食 品 の 凍 結 乾 燥

木 村 進*

(昭和38年10月28日受理)

Freeze-Drying of Foods

Susumu KIMURA

(Food Research Institute Ministry of Agriculture and Forestry)

1. まえがき

近年わが国で消費される加工食品の金額は年間約4兆5千億円に達するといわれている。また海外へ輸出される加工食品(主に缶詰)は約500億円で輸出品のうち実に4位または5位を占めている。したがって食品の生産加工および貯蔵などの技術すなわち広い意味の食品工業の技術はわが国の経済の発展と国民生活の向上とに大きな影響力をもっているといわなければならない。

昭和の初期までは、わが国の農水畜産物の加工数量は比較的少なく、その加工、貯蔵、輸送の技術もきわめて幼稚なものであり、いわゆる農産加工、農村工業となづけられた少規模の企業が多かった。しかし昭和10年代に入り、各種の産業の発展や軍備の拡張に伴い、食品の生産、流通、消費の円滑化が問題となり、この方面の総合的な学問の確立、技術の開発がさけられるようになった。その後の絶えざる研究の成果の上に、第2次大戦後の機械工学、化学工学、電子工学の新技術の導入によって、ついに今日の花々しい食品工業の誕生を見るに至ったのである。

現在はすでに、わが国の食品工業は、その技術において、その規模において、また製品の品質において、欧米先進国のレベルに近づいている。

以下概説する食品の凍結乾燥についてみても、欧米よりも出発はおくれたが、すでに企業化の段階に入り、消費者の認識と、製造各社の良心的製品の量産に伴うならば、凍結乾燥食品は数年をいわずして一般の食生活の中に相当の部分占めるようになることは疑問の余地がないものであろう。

2. わが国における凍結乾燥食品の研究、試作

凍結乾燥方法(正しくは凍結真空乾燥 Freeze-Drying Freeze-Dehydration 冷凍乾燥ともいわれている)が19世紀末期に Altmann により生物学の研究に利用されだされているが、わが国では1940年代に血清の乾燥の研究に利用されはじめたのが凍結乾燥の研究ははじめともいわれている^(1,2,3,4)。

食品の乾燥に凍結乾燥を利用する研究は第2次大戦中にアメリカ、ドイツで行なわれたが、実際にその成果が評価されはじめたのは1950年代に入ってからである。わが国では第2次大戦後に水産庁東海区水産研究所の東博士がカキ(貝)の凍結乾燥を手がけられたといわれるが報告されたものがない。農林省食糧研究所では果実、野菜の生化学的研究に凍結乾燥を利用し研究を進めている際に凍結乾燥した試料が従来の乾燥食品に比較しすぐれた品質を有することを認め、将来の食品の加工、貯蔵手段として利用し得る方法であり⁽⁵⁾、この面の研究を進める必要性を見出したので、凍結乾燥による食品の乾燥を一つの研究課題としてとりあげ、昭和32年(1957)後半から研究を開始した。当時はアメリカ、イギリスで積極的な研究が進められて、研究報告の数も年々増加していたが実際に企業化の段階には入っていなかった。しかし食品加工業界では将来の食品の乾燥方法として注目を集めていた。わが国の食品加工業界が注目しはじめたのは昭和35年頃からで、太平洋漁業が共和真空工業のパイロットプラント1基(100kgの脱水能力)日魯漁業が東海真空工業のパイロットプラント2基(200kgの脱水能力)を購入し試作研究をはじめ、その他の食品製造会社も昭和36～37年の間に研究室規模の凍結乾燥装置を購入し意欲的な試作研究が開始された。昭和36年には山印信

* 農林省食糧研究所(東京都江東区深川兵衛町2)

州味噌醸造(株)と明治製菓(株)とが協力して味噌の真空乾燥およびそ菜の凍結乾燥品の混合物である「インスタント味噌汁」を市販はじめ、つづいてマルキチ味噌と伊藤忠(株)(現在は味の素(株))が協力し同様の製品を市販はじめた。昭和37年には大阪の日本ブラッドバンク(株)の凍結乾燥技術をもとに日本インスタント食品(現在日本ジフィー食品)が誕生しテンマークのアトラス社および共和真空工業の実用規模プラント(いずれも1.5トンの脱水能力を有する)を購入し、本格的な凍結乾燥食品(エビ、牛肉入りカレー、マッシュルーム・スープなど)の製造市販を開始した。昭和38年には山本山(株)が共和真空工業の連続真空被膜乾燥機による「インスタント煎茶、ホウジ茶」、丸山園(株)が日本真空技術(株)の装置による「インスタント煎茶」の製造市販を開始し、明治製菓は凍結乾燥したバナナ、イチゴを主体とした粉末ミルクセーキを市販はじめた。

一方凍結乾燥食品の食品化学的研究は凍結乾燥食品の問題点を解明する目的で各大学、官公立の試験研究機関で行なわれている。

そのおもなものをあげると、農林省食糧研究所においては、わが国の一般的な食品について全般的な試作試験を終了し、凍結乾燥食品の貯蔵、包装、輸送上の問題点を指摘し、その解決方法について研究を進め⁽⁶⁾、とくに製品の水分と貯蔵中の色、味、芳香の変化との関係、脂肪の酸化による品質変化とその防止方法とくに酸化防止条件と新しい酸化防止剤の検索の面に研究の重点をおいている。水産庁東海区水産研究所においては魚肉の凍結乾燥製品の乾燥時および貯蔵時における蛋白質の変性の問題についてたんぱく質化学の面から基礎的な研究が進められている⁽⁷⁾。農林省畜産試験場および大阪大学の照井教授研究室においては牛乳加工上に必要な乳酸菌の保存に凍結乾燥を利用する研究を行い、凍結乾燥した乳酸菌の保存性と共存物質の生菌保存効果についての研究が進められている⁽⁸⁾。お茶の水大学においてはデンプン・ゲルの凍結乾燥時および貯蔵中における高分子化学的考察の研究が進められている⁽⁹⁾。東北大学食品保蔵学研究室においても本年から貯蔵中の芳香の変化をガスクロマトグラフによって追究する研究が進められているし、農林省園芸試験場愛知県食品工業試験所、長野県園芸試験所、広島県食品工業試験場、愛媛県総合化学指導所などにおいても昨年または本年から意欲的な研究が進められている。

3. 食品を乾燥する目的

食品を乾燥する目的はまづ第一に腐敗しやすい食品か

ら水分を除去し貯蔵性と輸送性を賦与することである。しかしこれを加工する立場および乾燥食品の品質の面から考えるならばその内容は2つに大別することができる。ひとつは乾燥する対象の食品本来の性質を損することなしに乾燥食品として、そのものを食用に供する際に水または湯に浸せはただちに乾燥前の食品と同様の性質にもどるようなものを目的とするもの、ひとつは乾燥することによって色、味、芳香、歯切れなどをその食品本来の性質とは異なる、何等か新たな、しかも好ましい性質を賦与すること、いいかえれば乾燥することによって新しい食品を創造することである。

従来からわれわれの生活に親しまれてきた乾燥食品は、どちらかというと後者に属するものが多い。たとえば、凍り豆腐は水に浸しておいても生豆腐にはもどらず、干しブドウも水に浸しても新鮮なブドウとして食べられるものではない。スルメ、干し柿、カンピョウなどすべて同じで消費者も新鮮物と同様にたべることは期待しないものである。これらは乾燥中にその食品中の成分間の化学変化および物理的变化の結果新たな特性が生じたものである。

前者に属する乾燥食品は、2,3年前からインスタント食品として話題をにぎわしている乾燥マッシュポテト、インスタントコーヒー、即席ラーメン(以上は常圧の加熱乾燥)最近市販されはじめた即席味噌汁、乾燥カレー、粉末トロロ汁、インスタント煎茶、ホウジ茶(以上は真空乾燥、凍結乾燥)などである。これらは湯または水を加えればただちに復元(もどり、吸水、還元 **rehydration, reconstitution**)し乾燥前の食品と同様の品質で食用に供することができるものである。これらは乾燥工程においてその食品本来の特性を失なうことがなく、(化学的、物理的に)、ただ水分だけを除去したものというものである。

従来の常圧における乾燥方法では乾燥中の加熱、空気中の酸素、被乾燥食品中の酵素の作用などによって、被乾燥食品の性質の変化なしに乾燥食品とすることが困難であったため、やむを得ず乾燥によって何等か好ましい性質が生れてくる食品だけが乾燥食品としてとり上げられてきたのである。いいかえれば従来の乾燥方法で乾燥し貯蔵性、輸送性が賦与されても、復元性が悪いとか、風味が悪くなるような食品は乾燥の対象とはなり得なかったのである。たとえば加熱乾燥においては、糖(還元糖)とアミノ酸とが反応する結果(**amino-carbonyl reaction**)色は褐変するし、アクトミオシンのような銷状蛋白質は分子間結合が起り、水に浸しても溶解性が減少し、生牛肉の乾燥製品を望むことは不可能であり、ビタミンCなど分解し易い成分は乾燥中に消失し、圧気正

の高い芳香成分は揮発し逸散するか、分解または重合し芳香は消失してしまう、また可溶性成分の濃度分布に差が生じ水の不透過性の層が形成され(表面硬化 casehardening) 復元性は悪くなる。

以上のような変質なしに乾燥を行うには加熱および酸素の影響を取りのぞくことが理想的である。この目的のために真空中における低温乾燥が採用されるわけである。

4. 食品の真空乾燥と凍結乾燥

食品を真空中に放置すれば、その真空度に応じた温度で蒸発または昇華が起り乾燥が進むわけである。このような現象からみれば真空中の乾燥はすべて真空乾燥(広義の)と呼ばれるわけである。しかし食品の乾燥の場合は狭義に真空乾燥、凍結乾燥の2つにわけて考えの対象にしている。

普通に食品の真空乾燥という場合は食品を氷晶点以上の温度で真空中で乾燥を進めることをいう。凍結乾燥という場合には被乾燥物をあらかじめ凍結させておき、これを氷晶点を保つ真空中で氷の昇華によって乾燥を進めることをいう。なぜならば水分74~95%程度の食品を真空中に直接入れた場合、食品中の水は急激に蒸発し、その際に食品の組織は部分的な破壊を受けたり、形態が変形したりして復元時の食感および形態に悪影響を与えるためである。このような変化を起しても差つかえない果汁、コーヒー、トマトジュースなど最終的に粉末にしようような食品は強いて凍結乾燥を採用しなくともよいわけである。したがって現在オレンジ、レモン、コーヒー、味噌、トロロ芋などの乾燥には真空乾燥が採用されている。しかし形が変わったり部分的な組織の破壊があっては困るような、エビ、カニ、生牛肉、マッシュルーム、そ菜類、果実類および(第1~3図)の写真のような形のある調理食品(第3図は魚肉を主体としたパティースナッチコロケのようなもの)は凍結乾燥が利用され、真空乾燥でも逸散するような蒸気圧の低い芳香成分を含む食品たとえばマツタケなどについては凍結乾燥が採用される。

5. 食品の真空乾燥、凍結乾燥方法

真空乾燥、凍結乾燥の理論および乾燥装置については本特集にその道の権威の方が執筆さたているので説明は省略し、乾燥装置の使用側の側からの希望する点だけについて触れておく。

5.1 乾燥装置、設計、製造に対する希望

① 食品の凍結乾燥(以上真空乾燥を含む)の場合

第1図 エノキダケ(生)の凍結乾燥

第2図 アメリカにおいて市販されている凍結乾燥食品の1例(調整済食品)

(注) 熱湯をそそげは瞬間に食用に供し得る

第3図 凍結乾燥したパティを容器から取り出した状態

は、抗生物質および、BCG、その他のワクチンまたは血清など医薬品の乾燥の場合のように凍結乾燥として理想の乾燥条件を与えることは経済的に許容されぬことであ

る。すなわち単位時間内に可及的大量の被乾燥物を乾燥しなければ、乾燥経費の節減は不可能であり、製品の価格を他の加工食品の程度までに切り下げることができない。したがってその乾燥条件は品質に悪影響を与えぬ程度に昇華潜熱量の補給を行う必要がある。このことは単位時間内に大量の水蒸気を排除し得る凝結機またはスチームエJECTAを必要とする。この点凝結機の能力、構造および凝結霜の迅速な除去方法についての効果的な設計が必要である。

② 食品の凍結乾燥においては1~0.01 mmHg程度の真空度を必要とし、真空乾燥においては10~1mmHg程度の真空度を必要とする。乾燥開始時において可及的すみやかにこの目的真空度に到達するような、排気系が必要であり理想的には5分以内に目的真空度に到達する必要がある。とくに凍結乾燥の場合は目的真空度に達する時間かなければ被乾燥食品の解凍により乾燥製品の外観、品質を低下させる場合がある。

③ 食品の凍結乾燥の場合乾燥時間を短縮しなければならないことはすでに述べたが、そのためには昇華または蒸発によって失なわれる、熱量を効率よく補給しなければならないが、現在熱量の補給はすべて熱伝導によって行なわれる。この有効な補給は勿論であるが、乾燥室内におかれているいづれの部分の食品にも均一に補給されるように加熱装置が設置されなければならない。すなわちこれが不完全な場合乾燥ムラが生じ均一な製品を得ることが困難である。

凍結乾燥における効率のよい加熱方法としてマイクロ・ウェーブによる誘電加熱(dielectric heating)方式はJackson, Rickter, Chichester⁽¹⁰⁾, Copson⁽¹¹⁾らによって提案されその後各国で研究が進められ、Decareau⁽¹²⁾のすぐれた研究もあり、アメリカのBattello Memorial Instituteの研究はすぐれた成果を上げている⁽¹³⁾。またイギリスの凍結乾燥機メーカーであるVickers Armstrong社においても、アメリカのFMC社においても実用規模装置に導入すべく意欲的な研究が進められているといわれている。いづれにしてもまた実用の段階ではないが、誘電加熱方式を採用すれば被乾燥食品に対し外層、内層の別なく均一に瞬間に加熱することが可能で乾燥時間を $\frac{1}{10}$ またはそれ以下に短縮する可能性があるのてわが国の装置メーカーもこの実用化研究を積極的に推進すべきであろう。

また超音波エネルギーを動的に利用することも乾燥速度の短縮に効果をあらわすことが考えられるが、これの凍結乾燥への応用研究も行うべきではなからうか。

④ 凍結乾燥において乾燥のend pointの適確な判

定は品質管理上重要なことであるが、現在確立された判定法およびその測定装置はないようである。もちろん西ドイツLeybold社のbalometric方式、電気抵抗値よりの判定、ポンプ方式における凝結機冷媒の蒸発量からの判定、被乾燥食品の温度と加熱棚温度との関係からの判定方法など種々あり相当程度の信頼性をもつことかできるか、なお適確な判定方法が案出さるべきであろう。

⑤ 食品の乾燥の場合には大量の原料を連続的に自動制御によって行い乾燥経費の節減を考えるべきであるが、現在は経済的にみて有効な連続乾燥装置はないようである。この部門の開発は今後の凍結乾燥食品の発展と大きな関係をもっている。

5.2 食品の凍結乾燥の工場

5.1 においてのへた乾燥装置が確立されるならば、乾燥食品の品質の良否はすべて乾燥原料の品質、乾燥原料の前処理、予備凍結、乾燥条件および乾燥後の検査、包装、貯蔵条件の如何によって決定される。以下それぞれについての問題点について説明を加える。

乾燥原料……凍結乾燥は後にのへることく理想に近い品質の乾燥食品を得ることか可能であるか、原料の品質が悪ければ品質のすぐれない製品となることは当然で、鮮度の悪いもの加工に同かないものは凍結乾燥によっても品質を向上させることはできないすなわち「カス」は乾燥しても「カス」にしかならない。

乾燥原料の前処理……凍結乾燥においては乾燥中に化学変化をほとんど伴わないので乾燥中の変質に対しては大きな考慮をばらう必要はない。しかし乾燥するまでに生ずる酵素の関与する変性および各成分間の化学反応による変性は当然考えられる。また乾燥後の乾燥製品の貯蔵中におこる酵素的、非酵素的変質も無視することはできない。これらの乾燥前後における変質防止の目的で乾燥前に何らかの前処理が必要である。

酵素作用の停止または抑制に対する処理……そ菜や果実には量の差はあるが、ポリフェノール・オキシターゼが含まれており、これが切断、破碎、炉過工程において作用し色調が黒変したり褐変したりする、たとえばバレイショの黒変、リンゴの褐変、バナナの黒変、山芋の黒変はすべてポリフェノールオキシターゼその他の酸化酵素、過酸化酵素の作用によっておこるものである。また果実、そ菜にはビタミンCを分解するアスコルビン酸オキシターゼを含有するものがありこれが作用すればビタミンCは消失してしまう。そのほか果実、そ菜の粘性および硬度を低下させるペクチナーゼ、ジェスターゼなどの作用も無視することはできない。これらの酵素の作用を阻止するためには加熱して酵素を不活性

第1表 凍結または乾燥前のブランチング条件

品 名	ブ ラ ン チ ン グ	品 名	ブ ラ ン チ ン グ
アスパラガス	熱 湯 中 2～4分	トウモロコシ	外皮とり 6～10 分
ソ ラ マ メ	熱 湯 中 2～3分	グリーンピース	熱 湯 中 60～90 秒
エ ダ マ メ	5 % 食 塩 熱 湯 中 5～10分	イ ン ゲ ン	熱 湯 中 2～4 分
キ ャ ベ ツ	細片1.0～1.5分、4ツ割 4 分	サヤインドウ	熱 湯 中 2～4 分
ニ ン ジ ン	丸20分、 $\frac{1}{2}$ 切15分、 $\frac{1}{4}$ 切10分、短ざく 2～3分	ホウレンソウ	熱 湯 中 2～4 分
ゴ ボ ウ	0.7%酢酸熱湯中 3分	白 菜	細 片 1～1.5分、 $\frac{1}{4}$ 切4分
カリフラワー	スチームブランチ 4～5分	長 ネ ギ	熱 湯 中 1～1.5分
マノシュルーム	熱湯中2.5分、1%クエン酸処理30～ 60秒	サ ト イ モ	熱 湯 中 8～12分
マ ツ タ ケ	スチームブランチ、丸3～6分、スライ ス2～3分、1%クエン酸処理	ビ ー マ ン	熱 湯 中 2～4 分

化するか、PHの調整、還元性物質の添加によって酵素作用を抑制しなければならない。

加熱による不活性化を食品加工においてはブランチング（湯通し）と称して、原料を熱湯、生蒸気、過熱空気て短時間処理する操作をとっている。その1例を示すと第1表のごとくである。

加熱によらぬ場合はクエン酸、酢酸により PHを調整し酵素の作用 PH域外の条件を与えるか、亜硫酸ソーダ、重亜硫酸ソーダなど亜硫酸塩、L-アスコルビン酸、d-イソアスコルビン酸など還元性の物質を添加するか、塩化アルミニウム、重合リン酸塩など金属のキレート剤などの添加によって変色を防止する⁽¹⁴⁾。

酵素的作用によらない変色に対しては、たとえば畜肉、鶏卵に存在する糖（おもにグリコーゲン）は乾燥後に遊離アミノ酸結合1褐変の原因となるので、あらかじめグリコーゲンの除去を行う。すなわち生肉に5～10%の生酵母を添加して5～10時間処理するか、グルコースオキシダーゼを添加してグリコーゲンを分解することがある⁽¹⁵⁾。

食品を凍結乾燥すると、乾燥製品の組織は多孔質となり、酸化表面積は拡大される。したがって脂肪または脂溶性成分を含む食品は乾燥製品となつてからのこれらの酸化によって品質は速かに変化する場合が多い。たとえばサケ（魚）やウナギの凍結乾燥製品は38℃においては2～3週間で脂肪が酸化し異臭、異味が発生し、変色がおこり、いわゆる「油やけ」の状態になり、脂溶性色素（おもにカロチノイド）によってその特有の色調をもっているニンジン（おもにβカロチン）トマト（おもにリコピン）を凍結乾燥すると38℃では1～2ヶ月で退色し白色のニンジンやトマトになってしまう。これらのような被乾燥食品に対しては乾燥前にブチルヒドロオキシアニソール（BHA）またはヒドロオキシトル

エン（BHT）、プロピルガレートなどのフェノール系酸化防止剤や、L-アスコルビン酸、d-イソアスコルビン酸、重合リン酸塩、磷脂質、ある種の可溶性たんぱく質などを添加してから凍結乾燥する必要がある。筆者はこれらの添加が酸化防止に効果を示すことを認めたし⁽¹⁶⁾、また Anglemiers⁽¹⁷⁾、Bishowら⁽¹⁸⁾も同様の実験を行い、これらによる酸化防止のための前処理の必要性を提唱している。

凍結……前処理の終わった被乾燥食品に凍結乾燥の場合ただちに凍結される。（真空乾燥の場合は行なわない）凍結方法には①冷却（低温）空気による方法、②ブラインに直接浸漬する方法、③冷却板を直接接触させる方法、④液化ガスに浸漬するか、液化ガスを噴霧する方法などがある。通常は①および③が使用される。①はエアーブラスト凍結と称し-35～-40℃の冷風を毎秒3～4mの速度で移動循環させ被乾燥食品に冷風を当てる方式で、③は-30～-40℃の冷却金属板の間に被乾燥食品をはさみ凍結させる方式でいずれも急速に食品中の水を氷の微細な結晶にかえることを目的としている。④は液体空気、酸素、窒素などが利用されるが、最近液体窒素が比較的低廉になってきたので、この使用も検討されている。この場合極低温であるため瞬間的に凍結し得る利点をもっている。

いずれにしても食品中の水を微細結晶にかえるための処理で、逆に-10℃以上の温度で緩慢に凍結した場合には、形成される氷の結晶は大きくなり、そのために食品の組織は部分的に破壊されること、食品細胞の細胞膜やたんぱく質の変性が起る食品の物理性（texture）に変化を与える結果となる。この凍結に関しては冷凍食品と同様の考え方が成立する。

乾燥……以上の処理が終了したものは乾燥するのであるが、真空度を高めれば乾燥温度はいかなる低温も保ち

第4図 パナナ凍結乾燥中の温度変化および水分含量変化⁽¹⁹⁾

第5図 桃の凍結乾燥⁽²⁰⁾

得るが食品の凍結乾燥の場合は例外をのそき $-30 \sim -40^{\circ}\text{C}$ の低温を保たねはならない必要性はない、またかりにこのような低温を保ち乾燥製品まで乾燥するには非常に長時間を要し、乾燥管理、乾燥経費の面から実用性に乏しいものとなる。このため実際には $1 \sim 0.1 \text{ mmHg}$ の真空度で、昇華に必要な熱量を十分に補給しながら乾燥時間の短縮をはかっている。たとえば新鮮な果実、獣肉、魚肉などは乾燥板(皿)温度 $40 \sim 50^{\circ}\text{C}$ を保ち乾燥が行なわれる。生牛肉の場合厚み 10 mm 凍結温度 -30°C 、乾燥室真空度 $0.5 \sim 0.1 \text{ mmHg}$ 、乾燥板温 45°C の条件では、水分約 30% まで乾燥するのに $10 \sim 12$ 時間を要する。この間の品温をみると乾燥初期(乾燥開始 $0.5 \sim 1$ 時間……表面昇華段階)には $-10 \sim -15^{\circ}\text{C}$ 、乾燥中期($4 \sim 6$ 時間 水分 20% 程度まで)には $-5 \sim -15^{\circ}\text{C}$ 、乾燥末期($8 \sim 12$ 時間)には $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ の温度である。凍結乾燥ではこのように大部分の氷(水分)を除去する間は被乾燥食品の温度は 0°C 以下に保たれている。また乾燥末期すなわち水分 10% 以下の低水分に達しても常温以下で乾燥が進み、終了時に常温になる(第4, 5, 6図参照)。

第6図 桜桃の凍結乾燥中の品温および水分変化⁽²¹⁾

最近欧米で発表される食品の凍結乾燥条件をみると、上述の乾燥板温度よりさらに高い温度を与えている。たとえば生牛肉の乾燥において乾燥棚の温度は 120°C 、被乾燥食品の最終温度 60°C というような条件、および輻射加熱方式を採用する場合 輻射加熱板温度を 200°C 程度にする場合さえある。このことは多くの乾燥実験結果から従来考えられていた温度より極端に高い条件を与えても品質に大きな影響をおよぼさないことを示すものである。要は乾燥時間の短縮と品質に対し許容し得る限界がその対象によっていつれにあるかを実験的につきとめるべきである。凍結乾燥の場合乾燥棚の単位面積当たりの被乾燥食品の加重量の基準および乾燥時間は第2表のごとくである。

乾燥中の成分変化……凍結乾燥においてはすでにのべたごとく比較的高真空(一般的な表現で)中で乾燥を行い乾燥中の被乾燥食品の温度は第4図に示したごとく低温に保たれているので乾燥中の熱変性はほとんど起らず、酸素の影響もほとんどないので脂肪または脂溶性成分の酸化は起らない。しかし食品の凍結乾燥を企業的に成立させるためには前述のごとく乾燥促進のために過剰な熱量を補給する必要がある。この場合の食品成分の変化の程度を追究した実験例を示すと第7図および第3表のごとくである。第7図はトマトペーストを乾燥する場合に乾燥板(皿)の表面温度を変化させた場合の結果で、乾燥板温度が高い場合には変化し易いビタミンCはある程度の損失がみられ、また還元糖とアミノ態窒素の

第2表 Typical wet-weight Loading and Drying Times (28)

Material	Drying Ratio	Loading lf/ft ²	Drying Time(hr)
Raw Beef	3.6:1	2.5	6.5
Raw Pork	3.2:1	2.5	7.5
Row Lamb	2.9:1	2.5	7.5
Cooked Beef Mince	3.0:1	3.0	6.5
Cooked Beef Slices	2.9:1	3.0	7.0
Cooked Pork Slices	2.9:1	3.0	7.5
Cooked Lamb Slices	2.9:1	3.0	7.5
Cooked Home Mince	2.5:1	3.0	9.0
Cooked Veal Mince	3.3:1	3.0	7.0
Cooked Chicken	2.9:1	2.5	7.5
Row Cod Steaks	5.1:1	2.5	8.5
Cooked Cod Flakes	4.0:1	2.5	9.0
Cooked Prawns	5.1:1	1.5	6.0
Cheese Mince	1.6:1	2.0	8.0
Brooad Beams	4.5:1	1.5	8.5
French Beams	10.0:1	2.0	8.5
Brussels Sprouts	8.6:1	2.0	9.0
Cabbage	13.2:1	2.0	9.5
Carrot Dice	10.0:1	2.0	9.0
Califlower	11.0:1	1.5	8.5
Peas	4.6:1	2.0	8
Potato Chips	5.0:1	1.5	8
Apple Dice	9.2:1	2.0	8.5
Black Currants	5.7:1	1.5	8.5
Plums	8.4:1	1.75	8.0
Rospberries	8.7:1	1.75	8.5
Strawberries	15.0:1	1.75	9.0

第3表

乾燥せす	グルコース (mg/g 固形物)
20	9.72
40	9.68
60	8.76
80	4.32
100	1.14

第3表 豚肉の凍結乾燥温度とたんぱく質の変性⁽¹⁶⁾

乾燥板温度 (°C)	水溶性たんぱく質 (mg N/g 固形物)	ATP-ase 活性 (μg 無機 P)	ATP による収縮度
乾燥せす	22.8	—	+++
20	22.1	5.2	+++
40	20.3	4.6	+++
60	20.6	4.7	+++
80	17.0	3.3	+
100	11.6	3.1	—

減少は amino-corbonyl 反応が起りわずかに褐変を起していることがわかる⁽¹⁶⁾。(汙液の透過率からもこれがうかがわれる)。第3表は豚肉を(15mm厚)凍結乾燥する場合に加熱板の温度を20~100°Cの範囲内で変化させた場合のたんぱく質の変性および残存還元糖(グルコース)の量を測定したものである⁽²²⁾。第3表中に ATP-ase 活性と記してあるのは、肉の繊維性たんぱく質が変性しているかどうかを検討するために、肉の塩抽出液にアデノジン三リン酸塩を加え、その消費量を調べ、これの消費かなければ繊維

第7図 トマトペーストの凍結乾燥における加熱温度と成分変化⁽⁶⁾

性たんぱく質は変化していることである。(adenosine triphosphate を adenosine diphosphate と無機オルトリン酸に分解する酸素)。すなわちこの結果は20~60°Cの間では大きな変性をもとめないが80°C以上では、たんぱく質もグルコースも変質し、変性および変色が生じることを示している。ただし20~80°Cの間には官能検査によってはあまり大きな相異は見出されなかったと報告している⁽²²⁾。またこの変化は肉のP.Hにより異なり水素結合が生じる程度も異るといわれている⁽²⁵⁾。芳香成分は真空中では氷の昇華とともに揮発して消失してしまうと考えられがちであるが、凍結乾燥では被乾燥食品の温度-30~0°Cの間にほとんどの水分が除去されること、食品の揮発性成分はこのような低温においては氷の蒸気圧より低い蒸気圧をもっているものが多いこと、この2つのことから昇華によって水分は除去されるが芳香成分は残存することが推測できる。筆者がモモ、ショウガの凍結乾燥の際に失われる芳香の程度を揮発性還元物質の量(VRS値)を測定することによって検討した結果は乾燥終了時に80%程度残存することを見とめた⁽²³⁾。またマツタケ、リンゴ、パイナップルなどを凍結乾燥した場合それぞれの特有の芳香の消失はみとめられない。

以上のように凍結乾燥中の成分変化は細部にわたって検討すれば何等かの変化を見出すことができる。しかしその変化の程度は官能検査の結果すなわち風味という点からみて、乾燥することによってその食品本来の特性を失うような変化はおこらない。この点が従来の熱風乾

燥と比較して大いにすぐれている点の一つである。

乾燥室から製品取出しの際の注意……凍結乾燥した場合には乾燥食品の水分は約3%以下まで乾燥される。たとえば生牛肉などのようなたんぱく質を主体とする食品は水分1%程度まで乾燥することも容易である。またこのような低水分とすることによって後にのべるように長期貯蔵においても品質は安定である。しかし凍結乾燥食品の組織は多孔質であるため吸湿表面積は非常に拡大された形になっている。したがって乾燥終了時に乾燥室の真空状態を常圧にもどす際にも吸湿および酸化に対する配慮が必要である。たとえば、いまかりに水分1%まで乾燥された生牛肉を乾燥室から取出すために、乾燥室の真空状態を関係湿度（以下RHと記す）7%の外気で常圧にもどしたとすると、常圧に達した際には乾燥生牛肉の水分は1.8%となり、そのまま30分放置されたとすると3.0%まで上昇する⁽²⁴⁾。このように乾燥終了後に乾燥室から製品を取出す時でも不注意に取扱った場合には切角凍結乾燥して低水分の製品を得た意味が半減するので注意を要する。

したがって乾燥終了時は吸湿剤または除湿機によって得たRH 5~10%の乾燥空気か、酸化防止も考慮に入れて乾燥室素ガスによって乾燥室を常圧にもどし製品を取出し、その後は調湿した包装室（RH 40%以下、理想的には20%以下）に移すべきである。

以上食品の凍結乾燥の工程を追ってのべたがこれを要約して図示すれば第8図のごとくである。

6. 凍結乾燥食品の特徴および欠点

凍結乾燥によって食品を乾燥した場合には温度および酸素の影響をほとんど受けることなく乾燥し得ることはすでにのべたごとくである。したがってつきのような乾燥食品として大きな特徴をもっている。

① 乾燥することによって形態の変化がない（第1、3図の写真参照）

② 氷の結晶の昇華によって乾燥が進むので、水溶性成分の濃度分布に差を生じない、つまり表面硬化および水の不透過性の膜または層の形成がほとんどなく、また組織が多孔質である。

③ 乾燥中に化学変化がほとんど起らないことは、乾燥によって色、味、ビタミン類などの変化がなく、芳香成分の分離重合は全然なく、揮発逸散もほとんどない。したがって乾燥によっての食品本来の特性を失うことはない。

④、①~③のことから復元性が高く、復元後の風味は乾燥前と変化がない。

第8図 凍結乾燥工程図⁽⁶⁾

⑤ 水分3%程度以下までの低水分まで乾燥されるので貯蔵性が高い。

以上のことは、トロロ芋、マツダケなど新鮮物、スキヤキ、ハンバーグステーキその他の調理済食品を凍結乾燥したものは貯蔵容器さえよければ（透湿、透気、透光性のない）長期貯蔵に耐え、好むときに必要量だけを取り出し、瞬間に自然の料理を楽しむことが可能であることを示すものである。

しかし凍結乾燥食品にもつぎのような2、3の欠点がある。

① 凍結または乾燥工程に化学変化は起らないが、物理的变化が極端に起るものがある。たとえば新鮮なイチゴ、セロリー、マグロのトロなどは凍結乾燥によって色、味、芳香の変化はないが、乾燥品を水に復元するとダラリとして新鮮時の硬度、弾性、粘性が消失する。

② 乾燥されたものの組織が多孔質であり、また低水分であるために、吸湿および酸化の表面積が非常に拡大されているので、吸湿による変性および脂肪または脂溶性成分の酸化による変化が早い。

③ 水分3%またはそれ以下までの低水分まで乾燥されるので、その組織はモロクなっていて、機械的衝撃に対して弱く、包装および輸送面からみて多少の難点がある。

7. 凍結乾燥食品の貯蔵

凍結乾燥食品の欠点の項でのべたとく、凍結乾燥食品を安定な品質の状態に貯蔵するための条件は、要約すれば ① 吸湿によって乾燥製品の水分含量を上昇させないこと。②脂肪または脂溶性成分の酸化を極力防止するような処理を行うことの2つである。つきにこの2つの問題に関連した貯蔵中の変質について説明を加える。

7 1 吸湿による凍結乾燥食品の変質（製品の水分含量と貯蔵性）

凍結乾燥食品が化学成分の変化なしに乾燥されていることは変化し易い成分および反応し易い成分間の反応は、その適当な条件を与えられた場合に当然速に進行することが容易に推測される。

吸湿の結果起る変化で外観的に観察し得るものは、形態の収縮、固結または団塊化（caking 粉末のものに起る）、および潮解変色および化学変化の3つである。

形態の収縮……生牛肉、生魚介類、ブランディング済のそ菜などの凍結乾燥食品は普通の環境（温度 20～25℃ 関係湿度 60～80%）に放置されその湿度における平衡

第4表 バイナップル粉末果汁の固結に対する水分と温度との関係（固結日数）

温度（°F）	水分（%）							
	1 8	2 1	2 3	2 7	3 0	3.2	3 7	
100	2	2	2	2	2	2	2	
90	4	4	2	2	2	2	2	
85	14	14	9	6	4	4	2	
80	21	21	14	6	4	4	2	
77	63	56	42	14	9	7	2	

第5表 各種凍結乾燥食品の各湿度における平衡水分

RH	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
食品名																	
生牛肉	3.5	4.2	4.9	5.7	6.4	7.3	8.2	9.3	10.5	11.8	13.2	14.8	16.5	18.4	25.9	24.3	29.8
生タラ肉	3.9	5.3	6.6	7.8	8.9	9.8	10.8	11.8	12.8	13.9	15.3	16.9	—	—	—	—	—
生豚肉	3.9	5.2	6.2	7.2	8.1	9.0	9.9	10.8	11.9	13.1	14.4	15.9	17.6	19.5	21.8	24.6	—
調理鶏肉	4.0	5.3	6.3	7.1	8.0	8.8	9.7	10.6	11.6	12.5	13.6	14.8	16.4	18.2	20.3	22.7	25.9
生ニンジン	2.5	3.7	4.3	4.7	5.3	6.2	7.3	8.7	10.4	12.3	14.6	17.1	20.2	24.4	—	—	—
生豆	4.2	5.1	5.7	6.2	6.7	7.2	7.8	8.3	9.0	9.9	10.9	12.4	14.0	16.4	19.6	23.0	29.0
生バレイショ	4.3	6.2	7.5	8.4	9.2	9.9	10.4	11.1	12.0	13.1	14.3	15.7	17.2	18.9	20.6	22.7	25.4
生キャベツ	2.2	3.8	5.2	6.2	7.2	8.1	9.0	10.1	11.7	13.7	16.2	19.2	22.6	26.4	30.6	—	—
炊いた飯	4.8	6.7	8.0	9.0	9.8	10.6	11.6	12.6	13.7	14.8	16.0	17.2	18.4	19.6	20.8	22.1	23.6
生クロイチコ	2.9	3.8	4.6	5.5	6.3	7.2	8.1	9.4	10.9	12.7	14.9	17.5	25.6	25.2	31.5	39.4	51.0
生リンゴ	2.1	3.1	3.8	4.4	5.0	5.9	6.1	8.8	10.8	13.4	16.8	21.2	27.0	34.2	—	—	—
生全卵	1.9	2.8	3.5	4.0	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.7	8.5	9.3	10.2	11.2	12.5	14.3	16.8

水分に達したとしても顕著な収縮はみとめられないが、果実など糖、酸の全量が高く、遊離アミノ酸、ペクチンなどコロイド物質を含むものは収縮が速やかに起る。いづれにしても普通の環境において平衡水分に達したものは後述するごとく凍結乾燥製品としての価値は消失する。

吸湿による固結……乾燥粉末はサラサラ（free flowing）した性質をもち溶解性が高いことが望ましいが、乾燥製品の水分が高かったり、吸湿によって水分が高まった場合および貯蔵温度が高い場合には、粒子が互に附着し合い固い塊に変化する。この固結化と乾燥製品の水分と貯蔵温度との関係は粉乳、インスタントコーヒー、粉末果汁などすべて異なる。これはその成分組成の相異によるものである。Notter が真空乾燥したバインアップル粉末果汁について行った結果は第4表のごとくである⁽²⁶⁾。また Notter らはオレンジ粉末果汁についても同様の詳細な実験を行っている⁽²⁷⁾。この結果はあきらかに低水分においては高温に貯蔵されても固結現象は起らないことを示している。

吸湿と品質変化……凍結乾燥製品が吸湿し品質の変化を起す原因としては酵素的な場合と非酵素的な場合とに分けて考えられる。この変化を述べるまえに各種凍結乾燥食品の各湿度における平衡水分を示すと第5表のごとくである⁽²⁸⁾。

新鮮物を凍結乾燥した場合は酵素は不活性化されずに乾燥され乾燥製品中に残存する。製品の水分が高ければ当然貯蔵中に酵素作用が起り、黒変、褐変、退色、異臭の発生、味の変化、粘性の低下などが起る。

パーオキシダーゼは果実、そ菜の黒変、褐変に関与する酵素であるが、グリセリンを基質として水分を調整してモデル実験を行った結果は第9図のごとくである⁽²⁹⁾。筆者が山芋を凍結乾燥し各湿度に放置した場合の粘度変化

第9図 パーオキシダーゼの活性と変質

第10図 ヤマモ乾燥粉末の粘度

は第10図のごとくで吸湿によって山芋中のジアスターゼ (diosco diastase) が粘質物質に作用しトロロイモの特有の粘度が低下することを示している⁽⁶⁾。またワサビの辛味の発生は基質である *synigrin* に酵素 *myrosinase* が作用し生ずる (*allylisothiothyanate*) のであるが、凍結乾燥したワサビが吸湿して水分含量が高くなれば貯蔵中にこの作用が進み乾燥ワサビを水に復元しても辛味の発生はわづかになってしまう⁽⁶⁾。凍結乾燥した豚肉の水分をかえて貯蔵した場合、水分含量3%以上では酵素の作用により、グリコーゲンがあきらかに減少し、その程度は、水分含量に平行するといわれる⁽³⁰⁾。乾燥食品中の酵素作用と水分との関係は *Kiermeier*⁽³¹⁾が、アミラーゼについて小麦胚芽中の酵素については *Linko*⁽³²⁾が、レ

シチナーゼについては *Acker*⁽³³⁾が、リンゴのなかのインペルターゼについては *Kertesz*⁽³⁴⁾が、蔗糖とインペルターゼの関係については *Nelson*⁽³⁵⁾が、オートミル中のリパーゼについては *Hutchinson*⁽³⁶⁾らが詳細な報告を行っている。

いづれの実験結果をみても製品の水分含量が5%程度以下、作用しやすい酵素は水分含量2%以下に保っておかなければその作用によって品質が低下することをものかたっている。以上は酵素の関与する品質変化と水分含量との関係であるが、つきに酵素の関与しない場合の化学変化と水分含量との関係についてのべる。

凍結乾燥したイチゴは美麗な紅色を保持しており、低水分の状態に貯蔵されればその色素アントシアンは非常に安定で4~5年の貯蔵でもほとんど色調の変化はない。しかしイチゴのアントシアン (ペラルコニン-3-グルコシット) は水溶液の状態では非常に不安定である⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。したがって凍結乾燥製品でも吸湿して水分含量が高くなった場合には、急速に分解し退色する。その関係を筆者が検討した結果は第11図のごとくである⁽⁸⁾。

凍結乾燥食品の貯蔵中の褐変 (酵素の関与しない) は

第11図 凍結苗の吸湿と色素の安定度との関係

第6表 粉末トマト貯蔵中の成分変化

製品	水分 (%)	3.4	1.2
還元糖	残存率 (%)	90	94
アミノ酸	残存率 (%)	39	73
濾液透過率 (%)		37	70

第12図 凍結乾燥キャベツ貯蔵中のビタミンCの損失 (37°C窒素ガス中)

第13図 リコピン結晶の各湿度における安定度

おもに還元糖と遊離のアミノ酸の結合、ビタミンCの酸化などの結果によるものである。したがって凍結乾燥食品の褐変の程度は残存する還元糖、アミノ酸、ビタミンCの量を測定することによっても判定することができ。凍結乾燥した粉末トマトを 38°C に放置し水分含量と褐変の程度との関係を見ると第5表のごとくである。あきらかに水分含量の低い場合に褐変の少いことがわかる。Teppel⁽³⁹⁾は生牛肉の凍結乾燥製品の水分含量をかえ貯蔵しその間のヘマチンの減少の程度を検討し水分含量が1%程度であれば色調の変化の少いことを報告している。Bean⁽²¹⁾は凍結乾燥した桃の貯蔵において水分1%程度に保持すれば 38°C においては褐変および芳香の損失は少ないと報告している。

ビタミンCの変化も水分含量と大きな関係がある。凍結乾燥したキャベツの水分含量を 2.8%と4.7%に調整して37°C窒素ガス中に貯蔵すると 第12図のごとく差が

第14図 生豚肉凍結乾燥品貯蔵中の脂肪の酸化 (環境湿度と酸化との関係)

あきらかにあらわれる⁽²⁸⁾。第12図からも推測されるが水溶性成分の変化(損失)は吸水水分量の平方に比例して増加するともいわれている⁽²⁴⁾。

凍結乾燥した生の牛、豚肉、魚肉のたんぱく質の変化も吸湿によって水分含量が高くなった場合に急速に進むものである。たんぱく質の変化は水溶性たんぱく質の量、KClなど塩類に対する溶解性およびその溶液を超遠心分離機にかけた場合の沈降分析、ミオシン区たんぱく質の ATPase 活性、アルドラーゼ活性などを測定することによって判定または追究することが可能である。

Regier⁽⁴⁰⁾は凍結乾燥した生牛肉の水分を 0~20%に調整し各種温度に貯蔵した場合の可溶性たんぱく質の量を測定しているが、水分含量が2%以下であれば高温貯蔵の場合でもたんぱく質の不溶性化すなわち変質は少いと報告している。またこの変化に amino-carbonyl 反応 (Maillard 反応) が関与することを指摘している。Hunt⁽⁴¹⁾らはたんぱく質の変性は ATPase 活性、および筋肉の収縮性より可溶性たんぱく質の変化が先におこることを指摘している。黒木ら⁽⁴²⁾は死後直後のヒラメを凍結乾燥しその水分を調整し 38°C に貯蔵した結果、水分含量の高い区においてはミオシン区たんぱく質、水溶性たんぱく質の溶解性が低下することを見とめ、とくに水分4~5%以上ではミオシン区たんぱく質は2ヵ月後においてほとんどが不溶性となった。また 38°C 貯蔵では水分含量が0%に近くともミオシン区たんぱく質が不溶性になることを見とめた。高橋ら⁽⁴⁸⁾はセイゴ肉を凍結乾燥し 20°, 30°, 38°C に貯蔵し、ミオシン区たんぱく質、粘度を測定し、沈降分析を行っているが、この場合も水分含量とたんぱく質変性との大きな関係があること、貯蔵温度が高い場合は変性が速いことを指摘している。Cole⁽⁴⁴⁾は凍結乾燥牛肉を 38°C 窒素中に貯蔵しその間のアクトミオシン、ATPase、アルドラーゼの変化を追究し

ているが、やはり低水分においてはこれらの変化の少ないことを報告している。

以上のようにたんぱく質の変性も乾燥製品の水分含量と大きな関係があり、水分含量2%以下に貯蔵される必要のあることを示している。以上の変性と官能検査との関係を見ると、変性が進むにしたがって復元後食用に供した場合にスジッポイ感じになる。しかしこのように官能的な変化を見出し得るためには相当の変性の結果である。たとえば水分1%程度に調整した生牛肉は2年後の貯蔵においてはミオシン区たんぱく質、可溶性たんぱく質の量が非常に低下しているが、官能検査点数はさほど悪くない。

以上水溶性成分の変化と貯蔵中の変性との関係を水分含量の点から考察したが、要約して表現すれば、水分含量2%程度以下に保っておくならば貯蔵温度が多少上昇しても水溶性成分の変化は余り進まず、食用時まで風味を損することが少い。

7.2 脂肪または脂溶性成分の変化

凍結乾燥食品の組織が多孔質でありそれだけ酸化表面積が拡大されていて脂肪の酸化が速やかなことはすでにのべたが、実際問題としてウナギの蒲焼き、サケなどを凍結乾燥すると、乾燥直後は好ましい品質であるが、1～2週間て脂肪の酸化により異臭の発生、変色などいわゆる「曲ヤケ」の現象がおこり食用に耐えない状態となりニンジンやトマトに特有の色調の色調を与えているカロチン、リコピンなどのカロチノイド（脂溶性色素）は酸化し白色のニンジンやトマトになってしまう。

このような変化は前述の水溶性成分の変化を防止すると同じ考え方水分含量を低く保っても防止することは不可能で、逆に低水分状態では酸化が促進される。その実験例を示すところのごとくである。

筆者⁽⁴⁵⁾かりコピンの微細結晶を濾紙上に形成させてこれを各湿度に放置した場合のリコピンの安定度は第13図のごとく低湿条件下の方が不安定すなわち酸化が早いことがわかる。Salwin もニンジンの凍結乾燥品を0～35%のRH下におきカロチノイドの変化を追及し同様の結果を得たことを報告している⁽⁴⁶⁾。また凍結乾燥して38℃に2週間各湿度に貯蔵した豚肉（生）の脂肪の酸化の程度は第14図に示すようにあきらかに低湿の環境、すなわち低水分含量の場合に酸化が早く進むことがわかる⁽⁴⁶⁾。（水分含量0.3～4.1%の間で比較）これらの実験結果はあきらかに水溶性成分の変化と脂肪、脂溶性成分の変化とは逆の関係があることがわかる。この現象はSalwinの説明によれば脂肪やカロチノイド表面に水の分子が単分子層に吸着した状態に存在しなければ脂肪や

カロチノイドを酸素の影響からまもることができないといっている。すなわち低水分含量においては脂肪やカロチノイドの層または分子が水の分子におおわれていない部分が生じ、この部分から酸化が進むものであるといっている。

凍結乾燥食品の脂肪や脂溶性成分を安定に保つために高水分含量で貯蔵することは前述の水溶性成分の変化により製品の品質を極端に低下させることを意味する。したがって脂肪の酸化防止のためには製品の水分含量を高めるようなことはせずに、低水分含量に保ち別に酸化防止方法を考えねばならない。

脂肪の酸化防止にはデチルハイドロオキシン・アニゾールデチルハイドロオキシン・トルエン、プロピルガレートなどフェノール系酸化防止剤や、*l*-アスコルビン酸、*d*-イソアスコルビン酸、クエン酸、乳酸、プロピオン酸など前者と相乗効果を有する物質の添加を行って酸化防止すること、容器に充填する場合に容器中の空気を窒素、炭酸ガスなど不活性ガスと置換すること、または容器を真空にしておくとか、グルコースオキシダーゼを使用して容器中の酸素を除去するとかの方法を採用し酸素の影響を極力除去するような処理を行ない酸化を防止することが必要である。

筆者は脂肪やカロチノイドの酸化防止のために酸化防止剤を直接乾燥食品に添加せずに、製品を容器に充填する際に同時に間接に添加することによって酸化防止効果を高め得ることを、モデル実験において確認したので⁽⁴⁶⁾、現在その方法を実際の凍結乾燥に応用する方法を検討中である。

いづれにしても脂肪および脂溶性成分の酸化防止に対しては決定的な方法はないので今後この面の積極的な研究の発展が要望されている。

以上凍結乾燥食品の貯蔵について実験例をもとに説明を加えたが、現在妥当と考えられる貯蔵条件としては、

- 水分含量 2%程度またはそれ以下
- 脂肪・脂溶性成分の多い食品には酸化防止処理を行う
- 製品の容器は透気、透湿、透光性がなく、機械的な衝撃に対し安定な材質のもの、
- 現在金厚缶（デリキ、アルミニウム）が防湿セロファン・アルミニウム箔ポリエチレンのラミネート袋が使用される。（理想的には金厚缶）
- 製品の容器への充填は RH20%程度の環境で行い容器を充填する場合に低水分含量を保つことが必要なものに対しては、同時に生石灰、活性アルミナ、シリカゲルなど乾燥剤を同封密封する（In Package Dessication..... IPD）

第7表 食品の凍結乾燥の世界における現状

会社および装置の位置	乾燥装置のメーカーおよび台数	装置容量または全棚面積 (ft ²)	製品および最終用途	設置時期 (概略)
アメリカ				
Armour & Co., Bellwood, Ill.	Stockes 2基以上 Atlas, Mark 1, 2基 Vacudyne 8基	9,000	肉、ニワトリ、野菜、エビ (軍用、キャンパー用) メ インコースの食事、スー プミックス形で小売り	1945 1961, 62 1962
California Vegetable Concentrates Div General Food Corp., Modesto, Calif	Del-Vac. 1基	500	野菜、スープミックス、特 殊食品	1962
Campbell Soup Co., Camden, N.J.	Stokes. 5基	2,200	肉、ニワトリ、野菜、自社 スープミックス用	1961
Freeze-Dri Products Co., Watsonville Calif	Freeze Drinamics 6基	1,700	注文生産 野菜、肉、水産物、果物	1962
Freeze Dry Products, Inc., Evansville, Ind	Vacudyne, 2基	1,000	注文生産 肉、野菜	1962
T.J. Lipton, Inc, Albion, N.Y	Stokes, 4基 Vacudyne, 1基	1,200	肉、ニワトリ、七面鳥、野 菜、自社スープミックス用	1959 1960 1962
Maxwell House Div General Food Corp., Hoboken, N.J.	FMC corp., 10基	5,000	コーヒー小売り用	1962
United Fruit & Food Corp San Carlos, Tex	Del-Vac, 2基 Stokes, 4基 Vacudyne 4基	10時間サイ クルで毎日 20 tの生原 料処理	エビ、ニワトリ、牛肉、マ ッシュルーム、アスパラガ ス、業務用、スープミッ クス用	1959 1961 1962
Wilson & Co., Omaha, Neb	Stokes, 3基	770	ステーキ、ポークシチュ ー、ハンバーグ、エビ、ニ ワトリ、ハム(軍用、キャン パー用) および業務用	1950 1959
カナダ				
Essex Packers, Ltd Hamilton, Ont.	J.H Lockert & Sons Vacudyne. 1基	100	牛肉、豚肉、七面鳥、ニワ トリ、野菜、軍用、キャン パー用	1961
Slach Bros., Ltd., Waterloo, Oue.	Freeze-Dry Products Ltd, 1基	1,000	マッシュルーム、小売りス ープミックス用	1962
Freeze-Dry Products, Ltd Oakville, Ont	Freeze-dry Products Ltd Multiple Vnits	8~10時間 サイクルで 毎日9 tの 生原料処理	肉、卵、野菜、果物、注文 生産	1962
西ヨーロッパ				
Aerated Foods, Ltd Walton-on-Thames, Eng Aberdeen, Scotland.	Atlas. A/S Mark I 1基	420	魚、野菜、果物、茶…小売 り用	1961
Bla Band Produkter A/S Halmstad, Sweden	Modified Vacuum- drying Cobinets 10基	1,000	魚、ニワトリ、野菜、調理 済食品、小売り用	1959
Hartog's Fabriken-N.N., Oss, Holland	Leybold Hochvakuum Anlagen, G. m.B.H. 4基	1,640	肉、ニワトリ、野菜、スー プミックス用	1959 1962
Brooke Bond Ltd., London	Mitchell 4基	毎日2,500ポ ンドのコー ヒー抽出物(固 形分20%)	コーヒー小売り用	1958
Irish Sugar Co., Mallow, Eire	Vickers-Armstrongs 4基	1,700	魚、ニワトリ、果実、野菜 輸出用	1961
Lieqig's Extract of Meat Co. Ltd Sligo, N. Ireland.	Atlas A/S Mark I. 1基	420	肉エキス、スカンビス、業 務用、小売	1961

Lyons, Ltd., London	Atlas A/S Mark I. 1 基	250	多品目開発用	1961
Maggi, G. m. D. H Singen, W. Germany	Atlas A/S Mark 1a	420	肉、ニワトリ、野菜、スー プミックス用	1960
S. A. T. F. A. Northeru Italy	Leybold 2 基	880	野菜、果実、牛乳	1962
Royal Hollandia Milk & Food Co., Vlaardingen, Holland	Atlas A/S Mark 1a	2,520	野菜、業務用、小売り	1960
Unilever, Ltd Aberdeen, Scotland	Vickers-armstrongs 2 基	850	牛肉、野菜、ニワトリ、果 実—実験用、自社用	1962
ニュージーランド Dalhoff & King (N. Z.) Ltd	Atlas A/S Mark 1a 1 基	420	肉製品、軍用キャンパー用、 業務用	1960
日 本 日本インスタント食品 京都、宇治	Atlas A/S Mork 1 1 基 共和真空工業 1 基	420 1.5トン/日	調理済カレー、スープ、 野菜、小売、注文生産	1962 1962
明治食品 長野、丸子	不 明	生味噌 1 日に 8 トン(推定) 処理	即席味噌汁、野菜、小売り 用	1960
マルキチ味噌 長野	不 明	生味噌 1 日に 6 トン(推定) 処理	即席味噌汁、野菜、小売り 用	1960
山本山 静岡	共和真空工業 ベルト型真空乾燥機	ほうじ茶抽出 物固形分35% 1 日に 500 kg (推定)	インスタントほうじ茶、 小売り用	1963
日魯漁業 久里浜	東海真空機器 2 基	1 回処理 200 kg	中間試験用	1960
大洋漁業 東京	共和真空工業 1 基	1 回処理 100 kg	中間試験用	1959

(Food Engineering 121 1963 より、および筆者の推定を含む)

○最終製品の貯蔵温度は常温でさしかえないが、長期貯蔵の場合や変化しやすい成分組織のものの場合 25°C 以下が望ましい。

8. 凍結乾燥食品の経済性とその将来

食品の凍結乾燥を本格的に企業として採用し、しかも発展させて行きつつあるおもな国はアメリカである。ヨーロッパでも後に表示するようにいくつかの凍結乾燥食品工場が稼動しているが、その数および生産量はやはりアメリカが第1位を占めている。そこでわが国の現状にただちに適合するとは考えられないが、参考のためにアメリカの最近の事情をアメリカ農務省経済開発局が発表した『Freeze-Drying of Food A Look into the Future』をもとに凍結乾燥食品の現状と将来についておのべる。

アメリカでの凍結乾燥の最大の消費者は米国の軍隊で『Quick Serve』『Meal ready to eat』の基本的な内容物として使用されている。その内のおもなものは、牛肉、豚肉、魚肉調理品であり、このほかに果実、そ菜の凍結

乾燥品がある。たとえば1963年には50万ポンドの生牛肉に相当する乾燥牛肉が購買された。

一般消費者に向けられる凍結乾燥品はエビ、カニ、鶏、牛肉、全卵、そ菜、マッシュルームなどである。またゼラチンデザート、プディング、アイスクリーム用としてイチゴやその他の果実が対象となる。また最近では従来の噴霧乾燥のインスタントコーヒーの欠点を補う目的でコーヒー抽出物が凍結乾燥されはじめている。(おそらくマックスウエルコーヒー(株)のことを指す)

凍結乾燥食品の特殊用途としてキャンプまたはハンター用として15~20種の調理済食品がスポーツ用品店で売られているが、しかし現在はまだ値段が高いといわれている。

第7表は Food Engineering 誌の本年2月に発表されたものを筆者が加筆したものである。この表および前記刊行物からみるとアメリカには1月50~60トンの原料を処理する能力のあるプラントが12基ある、またイギリス本島には5基、ヨーロッパには13基あることになる。このことは急速に拡大しつつある工業の象徴とみてさしかえない。

このような急激な発展を存続させるためには

- ① 安定した比較的多量の製品
- ② 缶詰、冷凍食品の値段に匹敵
- ③ 市場で簡便に扱える

このような性質を備えた製品を製造し市販することである。

アメリカの官能検査の専門家によって缶詰、冷凍食品と凍結乾燥食品との比較のために28種の食品が官能検査が行なわれたが、その結果は3種類のものは凍結乾燥食品が優れていると考えられ、15種は同一、そして10種は多少劣っているとの成績かてた。またこの結果から凍結乾燥食品が単独に使用されるより調理済食品としてまたは混入品（調理素材または従来の乾燥食品との組合せ）として使用される場合の方がすぐれていることがわかり、一般大衆に受け入れられる乾燥食品を量産し得る予測も成立つといわれている。

乾燥経費……凍結乾燥に要する経費は乾燥装置の規模の大小によって異なるが現在は1ポンドの脱水には3~20、30セントを要する。しかし将来は3~7セントになることはまちがいない。現に Stokes の Maguire⁽⁴⁷⁾は、1日70トン処理の装置を使用すれば1ポンドの脱水に1.98セントすなわち1kgの水を除去するのに15円以下で済むと発表している。

小型凍結乾燥装置では最大の経費は労賃で、全経費の約30%であるといわれ、大型プラントでは装置の原価消却が大きな問題で全経費の40%を占め、動力費は17~20%であるといわれている。

小型近代装置が1年間250日24時間稼動したとすると乾燥鶏の平均経費は1ポンドの脱水に6~7セントかかる、同一条件で大型プラントでは1ポンドの脱水に4~6セントであるといわれる。(8時間の乾燥周期として)

またエビの凍結乾燥の場合1年間350日稼動では、1ポンド当りの脱水に3.3セントを要し、100日稼動では7.2セントかかる。また1日の操業時間も経費に重要な影響があり、1日24時間操業のプラントでは1ポンドの脱水に5セント、同一のプラントで1日16時間では7セント8時間操業では11セントになる。

以上のことから凍結乾燥を企業として成立させるためには比較的大型の装置で、年間、24時間操業を行なえばよいことになる。

凍結乾燥食品の将来……現在の乾燥経費の点から考え凍結乾燥食品の大部分が小売市場で受け入れられるとは考えられない、したがってその対象となる市場は、

- ① 軍隊がこの製品の最大販売市場
- ② 第2の市場はいわゆる混入品として支向ける
- ③ 第3の市場は2次加工の素材として

④ 第4の市場は抽出物、味付および薬味のような特殊品目

⑤ 第5の市場は凍結乾燥コーヒー、紅茶および濃縮品

⑥ そして最後はキャンプ市場である。

この工業の今後の成長度は未定である。しかしながら現在の興味が続くならばその量は数年間は毎年2倍、3倍と増加の傾向をとることになる。たとえば1967年までに年間原料で4~5億ポンド（これは加工食品の約2%）になるであろう。これは現在の冷凍食品が約70億ポンド、缶詰食品が190億ポントに比較して大きいとはいえない。

以上のようなアメリカにおける現状からみてまた第7表からみてもわが国で急速に凍結乾燥食品フォームが到来するとは考えられない。

しかし凍結乾燥食品はすでにのべたように近代の食生活からの要求をみたし得る特性をもっており、また凍結乾燥方法が国の食糧資源を有効に活用し得る一つの加工または貯蔵手段とも考えられ、わが国特産物の輸出品の加工手段としても採用し得るものであるのて、現在各食品加工メーカーで行っている積極的な開発研究が進み、品質のすぐれた、また妥当の価格の凍結乾燥製品が量産されるようになることは疑問の余地がない。

すでにのべたようにいくつかの企業は量こそ少いがすでにパイオニア的生産を開始しているのて、これらの企業が正常な発展をたどるための国家的な技術開発研究、国としての妥当な経済的補助を考ずる必要があるのではなかろうかと考えている。

いづれにしてもわが国においても凍結乾燥食品は明るい将来が約束されているものと思つてよいであろう。

〔文 献〕

- (1) 小山栄二、茂貫利次、村上忠夫：日新医学 31, 419 (1942)
- (2) 長野奏一、佐伯 潔：日本臨床 2, 455 (1944)
- (3) 内藤良一：陸軍軍医学抜、防疫研究報告、第2部、第715号
- (4) 緒方富雄：日本臨床 1, 549 (1943)
科学 14, 272 (1944)
- (5) 木村 進、片山 脩、塩入英次：果汁研究 21頁 (1956)
- (6) 木村進：日本食品工業学会 1962年 大会シンポジウム講演集 p. 46
- (7) 高橋豊雄：真空化学 11, 151 (1963)
- (8) 森地敏樹：第36回日本細菌学会総会講演(1963)、凍

結および乾燥研究会講演(1961~1963)

- (9) 木原芳次郎、御所町子：真空化学 11, 97 (1963)
- (10) Jackson, Rickter, and Chichester : *Food Technol* 11, 468 (1957)
- (11) D. A. Copson et al : *Food Reserch* 22, 402 (1957)
Food Technol 12, 270 (1958)
- (12) R. V. Decareau : *Food Eng* 33 (8) 34 (1961)
- (13) *Food Processing and Packaging* 32, 380 (1963)
に詳細を紹介してある。
- (14) 木村 進：農産技研誌 (現日本食品工業学会誌)
6, 184 (1959)
- (15) R. L. Henrickson et al : *Food Technol*, 10, (1956)
- (16) 木村 進 日本農芸化学会1961年大会
農産加工技術研究会第7回大会 (1960)
食品工誌 7, 169, 277 (1963)
- (17) A. F. Anglemier, D. L. Crawford and H. W. Schultz : *Food Technol*, 14, 8 (1960)
- (18) S. J. Bishow, A. S. Henick and R. B. Kock :
Food Research 25, 174 (1960)
- (19) 塩入英次、木村 進、片山 脩、陳端雲：真空化学, 6, 145 (1958)
- (20) A. Yao et al : *Food Technol*. 10, 145 (1956)
- (21) R. S. Bean, et al : *Food Technol* 11, 403 (1957)
- (22) A. Aitken, J. C. Casey, I. F. Penny and C. A. Voyle : *J. Science of Food and Agric* 13 439 (1962)
- (23) 木村 進：農産技研誌 6, 184 (1959)
- (24) E. Peterson, : *Food Eng.*, 33, 33 (1961)
- (25) R. Hamm, and F. E. Deatherage : *Food Research* 25, (1960)
- (26) G. K. Notter, D. H. Taylor and J. E. Brekke.
: *Food Technol*. 12, 363 (1958)
- (27) G. K. Notter, D. H. Taylor and N. J. Downes
: *Food Technol*. 13, 113 (1959)
- (28) The Accelerated Freeze-Drying method of Food preservation, Her. Majesty's Stationery office p50 (1961)
- (29) R. B. Ponting, B. Stern and C. G. Ferrari, :
Arch Biochem 19, 47 (1958)
- (30) W. B. Morrison : *J. Science of Food and Agric* 13 248 (1963)
- (31) F. Kiermeier and E. Coduro : *Biochem. F.*, 325, 280 (1954)
- (32) P. Linko. and M. Milner : *Plant Physiol.*, 34 392 (1959)
- (33) L. Acker : *Fetteu Seifen* 62, 906 (1960)
- (34) Z. I. Kertesz, : *J. Amer. Chem. Soc.* 50, 345, 1277 (1935)
- (35) J. M. Nelson and M. P. Schurer. : *J. Amer. Chem. Soc.* 150, 2188 (1958)
- (36) J. B. Hutchinson and H. F. Martin, : *J. Sci. Food Agric.* 3, 312 (1952)
- (37) P. Markakis, G. E. Livingston and C. R. Fellers
: *Food Research* 22, 117 (1957)
- (38) 萩沼之孝：農産技研誌 8, 144, 189 (1961)
- (39) A. L. Tappel, A. Conroy and M. K. Emerson,
: *Food Technol*. 9, 401 (1955)
- (40) L. W. Regier and A. L. Tappel : *Food Research* 21, 640 (1956)
- (41) M. V. Hunt and N. A. Matheson : *Nature* 181, 472 (1958)
- (42) 黒木柁吉、木村 進：農産技研誌 8, 22 (1961)
- (43) 高橋豊雄、神名孝一、竹井 誠、田中照子：日本水産学会1962年発表
- (44) L. J. N. Cole : *Food Research* 27, 139 (1962)
- (45) 木村進、塩田和子：食品工誌 10, 276 (1963)
- (46) H. Salwin : *Freeze-Drying of Food* 68 (1962) National Academy of Sciences-National Research Council, Washington D. C
- (47) J. F. Maguire : *Food Eng.* 34, (12) 90 (1962)