乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化

誌名	日本食品保蔵科学会誌
ISSN	13441213
著者名	山口,明子 西,麗 廣瀬,潤子 浦部,貴美子 灘本,知憲
発行元	日本食品保蔵科学会
巻/号	38巻3号
掲載ページ	p. 169-176
発行年月	2012年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化

山口明子[*1§]・西　麗[*1]・廣瀬潤子[*2]・浦部貴美子[*2]・灘本知憲[*2]

＊1　天野実業㈱
＊2　滋賀県立大学人間文化学部

Changes in Food Items Because of Processing with Different Drying Methods

YAMAGUCHI Akiko[*1§], NISHI Rei[*1], HIROSE Junko[*2], URABE Kimiko[*2] and NADAMOTO Tomonori[*2]

＊1　*Amano Jitsugyo Co.,Ltd., 4215, Satomi, Satosho-cho, Asakuchi-gun, Okayama　719-0393*
＊2　*School of Human Culture, The University of Shiga Prefecture, 2500 Hassaka-cho, Hikone, Shiga　522-8533*

Changes in total vitamin C content in 5 vegetables (paprika, spinach, parsley, broccoli, and pea) were investigated after the application of different food-processing techniques such as freeze-drying (FD), air-drying (AD), retort sterilization (RT). Drying characteristics such as rehydration and color of the vegetables were also evaluated. Among the 3 processing techniques, FD resulted in the highest vitamin C retention ratio in the vegetables. The rehydration ratios of the dried vegetables were determined after the vegetables were immersed in hot water at 80℃ for30min. The rehydration ratios obtained after FD were higher than the corresponding ratios obtained after AD. Moreover, the appearances of the FD-treated vegetables after rehydration were almost the same as those of the fresh vegetables. The degree of color difference between the fresh vegetables and the FD-treated vegetables was lesser than that between the fresh vegetables and the AD-treated vegetables. These findings confirmed that FD was the best method for processing of food items.

(Received Oct. 6, 2010 ; Accepted Dec. 12, 2011)

Key words: *drying methods, freeze-drying, air-drying, retort sterilization, vitamin C*
乾燥技術，真空凍結乾燥，熱風乾燥，レトルト殺菌，ビタミンC

食品乾燥の主な目的は，水分含量の多い食品から水を除き，微生物，酵素による腐敗・変質，および食品の組成成分間の化学反応の進行にともなう変質を防止することによって，食品に貯蔵性と輸送性を与えることにある[1]。しかしながら，近年，食生活の豊かさと合理化にともない，加工食品や貯蔵食品に対し高度な品質を要求する傾向が強くなってきている。すなわち，色・味・香り・栄養価・形状などを維持した加工が望まれるようになったと言える。そこで，これらを満たす加工方法として真空凍結乾燥（以下：FD）に着目した。

FDは，インスタントラーメン，インスタントコーヒー，インスタント味噌汁などの加工で用いられており，次のような特徴があるとされる。①常圧乾燥である熱風乾燥（以下：AD）などと比べ，材料は終始低温に維持され，昇華により乾燥するため，材料表面の色，香気成分，および栄養素などの熱的変性が少ない，②材料は絶乾状態まで乾燥されるため，防湿性の高い包装方法を用いることにより常温で長期貯蔵が可能となる，③乾燥以前の形状と成分がほぼ維持される，④乾燥による材料の収縮・表面硬化が抑制され，組織が多孔質になるため，水の付加による復元性が高い[2]。このような特徴により，FDは原理的には素材を活かす理想的な加工方法と考えられる。

これまでに，種々の乾燥方法の有用性について検討された例として，尾谷らは，アオジソ[3]やハッカ[4]についてFD,AD，放射乾燥，およびマイクロ波乾燥の各種乾燥方法での乾燥特性を，また，折笠ら[5]は，マイクロ波乾燥による千切りダイコンの乾燥特性をADや真空乾燥と比較しており，マイクロ波の有用性について報告している。一方，原口ら[6]は，赤色化万願寺とうがらしの各乾燥条件（AD，減圧乾燥，FD）におけるポリフェノール含量やビタミンC含量について比較しており，FD，お

＊1　〒719-0393　岡山県浅口郡里庄町里見4215
§　E-mail : ak-yamaguchi@amanofoods.co.jp
＊2　〒552-8533　滋賀県彦根市八坂町2500

よび減圧乾燥がこれら有用性成分を多く残存させることを報告している。しかし，これらの報告は一部の試料についてのみの比較であり，様々な試料を用いて乾燥方法を比較した例はほとんどない。

そこで本研究では，パプリカ，ホウレンソウ，パセリ，ブロッコリー，およびサヤエンドウの可食部位の異なる5つの野菜を試料として，酸化や熱に弱いとされるビタミンCの，FD，AD，およびレトルト殺菌（以下：RT）前後の含量変化について検討した。RTは乾燥技術ではないが，保存技術として広く用いられている方法として比較した。また，FD，およびADによる野菜の乾燥にともなう復元性や色の差異についても考察したので，併せて報告する。

実験方法

1．供試材料

供試野菜は，パプリカ（水分91.0%），ホウレンソウ（水分92.2%），パセリ（水分83.3%），ブロッコリー（水分88.5%），およびサヤエンドウ（水分86.7%）を用い，岡山県内の量販店において入手した。特に産地および品種は限定していない。

2．野菜の処理

野菜は入手当日中に処理した。野菜を水道水で洗浄，不可食部を除去し，パプリカは6㎜×6㎜，ホウレンソウは20㎜×20㎜，パセリは20㎜×20㎜，ブロッコリーは1房ずつ（約30㎜×30㎜程度の大きさになるように），サヤエンドウは10㎜にカットした。乾燥方法のみによる品質の違いを比較するため，野菜を加工する際に行うブランチングなどの加熱処理は行わなかった。その後，カットした野菜は後述の乾燥処理（FD，AD），またはRT処理した。

（1）FD　カットした野菜は，200×300㎜のアルミトレーに重ならないように並べ，㈱大西熱学製，予備凍結テスト機で庫内温度－30℃，風速1.0m/sの条件で4時間以上凍結させた。凍結した野菜は，真空凍結乾燥機にアルミトレーごと入れ，真空度40Pa，トラップ冷却温度－48℃，棚温度40℃の条件で20時間乾燥させた（乾燥条件は，工業的によく用いられる条件：最終品温40～50℃に準じた）。真空凍結乾燥機は，KOX特殊設計事務所製，比較型FDテスト機XD-2400（庫内寸法320×580×390㎜，除湿容量1.5ℓ）を使用した。乾燥後の野菜の水分は以下のとおりである。

FDパプリカ：4.4%，FDホウレンソウ：3.8%，FDパセリ：2.8%，FDブロッコリー：3.5%，FDサヤエンドウ：4.4%。

（2）AD　カットした野菜を600×1,150㎜のステンレス製の網に重ならないように並べ，常圧，熱風温度60℃，乾燥時間8～20時間の条件で乾燥した（乾燥条件は，FD品と同程度の水分になるよう設定した）。熱風乾燥機は，㈱省熱学研究所製，Alpha Dry RV101－F6（強制熱風循環換気方式，庫内寸法765×620×1,200㎜）を使用した。乾燥後の野菜の水分は以下のとおりである。

ADパプリカ：5.2%，ADホウレンソウ：5.7%，ADパセリ：2.7%，ADブロッコリー：3.1%，ADサヤエンドウ：3.5%。

（3）RT　カットした野菜を140×220㎜のレトルト殺菌用アルミパウチ（凸版印刷㈱製　130℃，30分規格）に袋詰めした。その後，アルミパウチを殺菌温度121℃，20分間の条件で加熱した（加熱条件は，工業的によく用いられる条件に準じた）。レトルト殺菌機は，㈱日阪製作所製，高温高圧調理殺菌装置フレーバーエースを使用した。

3．総ビタミンC含量の測定

食品中のビタミンCは，還元型と酸化型の2種類が存在するが，日本ビタミン学会ビタミンC研究委員会の見解に基づき上記2種類は同等とみなされるため[7]，ジチオスレイトール（DTT）による還元処理[8]により，酸化型を還元型に転換し，総ビタミンCとした。

（1）試　薬　高速液体クロマトグラフ（HPLC）の溶離液の調製には，市販のHPLC用試薬を用いた。その他の試薬は市販の特級試薬を使用した。

（2）抽出方法　生鮮品およびレトルト品は約10g，FD品およびAD品は約1gを秤量し，5%メタリン酸水溶液（MPA）35mℓを加えて攪拌器（㈱日本精機製作所製　エースホモジナイザー）で15,000rpm，5分間磨砕抽出した。遠心分離機（日立工機㈱製　CR-20）を用いて12,000rpm，0℃，15分間遠心分離を行い，得られた上清を5%MPAで50mℓに定容後，0.45μmのマイクロフィルターでろ過した。MPA抽出した100μℓの試料に，10mM DTT含有1Mリン酸水素二カリウム50μℓを混合し，5分間静置後，25%MPA50μℓを加えて測定試料とした。

（3）測定方法　総ビタミンC含量の測定は，既報[8]を参考に電気化学検出器（ECD）を装着したHPLCで測定した。HPLCシステムには資生堂NANOSPACE S1-1，データ処理には資生堂データ処理ソフトS-MCをそれぞれ用いた。なお，HPLC分析条件は以下のとおりである。

カラム：㈱資生堂製　CAPCELL PAK C18UG120（4.6㎜I.D.×250㎜），移動相：10mMテトラブチルアンモニウムクロリド含有10mMリン酸緩衝液（pH5.25），流速：1.0μℓ/min，カラム温度：40℃，試料注入量：5μℓ，検出器：㈱資生堂製アンペロメトリック式電気化学検出器350mV。

4．復元率の測定

乾燥野菜を生鮮物換算重量の4倍量の蒸留水（水温80℃）に浸漬した。浸漬中は，80℃の湯浴（アズワン㈱製　THERMAL ROBO TR-1）中で温度保持させた。0.5～30分間浸漬後，水切りのため網上で5分間静置させ重量を測定した（復元重量）。なお，復元率は生鮮物に対する比率で表すため，乾燥野菜の復元重量を乾燥野菜の生鮮物換算重量に対する割合で表した（復元率＝復

元重量/乾燥野菜の生鮮物換算重量×100)[9]。

5．色差計によるL*・a*・b*値の測定

野菜の個体差によるばらつきを軽減させるため，測定サンプルは電動ミル（リイチ産業㈱製　オースターブレンダー）で粉砕・混合した。生鮮品は16,800rpm，2分間の条件，乾燥品は16,800rpm，1分間粉砕後，生鮮品と同等の水分含量になるよう生鮮換算重量分の蒸留水を加え，さらに16,800rpm，1分間攪拌した。生鮮品のみ，または生鮮換算重量分の蒸留水のみではペースト状にならない場合，生鮮換算重量の2倍の重量となるよう蒸留水を加え試料を調製した。調製した試料は，専用の丸セルに2gずつ秤量し，色差計（日本電色工業㈱製　Color Meter ZE-2000）で明度（L*値；色の明るさの指標），色度（赤方向；+a*，緑方向；−a*，黄方向；+b*，青方向；−b*）を測定した。生鮮品との色差は，生鮮品の平均値と乾燥品平均値のL*値，a*値，b*値の差（⊿L*，⊿a*，⊿b*）から，以下の式により色差を算出した[5]。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

6．統計解析

データの数値は平均値±標準偏差で表した。また，データ間の有意差検定は，2群間の場合Studentのt検定，3群以上の場合Tukey-Kramerの多重比較検定を行い，危険率5％未満を有意とした。

実験結果および考察

1．乾燥野菜のビタミンC含量

乾燥した野菜の総ビタミンC含量は，乾燥歩留りから計算した生鮮換算含量で示し，生鮮および各処理後（FD，AD，RT）のビタミンC含量の有意差検定を行った。また，総ビタミンC残存率は，生鮮の総ビタミンC含量を100とした時の各処理後の総ビタミンC含量で示した（Table 1）。

Table 1より，5種類すべての野菜において，FDはADやRTよりも高い総ビタミンC残存率を示した。また，ホウレンソウ，パセリ，ブロッコリー，およびサヤエンドウにおいて，FDと生鮮との間の総ビタミンC含量に有意差がなかったのに対し，ADおよびRTは，生鮮との

Table 1　Changes in the vitamin C content of some vegetables after processing with different methods

Vegetable	Processing method	Total VC content (mg/100g fr. wt.)	Total VC (%)※
Paprika (n=4)	Fresh	187.2±4.7[a]	100.0
	FD	119.4±9.1[b]	63.8
	AD	72.8±2.5[c]	38.9
	RT	96.9±3.2[b,c]	51.8
Spinach (n=3)	Fresh	32.9±1.6[a]	100.0
	FD	29.3±1.5[a]	88.9
	AD	10.8±5.0[b]	32.8
	RT	2.8±2.3[b]	8.7
Parsley (n=2)	Fresh	128.2±1.7[a]	100.0
	FD	131.3±19.4[a]	102.4
	AD	79.8±3.5[b]	62.2
	RT	0.1±1.2[b]	0.0
Broccoli (n=5)	Fresh	155.6±6.3[a]	100.0
	FD	120.7±7.4[a]	69.6
	AD	4.6±2.1[b]	4.3
	RT	12.4±9.3[b]	7.7
Pea (n=3)	Fresh	73.0±2.8[a]	100.0
	FD	61.8±4.6[a]	84.7
	AD	3.2±1.8[b]	4.4
	RT	3.2±1.9[b]	4.5

※Percentage of VC content
Each data value is represented as mean±SE
VC: vitamin C; FD: freeze-drying; AD: air-drying (60℃); RT: retort temperature (121℃)
a〜c: Values indicated with the same letter were not significantly different (Turkey's honestly significant difference test; $p<0.05$).

間に有意差が認められた。一方，パプリカでは，ADおよびRTに加えて，FDにおいても生鮮との間に有意な差がみられた。FDパプリカは，後述にあるとおり，他のFD野菜よりも収縮がみられることから，真空乾燥状態になり，総ビタミンC含量が減少した可能性がある。通常FDは，凍結状態で昇華乾燥されるため，体積変化は生じない[10]。しかしながら，工業的にFDした場合，乾燥中に棚温などの影響で被乾燥物が融解することは珍しいことではない[2]。乾燥中に氷が融解すると，食品表面に水溶性成分が移動，濃縮されるため，熱の影響を受けやすくなり，FDパプリカの総ビタミンC含量が減少したと考えられる。ADでは，水分が常に液状で存在するため，乾燥の進行に伴って食品表層部に溶質の濃縮層が形成される[11]ことが知られている。したがって，パプリカではADだけでなくFDにおいても，表面に移動したビタミンCが熱の影響により減少したと考えられる。つまり，氷から水蒸気へ相変化するFDの乾燥特性が，ビタミンCを有意に残存させたと推測される。一方，RTは121℃の高温で加熱処理されるため，総ビタミンC含量が減少したと考えられる。ただし，パプリカは酸化抑制作用が強いヘスペリジン[12]を有する[13]ため，加熱によるビタミンCの減少が抑えられ，RT後の総ビタミンC残存率が高くなったと推測される。ヘスペリジンを有するにもかかわらず，FDとADの総ビタミンC含量が減少したのは，水に対する溶解度の低いヘスペリジンが[14]，食品表面に移動していないためと考えられるが，抗酸化物質のビタミンC保護効果については今後の検討課題である。

以上の結果より，ホウレンソウ，パセリ，ブロッコリー，およびサヤエンドウにおいて，FDはADやRTと比較してビタミンCを残存させることが示された。パプリカについても，FDはADやRTと比較して総ビタミンC残存率が高い傾向にあった。したがって，FDはビタミンCを残存させるために有効な乾燥方法であると考えられる。

一方，加熱調理とビタミンC残存量の関係についてはいくつか報告がある[15),16)]。例えば，山口ら[17]は，マイクロ波加熱，炒め加熱，フライ加熱が，茹で加熱や煮込み加熱に比べてビタミンC残存率が高いことを報告している。さらに，柴田ら[18]は，水溶性ビタミンであるビタミンB_6の保持率について検討しており，茹でるなどの湿式加熱よりも炒めるなどの乾式加熱による調理のほうがビタミンB_6の保持に有効であることを報告している。これらの報告は，水溶性成分の残存には水分移動の少ない加熱処理が適していることを示唆している。実際の加工食品は，様々な加熱処理後，乾燥などの加工処理を行う。そのため，加熱後の乾燥でどの程度ビタミンCが残存するのかは非常に興味深い。加熱方法（ボイル加熱，スチーム加熱，マイクロ波加熱）と乾燥方法（FD，AD）の組み合わせについては，現在パプリカのみ検討しており，マイクロ波加熱とFDの組み合わせにおいて最も総ビタミンC残存率が高かった（データ未掲載）。今後様々な野菜で検討する必要がある。

2．乾燥野菜の復元性

Fig. 1に各野菜の乾燥後，Fig. 2に30分間復元後の写真

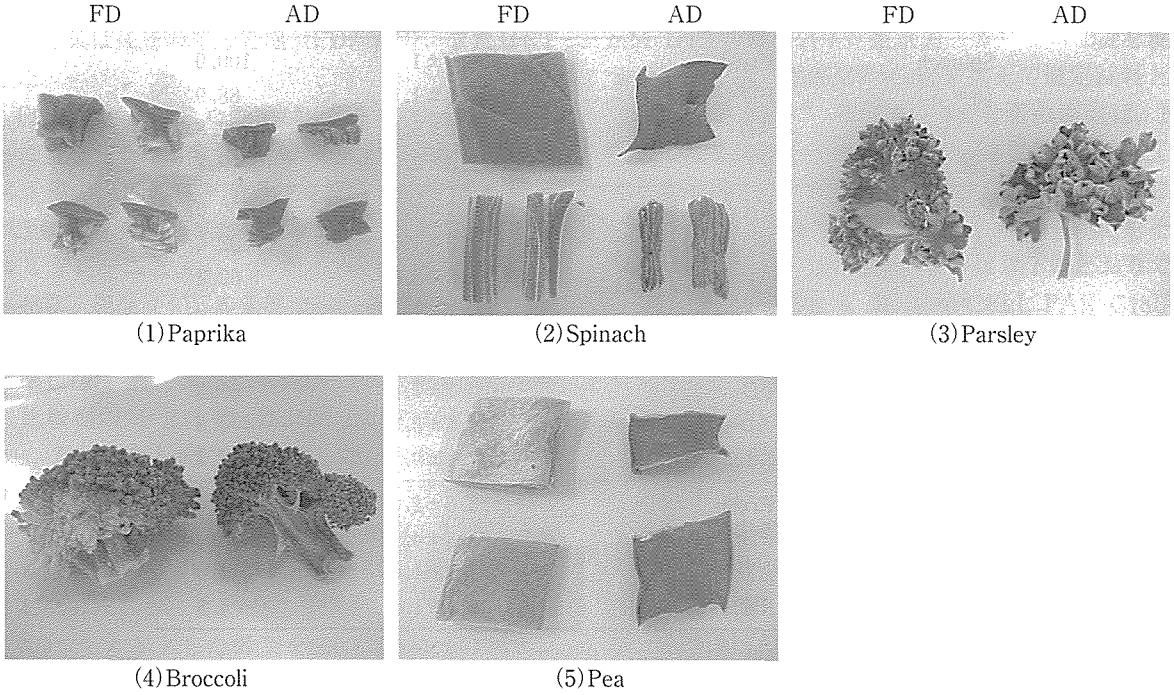

Fig. 1　Appearance of various dried vegetables

Each photograph shows samples treated using FD (samples on the left) and AD (samples on the right).
FD: freeze-drying; AD: air-drying

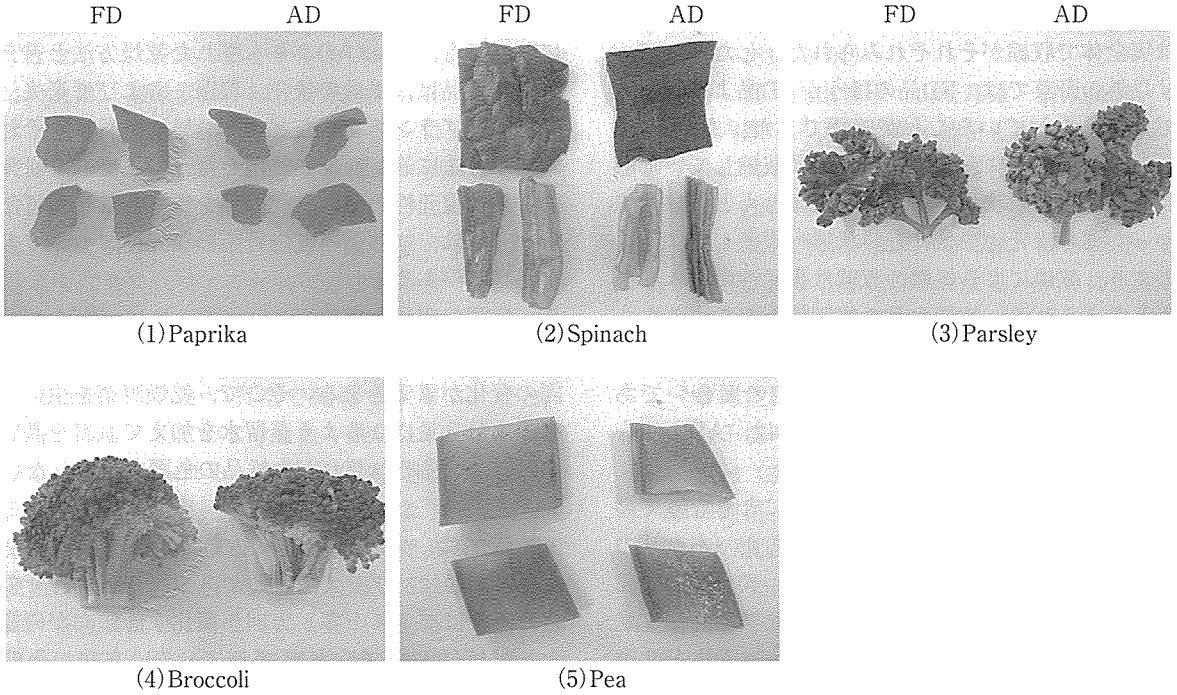

Fig. 2　Changes in the appearance of various dried vegetables on rehydration

The dried vegetables were rehydrated by immersion in hot water at 80℃ for 30 min.
Each photograph shows samples treated using FD (samples on the left) and AD (samples on the right).
FD: freeze-drying; AD: air-drying

を示した。また，乾燥野菜の浸漬時間と復元率の平均値をTable 2 に示した。復元率は，浸漬時間ごとにFDとADの有意差検定を行った。乾燥食品は，お湯で復元させて喫食することが多いため，80℃のお湯を用いて復元させた。

Fig. 1より，乾燥パプリカは，FD品，AD品ともに果肉部分の収縮がみられ，特にAD品は果皮に果肉部分が結着するような収縮が確認できた。乾燥ホウレンソウは，FD品では茎部分で収縮がみられ，AD品では葉，茎部分で収縮がみられた。乾燥パセリは，FD品，AD品ともに大きな収縮はみられなかった。乾燥ブロッコリーおよび乾燥サヤエンドウはFD品では大きな収縮がみられず，

Table 2　Rehydration ratios of various drying vegetables

Vegetable	Drying method	Time for rehydration (min)				
		0.5	1	5	10	30
		Rehydration ratio (%)				
Paprika	FD	21.9±0.3	22.6±0.4	29.2±0.4	33.3±0.2	43.5±0.4
	AD	17.3±0.2**	18.3±0.2**	24.9±0.3**	31.1±0.5*	42.0±0.3
Spinach	FD	40.6±0.3	45.5±1.2	62.0±0.9	75.7±2.6	86.9±1.2
	AD	33.9±0.0**	39.0±0.4*	57.6±1.3	71.1±0.4*	81.5±0.4*
Parsley	FD	62.3±2.8	67.7±2.8	81.4±4.6	96.7±1.8	−
	AD	50.0±0.1*	48.0±0.1**	73.3±2.0*	98.8±2.6	−
Broccoli	FD	33.4±1.7	35.8±0.3	55.7±1.0	73.8±0.7	110.0±0.5
	AD	24.1±1.3*	27.9±1.1**	46.0±1.6**	66.3±2.2**	96.1±0.8**
Pea	FD	64.2±0.9	69.0±1.1	77.1±1.0	83.7±1.1	90.8±0.7
	AD	20.5±0.2**	22.1±0.4**	35.1±0.4**	48.5±0.5**	76.3±0.7**

n = 3
Each data value is represented as mean±SE
FD: freeze-drying; AD: air-drying (60℃)
: Significantly different from freeze-drying by Student's t test ($p<0.05$, **$p<0.01$)

ADブロッコリーでは茎部分で収縮が，ADサヤエンドウでは実全体で収縮がそれぞれみられた。したがって，パセリ以外の野菜では，FD品のほうがAD品よりも組織の収縮が抑えられていることが確認できた。またFig. 2より，いずれの野菜においても乾燥後に収縮していた部分は完全には元の形状に戻らず，逆にほとんど収縮していなかった部分は元の形状に近い状態へ復元した。以上の結果より，乾燥による組織の収縮は復元性に大きく影響すると考えられる。乾燥食品の復元性を左右する主な因子は，乾燥品の構造と水分を保持する成分（主としてタンパク質とデンプン）の乾燥中の変化の度合いである[19]。つまり，形状変化が抑えられるFDは，ADよりも復元性の優れた乾燥方法と言える。

一方，野菜の復元率は浸漬時間の経過にともなって高くなり，30分後の復元率を最大復元率とした（パセリの復元率は，10分後ほぼ一定に達したため，10分後の復元率を最大復元率とした）。FD品の最大復元率は，パプリカ，ホウレンソウ，パセリ，ブロッコリー，およびサヤエンドウでそれぞれ，43.5%，86.9%，96.7%，110.0%，90.8%であり，AD品の最大復元率は，それぞれ42.0%，81.5%，98.8%，96.1%，76.3%であった。浸漬30分間後でも収縮がみられたパプリカは，FD，ADともに最大復元率40%程度と他の野菜と比べて低い復元率であり，収縮が復元率に影響することが数値で示された。また，パプリカおよびパセリでは，FDとADの最大復元率に有意な差は認められなかったが，その他はいずれの浸漬時間においてもFDはADよりも高い復元率であることが示された。したがって，見た目の形状だけでなく，復元性においても，FDはADよりも優れた乾燥方法と言える。

加工食品は，組織の軟化，殺菌，および酵素失活などを目的にブランチングなどの加熱処理を行う。それぞれの加工方法に適した加熱処理を行うことで，本研究データよりも復元性の優れた乾燥品をつくることが可能である。今後は，加熱済み乾燥野菜の復元性についても検討する必要がある。

3．色調の変化と色差

乾燥野菜は通常復元させて使用するため，復元後の色調の変化が重要となる。そこで，乾燥野菜を生鮮品と同等の水分含量になるよう蒸留水を加えて試料を調製し，FD品，AD品それぞれと生鮮品の色調を比較した(Table 3)。

乾燥品は，生鮮品と比較してL^*値（明度）が小さくなり，a^*値はパプリカでマイナス（緑）方向，その他緑色野菜ではプラス（赤）方向へ変化する傾向が確認された。b^*値は，パプリカでプラス（黄）方向，その他緑色野菜ではマイナス（青）方向へ変化する傾向が確認された。また，5種類すべての野菜において，乾燥品と生鮮品の色差（ΔE^*_{ab}）は，FDのほうがADよりも小さいことが示された。したがって，FDはADと比較して色の変化の少ない乾燥方法であるといえる。

植物性食品の色は化学的に分類するとフラボノイド系，アントシアン系，カロテノイド系，および葉緑素（クロロフィル）に大別されており，野菜にはこれら種々の色素が含まれている[20]。これらのうち，カロテノイドと葉

Table 3　Color characteristics of various dried vegetables

Vegetable		Lightness	Chromaticity		ΔE^*_{ab}
		L^*	a^*	b^*	
Paprika	Paste of fresh sample	36.27±0.10	41.40±0.07	55.28±0.08	−
	Paste of FD sample	35.78±0.02	40.59±0.03	57.05±0.13	2.01
	Paste of AD sample	37.09±0.16	40.55±0.07	58.67±0.22	3.59
Spinach	Paste of fresh sample	19.24±0.31	−11.21±0.11	28.44±0.42	−
	Paste of FD sample	19.14±0.02	−11.45±0.09	25.67±0.03	2.78
	Paste of AD sample	17.53±0.03	−9.54±0.06	25.18±0.10	4.04
Parsley	Paste of fresh sample	16.84±0.17	−10.09±0.08	24.64±0.25	−
	Paste of FD sample	15.82±0.09	−7.73±0.04	22.78±0.12	3.17
	Paste of AD sample	14.92±0.06	−7.72±0.04	21.44±0.08	4.41
Broccoli	Paste of fresh sample	43.40±0.64	−18.89±0.07	41.87±0.11	−
	Paste of FD sample	43.80±0.19	−17.08±0.04	42.11±0.10	1.87
	Paste of AD sample	41.91±0.10	−11.60±0.00	40.21±0.08	7.55
Pea	Paste of fresh sample	45.94±0.48	−18.93±0.12	42.62±0.43	−
	Paste of FD sample	41.38±0.05	−16.95±0.01	38.49±0.15	6.47
	Paste of AD sample	43.17±0.35	−12.73±0.03	42.84±0.25	6.80

n = 3
Each data value is represented as mean±SE
FD: freeze-drying; AD: air-drying (60℃)

緑素は，光合成色素として植物中で非常に重要な役割を果たすとともに，野菜の鮮やかさを決める大きな因子の一つといえる。葉緑素は，緑色野菜中に存在する色素であり，加工時の加熱によりフェオフィチンに分解され，さらにフィトールとなり，緑～黄，褐緑～淡黄と色調は変化し，特有の緑色は消失してしまうように，比較的不安定な性質をもっている[21]。また，カロテノイドは，緑黄色野菜中にクロロフィルと共に含まれる黄～赤の色彩を与える色素であり，熱には比較的安定であるが，加工方法が適正でない場合には酸化して変色または退色する[20]。FDは低温で，かつ真空で乾燥できることから，葉緑素やカロテノイドのような熱や酸化に弱い成分の変化が少ないと考えられる。本研究では，FDは変色の少ない乾燥方法であると述べたが，前述のような有用な色素成分がどの程度残存しているかは不明である。乾燥野菜の変色がどのような色素成分に起因しているのかについては，各色素量を分析していく必要がある。一方，本研究は生鮮野菜を乾燥したが，緑色野菜の場合，食塩や重曹を加えて茹でることで加熱後も野菜の色をきれいに保つことができる[20]。また加熱処理は，酸化酵素，過酸化酵素，加水分解酵素などを失活させ，色，味，香り，ビタミンなどの変化を防止することができる[21]。このように，乾燥前に加熱を施すことで，さらに色の変化を抑えることができると推測される。

以上の結果より，FDの乾燥特性としてビタミンCの保存性，復元性，色の保存性につい報告することができた。しかしながら，加工食品の嗜好性には味，香りなどの要因も重要となる。今後は，乾燥食品の風味を決める味，香りについても検討する予定である。

要　約

FDは，真空中で食品の共晶点以下の温度に保持しながら乾燥（昇華乾燥）する方法であるため，他の乾燥方法に比べ色，味，香り，ビタミン類，形状などの変化が少ないとされている。しかしながら，FDにおける有用成分の変化を数値として示すデータはほとんどない。そこで，パプリカ，ホウレンソウ，パセリ，ブロッコリー，およびサヤエンドウをFDし，ビタミンC含量，復元性，色についてADと比較した結果，以下の知見が得られた。

① 5種類すべての野菜において，FDは，AD，RTよりもビタミンC残存率が高い傾向を示した。

② FDは，ADよりも収縮が少なく，80℃お湯浸漬での復元率が高い傾向を示した。

③ 色差計による比較により，FDは，ADと比較して色調の変化が少ないことが示された。

以上の結果より，FDは素材そのものを活かす加工方法であると考えられる。

文　献

1）木村　進：乾燥食品（光琳書院），pp.1～5（1966）

2）高薄一弘：凍結乾燥技術（技術情報協会），pp.3～5，179～181（2001）

3）尾谷　賢・内山智幸・山崎邦雄・清水條資・本田重司・山内順一・山岸　喬・姉帯正樹・金島弘恭：各種乾燥法によるアオジソの乾燥特性，北海道立工業試験場報告，**290**，81～91（1991）

4）尾谷　賢・内山智幸・山崎邦雄・清水條資・姉帯正樹・金島弘恭：各種乾燥法によるハッカの乾燥特性，北海道立工業試験場報告，**291**，141～148（1992）

5）折笠貴寛・柴田高志・根井大介・ロイ　ポリトッシュ・中村宣貴・椎名武夫・田川彰男：マイクロ波を利用した千切りダイコンの乾燥特性，食科工，**55**（7），350～354（2008）

6）原口健司・河村眞也・上野義栄：赤色化万願寺とうがらしの食品素材としての利活用法検索，京都府中小企業技術センター技報，**34**，44～49（2006）

7）香川芳子：五訂増補食品成分表2010本表編（女子栄養大学出版部），p.259（2009）

8）梅垣敬三・吉村美香・西牟田守・江指隆年：電気化学検出器を装着した高速液体クロマトグラフィーによる血漿ビタミンCの定量方法に関する検討，栄食誌，**52**，（2），107～111（1999）

9）八木昌平・枝川正樹・乙黒親男・原　宏佳・金子憲太郎：半乾燥キャベツの保存中における遊離アミノ酸，ビタミンCおよび一般細菌の変化，日食保蔵誌，**34**，（2），75～83（2008）

10）亀和田光男・林　弘通・土田　茂：乾燥食品の基礎と応用（幸書房），pp.67～68（1997）

11）上西浩史・相良泰行：食品凍結乾燥の基礎知識と実用技術への展開（1）食品分野における凍結乾燥技術の歴史と利用の動向，冷凍，**79**（922），624～630（2004）

12）佐橋佳一：生物化学（産業図書），pp.247～248（1957）

13）今堀和友・山川民夫：生化学辞典（東京化学同人），p.1132（1984）

14）山田未佳・三皷仁志・津崎ゆかり・三輪尚克・茶圓博人・山本格：糖転移ビタミンPの抗酸化作用と高脂血症マウスにおける酸化ストレス抑制効果，栄食誌，**56**，（6），355～363，（2003）

15）大羽和子・藤江歩巳：油脂を熱媒体とした野菜の加熱調理とビタミンC残存量，名古屋女子大学紀要，**50**，35～43（2004）

16）丹羽悠輝・森山三千江・大羽和子：真空調理に伴う植物性食品の抗酸化機能成分の変化，日調科誌，**40**（4），257～265（2007）

17）Tomoko, Y., Yuka, O., Mamiko, K., Takahiro, I., Yukio, I., Kazuki, K., Hitoshi, T. and Teruyoshi, M.: Changes in Radical-scavenging Activity of Vegetables during Different Thermal Cooking

Processes, *J. Cookery Sci. Jpn.*, **40** (3), 127～137 (2007)
18) 柴田圭子・安原安代・安田和人：陰膳法による女子大学生のビタミンB_6摂取量の検討（第II報）―食品のビタミンB_6保持率に及ぼす調理法の影響―，ビタミン，**74** (8)，423～433 (2000)
19) 辻　薦・上原陵一：食品工学（建帛社），pp. 300～301 (1981)
20) 山崎清子・島田キミエ：調理と理論（同文書院），pp. 358～374 (1983)
21) 中林敏郎・木村　進・加藤博通：食品の変色とその化学（光琳書院），pp. 116～192 (1967)

（平成22年10月 6 日受付，平成23年12月12日受理）