

対流式乾燥機による機能性を活かした農産物の
粉末化技術の開発と利用に関する研究

2022年3月

熊本大学大学院自然科学教育部

西園昌代

目次

第 1 章 緒論	1
1.1. 研究の背景および目的	1
第 2 章 既往研究	4
2.1. 乾燥の変遷	4
2.2. 乾燥方法の種類と課題	5
2.2.1. 熱風乾燥	5
2.2.2. 噴霧乾燥	5
2.2.3. ドラム乾燥	6
2.2.4. マイクロ波乾燥	6
2.2.5. 真空凍結乾燥 (FD)	7
2.2.6. 従来の乾燥方法の課題	7
2.3. 野菜や果物に含まれる機能性成分	8
2.3.1. トマトに含まれる機能成分	8
2.3.2. イチゴに含まれる機能成分	10
2.3.3. 抗酸化作用	12
2.3.4. 酸化による色の変化	14
第 3 章 高機能性および高栄養価を保持したトマトの乾燥粉末の製造技術 開発	18
3.1. 緒言	18
3.2. 試料および実験方法	19
3.2.1. 試料	19
3.2.2. 乾燥方法の確立試験	20

3.2.3. リコペン含量の測定	20
3.2.4. 総ポリフェノール含量の測定	22
3.2.5. DPPH ラジカル消去活性の測定	22
3.2.6. 有機酸の測定	22
3.2.7. 遊離アミノ酸の測定	23
3.2.8. 低温乾燥時のエネルギー消費量	23
3.2.9. 統計分析	24
3.3. 結果および考察	25
3.3.1. 乾燥温度の違いによる重量変化および成分の変化	25
3.3.2. 乾燥方法の違いによるトマトの水分損失量	29
3.3.3. リコペン含量の測定	30
3.3.4. 総ポリフェノール含量の測定	31
3.3.5. DPPH ラジカル消去活性の測定	33
3.3.6. 有機酸の測定	36
3.3.7. 遊離アミノ酸の測定	37
3.3.8. 水分除去速度	40
3.3.9. エネルギー消費量	44
3.4. 小括	45
第4章 低温乾燥と真空凍結乾燥の2つの異なる乾燥方法で調製したイチゴ粉末の比較および異なる機種による低温乾燥のイチゴ粉末への影響	47
4.1. 緒論	47
4.2. 試料および実験方法	48
4.2.1. 試料	48
4.2.2. 乾燥方法	48

4.2.3. 測色	49
4.2.4. 微細構造	49
4.2.5. 水分保持能力 (WHC)	50
4.2.6. 可溶性指数 (WSI)	50
4.2.7. 総ポリフェノール含量の測定	50
4.2.8. DPPH ラジカル消去活性の測定	51
4.2.9. 有機酸量の測定	51
4.2.10. 遊離アミノ酸量の測定	51
4.3. 結果および考察	51
4.3.1. 乾燥法の違いによるイチゴの水分量の変化	51
4.3.2. イチゴ粉末の色の測定	53
4.3.3. イチゴ粉末の物理化学特性	57
4.3.4. 総ポリフェノール含量	61
4.3.5. DPPH ラジカル消去活性	63
4.3.6. 有機酸	65
4.3.7. 遊離アミノ酸	66
4.4. 小括	68
第 5 章 乾燥粉末の利用方法および食品への応用	70
5.1. LTD で作製した粉末の利用方法	70
5.2. LTD で作製した粉末を使った食品の試作	70
5.2.1. トマト大福	70
5.2.2. イチゴ大福	71
5.2.3. スノーボール	72
5.2.4. シュークリーム	72

第 6 章 総括	74
参考文献	79
謝辞	89
本論文の主体となる報文	90

第 1 章 緒論

1.1. 研究の背景および目的

熊本県は九州の中央部に位置し、豊かな自然を背景に米、野菜、果樹、畜産をはじめ、多彩な農畜産物を生産している[1]。令和元年（2019年）の農業産出額は全国第6位、生産農業所得は全国第4位である。全国第1位が7品目（トマト、すいか、不知火類（デコポン）、葉たばこ、いぐさ、宿根カスミソウ、カリフラワー）があり、その他にも、なす、メロン、しょうが、なつみかん、くりなど、全国的にも上位を占める品目が数多くある。また、令和元年（2019年）の農業産出額は3,364億円（前年比98.8%）、全国6位となっている。主な内訳は、野菜1,220億円（構成比36%）、畜産1,148億円（34%）、米368億円（11%）、果実313億円（9%）、花き96億円（3%）、工芸農作物91億円（3%）等で、生産農業所得は1,442億円で前年より3.4%増加し、全国4位（前年：全国5位）[2]と農業が主要産業となっている。

また、農林水産業における所得の確保と雇用の創出を目指して、県産の優れた農林水産物を活用した付加価値の高い加工品づくりと、その流通・販売に取り組む6次産業化を支援し、新たなビジネスの展開や新産業の創出を図っている。県内の6次産業化の取組みを強力に推進するため、平成25年度（2013年度）から「熊本6次産業化サポートセンター」を設置し、6次産業化に取り組む事業者を支援し、令和2年（2020年）度は、県内で92の事業者が6次産業化・地産地消法に基づく総合化事業計画の認定を受け、九州第2位、全国第5位となった。さらに、良質な農産物を利用した特徴ある加工食品づくりに取り組む比較的小規模の加工組織等も活動しており、令和元年（2019年）には組織数900、販売額378億円となった。このような動きを

支援するために、消費者ニーズを捉えた個性ある商品開発・改良を推進するとともに、令和元年度（2019年度）からは6次産業化の取り組みを更に推進するため、異業種連携による商品開発や販路開拓を支援し、6次産業化に取り組む人材の育成を行っている[3]。県の組織のアグリシステム総合研究所では、フードバレーアグリビジネスセンターを活用して、生産者や消費者のニーズを汲み上げながら、商品開発（加工）から販売（流通）まで一貫した支援体制を整え、バリューチェーンを視野に入れた“売れるものづくり”の支援を行っている。具体的には、アグリビジネス支援室で、施設・機器の利用による試作、開発支援に取り組み、農業者等の加工技術習得支援、柑橘類、野菜類の乾燥、粉末等のサンプル作成による商品化を支援している[4]。

筆者は、熊本県において長年食品分野の仕事に携わっており、フードバレーアグリビジネスセンター・アグリビジネス支援室においても職員として、県内の食品製造業者、農産物加工業者等に対して食品開発支援や加工技術指導を行ってきた経緯がある。

近年、農産加工は加工機械等の向上や消費者の食生活の洋風化、多様化のため、その要求に応じた食品を製造するようになり、乾燥食品もそういった理由から需要も増えていった。また、乾燥食品は健康志向や嗜好性に合っており、さらに簡便で安価であり、粉末や顆粒にすることでいろいろな食品に混ぜられ活用面も広いという利点もある。筆者もいろいろな野菜・果実を利用して乾燥品を作り、多くの農産物に対してその加工方法を確立させている。しかし、粉末化は原料の種類とその用途によって乾燥法が異なり、特に糖分や油脂分が多い農産物は乾燥が困難であるため、明確な加工方法を有していない。一般に良質な粉末を作製するのに最適な乾燥方法は、真空凍結乾燥（以下FD）であることはよく知られている[5]。しかし、真空凍結乾燥機は特殊

な装置であるため、食品業界で所有している企業は少ない。そこで、筆者は安価な対流式の熱風乾燥機で農産物の良質な乾燥粉末を作製する方法について検討を行った。

本論文では、6次産業化や農産加工の現場に多く導入されている対流式乾燥機を用いて、FDで作成した粉末に匹敵する品質の乾燥粉末の製造方法を確立し、その方法で作製した粉末とFDによる粉末との品質を比較検証し、その乾燥方法の優位性を考察した。

第 2 章 既往研究

2.1. 乾燥の変遷

乾燥という単位操作は、食品加工において非常に重要な工程である。水分含量の高い食品から水を除き、微生物や酵素による腐敗や変敗、食品の成分間の化学反応にともなう変質を防止することによって、食品に長期間の貯蔵性と流通性を与えることを可能とする技術である[6]。食品の乾燥は、紀元前から貯蔵の目的で、天日や冷風などの自然条件を利用して行われていた。また、いろいろな人工乾燥方法が開発されてからも、重要な貯蔵方法として食品の保存や輸送性を付与する目的で行われている。1600年初頭までは、すべて天日などの自然条件を利用して乾燥し、獣肉、魚介類、野菜、果実、加熱穀類または加工品などを保存食料としていた。人工乾燥が始まったのは1600年前後で、始めは乾燥室を作りその中に温風あるいは熱風を送り込んで食品を乾燥していた。1700年以降になると人工乾燥方法で作られた乾燥野菜が増え、1800年代に野菜・果実の人工乾燥技術の基礎が確立された[7]。

日本においても、乾燥は古くから使われていた技術で、さまざまな乾燥野菜が作られている。平安時代の古文書「類聚雑用省」では、乾燥野菜としてゴボウやレンコンが記されており、室町時代になるとゴボウ、タケノコ、ダイコンの乾燥野菜で作られていた。時代の変遷とともに乾燥できる野菜の種類が増え[8]、江戸時代には現代と同じような野菜が乾燥されており、ショウガやシソは食品よりも薬として利用価値が高かったとされている[9]。現代においても、年々増加傾向にある生活習慣病の予防因子の1つとして野菜の摂取が挙げられているが、日本人の野菜摂取量は目標の約80%に過ぎず、摂取量増加は今後の重点項目となっている[10]ため、その解決策として水分を減

小さくすることで、旨味や栄養成分が濃縮され効率的に摂取することができる乾燥野菜に期待が持てる。また、乾燥食品は健康志向や嗜好性に加え、簡便で安価な食品としてこれらの志向の条件を十分備えていると考えられる。

一方、新しい技術も開発され乾燥方法の種類も熱風、気流、流動、バンド、ドラム、噴霧、真空、凍結、油揚げ乾燥、マイクロ波乾燥など多くの乾燥方法が生まれてきた。これらの乾燥方法は、対象となる食品の特性によって使い分けられている。

第2章では、多種ある乾燥方法のうち、農産物等の乾燥によく使用される乾燥方法について、その原理と特徴および各乾燥方法の課題を記載する。また、加工原料として用いられる農産物のうち、今回の試験で使用したトマトとイチゴの機能性成分およびそれら成分の乾燥による分子変化について記す。

2.2. 乾燥方法の種類と課題

2.2.1. 熱風乾燥

熱風乾燥は、対流伝熱による代表的な乾燥方法で、通風乾燥、送風乾燥とも呼ばれる。金網または網状プレートの上に並べられた食品材料の間の間隙に、熱風を直角方向に通過させて乾燥する方式である。この方式は、材料層間の風速が速く、熱風と食品材料との接触面積が大きく、材料内部の水分の拡散距離が短いため、乾燥速度が大きいという特徴がある。価格も安価で運転操作、保守点検が比較的容易ということもあって、加工施設に最も多く導入されている。乾燥温度が高すぎたり、乾燥時間が長いと品質が低下する恐れがある[7]。

2.2.2. 噴霧乾燥

スプレードライとも呼ばれ、液状食品を高温気流中に噴霧微粒化して分散させ、表面積を増大させることで、数十秒の短時間で乾燥させる方法である。特長として、製品形状を球形の多孔質粒子にすることができるため、溶解性、分解性に優れ、インスタント粉末の製造に適している。連続で大量処理が可能で、液状物質を直接、微粉末化できることから、粉砕、分級などの工程が必要ないなどがあげられる。しかし、加熱、圧力が関係し、ある程度の熱変性や芳香、その他の揮発成分の逸散は免れないこと、大型の乾燥装置が必要で、使用後の乾燥熱風の回収利用に特別な装置を必要とするためコストがかかる、といった欠点もある[7, 11]。

2.2.3. ドラム乾燥

噴霧乾燥では採用できないようなスラリー状、ペースト状、半固形状原料などさまざまな濃度や粘度を有する原料を、加熱された金属ドラムの上に薄く塗布し、ドラム回転に従って乾燥させる方法である。特長として、原料の幅が広く多種類の乾燥が可能である。乾燥時間が極めて短く、熱による物性変性が少ない。熱効率が高く、構造が簡易なため、機械の清掃が容易で、少量多品種生産に適している。できあがった乾燥物は、粉末からフレーク状、フィルム状まで連続的に取り出すことができる、などがあげられる。ドラム乾燥で作られる製品には、粉末状の医薬品の飲用時やキャラメルなどの包装材料としてのオブラートやマッシュポテトフレークの製造に使用されている[7, 11]。

2.2.4. マイクロ波乾燥

マイクロ波乾燥はマイクロ波誘電加熱を利用する乾燥方法で、電子レンジ

と同じ原理で、マイクロ波が食品材料の内部まで伝わり水分子を振動させることで急速に発熱、蒸発させ乾燥させる方法である。食品内部の水分が急速に蒸発することで水分が存在した部分が空隙になり、多孔質構造が形成され食感が軽く、復元性の良い乾燥品の作製が可能である。マイクロ波乾燥は、加熱時間が短く、素材の風味や色を損なわない。外層、内層とも温度差なく同時に加熱されるため、均一で安定した品質が保持できるといった特長がある[7, 11]。

2.2.5. 真空凍結乾燥 (FD)

真空凍結乾燥は、乾燥材料を凍結した後に真空中で氷結晶の昇華によって乾燥する方法である。乾燥工程は、乾燥材料の予備凍結から昇華による乾燥を経て完了するため、他のどの乾燥方法よりも時間を要する。しかし、乾燥品は乾燥前の形状、色調、風味、栄養成分を保持しており、水または湯で瞬時に復元可能な最も高品質の乾燥食品を作製することができる。現在の乾燥方法のうち最も優れた乾燥方法である[7, 11]。

2.2.6. 従来の乾燥方法の課題

上記に示した乾燥法は、いずれも多く乾燥品を作製するために有効な方法である。しかし、筆者が対応支援している農産加工や6次産業化で製造される農産物の乾燥には、操作の簡便性やコスト面、汎用性の高さから対流式の熱風乾燥機が広く用いられており[12]、トマト[13]やリンゴ[14]等様々な青果物の乾燥品について研究がおこなわれている。しかし、熱風乾燥による青果物の乾燥では、褐変の問題[15]や、先に試料表面の乾燥に硬化が起こる[16]のために、内部の乾燥が不十分であったり、水分移動による試料収縮などが原

因 [17]で乾燥時間が長くなる[18, 19]といった報告もある。

現在、色・味・香り・栄養価等の品質を最も低下させない乾燥方法として、FDが挙げられる[20]。また、FD以外にもマイクロ波による乾燥[18,21,22]、あるいは減圧乾燥[23]といった乾燥方法が、良質な乾燥品を作製する方法として報告されている。しかし、FDおよびその他の乾燥方法は、そのための専用の装置が必要となり、FDは乾燥にかかる時間もコストも、熱風乾燥よりも多くかかってしまうという点で安価な商品製造には不向きである。以前、報告された熱風乾燥による乾燥試験の温度帯は、50～70℃で行われたケースが多く[13-15,20,24-27]、その結果、FDおよびその他の乾燥方法よりも試料の品質の低下を示す報告が多かったものと考えた。そこで筆者は、熱風乾燥による乾燥温度を報告されている温度帯よりも低く設定した低温乾燥法（Low-temperature drying method、以下 LTD）が、FDよりもコストを低く抑え、成分の損失も少なくできてFDと同じくらいの品質の粉末化が可能ではないかと考え、乾燥試験を行うことにした。

2.3. 野菜や果物に含まれる機能性成分

2.3.1. トマトに含まれる機能性成分

トマトの赤い色素は「リコペン」という成分で、「リコペン」は「カロテノイド」（動植物に含まれる、赤や黄色、オレンジ色の色素）のひとつである。

「リコペン」は、Figure 2-1 に示すように、炭素と水素原子からのみ構成された分子構造を有している。果実、果皮、種子などの非光合成器官には様々な種類のカロテノイドが存在しており、リコペンもその一つである。果実は種子の成熟にともない、カロテノイド、アントシアンなどの色素によって色づく。これらの色素は種子を光酸化から保護していると考えられている。トマ

トの場合も、果実に種子が形成されると、リコペンの前駆体である無色カロテノイドのフィトエン、フィトフルエンを赤色のリコペンに変換する事によって、光酸化から種子を保護している [28]。

近年、「カロテノイド」自体が強い抗酸化力を有することが知られるようになり、急激に注目度が増している。そして、「カロテノイド」の中でも、とりわけ「リコペン」の抗酸化力が強く、その作用はビタミン E の 100 倍以上にもなるという報告もある [29]。

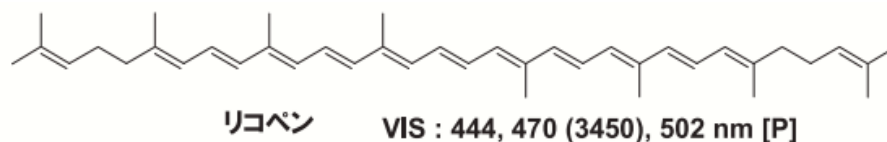


Figure 2-1. リコペンの構造式と可視部吸収スペクトル

また、トマト果皮には、トマト特有のポリフェノール「ナリンゲニンカルコン」が含まれ、強い抗アレルギー活性を示すことが報告されている [30]。スギ花粉症の患者を対象にした臨床試験において自覚症状の改善ができ、また、血清中 ECP 値（アレルギー症状が起きた時に増加する好酸球の活性状態を示す値）が、トマト果皮抽出物摂取により対照群と比較して低下することが確認された [31]。

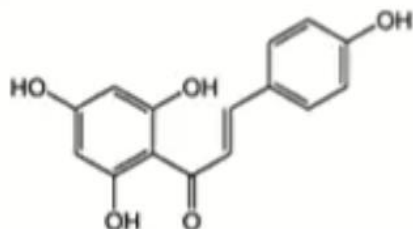


Figure 2-2. ナリンゲニンカルコン

トマトに含まれるアミノ酸のうち、グルタミン酸とアスパラギン酸はそれぞれ 44%、12%と全アミノ酸の半分以上存在し、ともに小腸粘膜消化吸収エネルギー源になることが知られている (Figure 2-3) [32]。また、トマトには γ -アミノ酪酸(GABA)も多い。GABAは、グルタミン酸から脱炭酸反応で合成されるアミノ酸で、動植物界に広く分布し、脳や脊髄などの中枢神経において抑制性神経伝達物質として働く。生理機能としては、血圧上昇抑制効果、精神安定作用、肝機能改善効果などが知られている[33]。

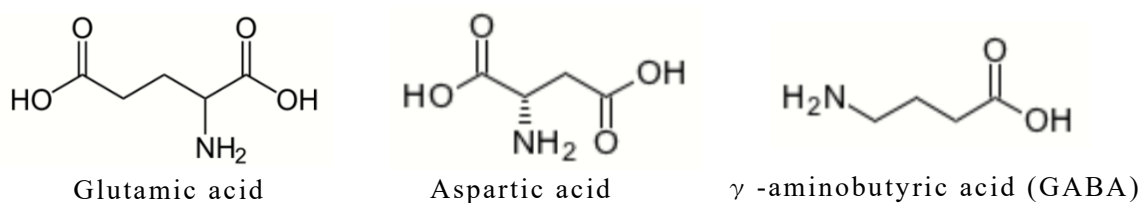


Figure 2-3. トマト中の主要なアミノ酸

2.3.2. イチゴに含まれる機能性成分

アスコルビン酸 (Figure 2-4) は、ビタミン C としてアミノ酸代謝、コラーゲンの生成、副腎皮質ホルモンの生成、蛋白質フェリチンの生成などに関与するなど、我々生物には不可欠な栄養成分であるが、人間の体内では生成することができず、主として果実や野菜に依存している。イチゴは野菜・果実の中でも、高いアスコルビン酸量を有す。アスコルビン酸は抗酸化物質としても生体内で重要な役割を果たしており、七訂訂日本食品標準成分表によるとイチゴ果実には可食部 100 g 当たり 62 mg を有している。

イチゴには、果実 (花托部) の赤色色素としてのアントシアニン類やカテキン等のタンニン類、フラボノイド類などのポリフェノール類が多数含まれている[34]。これらのポリフェノール類は、抗酸化、抗菌、抗ウイルス等のさ

さまざまな生理活性が見いだされ、各種機能性食品へも応用されている。イチゴ果実の赤色色素はアントシアニンによるもので、アントシアニンは植物中では糖と結合した形（配糖体）で存在する。色素本体である糖以外の部分（アグリコン）は、アントシアニンジンと呼ばれ、B環の置換基、結合糖の種類と数、アシル基の有無により多くの種類がある。主に存在するアントシアニジンは Figure 2-5 に示す 6 種類である [35]。

エラグ酸（Figure 2-6）はイチゴポリフェノールの中でも、特に強い抗酸化力を有する化合物で、抗ガン、抗変異原などの活性を示すことがわかっている [36]。

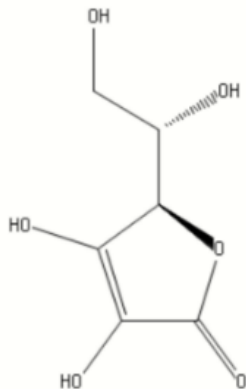
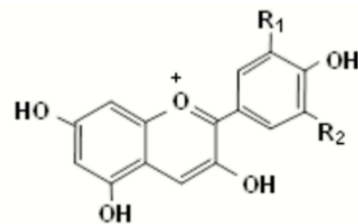


Figure 2-4. L-Ascorbic acid



R ₁	R ₂	Antho-cyanidin
H	H	Pelargonidin
OH	H	Cyanidin
OCH ₃	H	Peonidin
OH	OH	Delphinidin
OCH ₃	OH	Petunidin
OCH ₃	OCH ₃	Malvidin

Figure2-5. アントシアニジンの化学構造

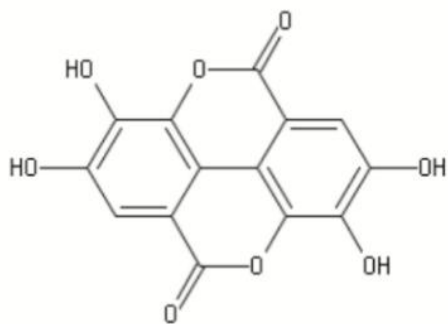


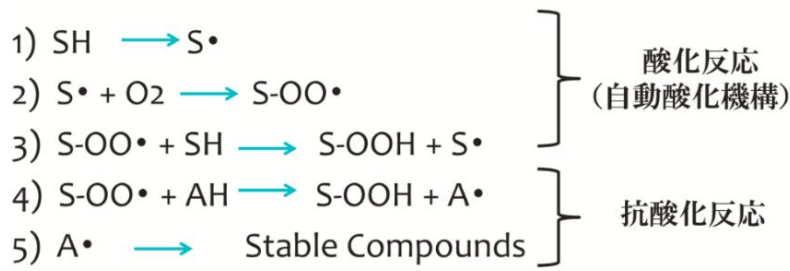
Figure 2-6. エラグ酸

2.3.3. 抗酸化作用

生体内での活性酸素及びフリーラジカルの過剰発生が、生活習慣病をはじめとする種々の疾病の発症原因とされ、これらの疾病の発症予防に食品由来の抗酸化物質の摂取が有効と考えられている。活性酸素及びフリーラジカルは生体防御において利用される反面、高い反応を有することから、生体内のタンパク質、脂質や DNA などの生体成分を酸化して、タンパク質の変性、脂質の過酸化、遺伝子の損傷等を引き起こす。こういった、酸素が関わった酸化傷害を阻害する作用を抗酸化作用といい、その酸化反応を抑える物質を抗酸化物質という。植物由来の抗酸化物質（成分）の作用メカニズムの一つとしてラジカル阻止が挙げられる。この過程は、以下のような2つの段階を経るものと考えられている [37]。

- 1) ラジカル補足段階:フリーラジカルに抗酸化物質が水素原子を与え、抗酸化物質がもとのフリーラジカルよりも反応性の低い安定フリーラジカルを形成する段階
- 2) ラジカル終結段階:安定フリーラジカルが非ラジカル化合物となりラジカルが消去する段階

Figure 2-7 に示したのは、食品成分の酸化としての一般的な自動酸化とその抑制酸化（抗酸化）のスキームである。反応式 1)がラジカル開始反応、反応式 2)~4)がラジカル成長反応で、そのうち 4)が通常抗酸化反応といわれる段階に相当する（上記 1）の段階。反応式 5)はラジカル停止反応で、ラジカル種の最終消去段階である（上記 2）の段階であり、抗酸化機能は、反応式 4)ならびに 5)による2段階の反応による機能と考えられる [38]。



SH 生体成分 AH 抗酸化性物質

Figure 2-7. 食品、生体成分の酸化（自動酸化）、抗酸化の反応スキーム

代表的な天然の抗酸化物質であるアスコルビン酸（ビタミン C）と α -トコフェロール（ビタミン E）の抗酸化機構をそれぞれ Figure 2-8 と Figure 2-9 に示した[39]。アスコルビン酸は、活性酸素に電子を 1 つ供与すると自らはラジカルとなるが、共鳴により安定化される。このようなラジカル安定化が、他の分子を次々とラジカルにしていく連鎖反応を防ぐとともに、自らはデヒドロアスコルビン酸となる。また、 α -トコフェロールは脂質ペルオキシラジカル(LOO \cdot)のようなラジカルを 1 電子還元すると、自らはラジカルになるが、やはり共鳴によりラジカル非局在化が起こり安定化する。更に、 α -トコフェロールから生じたラジカルはもう 1 分子の脂質ペルオキシラジカルと反応して非ラジカルとなる。

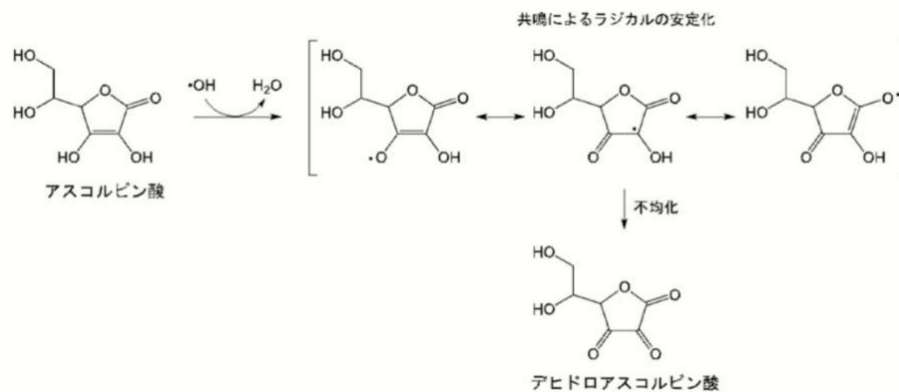


Figure 2-10, アスコルビン酸（ビタミン C）の抗酸化機構

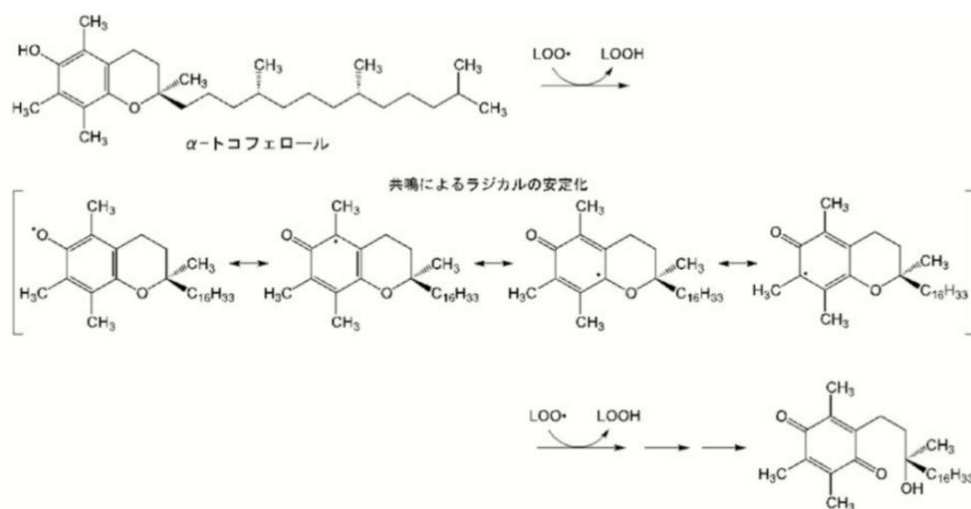


Figure 2-11. α -トコフェロール（ビタミン E）の抗酸化機構

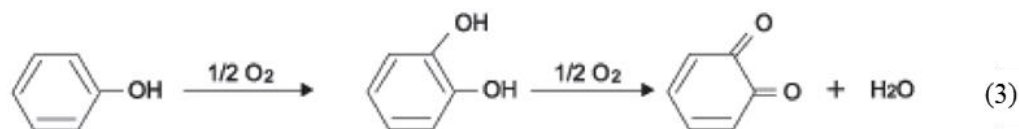
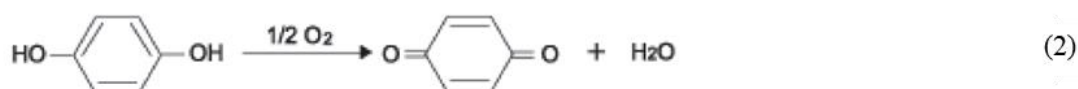
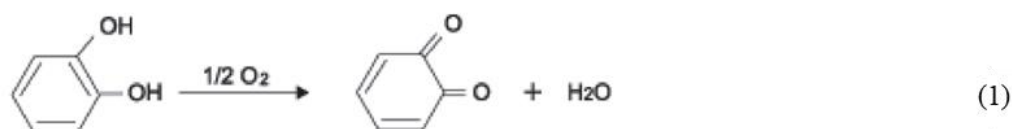
2.3.4. 酸化による色の変化

食品は加工・貯蔵中にしばしば変色や褐変を引き起こす。食品の色に関係する成分は、主にポリフェノール類、カロテノイド類、クロロフィル類と様々で、それぞれ変色の要因も異なる。

ポリフェノールによる変色はリンゴ果肉の褐変化やイチゴジャムの退色などが挙げられる。ポリフェノールの変色は、ポリフェノールオキシダーゼを主とする酸化酵素が関与する酵素的変色と、酵素が関与しない非酵素的変色がある。酵素的変色において、ポリフェノール類の酸化を触媒する酵素は、鉄ポルフィリン蛋白で H_2O_2 を酸素供与体とするパーオキシダーゼと、銅蛋白で分子状酸素を水素受容体とするポリフェノールオキシダーゼとに大別され、食品の変色は主にポリフェノールオキシダーゼの作用に起因する。

ポリフェノールオキシダーゼは基質とその酸化形式によって (1) の O-ジフェノールやトリフェノールを酸化して O-キノンを生成する O-ジフェノールオキシダーゼ（カテコールオキシダーゼ）、(2) の P-ジフェノールを酸化し

て P-キノンを生ずるラッカーゼ、(3) のモノフェノールをジフェノールに酸化してキノンを生成するクレゾラーゼ活性を有し、チロシンをよく酸化するモノフェノールモノオキシダーゼなどに分かれる。



ポリフェノールオキシダーゼは、これら 3 酵素の総称として用いられることが多い。また、ポリフェノールオキシダーゼの作用で生じたキノンは反応性に富み、自動的に重合して安定な褐色色素に変化する[40]。一方、非酵素的変色では、ポリフェノール類の自動酸化、pH の影響、金属イオンなどによって起こることが分かっている。

カロテノイド類は、動植物の生態組織中にある場合は損傷、微生物による変敗等ない限り安定に保たれる。しかし、これら进行处理、加工する場合には切断、破碎、粉碎、搾汁、濃縮、ブランチング、殺菌、乾燥、凍結などの処理が施され、この加工段階でカロテノイドに変化が起こり得る。食品の加工には加熱処理を伴うが、殺菌処理（85°C、30 分または 110~113°C、60 分）のように、相当量の熱量を食品に加えてもカロテノイドの損失は少ないことが報告されている[41]。一方、カロテノイドは空気中の酸素による酸化によって減少することも報告されている[42]。Figure 2-12 は、トマトジュースを処理して得られたリコピン結晶をシリカゲル薄層クロマトで展開した後、溶媒

を除去した薄層を空气中に放置した場合にリコピンがどのように酸化されていくかを調査したものである。酸化防止剤として 3,5 Di-*tert*-Butyl-4-hydroxy toluene(BHT)を展開溶媒に添加し、酸化防止剤との比較を行っている[43]。この Figure 2-12 より、明らかにリコピンは酸化により減少し、酸化がきわめて速やかに進行することが示された。また、リコピンは光によっても分解することが報告され、225-350 nm の光がトマト色素の退色に影響する[44]。Figure 2-13 には、リコピンの光増感酸素酸化反応で生成した分解物を示した。

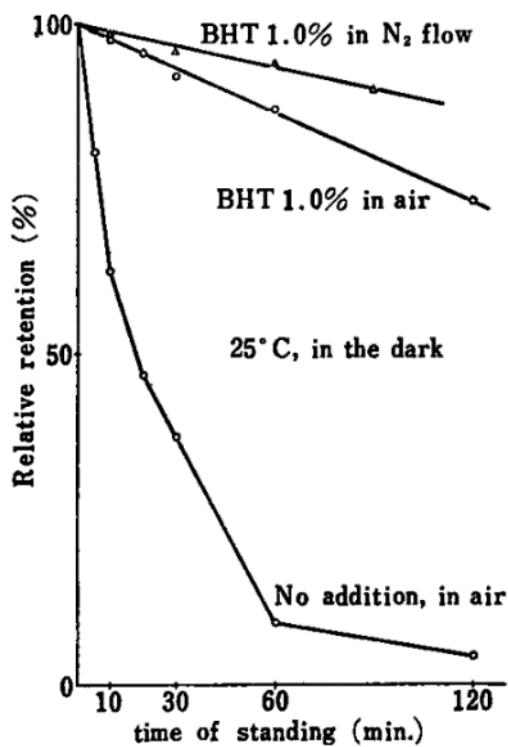


Figure 2-12. リコピンの酸化と BHT の酸化防止効果

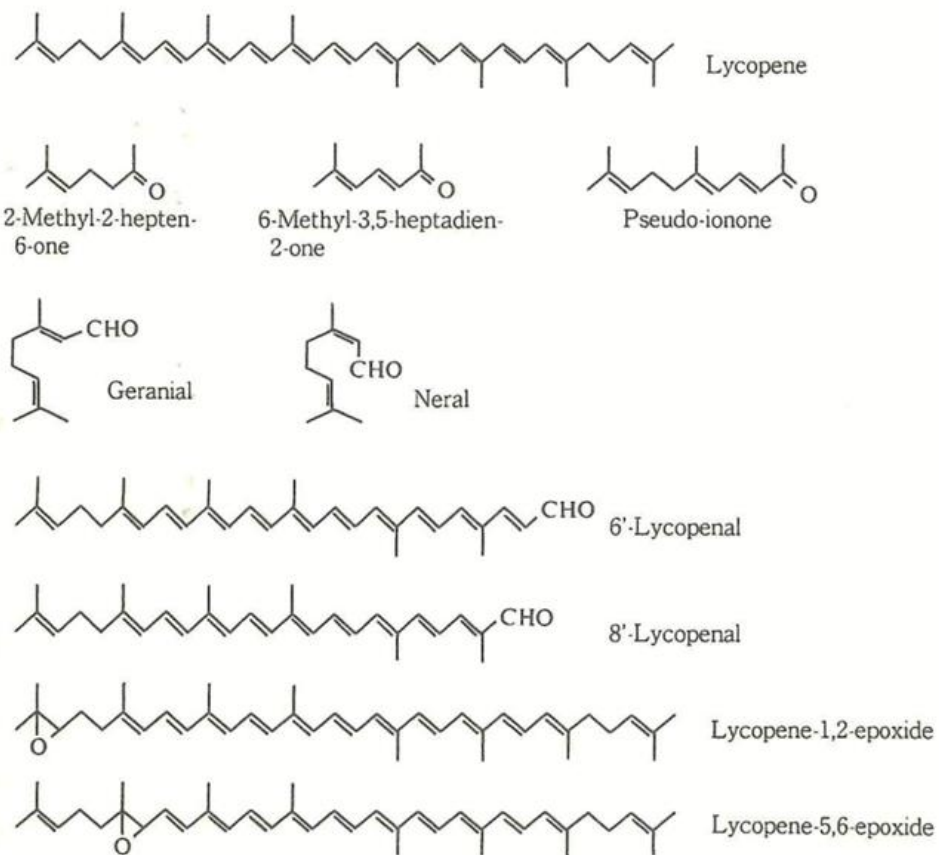


Figure 2-13. リコペンの酸化生成物[45]

第 3 章 高機能性および高栄養価を保持したトマトの乾燥粉末の製造技術 開発

3.1. 緒言

熊本県は、農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課「令和 2 年産きゅうり、なす、トマト及びピーマンの年間計」によると令和 2 年産トマトの作付け面積 1,260 ha、収穫量 135,300 t で日本一の生産量を誇っている [1]。そのため、青果としての流通だけでなく、加工品としての利用も多い。県内各地でジュース、ケチャップ、ピューレ等の加工品が多数製造されている。近年は性能の良い乾燥機も普及してきたことから、ドライトマトのような乾燥品も地域産品として各地で作られるようになり、筆者も依頼で何度もドライトマトを試作している。トマト加工は、ドライトマト以外にも熱風乾燥機を使った粉末化の要望が多く上がっていたが、粉末化は色や風味、栄養価等の保持が重要で、特にトマトのように糖度が高い果実の粉末化は困難であった。

今回、筆者は熱風乾燥機を使用したトマト粉末化の試験を行った。ドライトマトを作るときの乾燥温度は製造者によってさまざまであるが、乾燥時間と品質の関係から 60℃前後で乾燥される場合が多いと考えられ、50～60℃でトマトを加熱すると、うま味成分であるグアニル酸の生成が高まることが報告されている [46]。しかし、粉末化を行うときの条件は、ドライトマトの製造条件とは当然異なることが予想された。

第 3 章では、品質の良いトマト粉末を対流式乾燥機で作れる乾燥条件を見出し製造方法の確立を行うこと、またその乾燥方法の優位性を実証するため、FD で作った粉末との成分比較を行い評価・検討した。

3.2. 試料および実験方法

3.2.1. 試料

本研究で用いたトマトは、赤い粉末の作成用に成熟果トマト（赤トマト）としてアニモ TY12、風林火山、豊作祈願 1103 の 3 品種、ならびに緑色の粉末用に、未熟果（緑トマト）として先の 3 品種に桃太郎（タキイ種苗）を加えた 4 品種の計 7 種類のトマトを用いた。これらは、熊本県農業研究センター農産園芸研究所（熊本県合志市合志町大字栄 3801）のハウスで栽培されたものである。それぞれのトマトの特徴を Table 3-1 に示した。いずれの果実も丸ごと、密閉式のカップホルダーを有するブレンダー（Magic BULLET、MB-1001、Oak Lawn Marketing、中国）で破碎後、乾燥試験と分析に供試した。加工された果物は、さらに分析するまで 2 か月間、-80°C の冷凍庫に保管した。

Table 3-1. Nutritional content of each variety of tomato.

Variety & Maturity	Parameter		
	Sugar (Brix ^a)	Citric acid (mg% ^b)	Glutamic acid (mg% ^b)
Red			
Animo TY12	4.6 ± 0.24	346.0 ± 0.13	137.9 ± 5.41
Furinkazan	4.3 ± 0.27	317.0 ± 6.21	108.7 ± 4.26
Housakukigan1103	4.5 ± 0.36	353.6 ± 0.15	126.6 ± 3.27
Green			
Animo TY12	4.6 ± 0.23	502.9 ± 1.79	18.3 ± 0.26
Furinkazan	4.5 ± 0.20	476.6 ± 3.37	15.3 ± 0.41
Housakukigan1103	4.5 ± 0.18	412.4 ± 3.62	14.9 ± 0.22
Momotaro	5.6 ± 0.31	421.7 ± 22.24	25.7 ± 1.46

^a Concentration (wt%) of solid matter in liquid solution as measured using a refractometer

^b mg per 100g fresh fruit weight

3.2.2. 乾燥方法の確立試験

熱風乾燥は、(株)木原製作所製の対流式乾燥機 SM10S-EH-DPC を用いて行った。その乾燥フローを Figure 3-1 に示した。調理用クッキングシート(シリコン樹脂加工耐油紙)の4辺を内折りして作成した容器(25 cm×40 cm, 1,000 cm²)にそれぞれの破砕果汁 200 g (0.2 g/cm²)を流し込んで乾燥に供した。良質なトマト粉末を作るための適正な乾燥温度を決定する試験では、温度 40、50、及び 60°Cの3段階の温度で乾燥し、重量変化がなくなるまで1時間ごとに重量を測定した。また、FDによる粉末との違いを調べる機能性成分の残存試験は、前記の適正乾燥温度試験で最も結果の良かった条件を用いて乾燥を行った。乾燥後は 150~300 µm の大きさに粉砕して分析用試料とした。また、FD は Virtis 製真空凍結乾燥機 Genesis Pilot Lyophilizer を用いて、約 200 g の破砕果汁を 70 時間の条件で乾燥した後、同様に粉砕して分析試料とした。乾燥試験はそれぞれの方法で 3 回ずつ行い、以下の分析において平均値と標準偏差を求め、更なる推定に使用した。

3.2.3. リコペン含量の測定

リコペン含量の測定は、伊藤ら[47]の方法を一部改変して行った。即ち、試料の乾燥粉末 300 mg を褐色の蓋付き遠沈管に量り取り、抽出溶媒としてジエチルエーテル：メタノール(7:3, v/v) 35 mL を加え、25°C以下の温度に保持した超音波層で10分間超音波処理を行った。処理後、遠心分離(3,000 rpm, 10分間)し、その上清を100 mLの褐色メスフラスコに回収した。残渣にはジエチルエーテル：メタノール(7:3, v/v) 15 mL を加え、遠心分離までの操作を4回繰り返した。回収した上清は合わせて100 mLにジエチルエーテル：メタノール(7:3, v/v)でメスアップした後、孔径0.20 µmのディスポ

ーサブルフィルターでろ過した抽出溶液を 2 倍量に希釈し、蓋付きのセルを用い 505 nm の吸光度を測定した。トマトのリコペン濃度は、 $3150\%^{-1}\text{cm}^{-1}$ の吸収係数を用いて次式によって算出した[48]。

$$\text{トマトのリコペン濃度} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = 20 \times \frac{505\text{ nm の吸光度}}{0.315 \times \text{試料重量 (g)}}$$

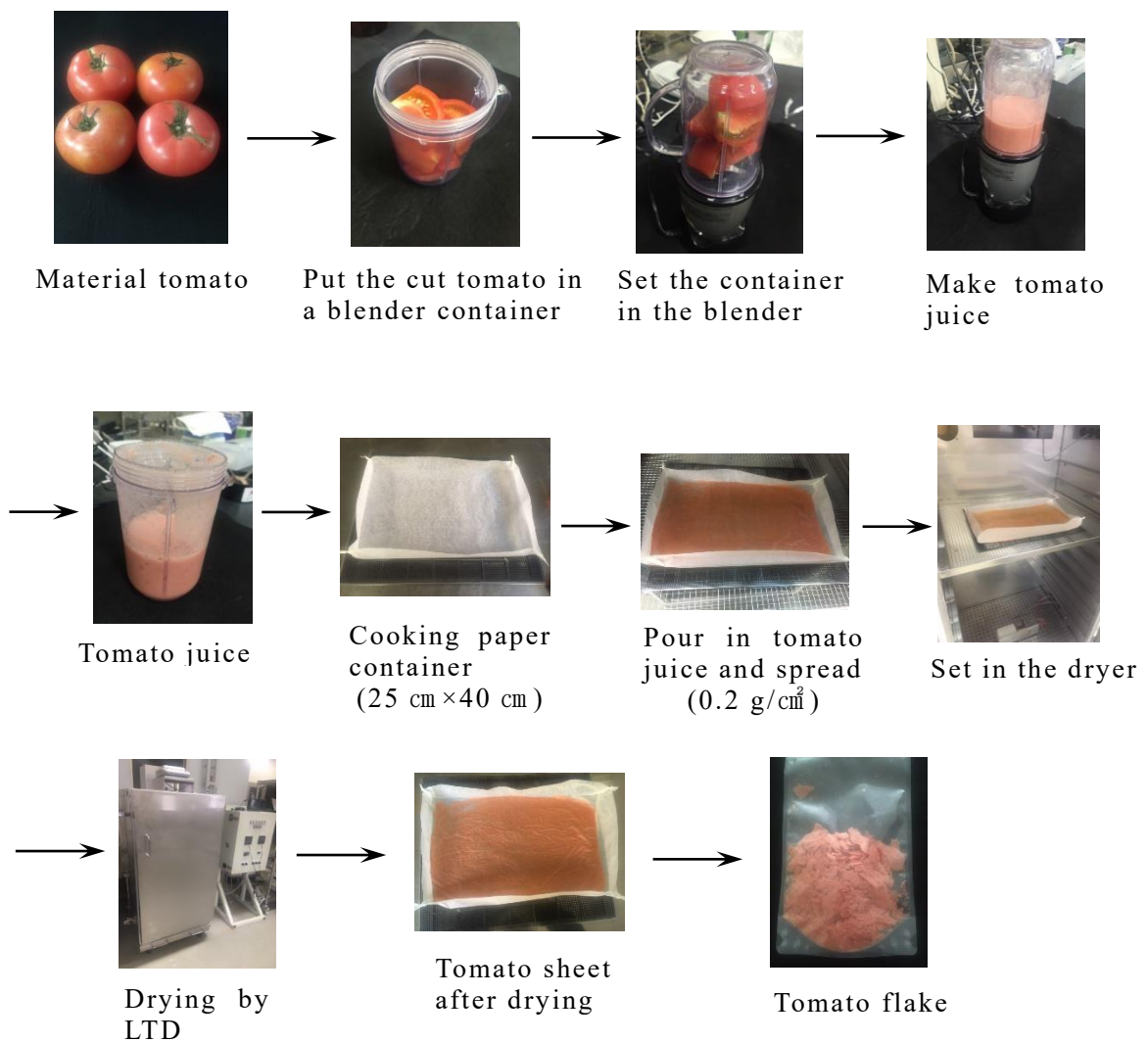


Figure 3-1. Manufacturing process of tomato powder by LTD.

3.2.4. 総ポリフェノール含量の測定

Folin-Ciocalteu 法[49]を一部改変して、低温乾燥物，真空凍結乾燥物それぞれに含まれる総ポリフェノールの含量測定を行った。

それぞれの乾燥試料 100 mg および乾燥重 100 mg に相当する新鮮物試料に 80%メタノール 2.0 mL を加え、10 秒攪拌後、40°Cに保温した超音波槽で 10 分間超音波処理を行った後、遠心分離（3,000 rpm，10 分間）し、その上清を回収した。沈降した残渣に 80%メタノール 2.0 mL を添加し、遠心分離までの操作を 2 回繰り返した。回収した上清は合わせて 10 mL に 80%メタノールでメスアップし、ポリフェノール抽出液とした。

上記、ポリフェノール抽出液を澤井ら[50]の方法に準じて測定し、乾燥重量 100 g 当たりの没食子酸相当量（mg 没食子酸相当量/100 g 乾物重）として総ポリフェノール含量を算出した。

3.2.5. DPPH ラジカル消去活性の測定

DPPH（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl）ラジカル消去活性の測定に用いた抽出液は、ポリフェノール含量の測定に用いた抽出液と同じものを用い、沖ら[51]の方法に準じて測定した。測定値は標準物質に用いた Trolox 相当量（ μmol Trolox 相当量/100 g 乾物重）で表した。

3.2.6. 有機酸の測定

有機酸の抽出はポリフェノール含量の測定に用いた抽出法と同様の方法で行った。即ち、乾燥試料約 100 mg を精秤し、80%メタノール 2 mL を加え攪拌後、40°Cに予熱した超音波槽で 10 分間超音波処理を行った後、遠心分離（3,000 rpm，10 min）し、その上清を回収した。この操作をさらに 2 回繰り返

し、捕集した上清を 10 mL に 80%メタノールでメスアップした後、ポアサイズ 0.20 μm の HPLC 用前処理フィルターを通過したろ液を測定に用いた。有機酸の定量は、島津製作所製の Prominence 有機酸分析システムを用いて行った。カラムには Shim-pack SCR-102H (7 μm , 8.0mm \times 300mm, 島津ジーエルシー社製) を使用した。

3.2.7. 遊離アミノ酸の測定

遊離アミノ酸の測定に用いた抽出液も有機酸で用いたものと同様のものを使用した。遊離アミノ酸の定量は島津製作所製の NexeraX2 自動プレカラム誘導体化アミノ酸分析システムを用いて行った。カラムには Kinetex EVO C18 (2.6 μm , 3.0mm \times 100mm, Phenomenex 社製) を使用した。標準液はアミノ酸混合標準液 H 型 (富士フィルム和光純薬工業(株)製) を使用し、アミノ酸の定量測定を行った。

3.2.8. 低温乾燥時のエネルギー消費量[52]

この研究の一環として、乾燥機のエネルギー消費量と、各トマト 1 kg を乾燥させるのに必要なエネルギーを、式(1) および (2) を使用して算出した。各期間のエネルギー消費量は、式 (1) を使用して決定される [53、54]。

$$E_t = Av\rho_a c_a \Delta T t \quad (1)$$

ここで、 E_t は乾燥ごとの総エネルギー消費量[kWh]、 A はサンプルを入れる容器の断面積 [m^2]、 v は風速 [m/s]、 ρ_a は空気密度 [kg/m^3]、 c_a はサンプルの比熱 [$\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$]、 ΔT は温度差 [$^\circ\text{C}$]、 t は各サンプルの総乾燥時間 [h] である。

トマト 1 kg を乾燥させるために消費されるエネルギーは、式 (2) を使用

して計算される。

$$E_{\text{kg}} = \frac{E_t}{w_0} \quad (2)$$

E_{kg} は必要な比エネルギー[kWh/kg]、 w_0 はサンプルの初期重量[kg]である。

3.2.9. 統計分析

この研究では 2 つの統計的検定を使用して、乾燥方法、熟成度、温度の 3 つの要因を変化させた後に、得られた結果が有意に異なるかどうかを判断した。最初に、乾燥後のトマトの水分除去効率とリコピンとポリフェノールの濃度に対する 2 つの要因（つまり、乾燥方法と熟度レベル、別々に処理）の影響を評価するために t 検定を実行した。また、一度に 2 つの平均しか比較されなかったため、各トマト品種に対して t 検定を実行した[55]。

さらに、分散分析 (ANOVA) を実行して、温度が乾燥後のトマトのポリフェノール濃度に有意な影響を与えるかどうかを評価した。単一の独立変数 (すなわち、温度) のみが調査されたため、一方向 ANOVA が使用された。 t 検定とは異なり、ANOVA は、この研究で使用された 3 つの気温レベルから得られた平均値を比較するために使用できる[56]。

t 検定と ANOVA の両方で、 p -value アプローチ[55]が採用された。信頼区間は 95 % に設定され、0.05 未満の p -value は統計的に有意であると見なされた[57, 58]。実際には、統計的有意性は、因子が出力に大きな影響を与えることを意味する。すべての計算は、T.TEST 関数またはデータ分析ツールの「Anova: Single Factor」モジュールのいずれかを使用して、MS Excel で実行された。

3.3. 結果および考察

3.3.1. 乾燥温度の違いによる重量変化および成分の変化

食品加工の現場において使用できる温度帯で、成分等の減少が少ない適正温度を確認するために、乾燥温度を 40℃、50℃、60℃における乾燥試験を行った。試験に用いたトマト試料は風林火山を使用した。各乾燥温度で乾燥した時の時間と重量変化のグラフを Figure 3-2 に、それぞれの乾燥温度で作製した試料中のポリフェノールとリコペンの含量を Table 3-2 に示す。Table 3-3 は統計解析の結果を示す。

Figure 3-2 の結果より、乾燥時間は温度 60℃乾燥の場合が最も早く、約 3 時間後にはほぼ重量は一定を示した。また、温度 50℃での乾燥も、60℃での乾燥よりも重量変化は小さいものの、3-4 時間後には重量が一定となった。一方、40℃での乾燥では、60℃および 50℃乾燥に比べると重量変化は小さく、ほぼ一定となった時間は乾燥開始後 6 時間後であった。

各乾燥温度における機能性成分量の差異を、ポリフェノールとリコペンについて測定した。ポリフェノールの場合、温度が高くなるとポリフェノール含量が高くなる傾向を示した。Table 3-3 の *p*-value (0.05 未満) から、ポリフェノール含量と温度の間には優位な差が [佐々木1] であると認められ、ポリフェノールが温度の影響を受けることは確実である。

このことはカットリンゴの熱風乾燥において、乾燥温度が高くなると残存するポリフェノールが増加するとして森房らの報告と一致しており、ポリフェノールオキシダーゼ活性が低下することが報告されている [15]。非酵素的褐変化においては、ポリフェノール含有量は変化しない [59] ことから、今回の乾燥試験においては、酵素が影響していることが示唆された。即ち、乾燥温度が高くなるほどポリフェノールオキシダーゼが失活し、ポリフェノール

残存量が高くなると推察された。

リコペン含量においては、ポリフェノールとは異なり 40℃での乾燥において最も高い残存量を示し、乾燥温度が高くなるほど減少する傾向を示した。農産物の乾燥温度と抗酸化能の関係について、Vega-Glavez らは、乾燥温度を 40、60、80℃の 3 段階の温度で乾燥した場合、最も低温の 40℃での乾燥において DPPH ラジカル消去活性が最も高かったと報告している[60]。リコペンは熱に対して比較的安定しているものの、より低温の乾燥が適していると考えられた。

この結果より、トマトの主要な機能性成分であるリコペンが多く残存する温度 40℃が最も粉末製造に適し、乾燥時間 10 時間の乾燥においてもリコペンが大量に残っていたことから、この条件の乾燥を低温乾燥法 (Low-temperature drying method、以下 LTD) として決定した。以後の試験はこの条件で作製したトマト粉末を分析に用いた (Figure3-3)。

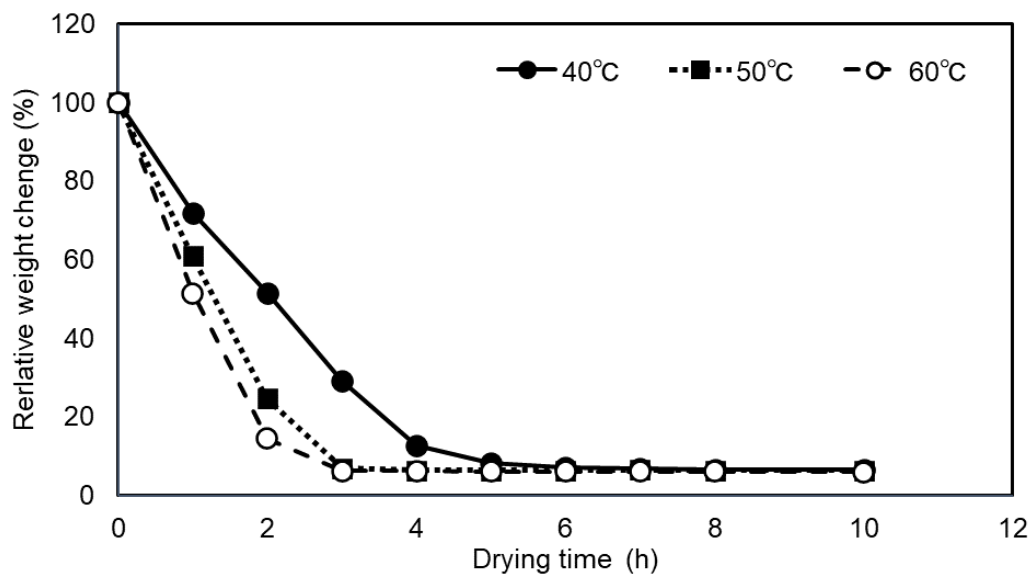


Figure 3-2. Drying profile of tomatoes at different temperatures.

Table 3-2. Functional component concentration in tomatoes after drying at different temperatures.

Drying temperature (°C)	Amount (mg/100 g dried tomatoes)	
	Polyphenol	Lycopene
40	428.1 ± 5.3	115.6 ± 19.8
50	479.2 ± 1.7	105.8 ± 17.6
60	578.2 ± 7.5	92.1 ± 13.8

Table 3-3. ANOVA test on the effect of temperature (40, 50, and 60 °C) on the concentration of polyphenols in tomatoes remaining after drying.

Source of Variation	SS	df	MS	<i>F</i>	<i>p</i> -value	<i>F</i> _{crit}
Between Groups	34,907.23	2	17,453.62	401.29	4.09×10 ⁻⁷	5.14
Within Groups	260.96	6	43.49			
Total	35,168.19	8				



Upper row; Animo TY12, Furinkazan, Hosakukigan 1103
Lower row; Animo TY12, Furinkazan, Hosakukigan 1103, Momotaro

Figure 3-3. Tomato powders manufactured by LTD.

3.3.2. 乾燥方法の違いによるトマトの水分損失量

LTD と FD それぞれの乾燥方法において、乾燥時に各トマトから失われた水分量を Table 3-4 に示した。乾燥前の重量から乾燥後の重量を差し引き、トマトの生重量で割ることにより、各トマトの水分除去率 (%) を算出した。

LTD を使用した場合の失われた水分量は 92.4~94.4%、FD では 92.1~94.3% で、両者の乾燥の差が最も大きかったものは風林火山 (赤トマト) の 0.9% であった。これらの両方の乾燥プロセスを使用した水分含量の減少率に有意差は認められず、低温乾燥も凍結乾燥もほぼ同量の水分が蒸発したことがわかった。このことは、*p*-value が 0.05 より高いことより、乾燥方法の違いがトマトの水分含量に影響を与えなかったことを統計的に示している。

Table 3-4. *p*-values from a *t*-test on the effect of the mode of drying on the moisture removal efficiency (%) in different varieties of tomatoes.

Ripeness	Variety	Moisture removal efficiency (%)		
		LTD	FD	<i>p</i> -value
Red	Animo TY12	94.22±0.99	94.24±0.53	0.9807
	Furinkazan	93.82±0.54	94.28±0.35	0.2967
	Housakukigan 1103	94.26±0.55	94.32±0.33	0.8923
Green	Animo TY12	94.44±0.49	94.19±0.27	0.4888
	Furinkazan	93.31±0.70	93.66±0.35	0.5077
	Housakukigan 1103	92.64±0.54	93.54±0.12	0.0971
	Momotaro	92.41±0.41	92.10±0.34	0.3568

3.3.3. リコペン含量の測定

トマト中には、カロテノイドの一種であり主要な機能成分であるリコペンが高濃度で含まれており、それはカロテノイドの中でも特に強い抗酸化力を示すことが明らかになっている[29]。リコペン含量の乾燥による減少を調べ、未処理およびFD法と比較した結果をTable 3-5に示す。FD法と比較して、40℃でLTD処理後の各トマト製品のリコペン含量は、アニモTY12、風林火山、豊作機丸1103それぞれで82、88、89%であった。いずれの品種もFDサンプルに比べて11~18%の減少が見られた。リコペンを含むカロテノイドは熱には比較的安定であるが、酸素下での酸化による分解は起こりやすいことから、LTDの方が酸化しやすい環境であったために、リコペンの減少を招いたと考えた。しかし、FDより減少はやや大きかったが、機能性加工材料としては良好な量と考える。

いくつかの研究では、トマト乾燥においてFD後のリコペン含量が大幅に減少したことが報告されていたが、他の研究では、オープン乾燥を行った場合にリコペン含量が新鮮なトマトより大幅な増加を示した報告[61-63]もあった。これらのリコペンの減少は、今回の結果と同様、酸化によってリコペンの分解が引き起こされたもので[64]であろう。一方、リコペンの増加は、熱処理がトマトのマトリックスからの植物化学物質の放出を増加させる可能性があることをDewantoらは報告している[65]。しかし、リコペンは熱処理下では劣化しやすいとの報告[66, 67]もあることから、リコペン含量に対する乾燥の影響は、環境、プロセス条件(温度と時間)、および成熟段階、硬さ、トマトの遺伝子型などの他の要因に依存すると考えられる。

今回の結果では、LTD法とFD法を使用したリコペン含量に有意差は見られず、さらに、この研究で得られた乾燥粉末のリコペン含量は、新鮮なト

マト果実のリコペン含量と有意な差は見られなかったことより、LTDは優位な乾燥法であると推察できた。

Table 3-5. The effect of the drying method on the concentration of residual lycopene (mg/100 g fresh weight) in different varieties of tomatoes

Variety	Lycopene (mg/100 g fresh fruit weight)		
	Raw fruit	LTD ^a	Freeze-drying
Animo TY12	6.69 ± 0.885	15.17 ± 0.301	18.60 ± 2.013
Furinkazan	10.03 ± 1.711	15.68 ± 0.675	17.89 ± 1.447
Housakukigan 1103	9.00 ± 0.645	15.67 ± 0.621	17.57 ± 1.212

^aLow-temperature drying

3.3.4. 総ポリフェノール含量の測定

トマトの果皮にはトマト特有のポリフェノールがあり、それが強い抗アレルギー活性を示すことが知られている[68]ことから、機能性成分の一つとして総ポリフェノール量の測定を行った。その結果を Table 3-6 に示す。完熟トマト（赤）の総ポリフェノール含量は全品種で同程度であった。また、FDとLTDのポリフェノール含量は、3品種とも同等量を示した。一方、未熟トマト（緑）では、桃太郎を除いて、品種間で約5~20%異なっていた。この理由としては、未熟果は成熟途中の過程の果実であるため、成分の生成も中途の状態、今後成分の蓄積が進むためであると考えられた。また、乾燥法の違いでは、LTD粉末はFD粉末に比較して約-12~+15%の差があったことは、未熟トマト中の酸化酵素活性の違いにより、乾燥法の違いによる総ポリフェノール量に差が出たものと思われた。Table 3-7には各乾燥後に残存したポリ

フェノール濃度に対する成熟度の影響に関する統計解析の結果を示した。 *p*-value が 0.05 よりも低いことより、品種や乾燥方法よりも熟度がポリフェノール含量に大きな影響を与えることが確認され、LTD は FD と同等のポリフェノール含量を保持できることがわかった[65]。

Wojdylo らは、サワーチェリーのフェノールや抗酸化能に対する真空マイクロ波乾燥の効果、および対流乾燥と真空凍結乾燥の比較について報告している[69]。その結果では、真空マイクロ波乾燥と真空凍結乾燥のいずれも同等量のフェノール化合物が得られ、対流乾燥（乾燥温度 50～70℃）で得られたフェノール化合物量は最も低かった。したがって、LTD は対流乾燥の乾燥温度を 40℃に設定したことで、不可逆的な酸化プロセスおよびフェノール化合物の熱分解は起きにくいことが推測できた。

Table 3-6. The effect of the drying method on the concentration of polyphenols (mg GAE/100 g fresh weight) remaining after drying different varieties of tomatoes.

Ripeness	Variety	Polyphenol (mg GAE/100 g fresh fruit weight)		
		Raw fruit	Low <i>T</i> drying	Freeze-drying
Red	Animo TY12	24.52 ± 0.249	24.12 ± 0.541	24.18 ± 0.887
	Furinkazan	24.33 ± 0.406	25.00 ± 0.829	24.93 ± 0.887
	Housakukigan 1103	25.97 ± 0.190	24.18 ± 0.336	24.33 ± 0.465
Green	Animo TY12	17.34 ± 0.129	15.64 ± 0.558	19.19 ± 0.970
	Furinkazan	19.36 ± 0.210	18.68 ± 0.313	20.06 ± 0.837
	Housakukigan 1103	17.75 ± 0.407	19.40 ± 0.396	16.86 ± 0.318
	Momotaro	34.05 ± 1.578	33.70 ± 0.774	33.70 ± 1.040

Table 3-7. Statistical data for the effect of ripeness on the concentration of polyphenols remaining after low-temperature drying or freeze-drying of different varieties of tomatoes

Variety	<i>p</i> -value	
	Low <i>T</i> drying	Freeze drying
Animo TY12	$6.10\text{E} \times 10^{-5}$	2.73×10^{-3}
Furinkazan	1.60×10^{-3}	4.67×10^{-4}
Housakukigan 1103	4.06×10^{-6}	8.59×10^{-5}
Momotaro	---	---

3.3.5. DPPH ラジカル消去活性の測定

食品中にはいろいろな抗酸化成分が含まれ、ガンや心筋梗塞などの要因とされている活性酸素やフリーラジカルの生成や作用に対して抑制効果を示すことが明らか[70]となっており、その抗酸化成分の各種の疾病予防効果に期待が寄せられている[71]。野菜類にはビタミン C やカロテンのビタミン類やポリフェノール類が多く含まれており、特にトマトにはアントシアニン、アスコルビン酸やフェノール系化合物も含まれ、ヒトに対する抗酸化活性が高い[72]。そこで、トマトの抗酸化特性を定量化するために、DPPH ラジカル消去活性を測定した。

DPPH ラジカル消去活性測定法は、DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) それ自体が安定なラジカルであり、ラジカル消去物質が存在すると非ラジカル体に変化する (Figure 3-4) 性質を利用した測定法である。DPPH ラジカルは可視領域の 517nm に最大吸収をもち、深紫色を呈する。この DPPH ラジカル

が抗酸化物質との反応により還元されラジカル体になると、517nmの特異的吸収が減少し退色するするため、そのときの溶液の吸光度（517nm）を測定し、ラジカル消去活性を算出する。DPPH ラジカルは生体内に存在しないラジカルであるが、 $\text{LOO}\cdot$ のモデルとして電子供与反応を反応機構とする抗酸化性の測定には応用可能な物質である[73]。

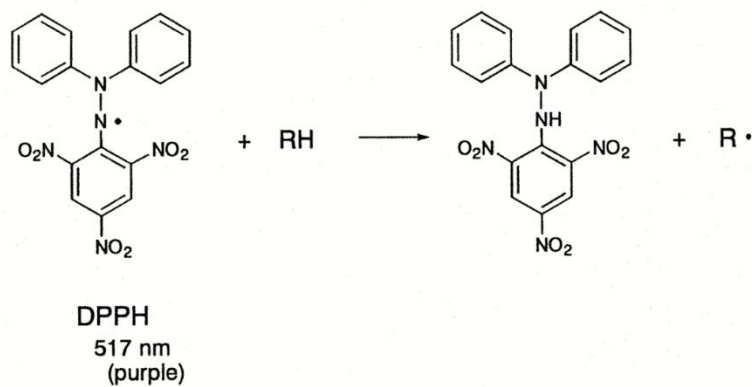


Figure 3-4. DPPH とラジカル消去物質との反応スキーム

RH.ラジカル消去物質

DPPH ラジカル消去活性の測定結果を Table 3-8 に示す。まず、DPPH ラジカル消去活性をトマトの熟度で見た場合、成熟果 (Red) の方が未熟果 (Green) よりも高いことが分かった。これは、成熟果には、高い抗酸化活性を示すリコペンの量や総ポリフェノール量が未熟果よりも高かったことに起因していると推察された。

次に、LTD と FD による DPPH ラジカル消去活性の差異については、成熟果では、低温乾燥トマトの値が真空凍結乾燥よりも約 4~7%低くなり、また、未熟果では約 0~15%低かった。成熟トマトの場合、抗酸化活性の高いリコペンの量が、LTD の方が FD よりも低かったことが一要因であると考えられた。成熟トマトでは、DPPH 活性は乾燥方法の種類によって影響を受けるこ

とが示された。未熟トマトの場合は、総ポリフェノール量が影響していると考えられる。未熟トマトでは桃太郎を除いて、DPPH の活性は乾燥方法の種類による影響を受けなかった。このことは、熟度が LTD 粉末と FD 粉末の DPPH 活性に影響を与えていることは明らかであるため、成熟果と未熟果の両者の各乾燥方法による DPPH 活性に対する熟度の影響について統計解析を行った。Table 3-9 で、得られた p 値 (<0.05) は、成熟度が LTD および FD による乾燥後の DPPH 消去活性に影響を与えることが統計的に確認することができた。

抗酸化活性は、総ポリフェノールと密接に相関していることはよく知られている [74]。今回の結果は、ポリフェノールの結果と比較すると DPPH ラジカル消去活性の残存量は、ポリフェノールに比べると低温乾燥の残存率がわずかに劣っており、この差にはリコペンの量も影響していることが考えられた。しかし、機能性を有する素材としては満足できるレベルであると考えた。

Table 3-8. The effect of the drying method on the concentration of DPPH (equivalent mmol Trolox/100 g fresh sample) remaining after drying different varieties of tomatoes

Ripeness	Variety	DPPH (equivalent μmol Trolox/100 g fresh weight)		
		Raw fruit	Low T drying	Freeze-drying
Red	Animo TY12	63.93 ± 1.267	79.76 ± 0.769	86.00 ± 2.472
	Furinkazan	65.83 ± 1.232	86.27 ± 0.374	89.76 ± 2.990
	Housakukigan 1103	84.94 ± 0.603	86.61 ± 0.472	92.64 ± 1.444
Green	Animo TY12	24.54 ± 0.765	41.30 ± 1.116	43.66 ± 2.252
	Furinkazan	18.68 ± 0.0781	42.96 ± 0.164	42.09 ± 2.715
	Housakukigan 1103	8.161 ± 0.533	33.60 ± 1.735	37.08 ± 1.425
	Momotaro	37.37 ± 4.662	63.86 ± 2.293	74.81 ± 1.607

Table 3-9. Statistical data for the effect of ripeness on the amount of DPPH remaining after low-temperature drying or freeze-drying different varieties of tomatoes

Variety	<i>p</i> -value	
	Low <i>T</i> drying	Freeze-drying
Animo TY12	1.36×10^{-4}	4.88×10^{-5}
Furinkazan	1.05×10^{-3}	7.61×10^{-4}
Housakukigan 1103	5.87×10^{-3}	4.91×10^{-3}
Momotaro	---	---

3.3.6. 有機酸の測定

トマト果実の食味に関与する化学成分としてアミノ酸や有機酸があり、有機酸の含量が酸味を呈す重要な要素であることが知られている。そこで各乾燥処理後の有機酸含量を調べ比較した。トマトには 10 種類以上の有機酸が含まれている[75]が、主成分となる有機酸はクエン酸とリンゴ酸であることから、本論文では、各乾燥処理後のその 2 種類の有機酸の残存量を測定した結果を Figure 3-5 に示した。成熟果トマト（赤）と未熟果トマト（緑）を比較した場合、有機酸含量は全体的に未熟果トマトが成熟果より、リンゴ酸では約 5 倍、クエン酸でも 1.3 倍多く含まれていた。品種間でも有機酸含量は様々で、品種ごとに LTD サンプルと FD サンプルの有機酸量は上下のバラツキがあって、規則性はみられなかった。LTD, FD ともに有機酸含量の減少に、大きな違いは無いものと考えた。

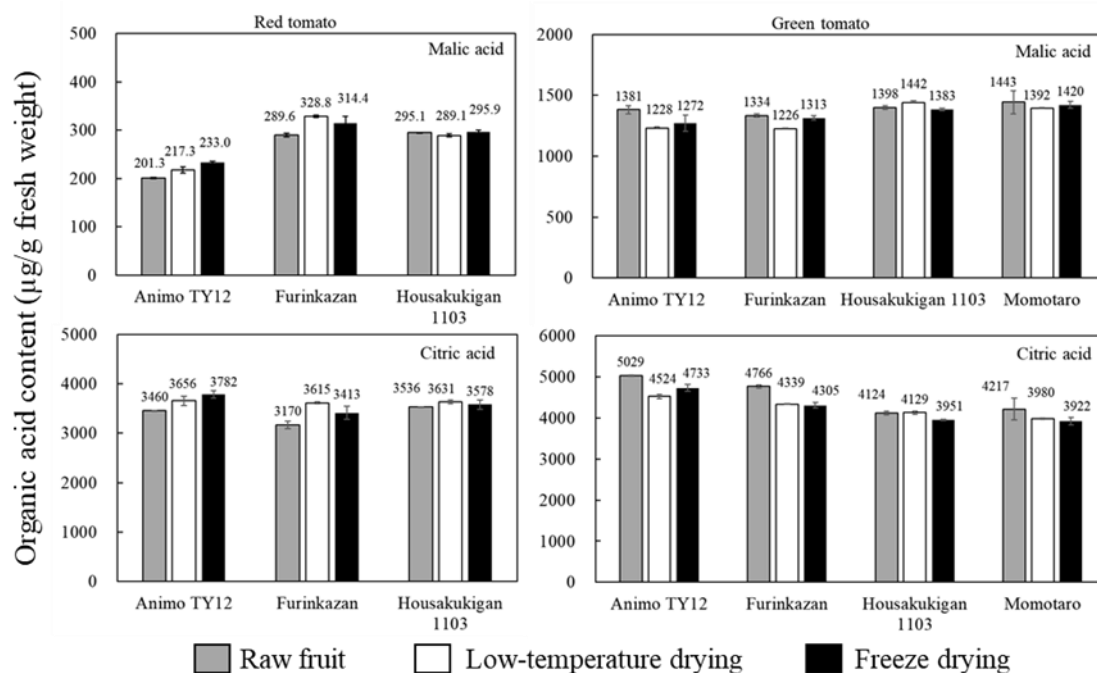


Figure 3-5. Effect of drying method – low-temperature drying and freeze-drying – on the organic acid content of different red (mature) and green (immature) varieties of tomatoes, inconsistent trends for organic acid content were observed among the tomato varieties.

3.3.7. 遊離アミノ酸の測定

トマトに含まれる代表的なアミノ酸はグルタミン酸である。トマトのグルタミン酸を含む旨味成分は果実の部位で偏在しており、パルプ部が果肉部の約4倍多く含まれている[76]。トマトの熟成が進むと甘みと旨味が増すが、これはグルコースやフラクトースといった単糖が増加し、クエン酸が減少し、そしてグルタミン酸が増加するからである。トマトには遊離のグルタミン酸が多いため、核酸やアミノ酸を含む魚介類や肉類などと一緒に煮込んでも(濃縮しても)、他の素材の味を壊さず、美味しさを引き立てる働きがあるといわ

れている[77]。また、トマト本来のトマトらしい味も、グルタミン酸とアスパラギン酸が存在することで構成されていると考えられている[76]。その他のアミノ酸として、血圧上昇抑制作用等の機能性のある γ -アミノ酪酸 (GABA) が、トマトには高濃度で含まれることが知られている[78]。

本研究では、測定した 21 種類の遊離アミノ酸のうち代表的なアミノ酸としてグルタミン酸、アスパラギン酸、グルタミンおよび GABA の 4 種類に着目し、乾燥処理後の残存量を調べ、その結果を Figure 3-6 に示した。遊離アミノ酸の場合、アスパラギン酸、グルタミン酸の含量は、成熟果 (Red) の方が未熟果 (Green) よりも 3~8 倍多かった。また、成熟果中のグルタミンおよび GABA の含量は、未熟果よりも低い傾向を示した[79]。植物にはグルタミンからグルタミン酸に代謝される経路が存在し[80]、グルタミンと GABA が、トマト果実の成熟に伴うグルタミン酸の増加に関与していることが示唆され、以前報告された研究とよく一致している[81-83]。

次に、トマトの成熟とアミノ酸量の関係についてみると、成熟果ではいずれのアミノ酸も乾燥による減少はほとんど確認できなかったが、未熟果では生果の半分以下まで減少する品種もみられた。このことから、成熟過程のアミノ酸は化学構造が不安定であり、乾燥などの処理によって分解される可能性があると推測される。LTD と FD によるアミノ酸の変化量では、成熟果では、LTD 処理も FD 処理もいずれのアミノ酸も生果とほぼ同等量残っていた。この結果より、アミノ酸においても LTD は成分を低減させず、効率的に乾燥品を製造することが可能な乾燥方法であることが示唆された。

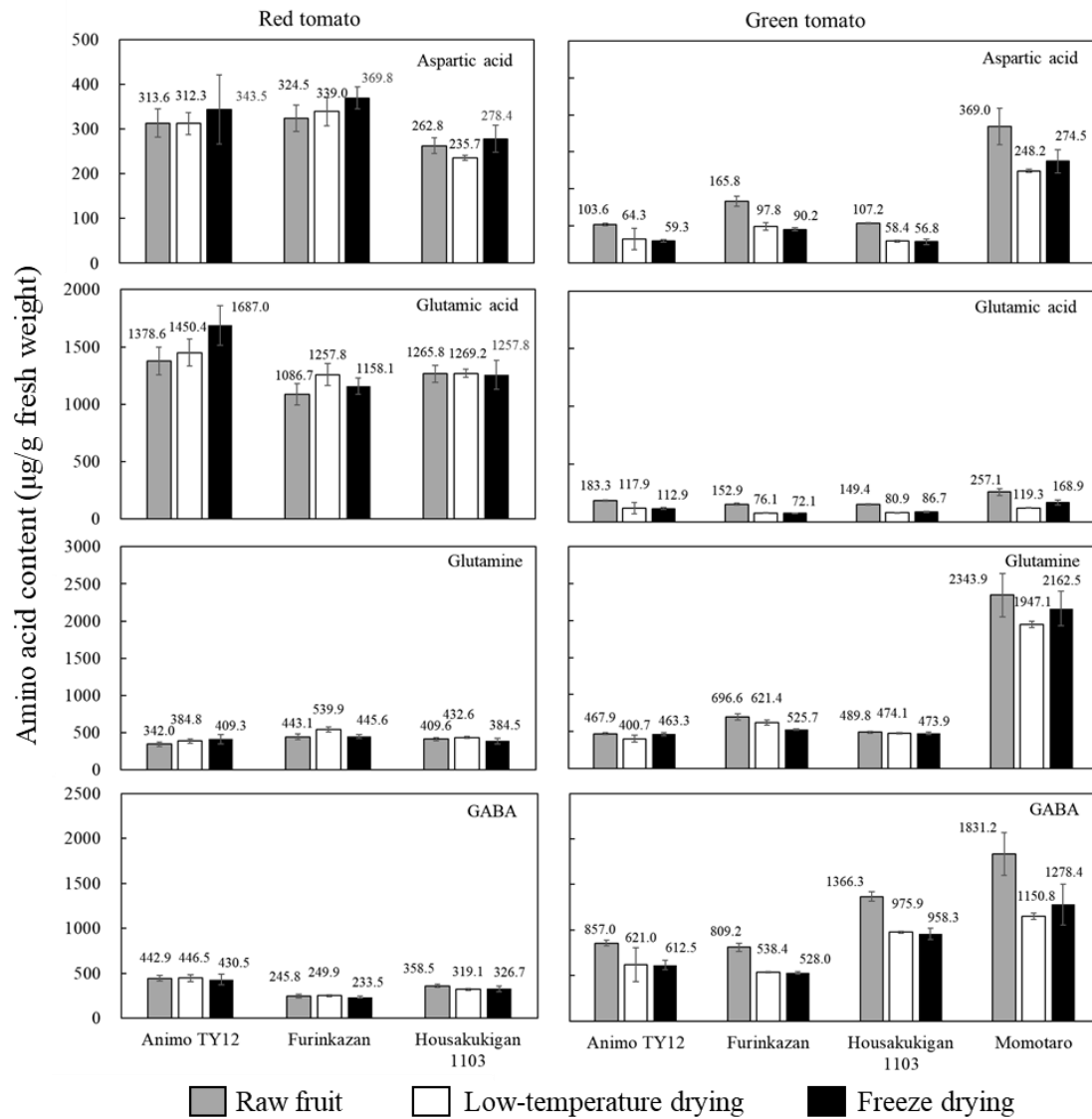


Figure 3-6. Effect of the drying method—low-temperature drying and freeze-drying on the amino acid content of different red (mature) and green (immature) varieties of tomatoes. GABA, γ -aminobutyric acid

3.3.8. 水分除去速度の動力学

物理学的手法により LTD の有利性を調べるために、それぞれの乾燥における水分除去速度を比較した (Table 3-10)。LTD による水分除去率は 9.241~9.444%/h、FD による水分除去率は 1.316~1.347%/h で、LTD の水分除去速度は FD の約 7 倍であった。この差は、それぞれの乾燥方法の運転時間に基づくものである。Table 3-10 に報告されているように、乾燥タイプの影響に関する t 検定の *p*-value はすべての品種で 0.05 未満であり、水分除去に関して LTD と FD の間に有意差があることが判明した。

次に、LTD を用いたトマトの乾燥速度論的解析を行った。これまで、様々な反応速度論モデルが提案されてきた。本研究では、最も使用されている疑似一次速度論モデル (式 2) と Page モデル (式 3 および 4) を使用して、低温乾燥方法によるトマトの乾燥速度論パラメータを計算した [84-86]。Figure 3-6 は、2 つの方法の速度論プロットを示している。

$$-\ln\left(\frac{W}{W_0}\right) = k_F t \quad (2)$$

$$M_R = e^{-k_P t^n} \quad (3)$$

$$M_R = \frac{M(t) - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4)$$

ここで、 W_0 は原料重量[g]、 W は乾燥後に得られる原料重量[g]、 k_F は一次反応モデルの乾燥定数[h⁻¹]、 t は乾燥時間[h]、 M_R は水分量[-]、 k_P と n は Page モデルの関数パラメータ、 $M(t)$ は乾燥時間 t 後の原料重量[g]、 M_0 は原料初期重量[g]、 M_e は乾燥最終段階で決定できる平衡水分率[g]である。

擬一次速度論モデルに従うと $-\ln(W/W_0)$ 値は乾燥時間に比例するはずであるが、Table 3-11 に示すように、乾燥の初期段階では低くなる傾向がみられた。特に、40°Cでは、相関係数 R^2 が 0.94 とやや低い値であった。一方、Page モデルでは、どの温度でも横軸と縦軸の間に良好な相関が確認された。これらのプロットから算出できる関数パラメータを Table 3-11 にまとめた。

Table 3-10. Statistical analysis on the effect of the type of drying—low-temperature drying and freeze-drying on the velocity of moisture removal in tomatoes at different ripeness levels and varieties. The velocity of moisture removal is obtained by dividing the moisture removal rate by the drying time.

Ripeness	Variety	Rate of moisture removal (%/hr)		
		Low T drying	Freeze-drying	p -value
Red	Animo TY12	9.422 ± 0.081	1.346 ± 0.006	4.532 × 10 ⁻⁵
	Furinkazan	9.382 ± 0.044	1.347 ± 0.004	1.275 × 10 ⁻⁵
	Housakukigan 1103	9.426 ± 0.045	1.347 ± 0.004	1.368 × 10 ⁻⁵
Green	Animo TY12	9.444 ± 0.04	1.346 ± 0.003	1.083 × 10 ⁻⁵
	Furinkazan	9.331 ± 0.058	1.338 ± 0.004	2.369 × 10 ⁻⁵
	Housakukigan 1103	9.264 ± 0.044	1.336 ± 0.001	1.541 × 10 ⁻⁵
	Momotaro	9.241 ± 0.033	1.316 ± 0.004	6.674 × 10 ⁻⁵

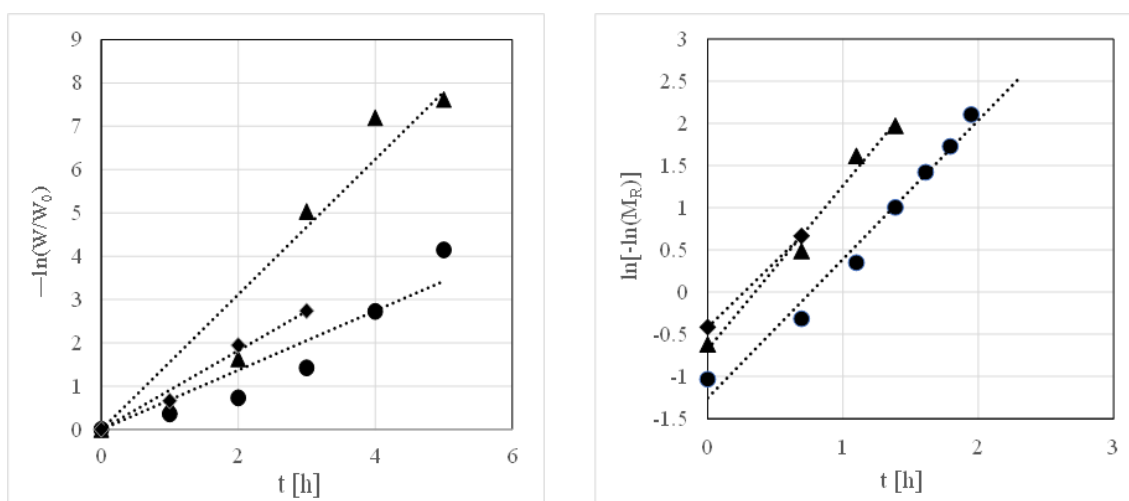


Figure 3-6. Kinetic plots of changes in (a) the first-order model and (b) the Page model. Symbols: ● 40 °C, ▲ 50 °C, and ◆ 60°C.

$-\ln(W/W_0)$ 値は、擬一次動力学モデルに従った場合、乾燥時間に比例するはずであるが、Table 3-11 に示すように、乾燥の初期段階では低くなる傾向があった。特に、40°Cでは、相関係数 R^2 は 0.94 とわずかに低かった。一方、page モデルでは、どの温度においても横軸と縦軸に良好な相関が確認された。

次に、各温度で求めた乾燥定数と乾燥温度との関係が、アレニウス型速度式（式 5）で表せるかどうかを検討した。

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (5)$$

ここで $\ln k_0$ はプレ指数因子[-]、 E_a は見かけの活性化エネルギー [J mol⁻¹]、 R は気体定数 8.314 [J K⁻¹ mol⁻¹]、 T は温度 [K] である。Figure 3-7 に Arrhenius プロットを示す。いずれの乾燥モデルも、温度の逆数に対して下向きの直線で近似することができた。このことから、LTD 法によるトマトの乾燥速度は、

アレニウス型の乾燥速度則に従うことがわかった。直線の傾きから計算した見かけの活性化エネルギー E_a は、両モデルとも約 36 kJ mol^{-1} であった。

Table 3-11. Kinetic parameters for the low-temperature drying of tomato.

Model	T	k	n	R^2	E_a	R^2
	°C	h^{-1}			kJ mol^{-1}	
First-order	40	0.0063	—	0.9472	-35.50	0.9632
	50	0.0110	—	0.9934		
	60	0.0152	—	0.9686		
Page model	40	0.2859	1.6453	0.9796	-36.39	0.9618
	50	0.5084	1.9386	0.9847		
	60	0.6596	0.4161	1.0000		

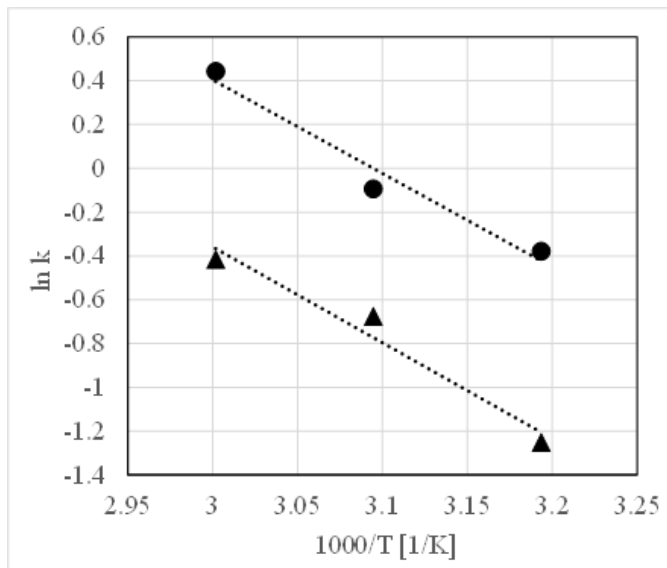


Figure 3-7. Arrhenius plot for the drying constants. Symbols:

● The first-order model, ▲ The Page model.

3.3.9. エネルギー消費

Table 3-12 にトマトの LTD と FD のエネルギー消費量を示す。低温乾燥法の総エネルギー消費量は、既述の式(1)により計算した。ここで、サンプルの表面積 A を 0.1 m^2 、低温乾燥機の風速 v を機械の性能から計算した値 0.5828 m/s 、温度差 ΔT を $26 \text{ }^\circ\text{C}$ で、乾燥時間 t を 10 h とした。また、比熱 c_a を 1.127 kJ/m^3 、空気密度 ρ_a を $40 \text{ }^\circ\text{C}$ の乾燥温度での値 $1.007 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ とした[87]。この結果、LTD の総エネルギー消費量は 17.20 kWh であることがわかった。さらに、トマト 1 kg を乾燥させるために消費されるエネルギーは、既述の式(2) $E_{kg} = E_t/w_0$ より 86.0 kWh/kg であった。一方、FD 法による総エネルギー消費量は、各文献間の異なる研究から求めて 18.62 kWh であった[88-91]。両者を比較すると、低温乾燥方式の総エネルギー消費量は、真空凍結乾燥機の約 92% であった。今回の LTD の条件は、乾燥時間を 10 時間設定で行った。しかし、Figure 3-2 より乾燥終了を 6 時間に設定した場合には、エネルギー消費量は 10.32 kWh まで減少する (FD の 55%)。また、乾燥原料の厚さをより薄くすることで乾燥時間は短くなり、エネルギー消費量も低減できると考える。一方、今回比較データとして用いた真空凍結乾燥機は、いずれも研究室で使用されるラボタイプの装置で、我々が試験で使用した製品製造用の装置とは大きさも異なり、乾燥時間も短いものであった。製造用装置の場合、よりエネルギー消費量が増加することが推察できた。以上の結果より、低温乾燥法の消費エネルギーの面で優位性を実証することができた。

Table 3-12. Comparison of energy consumption for LTD and FD methods.

	LTD	LTD	FD
Drying time (hour)	10	6	
Total energy (kWh)	17.20	10.32	18.62 ^a

^a Average value of each paper data

3.4. 小括

要約すると、LTD プロセスを使用して得られたポリフェノール、DPPH 抗酸化活性、有機酸、アミノ酸、および味覚成分の保存特性は、FD を使用して得られたものと同様でした。また、LTD は食品加工現場で機能性乾燥品を FD よりも短時間・低コストで開発するのに適した乾燥方法である。

従来の乾燥方法では、トマトなど糖分・アミノ酸・水分の濃度が高い野菜や果物の乾燥粉末製品を得ることは困難であった。さらに、これらの乾燥方法は、原材料の機能性成分の濃度を低下させる。そこで、機能性成分 (LTD) の濃度が下がらない温度域で乾燥を行い、原料の特性を保ち成分の変化が少ない FD と比較し、低温乾燥法の有効性をさらに検討し、次の結論に達しました。

(1) 乾燥後、両方の方法で得られた水分含有量は 5~8% で、比較すると、LTD は 10 時間実施されたのに対し、FD は 70 時間続き、これは FD に費やされた時間の少なくとも 7 倍であった。

(2) LTD および FD 乾燥後のリコペン含量は、LTD 処理では FD に比べ 11~18% 減少したが、LTD 乾燥法の場合は酸化の影響が考えられた。

(3) 乾燥後粉末中の総ポリフェノール含有量は、成熟果では LTD 粉末、FD 粉末とも同量であった、未熟果では LTD 粉末は FD 粉末に比較して約-12~+15% の差があった。これは、未熟トマト中の酸化酵素活性の違いにより、総ポリフェノール量に差が出たものと思われた。2 つの方法を使用した残留含有量の差は、統計的に有意ではなかった。

(4) 抗酸化活性の指標である DPPH ラジカル消去活性は、成熟 (赤) トマトで約 4~7%、未熟 (緑) トマトで 0~15%、LTD の方が FD よりも活性が低かった。成熟果はリコペン、未熟果はポリフェノールの量が影響したと考えた。

(5) LTD の水分除去速度は FD 時の約 7 倍速かった。

(6) 本研究で行われた疑似一次反応速度モデルと page モデルによる動力学解析は、本試験で実施したタイプの乾燥と本試験で用いた果物について、他の研究で報告されておらず、さらに、40℃での乾燥挙動は両方のモデル、特に Page モデルに従った。

(7) エネルギー消費量を比較した場合、LTD は FD よりも約 8%低いことがわかった。

LTD の乾燥特性としてポリフェノール、DPPH 抗酸化活性、有機酸、遊離アミノ酸の機能性成分、味覚成分の保存性が FD とほぼ同等であることを確認できた。また、低温乾燥は FD よりも短時間の処理と安価なコストで、機能性を有した乾燥製品の開発に有利な乾燥法であることを立証することができた。

以上の結果から、LTD は、FD の導入が困難な小規模な食品加工工場においても、機能性成分の減少を抑制し、均一で FD とほぼ同等な乾燥粉末を製造できる方法であると結論付けることができた。

第 4 章 低温乾燥と真空凍結乾燥の 2 つの異なる乾燥方法で調製したイチゴ粉末の比較および異なる機種による低温乾燥のイチゴ粉末への影響

4.1. 緒論

食品の乾燥は、水分含量を減少させ、腐敗等の品質の劣化を抑制し、長期間の保存や貯蔵を可能にする。農林水産物の加工においても、乾燥は簡便な加工法であり、数多くの乾燥加工製品が作られている [12]。

筆者らは、長年、熊本県において農産物加工や食品開発に携わっており、多くの食品製造業者に対していろいろな加工指導を行っている。その加工現場において農産物の乾燥加工品は、利用の簡便さ、保存性の良さ等から製品化の要望は高い。

一般に、青果物等農産物の乾燥には、機器の安価さ、操作の簡便性から熱風乾燥法が広く利用されており [92]、さまざまな素材を用いた乾燥特性が報告されている [13, 17, 93-95]。しかし、その一方では、熱風乾燥は長い乾燥時間と高温を与えるために、褐変 [15] や表面の硬化 [16]、および栄養素を劣化させる [96] といった報告もある。

現在、最も品質の低下を抑制できる乾燥法として、真空凍結乾燥 (以下 FD) が用いられており、FD の有用性についての報告は多い [20, 23, 97]。しかし、FD を行うためには専用機器が必要ではあるが、機器は高額なため導入は困難で、農産加工の現場で作れる安価な製品作りには適さない。筆者は、第 3 章で、トマトの乾燥粉末の試作を行い、対流式乾燥機を用いた LTD と FD によるそれぞれの乾燥粉末における栄養 (機能) 成分量について報告を行った。対流式乾燥機による農産物乾燥ではあまり使用されない 40°C の低い温度で乾燥を行うことで、FD よりも短時間に、かつ FD と同等な成分量を保持した

乾燥粉末を製造できることを明らかにした。

本章では、トマト以外の農産物においても LTD が有効であるかを実証するために、熊本県における主要野菜で乾燥粉末の要望が高いイチゴの乾燥試験を実施した。イチゴはトマト同様、糖度が高く熱風乾燥機での粉末製造は困難とされる。そこで、乾燥後の粉末の色や保水力等物理的特性、および機能性成分量について FD と比較検証を行い、LTD の優位性について論じた。

併せて、各加工場では、それぞれメーカーが異なる熱風乾燥機が導入されていることから、乾燥機の違いが製品に与える影響についても評価した。

4.2. 試料および実験方法

4.2.1. 試料

本研究で用いたイチゴは、ひのしずく、ゆうべに、紅ほっぺ、さがほのかの 4 種類で、いずれも熊本県農業研究センターアグリシステム総合研究所(熊本県八代市鏡町鏡村 3 6 3) で栽培され、提供されたものを試料として用いた。それぞれの成分の特徴を Table 4-1 に示す。いずれも、果実全体はブレンダー (Magic BULLET, MB-1001, Oak Lawn Marketing, China) で破碎後、乾燥試験と分析に供試した。また、生果実は、分析まで -80°C の低温フリーザーで保存した。

4.2.2. 乾燥方法

乾燥に使用した乾燥機は、第 3 章で使用した乾燥機と同じ株式会社木原製作所製の対流式乾燥機 SM10S-EH-DPC と Virtis 製真空凍結乾燥機 Genesis Pilot Lyophilizer を用いて行った。乾燥方法および乾燥条件も第 3 章と同様な方法で行った。即ち、調理用クッキングシート (シリコン樹脂加工耐油紙)

の 4 辺を内折りして作成した容器 (25 cm×30 cm, 750 cm³) に、それぞれの破碎果汁 150 g (0.2 g/cm³) を流し込み、乾燥機にかけた。乾燥温度と時間は温度 40°C、10 時間の条件を使用した。乾燥後は 150~300 μm の大きさに粉碎して分析用試料とした。

また、異なる対流式乾燥機による違いをみる試験で用いた乾燥機は、株式会社木原製作所製の乾燥機 SM10S-EH-DPC と株式会社明城製作所製 MC-1 の 2 機種を用い、上記と同様の乾燥条件で乾燥して作成した乾燥粉末について各試験を行った。

Table 4-1. Properties of mature strawberries.

Variety	Main production region	Property		
		Sugar content (Brix ^a)	Citric acid (mg%)	Glutamic acid (mg%)
Hinoshizuku	Kumamoto prefecture	9.8 ± 0.10	698.4 ± 10.36	24.5 ± 0.36
Yubeni	Kumamoto prefecture	8.4 ± 0.04	606.7 ± 5.53	24.2 ± 0.24
Benihoppe	Shizuoka prefecture	10.2 ± 0.10	706.2 ± 22.01	37.1 ± 1.94
Sagahonoka	Saga prefecture	8.0 ± 0.06	534.5 ± 0.936	56.1 ± 0.27

^a Concentration (wt%) of solid matter in liquid solution by refractometer.

4.2.3. 測色

イチゴ粉末の色は、日本電色工業株式会社製の測色色差計 ZE-2000 を用いて測定し、L*a*b*表色系で表した。得られた値から赤色度 (a*/b*) を求めた。

4.2.4. 微細構造

イチゴ粉末の微細構造を走査型電子顕微鏡 SU-8000（株式会社日立ハイテクノロジーズ）を用いて分析した。

4.2.5. 水分保持能力(WHC)

WHC は Sudha らの手順[98]したがって測定した。遠心管に、1 g 相当量の精秤した粉末と 50 mL の純水を混合しよく攪拌した後、超音波槽で 20 分間超音波処理を行い十分拡散させた。遠心管は遠心分離（10,000 rpm、15 分間、20°C）した後、上澄みをデカントした。水分を吸収した粉末の重量を計測し、WHC を求めた（g H₂O/g 乾物重）。

4.2.6. 可溶性指数(WSI)

WSI は Anderson らの手順[99]を参考にして測定した。0.5 g 相当量の精秤した粉末と 6 mL の純水を遠心管に取り、よく攪拌した後 20 分間超音波槽で処理を行い十分拡散させた後、37°C で 30 分間保温した。その後、10,000 rpm で 20 分間遠心（20°C）した。上澄みは、予め重量を測っておいた容器に移し、103°C±2°C の温度でオープン乾燥した。WSI は採取した粉末に対する乾燥上清の割合（%）として算出した。

4.2.7. 総ポリフェノール含量の測定

総ポリフェノールの測定は、第 3 章で用いた方法と同じ方法で測定した。即ち、イチゴの乾燥試料 100 mg（精秤）それぞれに 80%メタノール 2.0 mL を加え 10 秒攪拌後、40°C に保温した超音波槽で 10 分間超音波処理を行った後、遠心分離（3,000 rpm、10 分間）し、その上清を回収した。沈降した残渣

に 80%メタノール 2.0 mL を添加し、遠心分離までの操作を 2 回繰り返した。回収した上清は合わせて 10 mL に 80%メタノールでメスアップし、ポリフェノール抽出液とした。総ポリフェノール含量は乾燥重量 100 g あたりの没食子酸相当量 (g 没食子酸相当量/100 g 乾物重) として算出した。

4.2.8. DPPH ラジカル消去活性の測定

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) ラジカル消去活性は第 3 章と同様の測定法で実施した。測定値は標準物質に用いた Trolox 相当量 (mmol Trolox 相当量/100 g 乾物重) で表した。

4.2.9. 有機酸量の測定

有機酸の測定は第 3 章で用いた方法と同様に、島津製作所製の Prominence 有機酸分析システムを用いた方法で測定した。

4.2.10. 遊離アミノ酸量の測定

遊離アミノ酸の測定は、島津製作所製の NexeraX2 自動プレカラム誘導体化アミノ酸分析システムを用いて、第 3 章と同様な測定法で測定した。

4.3. 結果および考察

4.3.1. 乾燥法の違いによるイチゴの水分量の変化

低温乾燥および FD それぞれの乾燥法で乾燥した時の失われた水分量を Table 4-2 に示した。イチゴの場合、LTD により失われた水分量は 88.9~91.2%、FD は 88.3~90.9% で、両者の乾燥の差は 0.2~0.6% と違いはわずかであった。乾燥状態も LTD、FD ともにほぼ同様な状態で、乾燥品として問題なかった。

また、SM10S-EH-DPC（株式会社木原製作所）および MC-1（株式会社明城製作所）の 2 台の乾燥機により失われた水分量を Table 4-3 に示した。乾燥に用いたイチゴ品種はひのしずくとゆうべにの 2 種類を用いた。ひのしずくは両乾燥機とも 88.9%、ゆうべにではそれぞれ 90.2%、90.3%とほぼ等しく、いずれの乾燥機も同程度の乾燥度を示した。

Table 4-2. Moisture loss of strawberry powders
by LTD and FD method.

Variety	Moisture removal efficiency (%)	
	LTD	FD
Hinoshizuku	88.90 ± 0.87	88.28 ± 0.51
Yubeni	90.25 ± 0.57	89.98 ± 0.45
Benihoppe	89.09 ± 0.72	88.47 ± 0.41
Sagahonoka	91.21 ± 0.15	90.91 ± 0.64

Table 4-3. Moisture loss of strawberry powder by hot
dryer model SM10S-EH-DPC and MC-1.

Variety	Moisture removal efficiency (%)	
	SM10S-EH-DPC	MC-1
Hinoshizuku	88.90 ± 0.87	88.90 ± 0.82
Yubeni	90.25 ± 0.57	90.29 ± 1.25

4.3.2. イチゴ粉末の色の測定

各乾燥法および機種異なる乾燥機で作製した乾燥粉末をそれぞれ Figure 4-1、Figure 4-2 に示し、測色結果をそれぞれ Table 4-4、Table 4-5 に示した。

L*は明度を表し、a*は緑(-)－赤(+)、b*は青(-)－黄(+)の色相を表す。a*/b*は赤色度を示し、低いほど緑色が、高いほど赤色が強いことを表す。

LTD と FD の比較では、L*、a*、a*/b*のいずれも FD が LTD よりも高い値を示した。しかし、b*は逆に LTD の方が高く、LTD で作った粉末は、FD より明るさと赤色は弱く、黄色が強いことがわかった。LTD において、品種間で L*値が高かったのは、ゆうべにとさがほのかであった。次いで紅ほっぺの値が高く、ひのしずくは最も低かった。ゆうべにと紅ほっぺは a*、a*/b*の値も高かった。ひのしずくは、a*でゆうべにと紅ほっぺよりも低かったが、b*も最も低かったため、a*/b*は3品種ともほぼ同程度であった。一方、さがほのかは a*が低く、b*が高かったため、a*/b*が 0.77 と最も低かった。この結果、4 種類の粉末の中では、a*、b*ともに高かったゆうべにと紅ほっぺが鮮やかなイチゴの色を示し食品素材として好ましいと考えた。一方、FD による粉末は、a*/b*が 2.21～2.40 と品種間での大きな差はなく、外観の色はいずれも鮮やかなピンク色であった。

LTD と FD の間に色の差が表れたのは、やはり、ポリフェノールオキシダーゼの影響が考えられた。LTD の乾燥温度が 40℃、ポリフェノールオキシダーゼの最適温度も 25～50℃でほぼ一致する。一方、FD は乾燥時に -50℃に凍結を行い、乾燥時も真空状態で低温のまま昇華されることより、ポリフェノールオキシダーゼの関与はない。LTD では、酵素によりポリフェノール類(アントシアニン類)の酸化の影響を受けたと考えられた。

異なる2機種 SM10S-EH-DPC と MC-1 による乾燥試験では、L*で約 10%、

SM10S-EH-DPCの方がMC-1より低い値を示した (Table 4-5)。a*とb*は、SM10S-EH-DPCがMC-1よりわずかに低く、a*/b*は品種のひのしづくではSM10S-EH-DPCが高く、ゆうべにはほぼ同じ値を示した。この機種による色の違いは、乾燥機の加熱熱量の違いが考えられ、それが酸化酵素に影響したことが推察された。しかし、外観観察ではSM10S-EH-DPC、MC-1いずれの乾燥機で作られた粉末は大きな違いはみられず、色の点では食品素材として不都合なところもないように思えた。



From the left end; Hinoshizuku, Yubeni, Benihoppe, Sagahonoka

Figure 4-1. Strawberry powder manufactured by LTD.



Upper row; Hinoshizuku, Left; Kihara Co., Right; Meijo Co.
Lower row; Yubeni, Left; Kihara Co., Right; Meijo Co.

Figure 4-2. Strawberry powder manufactured by two different LTD dryers.

Table 4-4. Color measurement of strawberry powders obtained by LTD and vacuum FD.

Method	Variety	L*	a*	b*	a*/b*
LTD	Hinoshizuku	46.98 ± 1.43	26.56 ± 1.00	20.47 ± 1.14	1.30 ± 0.09
	Yubeni	51.27 ± 1.32	33.04 ± 1.21	23.56 ± 1.20	1.40 ± 0.03
	Benihoppe	48.19 ± 1.34	36.73 ± 1.15	26.45 ± 4.27	1.41 ± 0.22
	Sagahonoka	51.47 ± 1.20	21.34 ± 0.85	28.08 ± 1.39	0.76 ± 0.01
FD	Hinoshizuku	53.15 ± 1.53	45.74 ± 1.69	20.71 ± 0.75	2.21 ± 0.01
	Yubeni	55.92 ± 2.38	44.80 ± 1.08	18.27 ± 0.09	2.45 ± 0.05
	Benihoppe	55.67 ± 2.46	44.24 ± 0.92	18.54 ± 0.15	2.39 ± 0.05
	Sagahonoka	62.68 ± 2.47	36.92 ± 0.85	15.06 ± 0.08	2.45 ± 0.06

Table 4-5. Color measurement of strawberry powders obtained by different models of hot air dryer.

Dryer	Variety	L*	a*	b*	a*/b*
SM10S-EH	Hinoshizuku	46.98 ± 1.43	26.56 ± 1.00	20.47 ± 1.14	1.30 ± 0.09
-DPC	Yubeni	51.27 ± 1.32	33.04 ± 1.21	23.56 ± 1.20	1.40 ± 0.03
MC-1	Hinoshizuku	51.43 ± 0.89	25.81 ± 1.36	20.78 ± 1.43	1.24 ± 0.02
	Yubeni	56.11 ± 1.72	31.86 ± 0.87	22.63 ± 0.98	1.41 ± 0.03

4.3.3. イチゴ粉末の物理化学特性

LTD と FD それぞれの乾燥法および SM10S-EH-DPC と MC-1 の異なる乾燥機により作成されたイチゴ粉末の電子顕微鏡写真をそれぞれ Figure 4-3、Figure 4-4 に示し、水分保持能力 (WHC) と可溶性指数 (WSI) の結果をそれぞれ Table 4-6、Table 4-7 に示した。

乾燥粉末の WHC 値は LTD で 1.36~2.03 g H₂O/g、FD で 1.41~2.34 g H₂O/g であった。品種間でやや違いはみられたが、乾燥方法による差は品種間差より小さく、LTD 法による粉末は FD 法の粉末と同等の WHC 特性を有していた。また、乾燥機が変わっても、WHC 特性はあまり変化がないことがわかった (Table 4-6)。一方、WSI の結果をみると、LTD と FD の差は±5%以内と小さく、WSI 特性値についても、LTD と FD それぞれの乾燥法で作られた乾燥粉末は類似した特性を有すると考えられた。これらの結果は Figure 4-3 に示すように、破碎によって得られた乾燥粉末の微細構造に起因している可能性がある。LTD と FD の異なる乾燥を行ったにもかかわらず、WHC 値が同等であったのは、乾燥前に果実を破碎する工程と乾燥後に粉碎して粉末にする工程が同等の大きさの粒子を生成し、それがイチゴ果実の一次構造の大部分を破壊したという事実によって説明することができた。同時に、すべての粉末は比較的大きな表面積を有していたために、水分子を同等な程度に吸収することができた。Ratti [100]は粉碎されていない全凍結乾燥果実では、その海綿状の構造は対流乾燥によって処理された果実-その微細構造は著しく損傷を受けていたが-よりも 2~4 倍の水を吸収することができたと報告している。しかし、今回の電顕写真 (Figure 4-3) からは、LTD、FD いずれの粉末においても海綿状の構造を示したものは少なかった。Anna ら [101]がチョコレートを用いて行った乾燥試験では、対流乾燥法と FD の WHC はほぼ同じ値を

示し、WSI 値では対流乾燥は FD に比べるとかなり低い値を示していた。しかし、その時の試験は対流式乾燥では温度 70°C、乾燥時間 48 時間で試験したために得られた結果であり、今回の LTD の条件はそれに比べると非常に短い乾燥時間と低い乾燥温度の組み合わせで行った結果のために、FD と同等の WSI 値を示したと推察した。Figure 4-3 の LTD の写真からも部分的に海綿状構造（ゆうべに、さがほのか）が示され、FD に類似した緩い微細構造（圧縮されていない）を有する粉末の製造に適していると考えられる。

また、LTD は乾燥機が異なっても、同等な物理的特性を示したことより、機械による差は認められなかった（Table 4-7、Figure 4-4）。

Table 4-6. WHC and WSI values obtained from LTD and vacuum FD.

Variety	WHC (g H ₂ O/g.)		WSI (%)	
	LTD	FD	LTD	FD
Hinoshizuku	1.36±0.200	1.41 ± 0.141	57.19 ± 5.18	60.43 ± 1.81
Yubeni	1.71 ± 0.090	1.92 ± 0.188	57.47 ± 1.22	58.46 ± 1.44
Benihoppe	2.03 ± 0.098	2.34 ± 0.157	54.36 ± 1.96	51.67 ± 3.40
Sagahonoka	1.38 ± 0.066	1.48 ± 0.223	60.70 ± 0.78	63.95 ± 2.33

WHC water holding capacity, WSI water solubility index

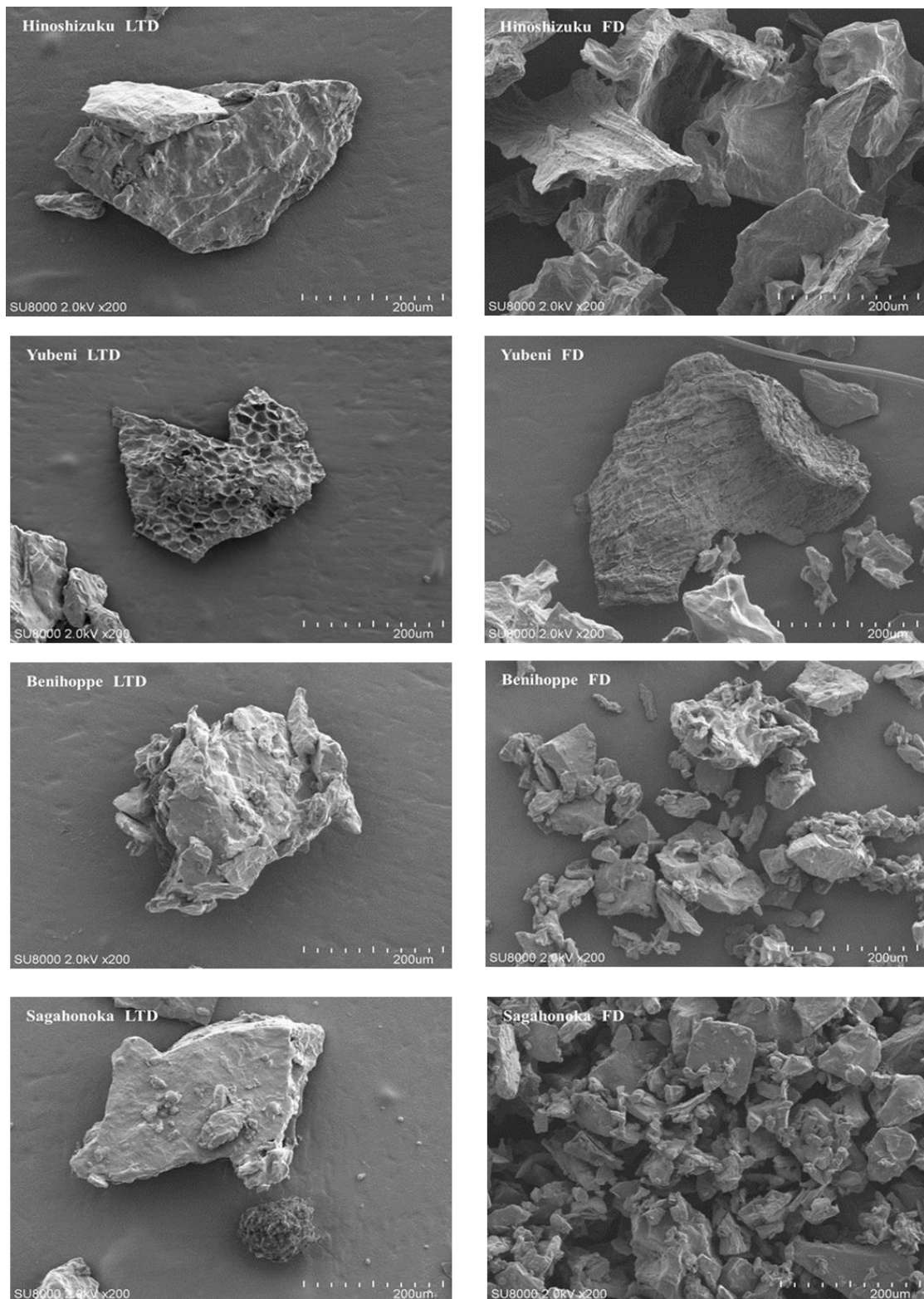


Figure 4-3. SEM micrographs of the microstructure of strawberry powders obtained by LTD and vacuum FD.

Table 4-7. WHC and WSI values obtained from different hot air dryer models.

Variety	WHC (g H ₂ O/g)		WSI (%)	
	SM10S-EH-DPC	MC-1	SM10S-EH-DPC	MC-1
Hinoshizuku	1.37±0.200	1.38 ± 0.134	57.19 ±5.18	61.74 ± 2.61
Yubeni	1.71 ± 0.090	1.79 ± 0.237	57.47 ± 1.22	58.61 ± 0.41

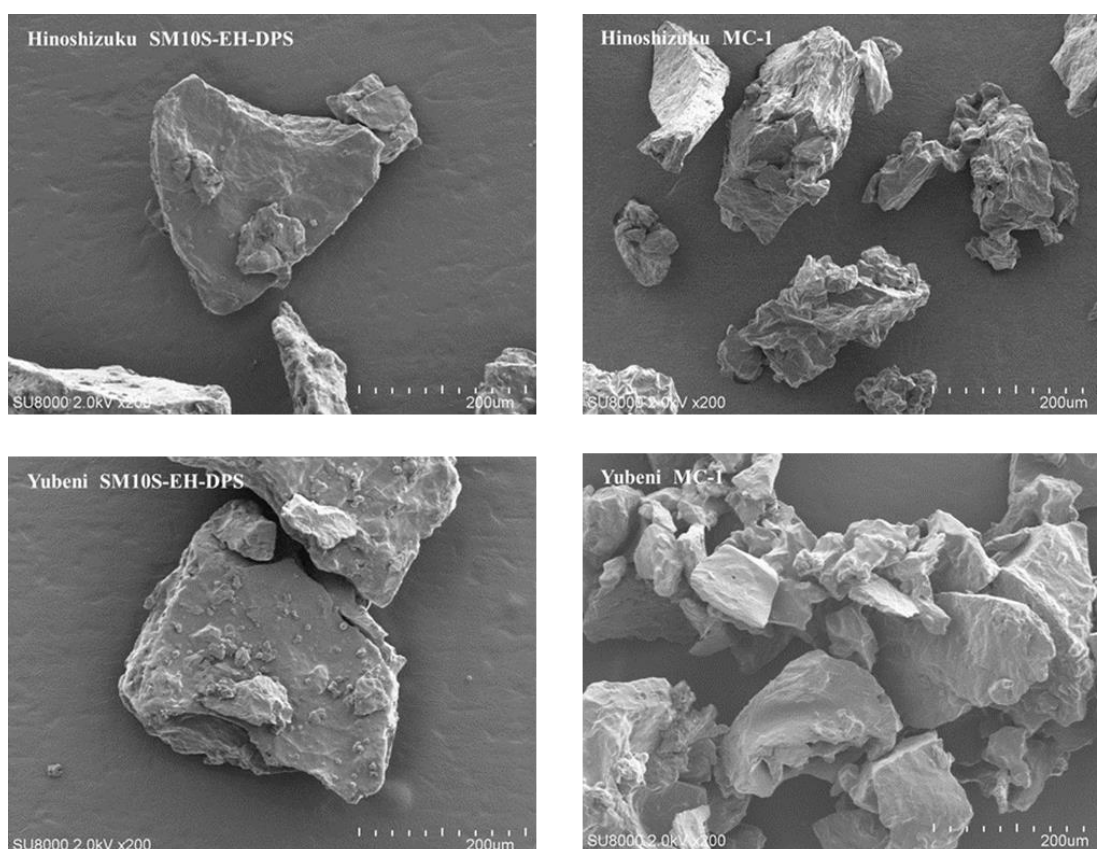


Figure 4-4. SEM micrographs of the microstructure of strawberry powders obtained from different hot air dryer models.

4.3.4. 総ポリフェノール含量

イチゴにはアントシアニン類やケンフェロール、カテキン、ケルセチンなど多くのポリフェノールが含まれており[102]、そのイチゴから抽出されたポリフェノールの抗酸化活性、抗菌活性[103, 104]、COX 阻害作用 [105]、光保護作用[106]、発がん予防作用等について多数報告されている。そこで、イチゴの機能性成分として総ポリフェノール含量の乾燥方法による違いを調べ、その結果を Table 4-8 に示す。作物中のポリフェノール含量は、サンプルの種類、栽培環境の差、あるいは熟度や貯蔵条件等で異なることが報告されている[107]ように、本試験でも、イチゴに含まれる総ポリフェノール量は品種間でやや異なっていた。LTD では、紅ほっぺが最も低く、1.57 g GAE/100 g 乾物重で、最も高かったのが、さがほのかの 1.88 g GAE/100 g 乾物重であった。FD 処理後の総ポリフェノール含量と比較しても、差は約±3%とほぼ等しく、乾燥方法の違いによる大きな差はなかった。

Table 4-8. Polyphenol content of strawberry powders obtained from LTD and vacuum FD.

Variety	Polyphenol (g GAE/100g dry sample)	
	LTD	FD
Hinoshizuku	1.80 ± 0.098	1.86 ± 0.072
Yubeni	1.81 ± 0.107	1.83 ± 0.076
Benihoppe	1.57 ± 0.018	1.52 ± 0.078
Sagahonoka	1.88 ± 0.023	1.88 ± 0.122

次に、異なる熱風乾燥機によるポリフェノール含量の違いを Figure 4-5 に示した。それぞれのポリフェノール含量は、ひのしずくで約 4%、ゆうべにで約 7%、明城製の乾燥機（MC-1）が木原製乾燥機（SM10S-EH-DPS）より高い値を示した。この結果におけるポリフェノール含量の違いは、ポリフェノールオキシダーゼの関与、即ち加温による酵素の活性低下による [5, 56] ものと推察された。ポリフェノールオキシダーゼ活性に影響を及ぼす要因として、温度条件、水分活性 [108, 109] が報告されている。乾燥機は機種が異なると、乾燥室の容量、熱源の違い等によって、乾燥する際の熱量が異なることが考えられた。乾燥機 SM10S-EH-DPS と乾燥機 MC-1 は、同一温度（40℃）、同一時間（10 時間）で乾燥を行ったが、MC-1 は SM10S-EH-DPS よりも乾燥室が狭いことから熱量が高くなり、ポリフェノール含量に違いが出たのではないかと推測した。

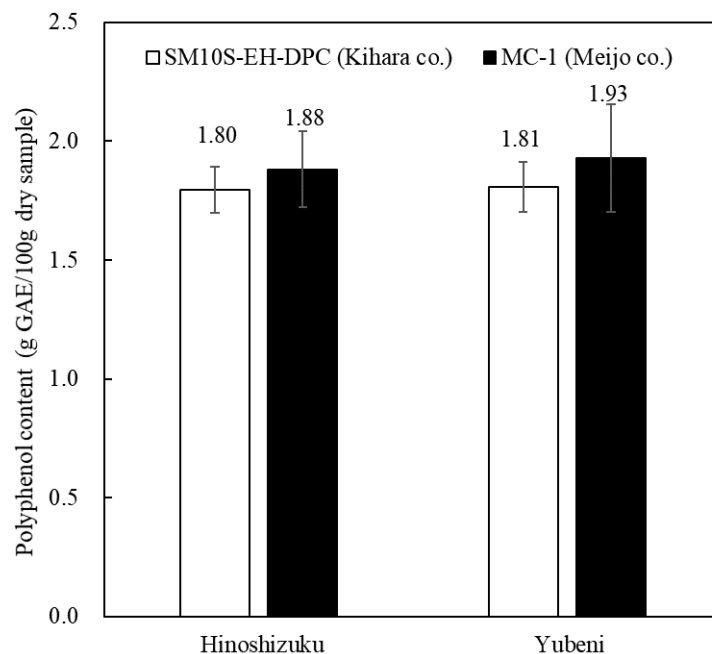


Figure 4-5. Polyphenol content of strawberry powders obtained by different hot air dryer models.

4.3.5. DPPH ラジカル消去活性

食品中に含まれている抗酸化成分は、ガンや心筋梗塞などの要因とされている活性酸素やフリーラジカル[71]の生成や作用に対して抑制効果を示すことが明らかになっており、その抗酸化性成分の各種疾病予防効果に期待が寄せられている[72]。特に、野菜果実類にはビタミン C やカロテン等のビタミン類やポリフェノール類が多く含まれ、その効果についても多数報告されている[110, 111]。イチゴについても、アントシアニンをはじめとするポリフェノールなどの抗酸化能を有する成分を多く含むことが明らかにされている[112]。そこで、それぞれの乾燥法によるイチゴの抗酸化性の違いを、その指標となる DPPH ラジカル消去活性として測定し、得られた結果を Table 4-9 に示した。イチゴの DPPH ラジカル消去活性は、LTD および FD それぞれで乾物重 100 g 当たり 9.63~11.65 mmol、9.02~11.22 mmol であった。イチゴの抗酸化活性は、品種によってかなり差異があることが報告されている[113, 114]が、今回の測定では、紅ほっぺの値は低かったが、他の 3 品種はほぼ同程度の活性値を示した。

LTD の FD に対する割合は-1~7%で、わずかに LTD が高かったが、ほとんど差はなかった。農産物の熱風乾燥機による乾燥は、FD より抗酸化活性および機能性成分の減少が報告されている[115-117]が、いずれも乾燥温度は高い場合が多い。しかし、今回の LTD による乾燥は、FD とほぼ同等な抗酸化活性を残す結果が得られたことより、LTD の 40℃という乾燥温度は抗酸化活性に対して影響はほとんどなかったと考えた。

一方、乾燥機の違いによる DPPH ラジカル消去活性は、Figure 4-6 に示した。ひのしずくでは木原製の乾燥機が明城製のものより 3% 高く、ゆうべには逆に 4% 低かった。この結果から、LTD は機器の種類にあまり左右され

ない乾燥法であると推察できた。

Table 4-9. DPPH radical scavenging activity from strawberry powders obtained by LTD and vacuum FD.

Variety	DPPH (equivalent mmol Trolox/100g dry sample)	
	LTD	FD
Hinoshizuku	11.05 ± 1.01	11.18 ± 0.19
Yubeni	11.08 ± 0.50	11.08 ± 0.47
Benihoppe	9.54 ± 0.27	9.02 ± 0.09
Sagahonoka	11.23 ± 0.49	11.22 ± 0.21

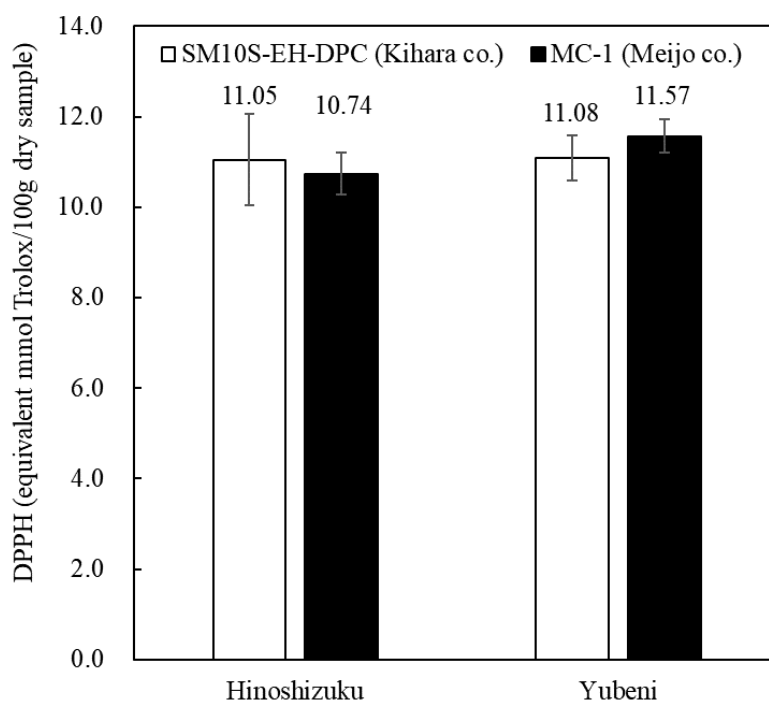


Figure 4-6. DPPH radical scavenging activity from strawberry powders obtained from different hot air dryer models.

4.3.6. 有機酸

イチゴの各乾燥処理後の有機酸含量を Table 4-10 に示した。イチゴ果実には、食味に関与する化学成分としてアミノ酸や有機酸、糖が含まれ[118, 119]、有機酸は酸味を呈す重要な要素であること知られている。イチゴの主となる有機酸はクエン酸とリンゴ酸であることから、これら 2 種類の有機酸の残存量を測定した。LTD と FD を比較すると、リンゴ酸で 35~17%、クエン酸で 36~13%、LTD の方が FD よりも低い値を示した。以前の報告で、トマトの乾燥試験における有機酸量は、LTD、FD とともに大きな差はみられなかったことより、試料の種類の特性による違いが考えられた。

異なる LTD 装置による有機酸量は、ひのしずく、ゆうべに両品種ともリンゴ酸、クエン酸ともに 1~2% のわずかな違いしかなかった。(Figure 4-7)。

Table 4-10. Organic acid content of strawberry powders obtained by LTD and vacuum FD.

Variety	Malic acid (g/100g dry sample)		Citric acid (g/100g dry sample)	
	LTD	FD	LTD	FD
Hinoshizuku	1.81 ± 0.043	2.17 ± 0.003	5.03 ± 0.025	6.37 ± 0.015
Yubeni	2.23 ± 0.021	2.72 ± 0.019	3.95 ± 0.048	6.27 ± 0.021
Benihoppe	0.99 ± 0.026	1.55 ± 0.097	5.85 ± 0.060	6.63 ± 0.183
Sagahonoka	1.31 ± 0.011	2.06 ± 0.035	4.58 ± 0.090	5.43 ± 0.087

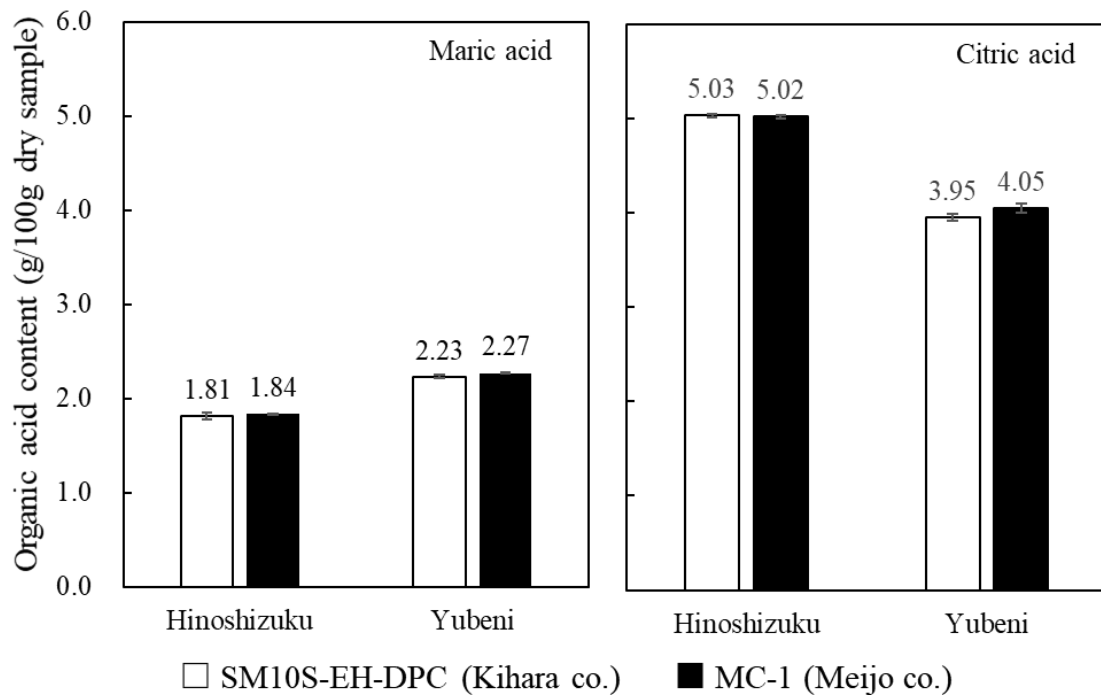


Figure 4-7. Organic acid content of strawberry powders obtained from different hot air dryer models

4.3.7. 遊離アミノ酸

イチゴに含まれる遊離アミノ酸は、食味に関与する主要成分である[120, 121]。測定した 21 種類の遊離アミノ酸のうち、イチゴの主要なアミノ酸はアスパラギンとグルタミンである。そこで、LTD および FD の乾燥後のアスパラギンおよびグルタミンの量を Table 4-11 に示した。4 種類のイチゴのうち、アスパラギンの含量が最も高かったイチゴはさがほのか、グルタミンでは紅ほっぺで、品種により遊離アミノ酸の量は異なっていた。2 種の異なる乾燥法 (LTD と FD) により作られたイチゴ粉末中の遊離アミノ酸量は、両乾燥間に一定の傾向はみられず、乾燥方法に優劣の差は認められなかった。

一方、LTDにおける異なる機種間の遊離アミノ酸量の測定では、木原製の乾燥機が明城製に比べアスパラギンで-4~5%、グルタミンで-6~-4%の差が認められた (Figure 4-8)。両者の差は小さく、イチゴの品種ごとにその差が変化することから、機種間による優劣はないものと考えた。

以上の結果より、LTDの乾燥特性として機能性成分および味覚成分としてのポリフェノール、DPPHラジカル消去活性、有機酸、遊離アミノ酸の保存性が、有機酸を除いて、FDとほぼ同等であること、また、LTDは機器の違いによる製品の差は少ない乾燥方法であることが確認できた。さらにLTDは食品加工現場でもFDよりも短時間の処理と安価なコストで、機能性を有した乾燥製品の開発に有利な乾燥法であると確信した。

Table 4-11. Amino acid content of strawberry powders obtained by LTD and vacuum FD.

Variety	Asparagine (mg/100g dry sample)		Glutamine (mg/100g dry sample)	
	LTD	FD	LTD	FD
Hinoshizuku	735.8 ± 29.56	566.4 ± 5.06	329.6 ± 14.76	222.5 ± 19.38
Yubeni	429.69 ± 1.68	526.5 ± 7.16	268.7 ± 1.46	249.8 ± 3.61
Benihoppe	605.8 ± 11.85	438.6 ± 10.13	420.1 ± 26.69	383.2 ± 10.53
Sagahonoka	1003.6 ± 10.90	1187.8 ± 207.95	361.2 ± 6.05	666.5 ± 140.62

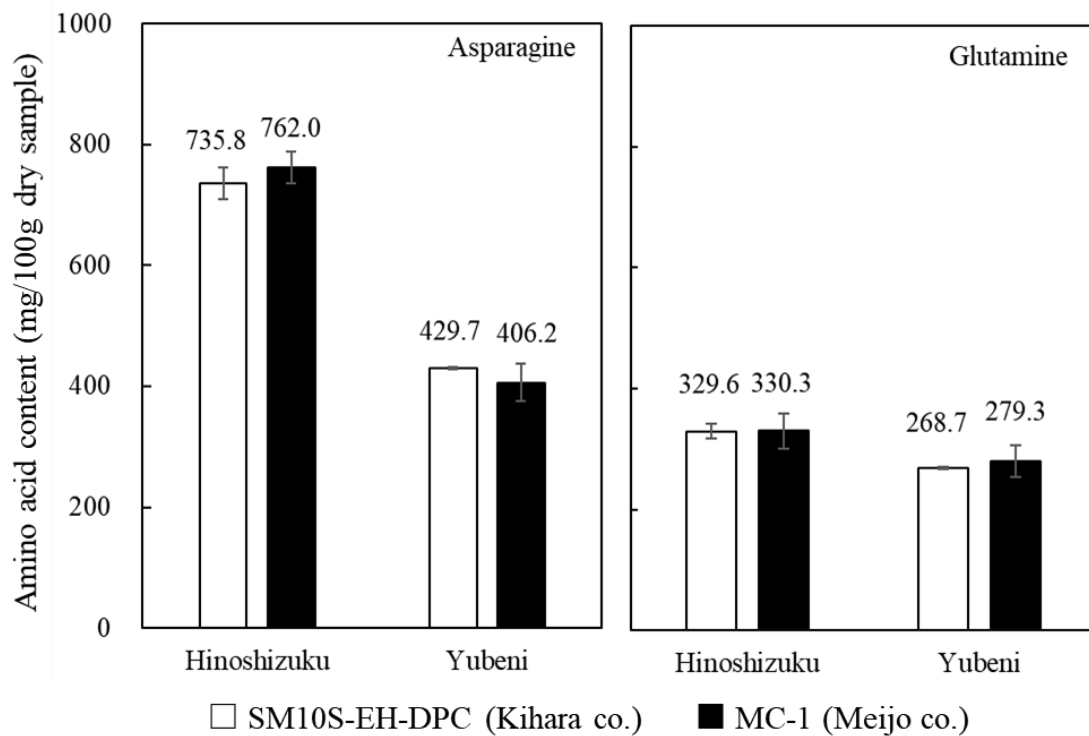


Figure 4-8. Amino acid content of strawberry powders obtained by different hot air dryer models.

4.4. 小括

イチゴのように糖やアミノ酸が多く、多水分の野菜・果実の乾燥品や乾燥粉末製品は、通常の乾燥方法では難しく、原料本来の機能性のある成分等が減少してしまっていた。そこで、機能性成分を損なわない温度帯での乾燥（LTD）を行い、その乾燥法と最も成分の変化が少なく、生の特性を残す乾燥方法であるFDとの比較を行い、低温乾燥法の有効性について検討した。

生のイチゴを破碎したものをLTDとFDそれぞれで乾燥し、その後粉碎したものを試料として成分変化を調べた。

(1) 乾燥後の水分は、LTDで88~92%、FDで88~91%の水分が減少してお

り、両乾燥とも、十分な乾燥状態であった。乾燥時間を比較すると、FDは70時間かけて乾燥を行ったのに対し、LTDは10時間と、FDの約1/7の短時間処理が可能であった。また、LTDにおいて、木原製と明城製の異なる機種による水分減少は、いずれも88~91%で同等の乾燥品が得られた。

(2) 乾燥後の粉末の色は乾燥方法によって異なり、LTD製の粉末はFDよりもL*とa*の値が低く、b*の値が高かった。また、FDよりも品種間の違いが明確であった。LTDの機種による色の違いは、数値の差はあったが、外観的には明確な違いは認められなかった。

(3) 粉末の物理的・化学特性としてのWHC、WSIともLTD粉末もFD粉末も同等で、水分保持特性および可溶性に差は認められなかった。また、機種間でも違いはなかった。

(4) 乾燥後の総ポリフェノール含量は、LTDはFDより15~28%高かった。異なる機種間では、ほぼ等しい値を示した。

(5) 抗酸化活性を示す指標となるDPPHラジカル消去活性において、LTDはFDの99~107%で、FDとほぼ同等な活性を示した。また、機種間の影響もみられなかった。

(6) 乾燥後の遊離アミノ酸量は、イチゴの品種間でLTDとFDの値の上下が変化したことから、LTDはFDに匹敵した有効な乾燥法であると考えた。また、機種による値の変動も小さかった。

以上の結果より、LTDは食品加工現場において、FDよりも短時間な乾燥時間で機能性を有した乾燥食品を製造可能な乾燥法であると考えられた。

第5章 乾燥粉末の利用方法および食品への応用

5.1. LTD で作製した粉末の利用方法

LTD で調製された乾燥粉末は、トマトおよびイチゴ果実において、FD で調製した乾燥粉末と同様な特性を有することが明らかとなった。糖度が高く、トマトのように外層が硬く、内層にゼリー状の組織を持つような原料についても完全な乾燥が可能であることから、野菜はもちろん果実全体にも応用ができるものと考えられた。

前章で述べたように、野菜や果実等の農産物の乾燥品は、生で食べるよりも少量で同量の栄養成分を摂取できるし、粉末はシーズニングとして菓子類，パン，麺類などいろいろな食品に添加して、色の付加や栄養素、機能性の強化等に用いられ、健康食品、ダイエット食品、青果素材などへも利用されている。また、食品以外にも成分の損失が少なく高い成分保持能から、理化学分野における分析のFD代替の前処理法としても有効であると考えられる。

第3章および第4章で報告したトマト粉末とイチゴ粉末についても同様に、いろいろな利用方法が考えられる。そのうち、最も簡便で最も利用頻度が高いのが食品への応用である。そこで、これらの粉末を使った加工品を考案し、その試作した結果（Figure5-1）とその加工レシピを次に記した。

5.2. LTD で作製した粉末を使った食品の試作

5.2.1. トマト大福

■トマト大福（8個分）

材料

・ 上新粉 50g

・ 上白糖 10g

{ ・片栗粉 5g

・お湯 50g

・トマト粉末 適量 ※好みの色が出るまで加える

・餡 適量

・トマト 8個

方法

- ① 材料をまとめて耳たぶの固さまでこねる。
- ② 8等分にする。
- ③ タネを広げ、好みにより餡とトマトを包む。

5.2.2. イチゴ大福

■イチゴ大福（8個分）

材料

{ ・上新粉 50g
・上白糖 10g
・片栗粉 5g
・お湯 50g

・イチゴ粉末 適量 ※好みの色が出るまで加える

・餡

・いちご 8個

方法

- ① 材料をまとめて耳たぶの固さまでこねる。
- ② 8等分にする。
- ③ タネを広げ、好みにより餡とイチゴを包む。

5.2.3. スノーボール

■スノーボール

材料

A	}	・米粉	50 g	
		・菜種油	25 g	
		・甜菜糖	10 g	
		・アーモンドプードル	10 g	
B	}	・イチゴ粉末	適量	※好みの色が出るまで加える
		・粉糖	適量	

方法

- ① 材料 A を混ぜて丸めて 160°C,15min オーブンに入れる。
- ② 冷ます。
- ③ B を混ぜたものを袋に入れて②を加えて全体に馴染むように振る。

5.2.4. シュークリーム

■シュークリーム

材料

- ・シュー皮
- ・生クリームまたはカスタードクリーム
- ・イチゴ粉末 適量

方法

- ① 生クリームまたはカスタードにいちご粉末を混ぜる。
- ② シュー皮に入れる。



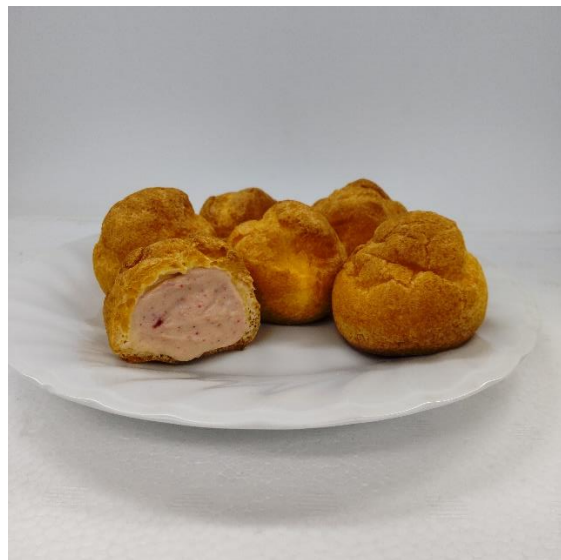
Tomato daifuku



Strawberry daifuku



Snow ball



Cream puff

Figure 5-1 Prototype using tomato powder and strawberry powder。

第 6 章 総括

乾燥は、食品加工において貯蔵、流通を可能にするための簡易ではあるが重要な工程である。6 次産業化、農産加工においても、乾燥食品は簡易な方法で製品が作れることから、多種多様な農産物の乾燥が行われており、それぞれの粉末製品も作られるようになってきた。しかし、農産物の中でも、糖度が高いものでは FD のような特殊な乾燥機でないと品質の良い粉末はできなかった。

本研究では、大部分の食品加工所には導入されている対流式の熱風乾燥機を使って、粉末化が困難であるトマトおよびイチゴの粉末を製造する方法を確立し、FD で作られた粉末との比較を行って、その優位性について見出した。

LTD によるトマト粉末の製造方法の確立

トマト粉末は、(株)木原製作所製の対流式乾燥機 SM10S-EH-DPC を用いて試験を行った。用いたトマト原料は、完熟した赤トマト 3 種類と未完熟の緑のトマト 4 種類である。それぞれ、カットしたトマトをブレンダーで破碎し均一にした果汁を、4 辺を内折りにしたクッキングペーパーで作った容器に 0.2 g/m^2 の量を流し込んだ。乾燥温度を 40°C 、 50°C 、 60°C の 3 段階で設定し乾燥を行った。乾燥重量が一定になった時間に +4 時間した時を乾燥終了とした。 50°C と 60°C 乾燥の収量は 7 時間、 40°C の終了は 10 時間とした。それぞれの乾燥物について、リコペン含量と総ポリフェノール量を調べた。総ポリフェノール量は、 60°C の場合が最も高く、 40°C の場合が最も低い値を示した。その差は約 35% であった。乾燥温度が高い方が、総ポリフェノール量が高かった要因として、ポリフェノールオキシダーゼの失活が考えられ、乾燥品の色も褐変が強かった。一方、リコペン含量は 40°C 乾燥が最も高く、温度の上昇に伴い下がっていき、 40°C 乾燥に比べ 21%

低かった。リコペン含量と粉末の色から評価して、以後の乾燥は 40℃。10 時間の条件で行うようにした。

トマト粉末における LTD と FD の比較

トマト粉末製造において、FD を用いて製造した場合は、一次凍結から計算すると 70 時間要し、LTD の乾燥の約 7 倍かかった。それぞれの粉末は、機能性成分としてリコペン含量、総ポリフェノール量、DPPH ラジカル消去活性および有機酸量、アミノ酸量を調べ評価した。リコペン含量は、品種間で LTD と FD の間にわずかな差はみられたが、ほぼ同量のリコペンを含むことが分かり、統計的にも有意差はなかった。

総ポリフェノール量分析において、赤トマトでは LTD の FD に対するポリフェノール量の差は -0.3% から -8% であったが、統計解析においては乾燥法の違いは残存するポリフェノール量に影響を与えないことが確認された。

DPPH ラジカル消去は、完熟トマトで低温乾燥トマトの値が真空凍結乾燥よりも約 7~12 % 低く、未熟果では 1~17 % 低かった。統計解析の結果からは、完熟トマトの場合は、乾燥方法が DPPH ラジカル消去活性に影響を与え、未熟トマトでは熟度が影響を与えることが確認され、LTD は FD よりもわずかに DPPH ラジカル消去活性が低かったが、値的には満足できるレベルであった。

トマトの主要な有機酸であるリンゴ酸とクエン酸の分析結果では、LTD は FD に比べるとリンゴ酸の残存量はやや下回ったが、クエン酸はほぼ同等の結果であった。また、トマトの代表的な遊離アミノ酸のグルタミン酸、アスパラギン酸、グルタミンおよび GABA の 4 種類を分析した結果、乾燥方法の違いでは優劣の傾向は認められなかった。

次に、トマトの成熟とアミノ酸量の関係についてみると、成熟果ではいず

れのアミノ酸も乾燥による減少はほとんど確認できなかったが、未熟果では生果の半分以下まで減少する品種もみられた。このことから、成熟過程のアミノ酸は、乾燥処理で減少するような不安定さを持つと考えられた。LTD と FD のそれぞれのアミノ酸量は、成熟果では LTD、FD いずれのアミノ酸もほぼ同等量残っていた。この結果より、アミノ酸においても LTD は成分を低減させ乾燥が可能な乾燥方法であることが示唆された。

LTD と FD で調製したイチゴ粉末の比較

イチゴについても、LTD による粉末を作成し、その特性を FD による粉末と比較した。LTD と FD の乾燥条件はトマト粉末の製造条件に合わせた。粉末化試料には、ひのしずく、ゆうべに、紅ほっぺ、さがほのかの 4 種類のイチゴを使用した。イチゴ粉末では、トマトで分析した成分以外に、物理化学的特性としての分析も行った。

まず、粉末の色の評価を行うために色の測定を行い、 L^* (明度)、 a^* (緑(-) - 赤(+))、 b^* (青(-) - 黄(+)) で表し、 a^*/b^* は赤色度を示した。LTD と FD を比較した場合、 L^* 、 a^* 、 a^*/b^* のいずれも LTD は FD よりも低く、 b^* は高かったことより、LTD で作った粉末は FD より明るさと赤色は弱く、黄色が強い傾向を示すことがわかった。LTD では、ゆうべに、さがほのか、紅ほっぺの順で L^* 値が高く、ひのしずくは最も低かった。LTD による粉末の中でも、 a^* 、 b^* とともに高かったゆうべにと紅ほっぺが、イチゴらしい色で評価が良く、食品素材として好ましいと考えた。

物理化学特性は、イチゴ粉末の電子顕微鏡による微細構造と、それぞれの粉末の水分保持能力 (WHC) と可溶性指数 (WSI) を調べた。粉末の WHC は LTD で 1.36 ~ 2.03 g H₂O/g、FD で 1.41 ~ 2.34 g H₂O/g で、LTD と FD の乾燥方法による差は品種間差より小さく、LTD による粉末は FD と同等の WHC 特性を有していると考えた。

一方、WSI は、LTD と FD の差は±5%以内と小さかったことより、LTD と FD それぞれの乾燥方法で作られた粉末は類似した特性を有すると考えられた。WHC と WSI から得られた結果は、乾燥粉末の微細構造に起因していると考えられ、LTD、FD いずれの粉末も似通った構造を有していることがわかった。その結果、LTD は FD と類似した粉末の製造に適していると推察された。

イチゴにもアントシアニン類などの多くのポリフェノールが含まれており、高い抗酸化活性を示すことが知られている。それぞれの粉末に含まれる総ポリフェノール量は、LTD と FD を比較してもその差は約±3%とほぼ等しかった。また DPPH ラジカル消去活性は、LTD の FD に対する割合は-1%~7%で、わずかに LTD が高かったがほとんど差はなかった。

イチゴの主要有機酸であるリンゴ酸およびクエン酸は、やや LTD による粉末が FD よりも低く、遊離アミノ酸のアスパラギンとグルタミンは、乾燥方法の違いに傾向は認められなかった。イチゴにおいても、LTD は FD と同等な乾燥品が製造できる乾燥方法であると考えられた。

異なる熱風乾燥機による LTD の粉末への影響

食品加工場に導入されている乾燥機は、製造メーカーも異なれば、性能も異なる。異なる機種による LTD が粉末に与える影響を調べるために、(株)木原製作所製と(株)明城製作所製の2機種の乾燥機を用いて、LTD による乾燥試験を行った。

粉末の色は、木原製が明城製より L*で約 10%低い値を示し、a*と b*でも木原製はわずかに低かった。外観観察では、いずれの乾燥機で作られた粉末も大きな差ははみられなかった。粉末の WHC、WSI、電子顕微鏡による構造についても違いは認められず。乾燥機の乾燥能力に差はないと考えられた。

総ポリフェノール量は、4%~7%、明城製の乾燥機の方が木原製乾燥機より高い値を示した。乾燥機は機種が異なると、乾燥室の容量、熱源の違い等によって、乾燥する際の熱量が異なることが考えられ、明城製の乾燥機は木原製のものよりも乾燥室が狭いことから、熱量の差がポリフェノール量の違いになったものと推測した。

DPPH ラジカル消去活性は、ひのしづくでは木原製の乾燥機が明城製のものより3%高く、ゆうべにでは逆に4%低く、イチゴの品種で異なった。

有機酸量は機種による違いはほとんど見られず、遊離アミノ酸量も機種間の差は小さく、品種によるバラツキが大きかった。

これらの結果より、対流式乾燥機を用いた LTD は、異なる機種の乾燥機では大きな違いはみられず、乾燥機が違っても良質な粉末製造が可能な乾燥法であると示唆された。

以上のように、本研究で対流式乾燥機による低温乾燥法の優位性が明らかにできたことで、今後の農産加工における商品開発の一助となることを期待したい。

参考文献

- [1] 熊本県農林水産政策課、「くまもとの農業 2018」(2018) p31.
- [2] 熊本県「くまもとの農林水産業 2021」(2021).
- [3] 熊本県農林水産部、「令和元～2年度(2019-2020年度)熊本県農業動向年報」(2021) p55-56.
- [4] 熊本県農林水産部、「令和元～2年度(2019-2020年度)熊本県農業動向年報」(2021) p114.
- [5] 山口明子、西麗、廣瀬潤子、浦部貴美子、灘本知憲、「日本食品保蔵学会誌」(2012) **38**(3) p169-176.
- [6] 木村 進、乾燥食品、「光琳書院」(1966) p1-5.
- [7] 木村 進、乾燥食品事典 (1984).
- [8] 久松裕子，“調理における半乾燥野菜の品質・機能性の変化”月刊 フードケミカル (2015) 1月号, vol.357, 12-15.
- [9] 今田節子、「地域食材大百科」(2013) **9**, 208-213.
- [10] 厚生労働省, 「21世紀における国民健康づくり運動(健康日本21)最終報告」(2011) 63-74.
- [11] 社団法人農山漁村文化協会、「食品地域資源活用食品加工総覧」第3回共通編 (2002) 21-23.
- [12] 江間三恵子, 「日本食生活学会誌」(2006) **17**, 49-56.
- [13] Doymaz, I., *Journal of Food Engineering.*, (2007) **78**, 1291-1297.
- [14] Sjöholm, I. and Gekas, V., *Journal of Food Engineering.*, (1995) **25**, 123-130.

- [15] 森房素乃子、折笠貴寛、村松良樹、田川彰男、「日本食品科学工学会誌」
(2012) **59**, 11, 583-590.
- [16] 折笠貴寛、田川彰男、相馬真哉、飯本光雄、小川幸春、「農業機械学
会誌」(2005) **67**, 105-112.
- [17] Schultz, E. L. Mazzuco, M.M., Machado, R.A.F., Bolzan, A., Quadri, M.B.
and Quadri, M. G. N., *J. Food Eng.*, (2007) **78**, 1103-1110.
- [18] Maskan, M., *J. Food Eng.*, (2001) **48**, 177-182.
- [19] Oriksa, T., Wu, L., Shiina, T. and Tagawa, A., *J. Food Eng.*, (2008) **85**,
303-308.
- [20] 山口明子、西麗、廣瀬潤子、浦部貴美子、灘本知憲、「日本食品保蔵
学会誌」(2012) **38**(3), 169-176.
- [21] 折笠貴寛、柴田高志、梶井大介、ロイ ポリトッシュ、中村宣貴、椎
名武夫、田川彰男、「食品科学工学会誌」(2008) **55**(7), 350-354.
- [22] Heredia, A., Barrera, C., and Andres, A., *J. Food Eng.*, (2007) **48**, 111-118.
- [23] 原口健司、河村眞也、上野義栄、「京都府中小企業技術センター技報」
(2006) **34**, 44-49.
- [24] 安藤泰雅、折笠貴寛、椎名武夫、五月女格、五十部誠一郎、村松良樹、
田川彰男、「日本食品科学工学会誌」(2010) **57**(5), 191-197.
- [25] 玉木由佳莉、折笠貴寛、村松良樹、田川彰男、「日本食品科学工学会誌」
(2012) **59**(8), 401-408.
- [26] 吉田裕史、折笠貴寛、小出章二、村松良樹、田川彰男、「日本食品科学
工学会誌」(2014) **61**(4), 151-159.
- [27] Rahman, M. M., Joardder, M. U. H. and Karim, A., *Biosystem Engineering*,
(2018) **169**, 126-138.

- [28] 眞岡孝示, *ENEOS Technical Review*, (2014) 第 56 号, 第 3 号, 10 月.
- [29] Ouchi, A., Aizawa, K., Iwasaki, Y., Inakuma, T., Terao, J., Nagaoka, S. and Mukai, K. *J. Agric., Food Chem.*, (2010) **58**, 9967-9978.
- [30] Yamamoto, T., Yoshimura, M., Yamaguchi, F., Kouchi, T., Tsuji, R., Saito, M., Obata, A. and Kikuchi, M., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, (2004) **68**, 1706-1711.
- [31] 劉影, 「東方医学」 (2004) 19, 33-48.
- [32] 木村毅, *Ajico News*, (2000) No.199, 21-26
- [33] 高田武久, 「日本家政学会誌」 (2012) vol.63, No.11, 745-749.
- [34] Motomori, Y., Shimomura, K., Mori, K., Kunitake, H., Nakashima, T., Tanaka, M., Miyazaki, S. and Tshimaru, K. (1995) *Phytochemistry*, **40**, 1425-1428.
- [35] Tsuda, T. (2012) *Mol, Nutr, Food Res.* **56**, 159-170.
- [36] Amakura, Y., Okada, M., Tsuji, S. and Tonogai, Y. (2000) *Shokuhin Eiseigaku Zasshi* **41**, 206-211.
- [37] 阿部尚樹 「化学と生物」 (2000) **38**, 5-7.
- [38] 本田沙理、増田俊哉 「化学と生物」 (2015) Vol,53, No.7, 442-448.
- [39] 中村成夫, 「日医大会誌」 (2013) **9**(3).
- [40] 木村進, 中林敏郎, 加藤博通 (編集) 「食品の変色の化学」 p 71-72.
- [41] 木村進, 中林敏郎, 加藤博通 (編集) 「食品の変色の化学」 p 220-226.
- [42] 木村進, 中林敏郎, 加藤博通 (編集) 「食品の変色の化学」 p 226-236,
- [43] 木村進, 石谷孝祐, 梅田圭司, 津端一子, 高井順子 「日本食品工業学会誌」 (1972) 第 19 卷, 第 7 号, 299-303.
- [44] 石谷孝祐, 梅田圭司, 木村進 「日本食品工業学会誌」 (1975) Vol.23, No.10

- 480-485.
- [45] P. Kanasawud and J. C. Cruzet, (1990) *J. Agric. Food Chem.*, 38, 1238.
- [46] 安藤聡, 坂口 (横山) 林香. 「日本食品科学工学会誌」 (2015) **62**(8), 417-421.
- [47] Ito, H. and Horie, H, *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science.*, (2009) **8**, 165-173.
- [48] Nagata, M. and Yamashita, I., *Journal of the Japanese Society for Food and Technology.*, (1992) **39**, 925-928.
- [49] Singleton, V. L. and Rossi, J. A., *Am. J. Enol. Viticult.*, (1965) **16**, 144-158.
- [50] 澤井佑典, 沖智之, 西場洋一, 奥野成倫, 須田郁夫, 大和陽一, 「九州沖縄農業研究センター報告第 61 号」 (2014) 23-34.
- [51] 沖智之, 「食品機能性評価マニュアル集第II集」 (食品機能性評価支援センター技術普及資料等検討委員会編、食品科学工学会, つくば) p71-78.
- [52] Ali, M., Saeid, M. and Mohammad, H. K., *Energy Convers Manag.*, (2011) 52, 1192-1199.
- [53] Aghbashlo, M., Kianmehr, MH. and Samimi-Akhijahani, H. *Energy Convers Manag.*, (2008) 49, 2865–2871.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.03.009>.
- [54] Koyuncu, T., Pinar, Y. and Lule, F. J, *Food Eng.*, (2007) 78, 1471–1475.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.036>.
- [55] Montgomery, D. C. *Experiments with a Single Factor: In the Analysis of Variance. Design and analysis of experiments.* (8th ed., Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2013, p. 65–138).

- [56] Montgomery D. C., Simple Comparative Experiments. Design and analysis of experiments. (8th ed., Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2013, p25–64).
- [57] Thai, C. C. D., Bakir, H. and Doherty, W. O. S. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, (2012) 60(11), 2916–2923.
<https://doi.org/10.1021/jf204998b>.
- [58] Oluwajuyitan, T. D., Malomo, S. A., Badejo, A. A., Idowu, A. O. and Fagbemi, T. N. *ACS Food Science & Technology.*, (2020) 1(2), 146–151.
<https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00058>.
- [59] Zhu, D., Ji, B., Eum, H. L. and Zude, M., *Food Chemistry.*, (2009) **113**, 272-279.
- [60] Antonio, V-G., Kong, A-H., Marcelo, C., Judith, V., Javier, M-M., Purificación, G-S., Roberto, L-M. and Karina, Di S., *Food Chemistry.*, (2012) **132**, 51-59.
- [61] Chang, C-H., Lin, H-Y., Chang, C-Y. and Lin, Y-C., *Journal of Food Engineering.*, (2006) **77**, 478-485.
- [62] Bilec, S. E., Degimenci, A., Tekin, I., and Yilmaz, F. M. *Journal of Food Measurement and Characterization.*, (2019) **13**(3), 2218-2229.
- [63] Si, T., Zunli, K., Dan, C., Yiwen, M., Kui, L. and Wenfeng, L., *Food Chemistry.*, (2021) **338**, 128062.
- [64] Sharma, S. K. and LeMaguer, M., *Food research International.*, (1996) **29**, 309-315.
- [65] Dewanto, V., Wu, X. Z., Adom, K. K. and Liu, R. H., *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, (2002) **50**, 3010-3014.

- [66] Graziani, G., Pernis, R., Lanzuise, S., Vitaglione, P., Anese, M. and Fogliano, V., *European Food Research and Technology*. (2003) **316**(2), 116-121.
- [67] Choksi, P. M. & Joshi, V. Y., *International Journal of Food Properties*., (2007) **10**(2), 289-298.
- [68] Yamamoto, T., Yoshimura, M., Yamaguchi, F., Kouchi, T., Tsji, R., Saito, M., Obata, A. and Kikuchi, M., *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, (2004) **68**, 1706-1711
- [69] Wojdylo, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., Oszmianski, J., *Food and Bioprocess Technology*., (2014) **7**, 829–841.
- [70] 吉川敏一, 「フリーラジカルの科学」講談社, (1997) 125-198.
- [71] Ames, B. N., Shigenaga, M. K. and Hagen, T. M., *Acad. Sci. USA*, **90**., (1993) 7915-7922.
- [72] Chandra H. M., Shanmugaraj, B. M., Srinivasan, B. and Ramalingam, S., *J. Food Sci.*, (2012) **77**. C1174-C1178.
- [73] 山口智子, 「日本調理学会誌」 (2012) Vol. 45, No.2, 88-95]
- [74] Sun, Y. J., Shen, Y., Liu, D. H. and Ye, X. Q., *Lwt-Food science and Technology*., (2015) **60**(2), 1269-1275.
- [75] Hobson, G. E., Davies, J. A. and Hagen, T. M., *Academic Press*., (1971) 437-482.
- [76] Oruna-Concha, M. J., Methven, L. Blumenthal, H. Young, C. and Mottram. D.S., *J. Agric. Food Chem.*, (2007) **55**(14), 5776-5780.
- [77] 高田武久, 「日本家政学会誌」, (2012) **63**, 11, 745-749.
- [78] Saito, T., Matsukura, C. Sugiyama, M. Watahiki, A. Ohshima, I. Iijima, Y. Konishi, C. Fujii, T. Inai, S. Fukuda, N. Nishimura, S. and Ezura. H., *J.*

- Japan. Soc. Hort. Sci.*, (2008) **77**, 242-250.
- [79] 永田雅靖, 西條了康, 「日本食品工業学会誌」 (1992) **39**, 1, 64-67.
- [80] 左右田健次、「酵素ハンドブック、丸尾文治・田宮信夫監修(朝倉書店)」
(1982) 581.
- [81] 山中博之、茶珍和雄、緒方邦安、「園芸学会雑誌」 (1971) **40**, 287.
- [82] 山中博之、茶珍和雄、緒方邦安、「園芸学会雑誌」 (1972) **41**, 317.
- [83] Saijo, R., Nagata, M. and Ishi, G., *Wenatchee, Washington, USA.* (1989) 151.
- [84] Lopez-Quiroga, E., Prosapio, V., Fryer, P. J., Norton, I. T. and Bakalis, S., *Journal of Food Process Engineering.*, (2019) 43: e13192.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13192>.
- [85] Doymaz, I. Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering.*, (2006).76, 212-217.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.009>.
- [86] Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G. and Wijesinghe, B., *Journal of Food Engineering.*, (2003) 58, 277-283.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00386-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00386-2).
- [87] Table a – 9 1970;3:1970.
- [88] Lui-lui, H., Min, Z., Arun S, M., Dong-feng, S., Guan-wei, T. and Shameel, T., *Drying Technology.*, (2009) 27, 938-946.
- [89] Sándor, F., Helga, M., Nóra, A., and Zsuzsanna, C., *International Journal of Food Engineering.*, Vol. 4, No. 2, June 2018.
- [90] Nikhil, K., Genitha, I. and SK Goyal, *The Pharma Innovation Journal.*, (2022) 11(4), 484-491.

- [91] TAMÁS, A., BENEDEK, K., LÁSZLÓ, S. and MOHAMED, T., *Journal of Food Processing and Preservation.*, (2015) 39, 994–1005.
- [92] Ogura, N., “Theory and Method of Preserving for Food. Ogura, N., *Food Processing Study (in Japanese).*, Kenpakusya Co., Ltd, Tokyo.” (1979) 3-35.
- [93] Yoshitomi, H., *Journal of JSAM.*, (1988) **50** (2), 65-73.
- [94] Murata, A., Koide, S. and Miyauchi, K., *Journal of JSAM.*, (1993) **55** (4), 83-89.
- [95] Murata, A., Tanaka, F. and Amaratunga, K., *Journal of JSAM.*, (1994) **56** (4), 45-52.
- [96] Soysal, Y., Ayhan, Z., Esturk, O. and Arıkan, M.F., *Biosystems Engineering.*, (2009) **103**, 446-455.
- [97] 尾谷賢、内山智幸、山崎邦夫、清水篠資、姉帯正樹、金島弘恭、「北海道立工業試験場報告」(1992) **291**, 141-148.
- [98] Sudha, M. L., Baskaran, V. and LeelavathiaK., *Food Chem.*, (2007) **104**, 686-692.
- [99] Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeife,r V. F. and Griffin, JR., *Cereal Sci. Today.*, (1969) **14**, 4-11.
- [100] Ratti, C., *J. Food Eng.*, (2001) **49**, 311-319.
- [101] Anna S., Franciszek S´., Rita R. and Ewelina H., *Food Sci Biotechnol.*, (2019) **28**(4), 1073–1081.
- [102] Sandra M. H., Crit. Rev., *Food Sci. Nutr.*, (2004) **44**, 1-17.
- [103] R. Puupponen-Pimiä, L. Nohynek, S. Hartmann-Schmidlin, M. Kähkönen, M. Heinonen, K. Määttä-Riihinen and K-M, Oksman-Caldentey., *J. Appl.*

- Microbiol.*, (2005) **98**, 991-1000.
- [104] Takebayashi, J., Oki, T., Watanabe, J., Yamasaki, K., Chen, J., Sato-Furukawa, M., Tsubota-Utsugi, M., Taku, K., Goto, K., Matsumoto, T. and Ishimi, Y., *Journal of Food Composition and Analysis.*, (2013). **29**, 25-31.
- [105] N. P. Seeram, R. A. Momin, M.G. Nair, and L. D. Bourquin., *Phytomed.*, (2001) **8**, 362-369.
- [106] Gordon J. McDougall, Heather A. Ross, Magnus Ikeji, and Derek Stewart., *J. Agric. Food Chem.*, (2008) **56**, 3016-3023.
- [107] Olson, M. E., Ekvall, J., Gustavsson, K. E., Nilsson, J., Pillai, D., Sjöholm, I., Svensson, U., Åkesson, B. and Nyman, M. G. L., *Journal of Agriculture and Food chemical.*, (2004) **52**, 2490-2498.
- [108] Ullah, M. R. and Roy, P. C., *Journal of Science of Food and Agricultural.*, (1982) **33**, 492-495.
- [109] Lopez, A., Pique, M.T., Ferran, A., Romero, A., Boatella, J. and Garcia, J., *Drying Technology.*, (1997) **15**, 979-988.
- [110] Lee, S. K. and Kader, A. A., *Postharvest Biol. Technol.*, (2000) **20**, 207-220.
- [111] Stintzing, F. C. and Carle, R., *Trends Food Sci. technol.*, (2004) **15**, 19-38.
- [112] Hannum S. M., *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, (2004) **44**, 1-17.
- [113] Meyers, K. J., Watkins, C. B., Pritts, M. P. and Liu, R. H., *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, (2003) **51**, 6887-6892.
- [114] Tulipani, S., Bruno Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, J., Ric de Vos, C. H. and Capanoglu, E., *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*, (2008) **56**, 696-704.

- [115] Lzli, N., Lzil, G. and Taskin, O., *Journal of Food Measurement and Characterization.*, (2017) **11**, 64-74.
- [116] Boris, N., Luis, V., Xiaoyan, X., Marsha, S. and Hao, F., *Food Chemistry.*, (2018) **262**, 242-250.
- [117] Lzli, N., Lzil, G. and Taskin, O., *CYTA-Journal of Food.*, (2018) *1*, 213-221.
- [118] Morishita, M. and Honda, F., *Bull. Nat. Res. Ins. Vegetable, Ornamental Plants and Tea, Japan A4*, (1991) 41-55.
- [119] Moing, A., Renaud, C., Gaudillere, M., Raymond, P., Raudeillac P. and Denoyes- Rothan. B., *J. Amer. Soc. Hort.Soi.*, (2001) **126**, 394-403.
- [120] Fuke, S. and S. Konosu., *Physiol. Behav.*, (1991) **49**, 863-868.
- [121] Fuke, S. and Y. Ueda., *Trends Food Sci. Technol.*, (1996) **7**, 407-411.

謝辞

本研究の遂行ならびに本論文をまとめるにあたり、終始ご懇切なご指導とご鞭撻を賜りました熊本大学産業ナノマテリアル研究所 佐々木 満 准教授に深く感謝の意を表します。また、本研究にご協力いただきました熊本大学自然科学研究科の皆様には感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたり、貴重なご助言を受け賜りました熊本大学工学部 木田 徹也 教授、熊本大学産業ナノマテリアル研究所 Hamid Hosano (ホサノ ハミド) 教授に感謝申し上げます。

本研究を行うにあたり、種々ご支援いただきました熊本県産業技術センター 水上 浩之 博士に心よりお礼申し上げます。

本論文の主体となる報文

- 1) Production of dried tomato powder with a high concentration of functional components and nutrients.

Masayo Nishizono, Cinthya Soreli Castro Issasi, Jonas Karl Christopher N. Agutaya, Mitsuru Sasaki, and Hiroyuki Mizukami; *Journal of Antioxidant Activity.*, Vol 2, Issue 4, 1-21,2023.

- 2) Comparison of quality and microstructure of strawberry powders prepared by two different drying methods: low temperature drying with convection dryer and vacuum freeze drying.

Masayo Nishizono, Cinthya Soreli Castro Issasi, Hiroyuki Mizukami, and Mitsuru Sasaki: *Journal of Antioxidant Activity.*, Vol 2, Issue 3, 10-22,2022.