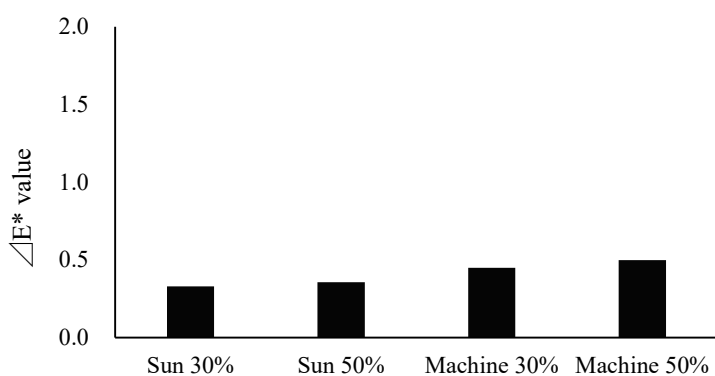
(1)茹で汁の色度測定

各キノコ試料の茹で汁の透過測定の結果を Fig.2-9, 2-10 に示した。Fig.2-9 は各半乾燥試料と生試料の色の差を示す色差 (ΔE^* 値)を示し，シイタケ及びマイタケ試料の重量減少率 50%試料において色差が大きく，目視でもわかるほどの差が認められた。色差の根拠となる色の変化を $L^*a^*b^*$ 表色系の色度図を用いて Fig.2-10 に示した。その結果，色差が大きかったシイタケでは，天日乾燥試料は明度が高くなるが，恒温庫乾燥試料では明度が低くなっていた。このことは，天日乾燥試料では茹で汁への色素成分の溶出が抑制されていたことを

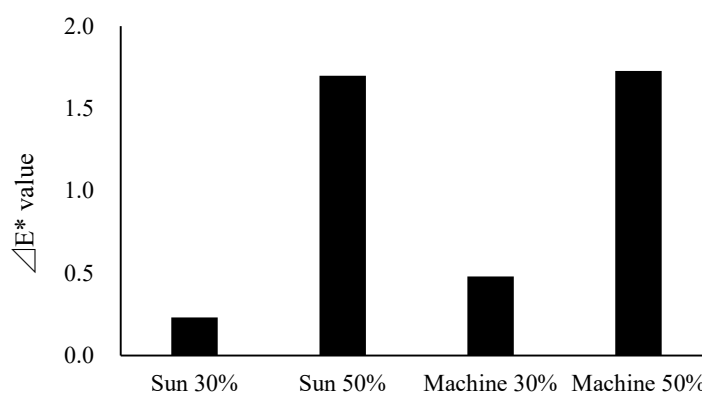
示唆している。これは第 1 部で述べた天日乾燥野菜の結果と色素成分の溶出を抑制したのではないかと考えた。



Shiitake



Shimeji



Maitake

Fig.2-9. Comparing the color change of boiled soup prepared from each mushroom samples during the different drying processes

Values shown in the figure represent the difference in color of each sample with that of the non-dry (0%) sample. (n = 6)

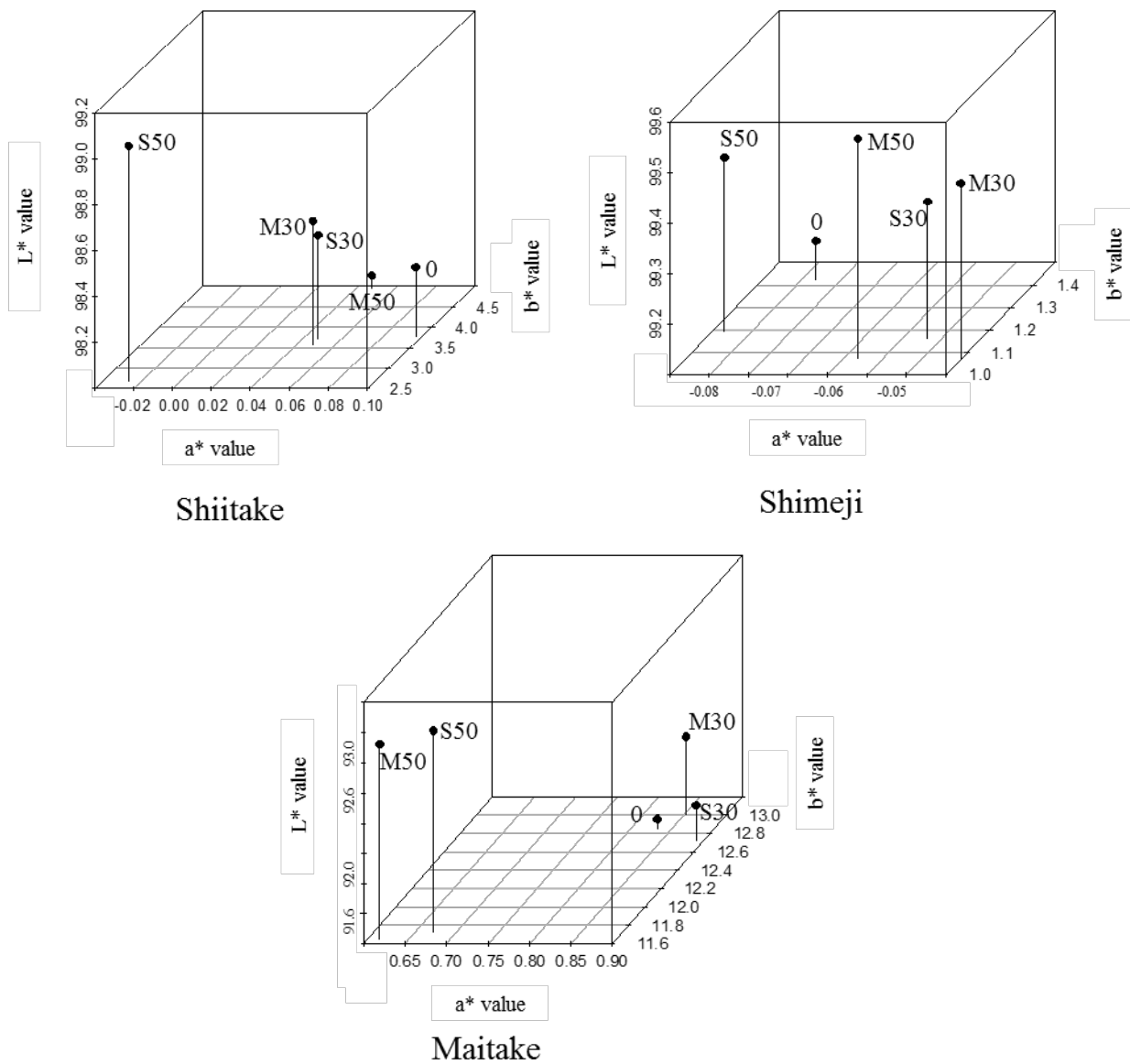


Fig.2-10. Comparison of change in the lightness, the hue, and the chroma of boiled soup prepared from each mushroom samples during the different drying processes
 0:0%, S30:Sun 30%, S50:Sun 50%, M30:Machine 30%, M50:Machine 50%
 (n = 6)

さらに，生試料との色差が顕著であったマイタケでは，天日乾燥及び恒温庫乾燥試料の重量減少率 50%の茹で汁試料で，透明度が高くなり，成分の溶出が抑制されていることが示唆された。そこで，半乾燥野菜調製における天日乾燥時と同様の膜状組織の形成により色素成分の溶出が抑制されているのであれば，抗酸化成分も溶出が抑制されているのではないかと考え，茹で汁の抗酸化能の測定を行った。

(2)茹で汁の抗酸化能測定

各キノコ試料の茹で汁について抗酸化能測定を行った結果を Fig.2-11 に示す。各シイタケの茹で汁試料では，標準偏差が大きくなり有意な差は見られなかったが，天日乾燥では重量減少率 50%の茹で汁の抗酸化能は低くなる傾向があり，恒温庫乾燥の重量減少率 50%の茹で汁試料は抗酸化能が高くなった。シイタケ本体の抗酸化能の結果(Fig.2-8)より，天日乾燥にて重量減少率 50%まで乾燥させたシイタケ試料は抗酸化能が高くなっていたことから，成分の溶出が抑制されていたことが推察された。

また，各シメジ試料の茹で汁では恒温庫乾燥による重量減少率 50%試料で他の試料に比べ有意に抗酸化能が低くなっていた。しかし，シメジ本体の抗酸化能の結果(Fig.2-8)では，恒温庫乾燥重量減少率 50%のシメジ試料は生試料よりも抗酸化能は低くなり，恒温庫乾燥にて重量減少率 50%の試料では乾燥により抗酸化成分の変性もしくは減少の可能性が示唆され

た。しかし，この原因と詳細はわかっていないことから今後検討が必要である。

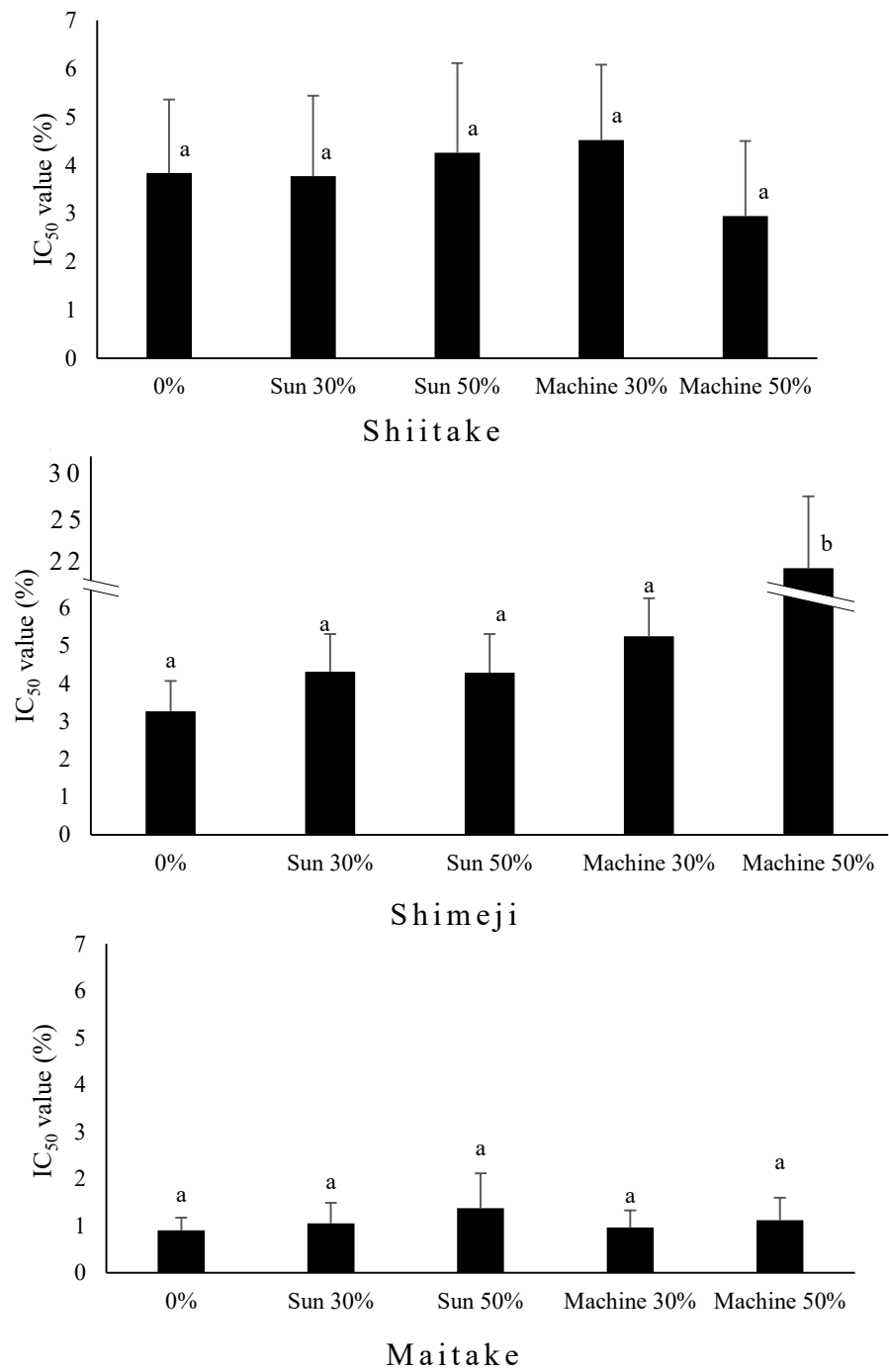


Fig.2-11. Peroxyl radical scavenging activity of boiled soup prepared from each mushroom samples during the different drying processes

Each value is mean \pm SD (n = 3).
 Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

そして、マイタケの茹で加熱試料では、半乾燥処理が進むほど茹で汁の抗酸化能は低くなり、マイタケ本体の抗酸化能の結果(Fig.2-8)を踏まえても、半乾燥にすることで茹で汁への抗酸化成分の溶出が抑制されているのが推察された。しかし、天日乾燥試料だけでなく恒温庫乾燥試料についても抗酸化成分の溶出抑制が確認された。マイタケは杓文字状の形状をしており、表面積が広く、厚みがほとんどない。これまでの半乾燥野菜の天日乾燥による膜状組織の形成は、内部の水分拡散の速度よりも、表面の乾燥の速度を早くすることで膜状構造を形成したが、マイタケは表面積が広く、厚みが薄いことで、温度をかけて内部の水分拡散が起きていたとしても、表面の乾燥がそれ以上に早く進み膜状構造が形成されたのではないかと推察した。

これらの結果から、各キノコ試料本体の抗酸化能の結果(Fig.2-8)で抗酸化能が高くなったシイタケ及びマイタケの天日乾燥による重量減少率 50%試料は、半乾燥キノコ試料を茹で加熱した際、茹で汁へ抗酸化成分の溶出抑制により、キノコ自体の抗酸化能は高く、茹で汁の抗酸化能が低くなっていたことが示唆された。このことから、半乾燥キノコ試料についても天日乾燥において膜状組織の形成の可能性が推察された。

しかし、キノコ試料は野菜のように形状を統一できず、本実験では重量のみで統一をしている。そのため、データの標

準偏差が大きくなり，マイタケ試料では恒温庫乾燥でも同様に成分の溶出抑制が確認された。このように形が不定形なことから，同じキノコ試料でも必ずしも同じ変化が起きるとは限らない。しかし，天日乾燥では抗酸化能が高かったシイタケ，マイタケのどちらの試料においても溶出抑制が確認されたことから，恒温庫乾燥よりも比較的安定して高い抗酸化能を保持することが認められると考えた。

7)官能評価の結果

ここでは総アミノ酸量が大であったシメジ試料を取り上げて，茹で加熱した各試料の5段階評点法による識別試験結果をTable 2-2に示した。

Table 2-2. Sensory evaluation of the boiled Shimeji samples treated with different drying processes

The item of evaluation	－～＋	Sun 50 %	Machine 50 %
Color	pale～deep	0.29	0.71 [*]
Smell	weak～strong	0.94 [*]	1.03 [*]
Hardness	tough～tender	0.16	0.16
Crunchiness	bad～good	0.06	-0.03
Taste	weak～strong	0.65 [*]	0.87 [*]
Umami taste	weak～strong	0.42	0.77 [*]
Comprehensive evaluation	unfit～fit	0.23	0.26

Evaluation results obtained by using the standard as the 0 point.

*: Significant difference ($p < 0.05$, $n = 31$).

乾燥方法に関わらず，香り，及び味が生試料に比べて有意に強くなった。また，色，及びうま味においては恒温庫乾燥試料のみ生試料に比べ有意に大となるという評価であった。恒温庫乾燥試料の色では，目視観察においても他と比較して暗い色になっており，天日乾燥試料の方が生試料に近い茹で上がりの色になることが明らかとなった。

1.4 小括

調製条件の異なる半乾燥キノコを調製し，その品質及び抗酸化能について検討し，得られた知見を以下にまとめた。

1)シイタケ試料の茹で加熱による重量及び形状の変化において，乾燥方法に関わらず，生の乾燥させていない茹で加熱試料に比べ，重量及び形状は有意に小となった。

2)アミノ酸量の測定では，恒温庫乾燥においてマイタケの重量減少率 50%試料のアミノ酸総量は，増加した。しかし，その増加はアミノ酸の中でも苦味を感じるアミノ酸群が主体であった。

3)ビタミン D₂ の測定では，マイタケ試料の天日乾燥法で増加の傾向が見られた。

4)活性酸素のペルオキシラジカル捕捉活性測定では，シイタケ及びマイタケの重量減少率 50 %試料において抗酸化能が大となった。

5)各キノコの茹で汁試料は，シイタケ，シメジ及びマイタケ

の天日乾燥による重量減少率 50%の茹で汁試料では，生試料よりも透明度が高くなることがわかった。

6)各キノコの茹で汁の抗酸化能の変化から，特にマイタケ試料にてキノコ自体の抗酸化能と茹で汁のそれでは逆の傾向を示し，これにより重量減少率 50%の半乾燥キノコでは茹で汁への抗酸化成分の溶出が抑制されることがわかった。

7)シメジ試料における官能評価の結果から，半乾燥試料は生試料と比べて，におい，味が強くなることがわかった。特に恒温庫乾燥試料では，色が濃くなることがわかった。

これらのことは，栄養面及び品質面が良好な性状となる半乾燥茹でキノコ試料の最適な調製条件は，天日乾燥による重量減少率 50 %試料であると考ええる。そして，天日乾燥による半乾燥野菜と同様に，膜状構造の形成の可能性が示唆された。

これらのことから，半乾燥野菜と同様に半乾燥キノコにおいても天日乾燥にて膜状構造形成の可能性が示唆されたが，今後も半乾燥キノコにおける基礎特性の変化の原因についてはさらに検討する必要がある。

第 2 章 半乾燥果物の基礎特性による良好な乾燥条件と構造変化の推察

2.1 はじめに

国民の健康づくり運動である”健康日本 21(第 2 次)”において、生活習慣病である循環器疾患やがんの予防には、カリウム、食物繊維、及び抗酸化ビタミンなどの摂取が効果的に働くことが明らかにされており^{56,57,8)}、これらの成分は野菜だけでなく、果物からの摂取も推奨されている。

野菜と同様に果物についても 1 日の摂取目標量が設定されており、果物は 200 g が設けられている。しかし、平成 25 年の国民健康・栄養調査⁶⁾において果物は 111.9 g(同 56%)の摂取量にとどまっている。

そこで、野菜よりも摂取不足が顕著である果物の摂取量増加のために、半乾燥処理を応用することが可能なのではないかと考えた。果物は、適度な甘味と酸味を有し、特有の色、香り、食感が好まれている食品である。また健康増進の観点からも、野菜と同様に果物中に含有される食物繊維、微量栄養素および各種フィトケミカル等の機能性成分への期待も高い。

第 1 部及び第 2 部で行った野菜やキノコの検討では、さらに嵩を減らし食べ易くする方法として、茹で加熱調理を行った。果物の場合は嵩が減らせる方法として、組織を摩砕して調製するフルーツソースに着目した。健康日本 21 における果

物の分類では，ジャムは除かれている。ジャムや缶詰のような加工品は，糖分が添加され単位重量当たりのエネルギー量が増加しているものが多い⁵⁸⁾。エネルギーの過剰摂取による肥満は各種疾病の原因となっていることから，摂取量を増やすには注意が必要になってくる。

そこで摂取が容易で，摂取量の増加が見込める利用方法としてフルーツソースを想定してキウイを用いた半乾燥試料を調製した。その健康機能性評価の指標として抗酸化能を測定するとともに，嗜好性に関わる品質(テクスチャー，色度，糖度，pH)を生試料と比較した。

特に果物は重要なビタミンの供給源となっており，その抗酸化能が高いことは既に報告されている⁵⁹⁾。抗酸化能は，活性酸素種により各抗酸化成分の効果の発現が異なる。そこで，果物の抗酸化能測定では，脂質中に存在し，一度発生すると周りの脂質を連鎖的に酸化し続けるペルオキシラジカルと，水中に多く存在し酸素から直接大量に生産されるスーパーオキシドアニオンラジカルという，性質の異なる2種のフリーラジカルを対象にして，各試料の抗酸化能を測定することにした。

そして，調理品として提供をするためには，機能性の配慮だけでなく味やテクスチャーなどのおいしさに関わる品質面も重要となる。そこで，半乾燥キウイ試料の品質特性についても生キウイ試料と比較し評価することとした。

本章においては，抗酸化能及び品質において半乾燥処理果物の実用の可能性の検討，及び第1部で確認された組織構造

の変化が，果物でも発現し基礎特性に影響を与えるかどうか推察した。

2.2 実験方法

2.2.1 実験材料

今回は，季節を問わず入手可能な果物としてキウイを試料とした。試料のキウイ(ヘイワード種：愛知県産)は，2~4月に都内小売店での市販品を購入し，その日のうちに実験に使用した。

2.2.2 試料調製

1)生キウイ試料の調製

キウイは，上下1 cmを切り落として皮を剥き，芯を取り除きミキサー(岩谷産業製，IFM-800)で30秒間摩砕した。これを生キウイ試料とし，各測定における対照試料とした。

2)半乾燥キウイ試料の調製

果物の摂取目標量到達のためには，現在の摂取量(到達度56%)の約同量の増加を目指すことが必要と考え，重量減少率50%を乾燥終点とした。生キウイを上下1 cm以上切り落として皮を剥き，1試料の重量を 70 ± 0.0 gに整えた後，輪切りで4等分にした。これを既報¹⁾の根菜の調製方法に準じて，天日(平均温度28.5℃，平均湿度27.6%)及び恒温庫(設定温度60℃)にて乾燥を行い，重量減少率が50%を乾燥終点(天日： 510.0 ± 34.6 分，恒温庫： 367.5 ± 28.7 分)とした。これら半乾燥キウイは，芯を除きミキサーで30秒間摩砕し，天日乾燥キウイ試料及び，恒温庫乾燥キウイ試料を得た。

2.2.3 測定方法

1)抗酸化能測定

(1)ペルオキシラジカル捕捉活性

①試料調製：第 1 部 2.2.2 と同様に行った。

②測定方法：第 1 部 2.2.3 1)と同様に行った。

③ペルオキシラジカル捕捉活性値算出方法：コントロールである 0.1M リン酸緩衝液の発光ピーク値を 1/2 にする試料液濃度(%)を IC_{50} 値と定義し，この IC_{50} 値をトロロックス当量値に換算した。換算方法は，標準溶液としてトロロックス(東京化成工業製，6-ヒドロキシ-2,5,7,8-テトラメチルクロマン-2-カルボン酸)を 0.1 M リン酸緩衝液に溶解し，各濃度(500 μ M, 100 μ M, 50 μ M, 25 μ M, 12.5 μ M, 6.25 μ M, 3.125 μ M, 1.25 μ M, 0.625 μ M, 0.25 μ M)のトロロックス溶液を作成した。それぞれの標準溶液を化学発光法(ケミルミネセンス法)で通常試料と同様に測定し， IC_{50} 値を求め，ここから得られた近似曲線の回帰式(トロロックス当量(μ mol TE) = $34.639 \times IC_{50}$ 値^{-0.997})を用いて IC_{50} 値をトロロックス当量に換算し，ペルオキシラジカル捕捉活性の測定値(ケミルミネセンス値)とした。このトロロックス当量値は数値が大きいほど抗酸化能が大きいことを示している。

(2)スーパーオキシド消去活性

①試料調製：各凍結乾燥粉末試料をそれぞれ 0.4 g 採取して純水 2 mL を加え，三角フラスコの口をパラフィルムで覆い，37 °C で 60 分間抽出した。得られた各抽出液を遠心分離(KUBOTA 製，3740: 1,450×g, 10 分)後，上澄みを 0.45 μ m のフィルターでろ過し，スーパーオキシド消去活性測定用試料

とした。

②測定方法：スーパーオキシド消去活性測定には，同仁化学研究所製 SOD Assay kit-WST の WST 法を用いた。キットの定法⁶⁰⁾通り，キサントキシダーゼによりフリーラジカルの一つであるスーパーオキシドを発生させ，そこに WST-1 で発色させ，それをマイクロプレートリーダー(BIO-RAD 製，Model 680)を用いて 450 nm の吸光度を測定した。

③ SOD 阻害活性値算出方法：各濃度サンプルにおける SOD(Superoxide dismutase)阻害活性から，阻害率 50%の時の希釈率を算出し，U(ユニット)量を求めた。U(ユニット)とは上記 WST 法における SOD 量の単位であり，WST 還元の 50%阻害を示すサンプル溶液 20 μ L に含まれる SOD 量を 1U とし，各試料のスーパーオキシド消去活性を評価した。

この U(ユニット)は，数値が大きいほど抗酸化能が大きいことを示している。

2)テクスチャー測定

クリープメータ(山電製，RE2-33005S)を用いて，テクスチャー測定を行った。測定には ϕ 16 mm 円柱型プランジャーを用い，圧縮速度 5 mm/s，測定歪率 60%の条件を用いた。各試料は ϕ 35 mm のシャーレに 10 g ずつ入れ，室温にて 15 分間静置後測定に用いた。測定値は，圧縮時のかたさ，及び付着性について評価した。

3)色度測定

色度は測色色差計(日本電色工業製，ZE6000)を用いて，各試料 ϕ 35 mm のシャーレに 10 g ずつ計量し，反射測定を行っ

た。測定値は、 $L^*a^*b^*$ 表色系の色度図を用いて示した。これは無彩色の座標が $a^*=0$, $b^*=0$ で示され、 a^* は+(プラス)方向で赤、対極の-(マイナス)方向で緑、 b^* は+(プラス)方向で黄、-(マイナス)方向で青となり、絶対値の数値が大きくなるほど鮮やかさが増す。また、 a^*-b^* 平面に直交した L^* 軸は明度を示しており、数値が 100 に近いほど明るく、0 に近いほど暗くなる。

4)糖度測定

糖度計(アタゴ製, PAL-J)を用いて、各試料の糖度(ブリックス値(%))を測定した。

5)pH 測定

各試料の品温は室温($23 \pm 0.3^\circ\text{C}$)とし、pH メーター(METTLER TOLEDO 製, Seven Multi)にて pH を測定した。

6)統計処理

各試料データは 4 回繰り返し、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の検定は、統計ソフト R (Ver.3.2.3)にて、一元配置分散分析と多重比較 Tukey 法を用いて検定し、有意水準を 5 %未満とした。

2.3 結果及び考察

1)抗酸化能測定

天日ならびに恒温庫による半乾燥キウイ試料のペルオキシラジカル捕捉活性(IC_{50} 値からトロロックス当量換算値として表示)及びスーパーオキシド消去活性を測定し、その結果を Fig.2-12 に示した。

まず、ペルオキシラジカル捕捉活性測定では、乾燥法の違

いに関わらず，半乾燥キウイ試料は生試料と比較してラジカル捕捉活性に有意差は無く，同程度の抗酸化能が維持されて

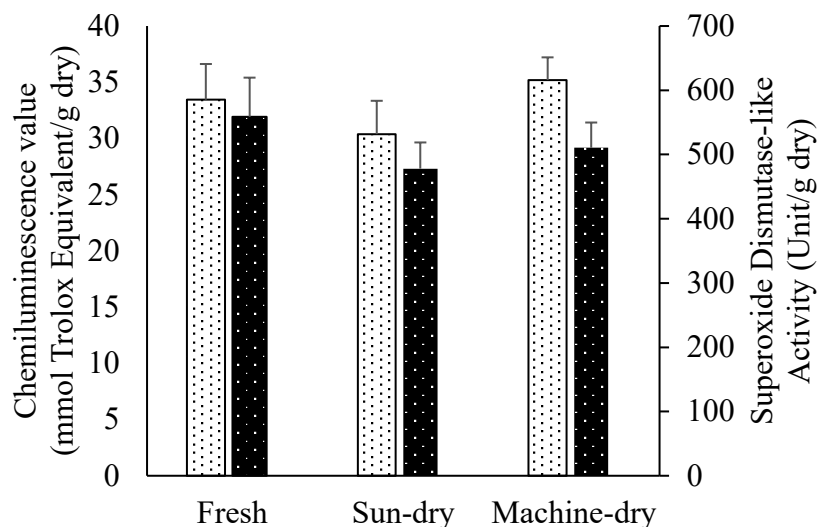


Fig. 2-12. Comparison of antioxidant activity of each kiwi samples

□: Chemiluminescence value

■: Superoxide dismutase-like activity

There are no significant differences.

いた。測定対象としたペルオキシラジカルは不飽和脂肪酸の連鎖的酸化反応を引き起こすフリーラジカルであり，これに対して，キウイが持つ脂溶性のビタミンであるビタミン E が効果的に働くことが知られている⁶¹⁾。さらに，キウイに含まれるポリフェノールは水溶性であるものの，ペルオキシラジカルに対する捕捉活性を持ち，水溶性のビタミン C は，ビタミン E の抗酸化能を助ける働きがある⁶²⁾。天日による半乾燥処理では日光照射によりビタミン C，及び E が分解され，生試料と比較して抗酸化能が低下することを予測していたが，抗酸化能の有意な低下は起こらなかった。その要因として，

キウイは果物の中でもビタミン C(69 mg/100 g)及び E(1.3 mg/100 g)の含有量が多く³⁵⁾、天日乾燥によりビタミン C、及び E の分解が起きていても、抗酸化能を低下させるほどの量ではなく、生と同程度のペルオキシラジカルの捕捉が可能であったと考えた。また、恒温庫乾燥では熱(60℃)によるビタミン C の損失が予測されたが、乾燥時間が天日乾燥よりも 2 時間近く短いこと、さらに光によるビタミン C、E の分解が起らなかったことにより、生と同程度の抗酸化能を維持できたと考えられた。

次に、スーパーオキシド消去活性の結果からは、前述のペルオキシラジカル捕捉活性の結果と同様に、乾燥法に関わらず半乾燥キウイ試料は生キウイ試料と同程度の抗酸化能であることが明らかとなった。キウイにはポリフェノールと共に、これを酸化するポリフェノールオキシダーゼも存在し⁶³⁾、抗酸化能の低下が起きることも危惧された。しかし、キウイに含有するポリフェノールオキシダーゼはアルカリ条件下で活性化する酵素のため、pH の低い各キウイ試料では、その反応が起らなかったと推察された。さらに、キウイ種子中のエキ스는、ポリフェノール含有量が多く、SOD 様活性が高いことが報告されており⁶⁴⁾、酸性溶液中(3.5 以下)で高い安定性を示すことから、摩砕前に乾燥を行う方法は、キウイ種子を果肉でしっかり包み込むことで酸性状態を維持し、抗酸化能を保持する方法として良好であると考えた。

以上のペルオキシラジカル捕捉活性及びスーパーオキシド消去活性の測定結果より、今回試料としたキウイは、半乾燥

処理を行っても上記 2 種のフリーラジカルに対して、生のキウイに劣ることのない抗酸化能を保持できることが確認できた。今回の果物試料における天日や恒温庫による乾燥処理は、重量や嵩を減らすことで摂取量の増加に寄与するのみならず、健康面での抗酸化能を維持する方法として有効であると提案出来る。

2) テクスチャー測定

まず、食品の物性評価を行うために、テクスチャー測定でかたさと付着性を評価した。各試料圧縮時のかたさの結果を Fig.2-13 に示す。生キウイ試料と比較して、天日及び恒温庫乾燥キウイ試料のかたさは有意に高い値を示した。天日及び恒温庫乾燥キウイ試料はいずれも重量減少率 50% になるように水分を減らしたが、天日より恒温庫でかたさが有意に高かった。この要因として、恒温庫乾燥キウイ試料では、60℃程度で加熱乾燥を行ったことが考えられた。細胞壁に含まれるペクチンは 50~60℃の低温域の加熱によって、ペクチンエステラーゼが活性化することで硬化が起こる⁶⁵⁾。その後、ミキサーで摩砕処理をしたが、ペクチンの硬化の影響が残り比較的硬い物性を示す結果となったと考えた。

次に付着性の結果を Fig.2-14 に示す。各キウイ試料では、かたさと同様の傾向になった。よって、テクスチャー特性のかたさは食べた時の硬さに対応し、付着性は粘り気に対応することから⁶⁶⁾、天日乾燥キウイ試料は恒温庫乾燥キウイ試料と比べて軟らかく、粘りの低い試料となることが判明した。このことから、天日乾燥キウイ試料は恒温庫乾燥キウイ試料

よりも生キウイ試料に近いテクスチャー特性が見られた。

このテクスチャー測定のかたさと付着性の結果から，半乾

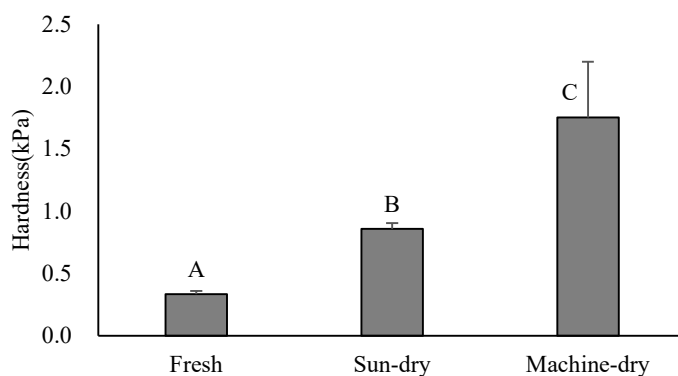


Fig. 2-13. Comparison of hardness according to texture measurement of each kiwi samples

Different letters indicate significant difference ($p < 0.05$).

Values represent mean \pm SD ($n = 4$).

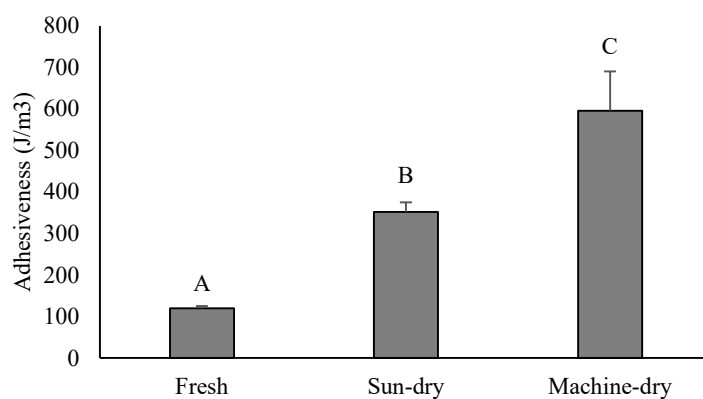


Fig. 2-14. Comparison of adhesiveness according to the texture measurement of each kiwi samples

Different letters indicate significant difference ($p < 0.001$).

Values represent mean \pm SD ($n = 4$).

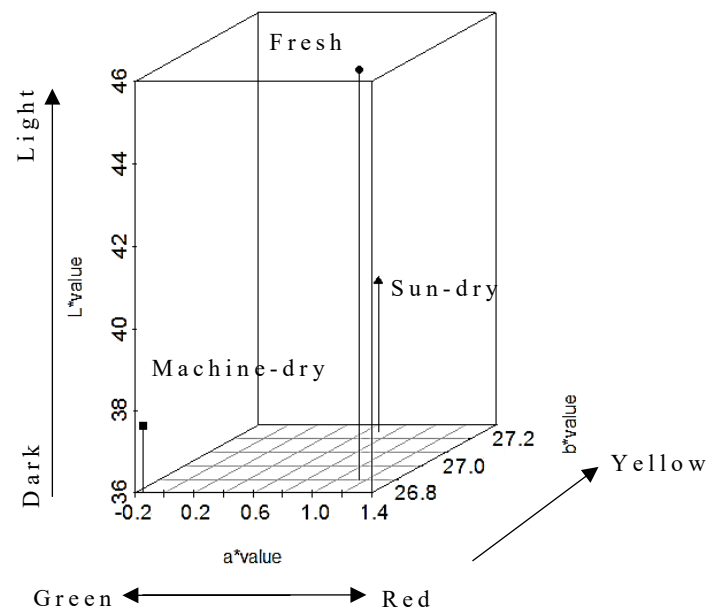


Fig. 2-15. Chromaticity evaluation based on the $L^*a^*b^*$ color system of each kiwi samples

● : Fresh, ▲ : Sun-dry, ■ : Machine-dry.

L^* value: All samples indicate significant difference.

a^* and b^* value: There are no significant differences.

Values represent mean ($n = 4$).

乾燥試料は乾燥方法に関わらず同じ割合で水分を減らしているが、天日乾燥試料の方が生試料に近い物性となっていた。これは、第1部の天日乾燥野菜で確認された膜状組織の形成と同様に、半乾燥果物においても乾燥が起きたのは表面のみで、内部に生の組織が存在したためと推察した。

3) 色度測定

色度測定の結果を Fig.2-15 に示す。この図では各点の位置が遠いほど、色差が大であることを示している。各キウイ試料に関して、明度 L^* においては、キウイ試料の色は明るく、各半乾燥キウイ試料は天日試料よりも恒温庫試料で色が暗くなった。これは、水分を減らすことで各種成分が濃縮されたためである。また恒温庫乾燥よりも天日乾燥は明度が高く、生に近い値となった。これはテクスチャー測定の結果からも見られたように、内部に生に似た組織が残っており、明度を保持することが出来たのではないかと考えている。そして a^* - b^* 座標面における色相と彩度においては同程度となり、変化はみられなかった。

以上の色度に関する結果から、各キウイ試料は乾燥による濃縮で明度は低下するが、天日乾燥の方が明度の低下は少なく、色相及び彩度では同程度の色度が維持されていることが判明した。

4) 糖度及び pH 測定

味に関しては、糖度(ブリックス値)と pH を測定し、y 軸を糖度、x 軸を pH として散布図を Fig.2-16 に示す。まず、各キウイ試料では、天日及び恒温庫乾燥試料において、糖度の増加がみられた。これは、重量を生試料の 50% に調整したための濃縮による変化である。そして、半乾燥にすることで pH は高くなっていた。

これらの結果から、乾燥方法の違いに関わらず半乾燥試料は生試料と比較して糖度の高い試料となったことが考えられた。

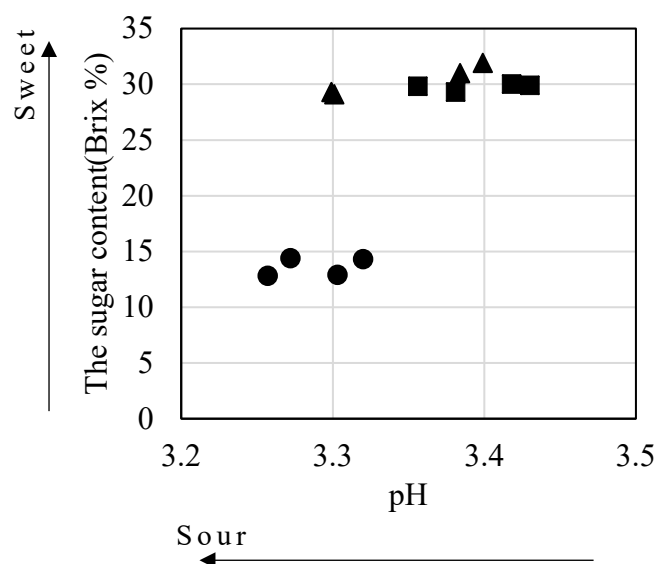


Fig. 2-16. Comparison of taste according to the sugar content and pH of each kiwi samples

● : Fresh, ▲ : Sun-dry, ■ : Machine-dry

今回実験試料としたフルーツソースは，西洋料理におけるスイートソースに分類され，その甘味と酸味により調理品の味を引き立てる役割を持つとともに，調理品になじみやすい軟らかさと粘りのある物性が要求される。さらに，フルーツソースがけのデザートでは，そのフルーツソースの抗酸化能が高いほど調理品全体の抗酸化能が高くなることが報告されているため⁶⁷⁾，フルーツソース自体の抗酸化能の高さは健康増進の一助となると考えられる。

以上より，キウイ本来の色を保持しつつ，適度な軟らかさと付着性を有していた天日乾燥キウイ試料は，生の組織が存

在していたことによると考えられ、野菜の天日乾燥処理で確認された膜状組織と同様に、外側のみが乾燥し、内部には生と同様の状態が保たれていたことが推察された。すなわち、天日乾燥試料は、調理品に甘味や酸味を付与し、調理品となじみやすくなる点において、生試料及び恒温庫乾燥試料に比べてフルーツソースとして適していると考えられた。

さらに、天日乾燥により調製した半乾燥キウイ試料は生の果物(キウイ)と同等の抗酸化能を有し、フルーツソースとして添えることで調理品全体の抗酸化能を高めることが期待でき実用の可能性が高い。今後は、これら測定結果と合わせて官能評価を実施し、総合的に検証したいと考えている。

2.4 小括

果物の摂取量増加を目指して、キウイを対象にして半乾燥試料を調製し、その健康機能性評価として抗酸化能を測定した。併せて嗜好性に関わる品質(テクスチャー、色度、糖度、pH)を生試料と比較し、フルーツソースとしての実用の可能性を検討した。得られた知見を以下にまとめた。

1)生キウイ試料を対照として、ペルオキシラジカル及びスーパーオキシドと性質の異なる2種のフリーラジカルに対する抗酸化能測定を行った結果、天日及び恒温庫乾燥の各半乾燥キウイ試料それぞれとの間に有意差はなく、生と同程度の抗酸化能を有することが示唆された。

2)各試料の機器によるテクスチャー測定の結果、半乾燥試料は生と比較してかたさ、付着性ともに有意に高くなったが、

天日乾燥試料は内部に生の組織が存在することが推察され、恒温庫試料と比較して、軟らかく、粘りが弱くなっていた。

3)色度測定の結果では、生と比較して半乾燥試料で暗くなり、特に恒温庫試料で暗くなった。これは、テクスチャー測定と同様に天日乾燥では生の組織が存在したことによるものと推察した。

4)糖度，及び pH の測定結果から，半乾燥試料は乾燥方法の違いに関わらず，生試料と比較して糖度が高く，pH が高い品質特性となった。

5)以上，果物(キウイ)の半乾燥製品は，生と同程度の抗酸化能を維持していた。中でも天日乾燥では，キウイ本来の色を保持し，調理品となじみやすい適度な粘稠性を有していることから，フルーツソースとして実用可能であると判断した。そしてこの品質変化は，第 1 章の天日乾燥野菜と同様に組織構造の変化が起こり，内部に生の組織が存在したためと推察した。

第 3 部 半乾燥野菜の調理への利用の検討

1 はじめに

序論でも述べたように，調理における乾燥野菜の利用には欠点がある。それは，調理の際に水戻しの工程が加わることである。これにより，乾燥野菜の調理には手間がかかるだけでなく，重量や嵩が変化することで，出来上がり量が予想しにくく，さらに生野菜とは異なる調味方法をしなければならない。植物性乾燥品の水戻し後の増加量は 3~14 倍と食品によって幅がある⁶⁸⁾。そして，乾燥により組織構造が緩み，味がしみやすくなるだけでなく，生野菜とは異なる味が乾燥により生ずるため¹⁷⁾，調味方法も生野菜とは異なってくる。

天日乾燥野菜も膜状組織を形成し，内部には生に近い組織構造を残しているものの，乾燥処理を行っていることで，調理の際に上記のような変化が生じることが予測される。そこで，第 3 部では，半乾燥野菜を実際の調理に利用することを目指し，半乾燥野菜を調味液により茹で加熱した後の重量と，その調味液の浸透状態について検討した。

2 実験方法

2.1 実験材料

第 1 部 1.2.1, 3.2.1 と同様にダイコンとカボチャを用いた。

2.2 試料調製

第 1 部 1.2.2 と同様に生試料及び天日乾燥試料を調製した。その後，生試料及び天日乾燥試料は，200 mL の水及び各濃度

の砂糖水，食塩水を入れた片手鍋(φ 140 mm)で，熱電対 K 温度計(安立計器製，SE61031)を用いて内部中心温度が 98℃になるまで加熱した。これをそれぞれ茹で生試料及び茹で天日乾燥試料とした。茹で加熱後，網の上で室温(約 23℃)にて放冷し，ミキサーで摩砕後ろ過したろ液を試料とした。砂糖水は，5wt%砂糖水(以降 5%砂糖水)，及び 10wt%砂糖水(以降 10%砂糖水)，食塩水は 1wt%食塩水(以降 1%食塩水)，2wt%食塩水(以降 2%食塩水)とした。

2.3 測定方法

1)重量測定

水，砂糖水及び食塩水で茹でた各試料の茹で上がりの重量を電子天秤(SIMADZU 製，UX6200H)で測定した。試料は，ミキサーにかける前の状態で測定した。

2)砂糖調味試料の糖度の比較

(1)糖度測定

野菜に甘味を付与する調味料として，砂糖(上白糖)を用いて調味液を調製した。測定には，水(砂糖 0%)，5%砂糖水，及び 10%砂糖水で茹で加熱した試料とした。

既報¹⁾では，試料の糖含量を LC/MS を用いて測定し，総糖量(スクロース，グルコース，フルクトースの合計量)が，茹で生試料と比較して茹で半乾燥試料で増加することを報告している。本実験では糖度計(株)アタゴ製，PAL-J)を用いて，各試料の糖度(ブリックス値(%))を測定し，甘味を評価した。なお，ブリックス値は日本農林規格(JAS)などにおいても食品の糖度の指標として用いられている。

ダイコンの官能評価

性別 _____ 年齢 _____

試料を食べる前に以下の問にお答えください。

○ダイコンの嗜好について当てはまるものに○をしてください。

好き ・ 普通 ・ 嫌い

これ以降は、実際に試料を口に含んでお答えください。

○濃度の異なる2つの砂糖溶液 **R** と **B** があります。甘い方に○印を付けてください。

左上の番号が奇数は **R** から、偶数は **B** から食べてください。

R ・ **B**

○調理方法を変えた2つのダイコン **Y** と **G** があります。

手元の試料は1口で食べ、よく噛んで味わい、甘い方に○印を付けてください。

左上の番号が奇数は **Y** から、偶数は **G** から食べてください。

Y ・ **G**

○今回のダイコンを食べた感想や何か気付いたことがあれば自由に書いてください。

ありがとうございました。

大学院 人間生活学専攻 准教授 小林理恵

連絡先 Email : kobayashi-r@tokyo-kasei.ac.jp

大学院 人間生活学専攻 3年 久松裕子

連絡先 Email : tk9821@tokyo-kasei.ac.jp

Fig.3-1. Sensory evaluation paper

(2) 茹で半乾燥ダイコンの甘味の識別試験

K 大学栄養学科の学生 15 名のパネルに対し，3%砂糖液と4%砂糖液の識別試験を実施し，正解した 12 名(正解率 80%)を識別能力がある被験者とみなして官能評価を実施した。試料は 5%砂糖液中で茹で加熱した生試料と，純水中で茹で加熱した半乾燥試料とした。試験は 2 点識別試験とし，2 つの試料を食べ比べ，甘味の強い方を選択してもらった(Fig.3-1)。

なお本官能評価は，東京家政大学大学院研究倫理審査委員の承認を得ている(承認番号 H28 - 20)。

3) 茹で調味野菜の塩味の測定

野菜に塩味を付与する調味料として，食塩を用いて調味液を調製した。測定には，1%食塩水及び 2%食塩水で茹で加熱した試料を用い，食品塩分計((株)東興化学研究所製，TS-999i)にて，ナトリウム濃度を測定し塩分濃度を算出した。

4) 統計処理

測定データは，得られた値の平均値と標準偏差を求めた。平均値の差の検定は，2 試料の比較の場合はエクセル関数にて対応のない t 検定とし，有意水準を 5 %未満とした。また，2)(2)で行った官能評価の有意差の検定は，2 点識別試験のための検定表(両側検定)⁶⁹⁾を用いた。

3 結果及び考察

1) 重量測定の結果

糖度測定及び塩分測定に用いた試料の重量変化の結果を

Fig.3-2, 3-3 に示した。まず，茹でる前の生試料は 36 g に調整したが，茹で上がりは 30~32 g に減少した。一方，天日乾

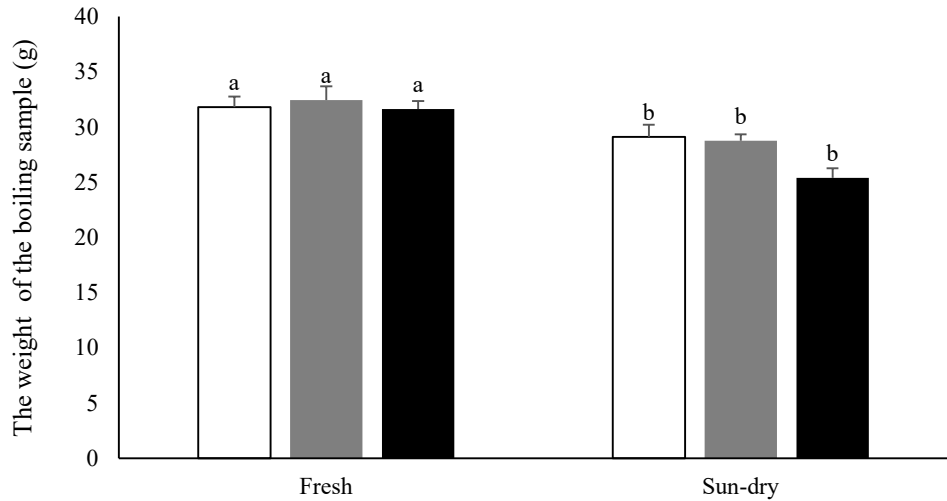


Fig.3-2. Weight of each sample after boiled in sugar water of each concentration level

Concentration level of sugar water: □ 0%, ■ 5%, ■ 10%
 Different letter indicate significant difference within each boiling treatment. ($p < 0.05$).
 Values represent mean \pm SD (n = 4).

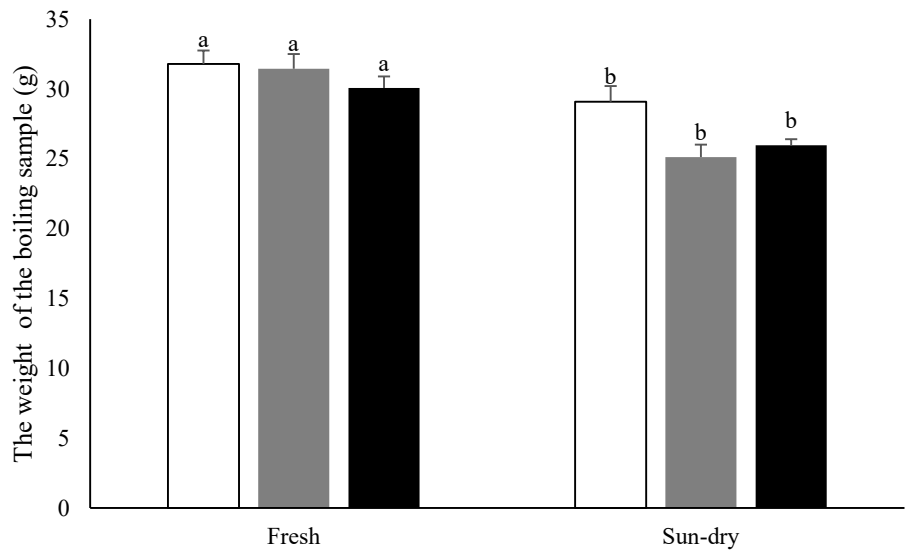


Fig.3-3. Weight of each sample after boiled in salt water of each concentration level

Concentration level of sugar water: □ 0%, ■ 1%, ■ 10%
 Different letter within each boiling treatment indicate significant difference within each boiling treatment ($p < 0.05$).
 Values represent mean \pm SD (n = 4).

乾燥試料においては，茹でる前が約 25 g であったが，茹で上がりは 25~28 g となり，同程度もしくは多少増加することがわかった。これは，第 1 部 1 章の組織構造で見られた表面の膜状構造により，水が移動しにくくなっているのではないかと考える。つまり，この重量変化の結果からも，水だけでなくビタミン C などの水溶性成分の溶出も抑制されていることが推察できた。

次に，天日乾燥試料を生試料と比較すると，調味料の使用の有無に関わらず天日乾燥試料は有意に軽くなることがわかった。純水及びいずれの濃度の砂糖水においても天日乾燥試料は生試料と比べて，10%程度重量が減少した。また，各食塩水においては約 20%の減少がみられた。これは，砂糖水で茹でた場合よりも重量減少は大であった。本実験における茹で水の砂糖濃度と食塩濃度をそれぞれ細胞内液の浸透圧と比較すると，砂糖水は 5%で低張液，10%で等張液であるが，食塩水はいずれの濃度も高張液であるため，拡散作用により茹で上がりの重量がより軽くなったと考える。さらに，大きさを計測すると，茹で生試料に比べ，茹で天日乾燥試料は直径及び高さ共に約 2 mm 小さくなっていた。これにより，重量だけでなく嵩も小さくなっていること，さらに膜状組織は試料全体を覆うような形で形成されていることが示唆された。よって，茹で加熱時に水戻りはなく，調理品の嵩が少なくなることがわかった。

これをふまえると，従来の茹で野菜の調理に生野菜ではなく半乾燥野菜を用いる場合，同じ仕上がり量にするためには，生重量換算で約 1.1~1.25 倍の野菜を使用することになる。すなわちこの変化は，野菜摂取量を増加させる方法としても利用できると考えた。

2)砂糖調味試料の糖度の比較

(1)濃度を変えた砂糖水中で茹でた試料の糖度測定

茹で加熱後の糖度測定の結果を Fig.3-4 に示した。カボチャにおいても同様の傾向が得られたため，ダイコンの結果のみを示している。糖度測定の結果では，純水で茹でた試料において，天日乾燥試料は生試料に比べ，有意に糖度が高くなった。これは，半乾燥処理では水分の減少に伴い成分が濃縮さ

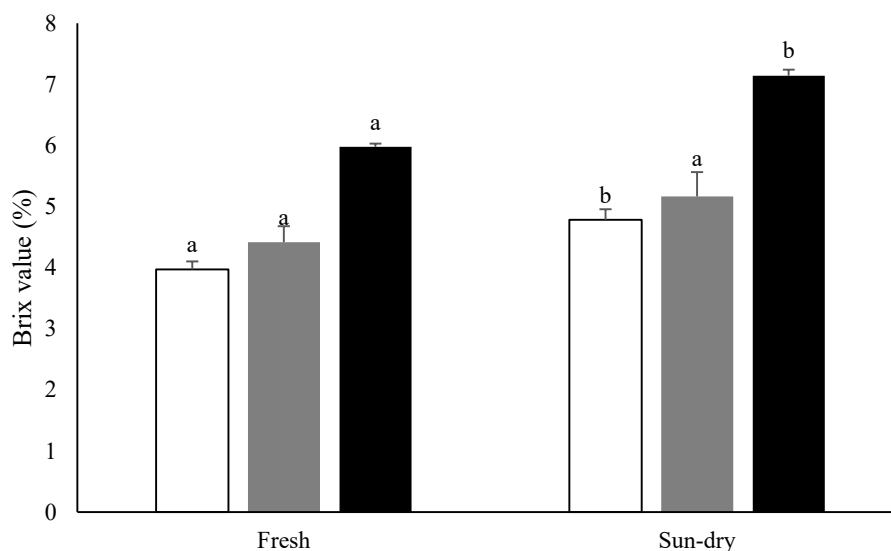


Fig.3-4. Brix value of each sample after boiled in sugar water of each concentration level

Concentration level of sugar water: □ 0%, ■ 5%, ■ 10%

Different letter indicate significant difference within each boiling treatment ($p < 0.05$).

Values represent mean \pm SD (n = 4).

れ，さらに表面に形成された膜状組織が茹で加熱過程での糖の溶出を抑制したと考えた。

各濃度の砂糖水での茹で試料のうち，10%砂糖水で茹でた試料において，天日乾燥試料は生試料に比べ，有意に糖度が高くなった。しかし，5%砂糖水で茹でた試料では両試料間に差がみられなかった。これは，天日乾燥試料において糖度が茹で水の糖度と同程度(ブリックス値:約 4.8%)であり，拡散作用が起こらず，糖度の変化が起こりにくかったと考えた。

さらに，5%砂糖水で茹でた生試料と純水で茹でた天日乾燥試料では有意差がなく，同程度の糖度となっていた。そこで，人の感覚で両試料の甘味を識別できるか官能評価により検討した。

(2)官能評価による甘味の識別試験

同程度の糖度となった 5%砂糖水で茹でた生試料と純水で茹でた天日乾燥試料を食べ比べ，2点識別試験(Fig.3-1)により甘味の強い方を選択させた結果，有意差はなく，選択率は両試料ともに 50%であった。これは，2つの試料の甘さの識別は困難であり，同程度の甘味として食すことが可能であることを示唆している。このことは，天日乾燥野菜の調理品の甘味が強いことを意味しており，砂糖の使用量を減らす，もしくは使用せずに調理が可能であることが期待できる。

2)食塩調味試料の塩分量の比較

次に天日乾燥野菜における塩味の調味方法を検討するため，

茹で水を変えた試料の塩分濃度の測定結果を Fig.3-5 に示した。この結果についても，ダイコン試料とカボチャ試料で同様の傾向が得られたため，ダイコン試料の結果のみを示した。塩分濃度の測定では，図に示すように茹で生試料及び茹で半乾燥試料で有意差はなく，同程度の塩分濃度となっていた。

天日乾燥試料では，生試料にはない表面の膜状組織により，塩の浸透が阻害されると予測したが，砂糖と比較して分子量の小さい食塩において，その影響は少なく，生試料と同様に調味が可能であると考えた。さらに，茹で上がり重量が半乾燥試料では少なくなっていたことから (Fig.3-3)，実際に摂取する塩分量は茹で半乾燥試料の方が少なくなることになる。生活習慣病の予防では，食生活における目標の 1 つに食事の塩分量を減らすことも挙げられていることから，半乾燥野菜を調理に用いることで減塩も可能であることが示唆された。

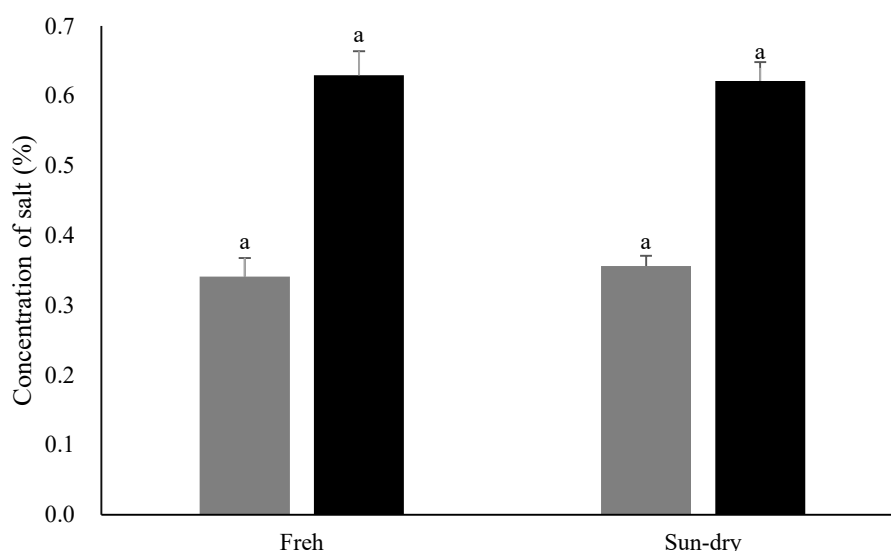


Fig.3-5. Brix value of each sample after boiled in salt water of each concentration level

Concentration level of sugar water: ■ 1%, ■ 10%

Different letter within each boiling treatment indicate significant difference within each boiling treatment ($p < 0.05$).

Values represent mean \pm SD ($n = 4$).

4 小括

実際の調理を想定して，半乾燥野菜の調理による重量の変化とその調味方法について検討した結果を以下にまとめる。

1)半乾燥試料は生試料よりも茹で加熱後の出来上がり重量が10~20%少ないことから，半乾燥試料を調理に用いる際は，生試料の約 1.1~1.25 倍量(生重量換算)を使用することで，生試料で作った時と同様の出来上がり量になる。

2)純水で茹でると，天日乾燥試料は生試料に比べ有意に糖度が高くなった。これは，天日乾燥による水分の減少に伴い成分が濃縮したこと，さらに表面の膜状組織が糖の溶出を抑制したことによると考えた。

3)天日乾燥試料は，砂糖による調味をせずに茹でても，官能評価では 5%砂糖水で茹でた生試料と同程度の甘味と判断された。これは，砂糖を使用せずに調理が可能であることを示唆している。

4)各食塩水中で茹でた際の試料の塩分濃度の測定において，茹で生試料及び茹で天日乾燥試料で有意差はなく，同程度の塩分濃度となっていた。よって天日乾燥試料は，生試料と同様に塩味の調整が可能であると考えた。

5)食塩水中で茹でた際の生試料と天日乾燥試料間の塩分量は同程度であったが，茹で後の重量は生に比べて 20%減少したことから，塩分の摂取量を減らす手法としても天日乾燥処理

を有効利用することができる。

これらの結果より，天日乾燥野菜を茹で加熱することは，半乾燥処理に加えて重量と嵩を減らすことに繋がるため，野菜摂取量を増加させる方法として有効である他，砂糖の使用量と摂取量，ならびに塩の摂取量を抑えることが可能である。

さらに，この３部で得られた調理特性の結果は，第１部で述べた天日乾燥試料における膜状組織の形成による影響も推察され，この構造が形成されることが半乾燥野菜には必要であると考ええる。

総 括

我が国では高度経済成長以降の食生活の変化により，食の欧米化が進んだことが，生活習慣病増加の要因の一つとなっている。そのため，生活習慣病の予防における食生活の目標として，野菜摂取量の増加があげられている。しかし，その目標は達成されていない。

そこで，野菜に 90%近く含まれる水分を減らすことで，嵩を減らす「乾燥」処理が摂取量の増加に有効なのではないかと考え，日本に從來から存在する乾燥野菜の調製方法をもとに，水分を適度に減らした食品として新しい「半乾燥野菜」の利用を考えた。

これまでに行ってきた基礎特性の研究から，天日乾燥による重量減少率 30%の状態が良好な品質を有する半乾燥野菜であることがわかった。この天日乾燥試料は，物性は生試料に近く，表面色は濃く，においが弱く，抗酸化能が高くなった。しかし，恒温庫乾燥試料では，物性は硬くしなやかになり，色は淡く，においや抗酸化能は生と同程度となっていた。これらの基礎特性の違いの原因として，天日乾燥試料では乾燥により表面に膜状組織が形成されるという仮説を立てた。

実際の加工や調理への利用を提案するためには，天日乾燥と恒温庫乾燥の違いが生じた要因の解明は必要である。そこで，この仮説を検証するために半乾燥による構造の変化と，天日乾燥による良好な半乾燥野菜の調味方法を検討した。さ

らに，半乾燥野菜の利用が，野菜以外のキノコ，果物などの植物性食品に適するか否かを検討し，半乾燥させた植物性食品の加工及び調理条件の提案を目指した。

これらの結果を以下のように総括する。

1. 半乾燥ダイコンの構造

半乾燥野菜の良好な基礎特性が生ずる仕組みを探るため，ダイコンの生及び各半乾燥試料を SEM 観察により比較するとともに物性値から半乾燥による組織構造の相違を検討した。

恒温庫乾燥試料では細胞が均一に萎れていたが，天日乾燥試料の表面には細胞が平らに潰れた膜状の組織が形成されていた。さらにこの組織構造の違いは物性値に反映されることを確認し，表面だけではなく生に似た組織は試料内部に存在することが示唆された。よって半乾燥処理では，内部に生に近い組織を持つことで水戻しが不要となる。そして，風乾燥試料にて破断試験を行った結果，天日乾燥以上に強靱な膜状構造が形成されることが考えられた。よって，この膜状組織の形成には，試料内部の水分の拡散を助長しない温度管理とともに，表面のみ乾燥を促す程度の風が必要条件となると考える。

2. 生及び半乾燥試料における機能性と組織構造の関係

茹でる前の半乾燥試料と生野菜の抗酸化能を測定し，既報の結果と比較することで，茹で加熱した天日乾燥野菜が生試料よりも抗酸化能が高くなった原因を追究した。

これまでの報告¹⁾の通り，天日乾燥試料の抗酸化能は生試料より低下していた。このことから，天日乾燥野菜で形成された膜状組織により，茹で加熱過程における抗酸化成分の溶出が抑制されたことが，抗酸化能を高く保持できた要因であると考えた。すなわち，天日乾燥法は，重量と嵩を減らすことができるため，野菜摂取量を増加させる手法として提案できるだけでなく，膜状組織が形成されることで，機能性の保持にも有効な加工方法である。

3. 半乾燥カボチャの構造変化の推察

ダイコンで組織構造の検討を行った結果から，膜状組織の形成が確認され，抗酸化能測定及び物性評価から同様にその変化が推察された。そこで，基礎特性の変化から茹で加熱後の抗酸化能が生よりも天日乾燥試料で高くなったカボチャにおいても同様に物性測定を行った。その結果，デンプンの多いカボチャでも，ダイコンと同様に膜状組織の形成が示唆された。天日乾燥試料ではこの膜状組織により，煮崩れが起りにくいため面取りなどの下処理をせずに茹で加熱調理が可能であり，調理の簡便化を図ることができる。

4. 半乾燥キノコの基礎特性による良好な乾燥条件と構造変化の推察

半乾燥野菜の調製と同様に，乾燥方法の異なる半乾燥キノコを調製し，その品質及び抗酸化能から構造変化を推察するとともに最適な半乾燥条件を追究した。

基準の生シイタケを茹で加熱した試料に比べ、半乾燥シイタケの茹で加熱試料の重量及び形状は有意に小さくなった。これは半乾燥野菜と同様の変化である。アミノ酸総量は、マイタケの重量減少率 50%試料の恒温庫乾燥において生試料よりも増加したが、この変化は苦味を感じるアミノ酸群の増加によるものであった。また、ビタミン D₂ は、マイタケの天日乾燥試料で増加の傾向が見られた。ペルオキシラジカル捕捉活性測定の結果から、乾燥方法に関わらずシイタケ及びマイタケの重量減少率 50 %試料において抗酸化能が高くなることがわかった。さらに、シイタケ、シメジ及びマイタケの天日乾燥による重量減少率 50%の茹で汁試料は、生試料よりも透明度が高くなった。そしてペルオキシラジカル捕捉活性の測定では、マイタケ試料においてキノコ本体の抗酸化能が生試料よりも高く、茹で汁ではその逆の抗酸化能を示した。これにより重量減少率 50%の半乾燥キノコを茹で加熱すると、色素成分および抗酸化成分の茹で汁への溶出が抑制されていることがわかった。これらの結果は、半乾燥野菜と同様に、天日乾燥による膜状組織の形成を示唆するものと考ええる。

よって栄養面及び品質面から検討した基礎特性から、良好な半乾燥茹でキノコ試料の調製条件は、天日乾燥による重量減少率 50 %試料であると判断した。

5. 半乾燥果物の基礎特性による良好な乾燥条件と構造変化の推察

キウイを対象にして半乾燥試料を調製し、その健康機能性

として、ペルオキシラジカル捕捉活性とスーパーオキシドアニオンラジカル消去能（SOD様活性）を測定し、抗酸化能を評価した。また、嗜好性に関わる品質を生試料と比較し、フルーツソースとしての実用の可能性を検討した。併せて、以上の結果から、半乾燥野菜で生ずる変化が半乾燥果物にも認められるかを推察した。

キウイの半乾燥試料は、いずれの乾燥方法においても生と同程度の抗酸化能を維持していた。一方、品質評価において天日乾燥試料は、生に近い色を呈しており、調理品となじみやすい適度な粘稠性を有し、甘みが強くなった。

これらのことから、半乾燥キウイ試料は摂取しやすい形態であるフルーツソースとして実用可能であり、特に天日乾燥キウイを用いることで良好な品質のソースが調製できると判断した。また、天日乾燥試料の品質変化は、生と同様の組織が保持されていたことを示唆しており、半乾燥野菜と同様の構造が形成されたものと推察した。

6. 半乾燥野菜の調理への利用の検討

実際の調理を想定して、半乾燥野菜の調理による重量の変化とその調味方法について検討した。

半乾燥試料は生試料よりも茹で加熱後の出来上がり重量が10～20%少なくなった。天日乾燥試料は成分が濃縮するのみならず、茹で加熱においても表面の膜状組織が糖の溶出を抑制したことを示唆する結果として、5%砂糖水で茹でた生試料と同程度の甘味となることがわかった。一方、食塩水中で茹

でた生試料及び天日乾燥試料では，同程度の塩分濃度となっていた。しかし，天日乾燥において茹で後の重量は生に比べて 20%減少したことから，これを摂取する場合は、生試料よりも塩分の摂取量を減らすことができる。

これらの結果より，天日乾燥野菜を茹で加熱することは，半乾燥処理に加えて重量や嵩を減らすことに繋がるため，野菜摂取量を増加させる方法として有効である他，砂糖の使用量と摂取量，ならびに塩の摂取量を抑えることが可能である。

本研究では，半乾燥野菜の優れた特性を引き出すには，天日乾燥による組織変化が必要であり，それは，内部の水分拡散を抑制しながら食品表面を風乾させることで形成される膜状組織であることを明らかにした。

また，組織的变化については電子顕微鏡観察による検証が必要ではあるものの，萌芽的な成果として，キノコや果物においても一部の半乾燥野菜の特性と同様の基礎特性が生じることが認められた。半乾燥処理が植物性食品に広く応用できれば，食生活において利用の機会も増加し，健康増進の一助となることが期待される。

しかし，季節や地域による気候の差が激しい日本において，安定して天日乾燥を行うことは，困難となることが考えられる。今回の結果から，風乾燥により膜状組織の形成が可能であることが示唆されたが，天日乾燥と同様に良好な基礎特性が生じるかは確認できていない。よって，今後は天日に頼らず人為的，かつ合理的に良質な半乾燥食品を製造するため，

さらに半乾燥食品の調製条件及び基礎特性を追究する必要がある。

そして、これまでに得られた半乾燥野菜の半乾燥処理により生じた基礎特性及びその基礎特性の影響で実際の調理時に生ずる変化から、日常の食生活に半乾燥野菜を茹で調理品として利用することは、食物繊維摂取量を増加させる手法として適するばかりでなく、調理における機能性成分の損失を抑え、調理を簡便化する手法としても優れていることを明らかにした。加えて、砂糖の使用量と摂取量、ならびに塩の摂取量を抑えられる利点を見出した。このことより、半乾燥野菜は食生活における生活習慣病予防として、また、調理の簡便化に有効活用できることが考えられる。

しかし、実際の調理の際には茹で加熱だけではなく、さまざまな加熱方法や操作が行われることから、さらに半乾燥野菜の家庭での調理への利用を実現化することを目指して、今後も研究を深化させ広くその有効利用を提案したい必要がある。

引用文献

序論

- 1)久松裕子，遠藤伸之，長尾慶子(2013)調理性・嗜好性および抗酸化性から検討した半乾燥干し野菜の調製条件，家政誌，64：137-146.
- 2)農林水産省食料産業局食文化・市場開拓課和食室(2015)和食文化を守る。つなぐ。ひろめる。，農林水産省，pp.2-3.
- 3)江原絢子(2014)日本の食文化 その伝承と食の教育，日本味と匂学会誌，21：121-127.
- 4)原田信男(2005)和食と日本文化，小学館，東京，pp.196-211.
- 5)厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会(2014)<http://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10601000-Daijinkanboukouseikagakuka-Kouseikagakuka/sinntyoku.pdf>，厚生科学審議会(2016/10/21)。
- 6)厚生労働省(2014)平成25年「国民健康・栄養調査」の結果，<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000067890.html>(2016/10/21)。
- 7)Ness A.R., Powles J.W. and Khaw K.T.(1996) Vitamin C and cardiovascular disease, *J. Cardiovasc Risk*, 3 : 513-521.
- 8)Glade M.J.(1999)Food, nutrition, and the prevention of cancer: a global perspective. American Institute for Cancer Research/World Cancer Research Fund, *American Institute for Cancer Research*, 1997, Nutrition, 15 : 523-526.

- 9)白澤卓二(2009)健康寿命を延ばす食事,農林水産技術研究ジャーナル, 32, 5: 20-24.
- 10)田中芳明, 石井信二, 浅桐公男, 深堀優, 七種伸行, 橋詰直樹, 吉田索, 小松崎尚子, 升井大介, 東舘成希, 八木実(2016)酸化ストレスと抗酸化療法, 日本静脈経腸栄養学会雑誌, 31: 3-12.
- 11)山本紀夫(1976)中央アンデスの凍結乾燥イモ, チュ-ニョ--加工法, 材料およびその意義について, 季刊人類学, pp169-216.
- 12)福永淑子(2006)中国の伝統的な乾燥食品の利用とその調理技法, 日本調理科学会誌, 39: 1-9.
- 13)星名桂治(2011)乾物の事典, 東京堂出版, 東京, pp.9-10.
- 14)石谷孝佑(2008)食品と乾燥, 光琳, 東京, pp.113-132.
- 15)日本家政学会編(1989)食生活と加工食品, 朝倉書店, 東京, pp.97.
- 16)金和子(1995)切り干し大根の香気形成について, 日本家政学会誌, 46: 413-421.
- 17)松本睦子, 河村フジ子(1994)切干し大根の調理特性について, 日本家政学会誌, 45: 19-25.
- 18)江間三恵子(2008)乾燥食品の文化と変遷, 五月書房, 東京, p.26.
- 19)山口明子, 西麗, 廣瀬潤子, 浦部貴美子, 灘本知憲(2012)乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化, 日本食品保蔵科学会誌, 38: 169-176.
- 20)須谷和子, 志垣瞳, 池内ますみ, 澤田崇子, 長尾綾子, 升

井洋至, 三浦さつき, 水野千恵, 山下英代, 山本由美(2015)NHK
「きょうの料理」における煮物調理の変遷調査, 日本調理科学会誌, 48: 416-426.

21)八木昌平, 枝川正樹, 乙黒親男, 原宏佳, 金子憲太郎(2008)
半乾燥キャベツの保存中における遊離アミノ酸, ビタミンC
および一般細菌の変化, 日本食品保蔵科学会誌, 34: 75-83.

22)TOOR Ramandeep K., SAVAGE Geoffrey P.(2006)Effect of
semi-drying on the antioxidant components of tomatoes, *Food.
Chem.*, 94: 90-97 .

23)有元葉子(2003)干し野菜のすすめ, 文化出版局, 東京, pp.4
- 11.

24)暮らしの手帖社(2006)干し たのし おいし - 半干し野菜は
もう一つの野菜, 25 巻, pp.88-95.

25)廣田有希(2011)干し野菜をはじめよう, 文藝春秋, 東京,
pp.8-23.

26)江口文陽他(2005)きのこの生理活性と機能性の研究, シー
エムシー出版, p.17.

第 1 部

27)折笠貴寛, 田川彰男, 相馬真哉, 飯本光雄, 小川幸春(2005)
青果物の熱風乾燥特性と硬化, 農業機械学会誌, 67: 62-70

28)石谷孝佑(2008)食品と乾燥, 光琳, 42-43.

29)Maska, M.(2007)Microwave/air and shrinkage of apple slice,
J. Food Eng., 78: 1103-1110.

30)渕上倫子(2013)調理・加工による食品物性の挙動と組織に

関する総合的研究，日本調理科学会誌，46：65-74.

31)香西みどり(1997)野菜の加熱による軟化速度と硬化現象，調理科学，30：62-70.

32)杉田収(2001)人の健康と活性酸素，新潟県立看護短期大学紀要，7：9－19.

33)Kitao, S., Fujii, K., Teramoto, M., Harada, K., Ando, M. and Tamura, Y.(2005)Rapid and sensitive method for evaluation of radical-scavenging activity using peroxy radicals derived from 2, 2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride combined with luminol chemiluminescence, *Food Sci. Technol. Res.*, 11: 318-323 .

34)吉川敏一，河野雅弘，野原一子(2003)活性酸素・フリーラジカルのすべて - 健康から環境汚染まで - ，丸善，39-76.

35)文部科学省科学技術・学術審議会(2015)日本食品標準成分表 2015 年版，全国官報販売協同組合，74.

36)久保田朗，山下純隆(2000)加熱処理が野菜抽出物の抗酸化性に及ぼす影響，福岡県農業総合試験場研究報告書，19：81-84.

37)TAMURA Sakie, NAKANISHI Masami, KAWAMURA Chie(1996)Effects of Storage on the Cooking Quality of Sliced Potatoes, *J. Home Econ. Jpn.*, 47: 203-211.

第 2 部

38)芳本信子(2001)第 2 版食べ物じてん，学建書院，東京，p.224.

39)土田茂(2008)食品と乾燥，光琳，東京，pp.175－176.

- 40)Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W. (2012) "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". *Nature Methods*, 9: 671-675.
- 41)青山佳弘(2006)におい識別装置と食品・飲料のにおい評価への応用, 日本食生活学会誌, 17: 266 - 270.
- 42)Bidlingmeyer, B. A., Cohen, S. A., & Tarvin, T. L. (1984) Rapid analysis of amino acids using pre-column derivatization. *J. Chromatogr.*, 336: 93-104.
- 43)Sato, K., Tsukamasa, Y., Imai, C., Ohtsuki, K., Shimizu, Y., & Kawabata, M. (1992) Improved method for identification and determination of ϵ -(γ -glutamyl)-lysine cross-link in protein using proteolytic digestion and derivatization with phenyl isothiocyanate followed by high-performance liquid chromatography separation. *J. Agric. Food Chem.*, 40: 806-810.
- 44)Iwai, K., Hasegawa, T., Taguchi, Y., Morimatsu, F., Sato, K., Nakamura, Y., Higashi, A., Kido, Y., Nakabo, Y., & Ohtsuki, K. (2005) Identification of food-derived collagen peptides in human blood after oral ingestion of gelatin hydrolysates, *J. Agric. Food Chem.*, 53: 6531-6536.
- 45)中島正晴, 西脇俊和, 沼田史江, 川口信久(2010)固相抽出及び LC/MS を用いたマイタケ中ビタミン D₂ の迅速分析, 新潟県農業総合研究所食品研究センター研究報告, 39: 23-25.
- 46)相馬真哉, 田川彰男, 飯本光雄(2004) 乾燥過程における青果物の構造的特性の変化, 日本食品科学工学会誌, 51: 577-584.

- 47)田村咲江(1995) 野菜の細胞壁と調理, 日本調理科学会誌, 28 : 274-282.
- 48)久保田昌治, 佐野洋, 石谷孝佑(2008) 食品と水, 光琳, pp.272-277.
- 49)桐渕壽子(1991)日光または紫外線照射キノコの遊離アミノ酸の変化, 日本家政学会誌, 42 : 415 - 421.
- 50)青柳康夫(2000) キノコの味と香りの秘密, 現代化学, 10, pp.54-60.
- 51)澤田崇子, 遠藤金次(1997)市販キノコ類の加熱調理における核酸関連物質の生成および分解について, 日本家政学会誌, 48 : 145-151.
- 52)佐々木弘子, 中村尚子, 甲田道子, 松本仲子, 青柳康夫, 菅原龍幸(1989)干し椎茸の水戻し条件について, 日本食品工業学会誌, 36 : 293-301.
- 53)桐渕壽子(1990) キノコ中のエルゴステロールおよびビタミン D₂ の定量, 日本家政学会誌, 41 : 395-400.
- 54)竹内敦子, 岡野登志夫, 寺岡澄子, 村上裕美子, 鞆本万里子, 澤村節子, 小林正(1984)シイタケ中のビタミン D₂ の同定及び定量, ビタミン, 58 : 439 - 447.
- 55)竹内敦子, 岡野登志夫, 鞆本万里子, 澤村節子, 小林正(1984)シイタケ中のビタミン D₂ 及びエルゴステロールの分布と存在型について, ビタミン, 58 : 589 - 595.
- 56)Suter PM. (1999)The effect of potassium, magnesium, calcium, and fiber on risk of stroke,*Nutr. Rev.*,57: 84-88.
- 57)Ness A.R., Powles J.W. and Khaw K.T. (1996) Vitamin C and

cardiovascular disease, *J. Cardiovasc Risk*, 3: 513-521.

58)果物のある食生活推進全国協議会(2002)毎日くだもの200g運動指針, 中央果実生産出荷安定基金協会, 東京, p.37.

59)山崎正利, 岩澤晴代(2005)野菜・果物の抗酸化作用と免疫活性化作用, 食品と科学, 47: 73-77.

60)同仁化学研究所, SOD 様活性を測定したいプロトコル <http://www.dojindo.co.jp/technical/protocol/p11.pdf>(2016/2/3) .

61)二木鋭雄, 大澤俊彦, 吉川敏一(2005)成人病予防食品, CMC 出版, 東京, pp.159-166.

62)手老省三, 真嶋哲朗(1999)フリーラジカル 生命・環境から先端技術にわたる役割, 丸善, 東京, pp.85-92.

63)松本信二, 高野克己, 鴨居郁三(1993)キウイフルーツのポリフェノールオキシダーゼの性状について, 熱帯農業, 37: 197-201.

64)Tanaka, J., Shan, S., Kasajima, N. and Shimoda, H. (2007)Suppressive effect of defatted kiwi fruit seed extract on acute inflammation and skin pigmentation, *Food Sci. Technol. Res.*, 13: 310-314.

65)山崎清子, 渋谷祥子, 下村道子, 杉山久仁子, 市川朝子, 島田キミエ(2011)NEW 調理と理論, 同文書院, 東京, pp.428-432.

66)仲濱信子, 大越ひろ, 森高初恵(2013)改訂新版おいしさのレオロジー, アイ・ケイ・コーポレーション, 東京, p.143.

67)栗津原理恵, 石谷(佐藤)久美, 原田和樹, 遠藤伸之, 長尾慶子(2012)抗酸化能を高める洋食献立の食事設計法の提案,

日本調理科学会誌， 45： 393-402.

第 3 部

68)女子栄養大学出版部(2012)調理のためのベーシックデータ，
女子栄養大学出版部， 東京， pp.136－139.

69)長尾慶子， 香西みどり(2009)調理科学実験， 建帛社， 37.

公表論文目録

本論文の内容は，以下の論文に公表した。

- 1) 久松裕子，重村泰毅，小林(栗津原)理恵，長尾慶子（2015）
調製条件の異なる半乾燥キノコの茹で加熱調理時における品質及び抗酸化性の検討，日本調理科学会誌，48，285-291
- 2) HISAMATSU, Yuko NAGAO, Keiko KOBAYASHI, Rie(2016)
An Investigation into the Cause of Change in the Antioxidant Activity of Half-dried Mushrooms, Bulletin of Tokyo Kasei University, 56, 75-79
- 3) 久松裕子，長尾慶子，小林理恵（2017）半乾燥キウイフルーツのフルーツソースとしての抗酸化能と品質における評価，東京家政大学研究紀要，57
- 4) 久松裕子，長尾慶子，小林理恵（2017）半乾燥野菜の抗酸化能，物性及び味に及ぼす組織構造の影響，日本家政学会誌，68

謝 辞

本研究を進めるにあたり，研究に取り組む姿勢，考え方，論文作成に至るまで，終始，懇切丁寧にご指導くださいました小林理恵准教授に深く感謝申し上げます。

論文の審査過程において，貴重なご指導，ご助言を賜りました飯塚堯介客員教授，宮尾茂雄教授，井上俊哉教授，藤森文啓教授に深く感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり，ご指導とご協力を賜りました重村泰毅講師，若狭湾エネルギーセンター遠藤伸之先生に深く感謝し，御礼申し上げます。

本実験の測定に際して多大なご協力をいただきました，東京家政大学調理科学研究室の卒業生の皆様に感謝申し上げます。そして，3年間の大学院生活において，励まし協力し合いながら支え続けていただき，またこのような貴重な機会を与えてくださいました東京家政大学の皆様に感謝いたします。

最後に調理科学の魅力をご教授くださり，常に温かく励ましてくださった本大学院客員教授長尾慶子先生に心より感謝申し上げます。