

食品包装の違いによる野菜の冷蔵保存時の ビタミンC含量の変化 —ホウレンソウ、ブロッコリー、キャベツにおける部位別 ビタミンC量—

加藤友紀¹⁾・臼井新²⁾・増田彩乃²⁾・村田花帆²⁾・三宅義明¹⁾

Change of vitamin C content in vegetables under cold- storage by differences of food packaging — Amount of vitamin C in each part of spinach, broccoli, and cabbage —

Yuki KATO, Shin USUI, Ayano MASUDA, Kaho MURATA
and Yoshiaki MIYAKE

野菜類の冷蔵保存時の包装の違いにより、ビタミンC（以下、VC）量がどのように変動するか検討した。試料はホウレンソウ、ブロッコリー、キャベツを用いた。保存条件は、包装しないもの（未包装条件）、ラップで包装したもの（ラップ条件）、ビニール袋にいれたもの（ビニール条件）の3条件とした。ホウレンソウでは、保存14日目大きくVC量が減少したが、ラップ条件で31.4%と最も多く残存した。ブロッコリーではビニール条件で82.9%と最も多く残存した。キャベツは14日ではどの条件もVCは減少しなかった。野菜の各部位では、二元配置分散分析により、保存日数の主効果および交互作用項（保存日数×保存条件）が有意であり、保存条件によってVCの変動に差があった。各野菜の部位ではホウレンソウの葉柄部、ブロッコリーの花蕾部ではラップ条件、ブロッコリーの茎部やキャベツの芯部ではビニール条件でVC含量が多く残存した。

Keywords : VC, ホウレンソウ, ブロッコリー, キャベツ, 食品包装
Vitamin C, Spinach, Broccoli, Cabbage, Food Packaging

1. 背景・目的

食物からの栄養摂取状況の把握には日本食品標準成分表¹⁾（文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会，2020）（以下、食品成分表）記載値が利用される。各食品の栄養成分値は概ね生か加熱調理後の値であるが、実際に食品は保存、下処理、調理加工を経て摂取されており、調理や保存工程では栄養素含量に変動が生じていることが考えられ、栄養素摂取量の評価に影響を及ぼしている。近年では家庭用調理機器の改良もあり、食品を大量購入し、下処理の後、保存や加工が各家庭で行われている。各家庭での下処理や保存方法では、食品に含まれる栄養成分がどのよ

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 健康栄養学科

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 健康栄養学科 2018年度生

うに変動するのかデータが少ない状況である。特にビタミン C（以下、VC）は様々な生理活性機能を有している（厚生労働省，2021）が、調理加工による損耗が大きいことがわかっている（小島ら，2017）。野菜類の保存は通常低温条件で行われるが、乾燥を防ぐためプラスチック包装材が利用されている。ラップフィルム（以下、ラップ）はポリ塩化ビニリデン製で透明性が高く柔軟な薄いフィルムで利便性が高く、熱耐性が高く、水分やガス透過性が低いのが特徴である。ビニール袋にはいろんな材質があるが、一番出回っているのはポリエチレン製で、安価でよく利用され、水分や酸素、二酸化炭素などガスを一定量透過させる（石谷，2005）。

本研究では、野菜の冷蔵保存時に家庭で利用される包装資材の違いにより VC 量がどのように変動するのか、変動は部位により違いがあるのか、VC 量の変動と食品の色彩など外観の変化との関連を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1. 試料

試料は名古屋市内のスーパーマーケットで購入した。ホウレンソウは2021年2月、ブロッコリーは同年5月、キャベツは同年6月に購入し実験に供した。

2.1.1. ホウレンソウ

ホウレンソウの可食部の VC 量の定量では、株によって差が無いように図 1a のように線から葉身部、葉柄部を同じ長さを切りとり、刻んだ後 2.5 g ずつ秤量し、5.0 g とした。部位別の VC 測定は、図 1a に示すように上部を葉身部、下部を葉柄部とし、それぞれ 5.0 g ずつ用いて VC 含量を測定した。

2.1.2. ブロッコリー

ブロッコリーの可食部の VC 量の定量では、一般的に食されることの多い小房（花蕾、花茎からなる）を測定することとした。VC の分析サンプルは部位割合で差が無いように花蕾と花茎から 2.5 g ずつ秤量して、合わせて 5.0 g とした。部位別の VC 測定は、花蕾、花茎、茎に分け、それぞれ 5.0 g ずつ秤量した。

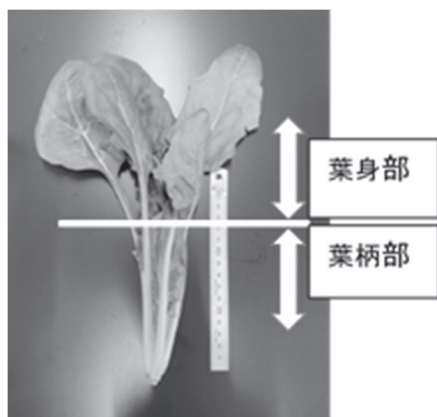


図 1a. ホウレンソウの部位



図 1b. キャベツのサンプリング方法

図 1. ホウレンソウおよびキャベツの部位別試料のサンプリング方法

2.1.3. キャベツ

キャベツの可食部のVC量の経時変化では、分析サンプルを均一な条件とするため國久ら(2012)の方法を参考(図1b)にし、芯を中心とし円周1cmずつカットしたものを刻んで均一にしたものを5.0gを用いた。部位別のVC測定は、外葉、結球葉、芯に分け、それぞれ5.0gずつ秤量した。

2.2. 包装資材および冷蔵保存条件

冷蔵保存は家庭での保存状態を想定して、何にも包まないそのままの状態の未包装条件、食品包装ラップフィルム(素材:ポリ塩化ビニリデン)に包んだ状態のラップ条件、ビニール袋(素材:ポリエチレン)に包んだ状態のビニール条件とした。家庭用冷蔵庫の冷蔵室上段(4°C以下)で保存し、可食部の冷蔵保存0日目(保存前)、1日目、2日目、1週間目、2週間に経時的に各測定を行った。

2.3. ビタミンCの定量

2.3.1. 分析試料の調製

野菜試料を5.0gずつを氷冷した5%メタリン酸水溶液20mLと共にブレンダーで均一化した後、遠心分離した(3,500rpm×10分間)。残った沈殿物に再度5%メタリン酸水溶液をおよそ20mL加え、ミキサーで1分間混合した後、上記条件で遠心分離を行い、上清を50mL容メスフラスコに合わせ、50mLにメスアップした。これを1.5mL容サンプルチューブに入れ遠心分離(4°C、15,000rpm×10分間)した後、上清を孔径0.45μmシリンジフィルター(セルロースアセテート)でろ過したものをHPLC分析試料とした。

VC定量は、5点検量線法($1 \times 10^{-4} \text{M} \sim 5 \times 10^{-3} \text{M}$)で行った。標準物質は、富士フィルム和光純薬製の試薬特級のL-(+)-アスコルビン酸を用いた。各濃度の標準液のピーク面積より検量線を作成し、試料溶液中に含まれるVCを定量した。野菜試料の冷蔵中の乾燥(脱水)を考慮して、冷蔵保存前の重量で補正し、試料100g中の還元型VC量(mg)を算出した。

2.3.2. 高速液体クロマトグラフィー(HPLC)分析条件

HPLC(Prominence:島津製作所製)を用いて定量分析を行った。図2にHPLCの分析条件と各試料のHPLCクロマトグラムを示した。VCは図2のHPLC条件において、検出波長260nmで保持時間6.3分付近にピークが検出された。分析試料および標準溶液をオートサンプラーにセットし、サンプル溶液を5μLずつ注入し、30分サイクルのグラジェント溶出プログラムにて分析を行った。

2.3.3. 色差の測定

試料表面の色は、カラーリーダー(CR-20;コニカミノルタ)を用いて測定し、 $L^*a^*b^*$ 表色系を各部位5回ずつ経時的に測定した。平均値より0日目を対照として色差値CIE ΔE_{2000} (ΔE_{00})(Sharma, *et al*, 2005)を算出した。

2.3.4. 可食部に含まれるビタミンC量の経時変化

ハウレンソウ1株、ブロッコリー1株、キャベツ1玉を各保存条件で保管し、冷蔵保存0日(保存前)、1日、2日、7日、14日に経時的に重量測定し、重量変化率を算出した。また同時点で可食部に含まれるVC定量を行った。

HPLC 分析条件

カラム: Shodex RSPak DE-413L (4.6 mmφ × 250 mm)

溶媒 A: 10 mM リン酸水溶液

溶媒 B: アセトニトリル

移動相勾配 (B 濃度): 2-25% (0-5 min), 25% (5-10 min),
25-50% (10-15 min), 50% (15-20 min),
2% (20.1-30 min)

流速: 1 mL/分

カラム温度: 40°C

検出波長: 260 nm

サンプル注入量: 5 μL

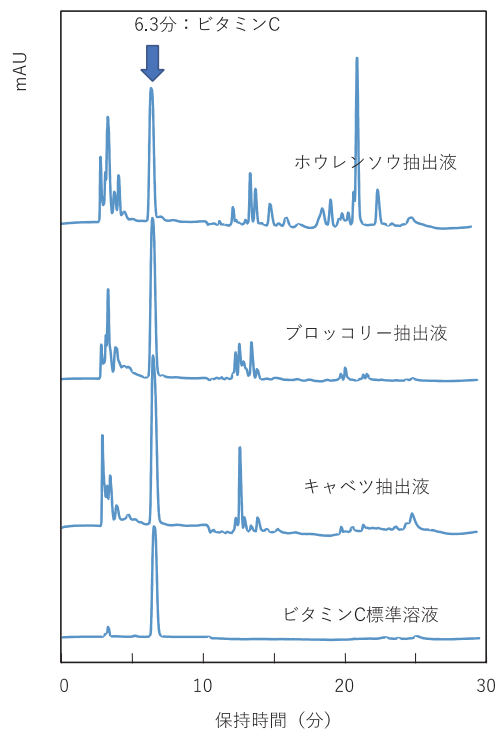


図2 HPLCの分析条件と各試料のHPLCクロマトグラム
(左図) HPLC分析条件 (右図) 各試料のHPLCクロマトグラム

2.3.5. 部位別のビタミンC含有量および残存率、保存期間の色差の変動

ホウレンソウ、ブロッコリー、キャベツの各部位を各保存条件で保管し、冷蔵保存0日（保存前）、1日、2日、7日、14日に経時的に色相を測定し、0日目を対照として色差を算出した。また、冷蔵保存0日と冷蔵保存14日のVC定量を行い、残存したVC量を比較した。

2.3.6. 統計解析

統計処理はIBM SPSS statistics version27 (IBM株式会社, Armonk, NY, USA)を使用した。保存日数5水準の比較には一元配置分散分析を用いた。多重比較は、BonferroniもしくはDunnnett（対照：0日目）検定を行った。部位による保存日数2水準と保存条件3水準の比較には二元配置分散分析を用いて検討した。すべて有意水準は5%とした。

3. 結果

3.1. 可食部に含まれるVC量の経時変化

各冷蔵保存条件での重量変化（減少）率を図3に示した。ホウレンソウは今回比較に用いた野菜の中で最も萎凋が著しく、未包装条件での14日目の重量変化率は12.9%、ラップ条件で82.4%、ビニール条件で61.3%であった。ブロッコリーでは73.5%、99.0%、98.9%、キャベツでは、89.6%、99.7%、99.5%であった。また、ブロッコリー、キャベツではほとんど萎凋は起こらず、ラップ条件およびビニール条件では同程度の重量変化率であり、双方とも98%以上の重量を保持していた。

各野菜の可食部に含まれるVC量と0日目からのVC残存率を表1に示した。保存日数によるVC量の変動は、一元配置分散分析を用いて検定し、事後検定にはDunnnett検定（対照：0日目）による多重比較を行った。

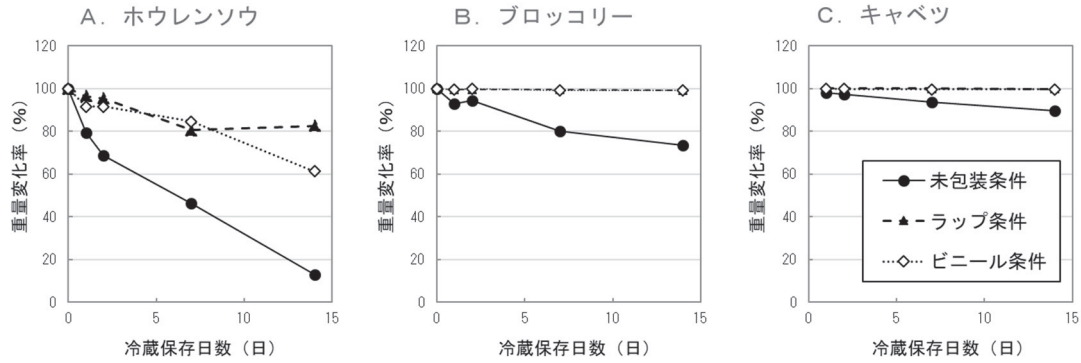


図3 冷蔵保存期間中の各野菜における保存条件別の重量変化率 (%) (左からA. ホウレンソウ、B. ブロccoli、C. キャベツの結果)

表1 保存条件による各野菜の可食部 100g 中に含まれる VC 量 (mg) と残存率の変化

		保存日数					p 値†
		0日	1日	2日	7日	14日	
ホウレンソウ	未包装条件	40.3 ± 0.12 (100.0)	27.1 ± 0.01* (67.3)	24.0 ± 0.06* (59.4)	31.6 ± 0.15* (78.2)	6.5 ± 0.84* (16.1)	<0.001
	ラップ条件	38.5 ± 0.21 (100.0)	25.2 ± 0.43* (65.4)	41.1 ± 0.20* (106.7)	31.2 ± 0.04* (81.0)	12.1 ± 0.13* (31.4)	<0.001
	ビニール条件	45.3 ± 0.69 (100.0)	33.4 ± 0.01* (73.7)	36.2 ± 0.15* (79.8)	23.9 ± 0.07* (52.8)	13.5 ± 0.40* (29.8)	<0.001
ブロッコリー	未包装条件	91.5 ± 2.44 (100.0)	97.1 ± 2.58* (106.1)	107.5 ± 0.20* (117.5)	77.2 ± 0.15* (84.4)	56.7 ± 0.61* (62.0)	<0.001
	ラップ条件	114.7 ± 0.48 (100.0)	110.7 ± 0.74 (96.6)	105.6 ± 2.85* (92.1)	91.9 ± 0.50* (80.1)	86.0 ± 2.29* (75.0)	<0.001
	ビニール条件	96.3 ± 0.38 (100.0)	108.7 ± 1.94* (112.9)	104.5 ± 0.47* (108.6)	96.4 ± 0.14 (100.1)	79.8 ± 0.16* (82.9)	<0.001
キャベツ	未包装条件	33.0 ± 0.03 (100.0)	37.9 ± 0.40 (114.8)	42.5 ± 1.79* (128.8)	43.1 ± 2.33* (130.5)	34.3 ± 0.42 (103.8)	0.010
	ラップ条件	34.2 ± 0.21 (100.0)	51.6 ± 1.90* (150.8)	42.7 ± 1.42* (124.7)	43.5 ± 2.03* (127.2)	39.5 ± 0.10* (115.6)	<0.001
	ビニール条件	35.7 ± 1.32 (100.0)	45.3 ± 0.53 (127.1)	42.5 ± 1.64 (119.3)	50.1 ± 9.36* (140.4)	36.9 ± 0.39 (103.4)	0.038

†; 一元配置分散分析、平均値±標準偏差 (n=3)

表中の「*」は Dunnett 検定の結果を示し、0日を対照として有意差あり。

() 内の数値は1日目を100としたときのVCの残存率 (%) を示した。

ホウレンソウのVC量は食品成分表によると食品100gあたり35mg(総VC量)と記載されている。本試料では還元VCのみの量であるが近似値であった。14日の冷蔵保存でラップ条件、ビニール条件ともに約30%の残存率であり、内部に水滴がついており、みずみずしさも保たれていた。未包装条件では、著しく萎凋し、VC量は16.1%まで減少した。どの条件も0日目に比して保存日

数の経過により VC 量は有意に減少した (Dunnett, $p < 0.05$)。

ブロッコリーの VC 量は食品成分表では 140mg/100g、本試料では 100 mg 前後であった。どの保存条件も 7 日目までは VC 残存率 80%以上を保っていたが、14 日目では各条件ともに 0 日目よりも VC 量は減少した。保存条件によって VC の残存率に違いが見られ、VC が最も多く残存したのはビニール条件で、ラップ条件、未包装条件と残存率は低値を示した。

食品成分表記載のキャベツの VC 量は 41mg/100g であり、本試料では 35 mg 前後であった。7 日の冷蔵保存ではどの保存条件においても VC 量は減少せず、Dunnett 検定において 0 日目と比べ有意に増加していた (Dunnett, $p < 0.05$)。ラップ条件では、冷蔵保存 14 日目でも 0 日目と比して有意に高値であった (Dunnett, $p < 0.05$)。

3.2. 部位別の VC 含有量と冷蔵保存での減少量

各野菜によって保存条件による VC の変動に違いがあったため、野菜の部位と保存条件によって VC 量の変動に差があるかを二元配置分散分析を用いて検討した。また、見た目の変化を捉えるため色相の測定を行った。表 2 に各野菜の部位別、保存条件別の 0 日、冷蔵保存 14 日の VC 量と二元配置分散分析の結果を示した。

ホウレンソウは、各保存条件の株で 0 日より VC 量が有意に異なっており ($p < 0.001$)、0 日の各条件の全ての検体数 9 で平均値±標準偏差を算出したところ、葉身部 58.8±6.35 mg、葉柄部 19.7±8.72mg であり、葉身部で VC 量が多かった。部位ごとに行った二元配置分散分析により、葉身部、葉柄部とも保存日数の主効果 (保存日数) と交互作用項 (保存日数×保存条件) が有意であり、保存条件によって VC の変動に有意差が認められた。両部位ともに冷蔵保存 14 日目では、どの条件においても VC 量は有意に減少し (全て $p < 0.001$)、未包装条件では他の 2 条件に比して、VC 量が有意に低値であった。葉柄部ではラップ条件で他条件よりも VC 量が有意に多かった。

ブロッコリーも株の個体差が大きく、0 日ですべての部位において保存条件間の VC 量に有意差があった (すべて $p < 0.001$) 検体数 9 の平均値±標準偏差は花蕾部 110.1±5.19mg、花茎部 96.2±7.04mg、茎部 52.4±6.48mg と花蕾部で VC 量が最も多く、次いで花茎部、茎部であった。花茎部のビニール保存を除いて、冷蔵保存 14 日で VC は有意に減少し、花蕾部では、未包装条件は他の条件に比して VC 量が有意に低く、残存率は 40.4%であった。花茎部では、冷蔵保存 14 日において保存条件間の VC 量に有意な差はなかった ($p = 0.061$)。茎部のビニール条件では、冷蔵保存 14 日において VC 量は有意に増加した ($p < 0.001$)。部位ごとに行った二元配置分散分析により、すべての部位で保存日数による VC 量の変動、および保存条件によって VC の変動の傾きに有意差が認められた。

キャベツの検体数 9 の平均値±標準偏差は、外葉部 65.1±9.83mg で VC 量が最も多く、次いで芯部 57.3±4.09mg、結球葉で 34.3±1.42mg あり、可食部よりも廃棄部で VC 量が多かった。外葉部では、14 日の冷蔵保存において、どの保存条件も VC 量は有意に増加した (全て $p < 0.001$)。結球葉では、ラップ条件のみ有意に VC 量は増加した ($p < 0.001$) が、未包装条件、ビニール条件では 14 日の冷蔵保存で VC 量に差はみられなかった。芯部では、未包装条件で VC 量が有意に減少 ($p = 0.002$) し、ラップ条件では有意差はなかった。ビニール条件では有意に VC 量は増加した ($p < 0.001$)。部位ごとに行った二元配置分散分析において、外葉部では保存日数×保存条件の交互作用が有意ではなかったが、他の部位では保存条件によって経時的な VC の変動の傾きに有意差が認められた。

図 4 に各野菜の部位別に VC の残存率 (14 日) を示した。図内の数値は VC の残存率 (%) を表す。ホウレンソウの葉柄部やブロッコリーの花蕾部、キャベツの結球葉などの組織が柔らかい

表2 各野菜の部位別の冷蔵保存条件の違いによる冷蔵保存0日と14日時点のVC含量 (mg/100g) の比較

野菜	部位	保存日数	保存条件			平均値±SD n=9	p 値 [†]
			未包装条件	ラップ条件	ビニール条件		
ホ ウ レ ン ソ ウ	葉身部	0日	53.4 ± 0.79 a	66.4 ± 3.77 b	56.4 ± 0.14 a	58.8 ± 6.35	<0.001
		14日	11.0 ± 0.98 a	17.4 ± 1.20 b	18.5 ± 2.85 b	15.6 ± 4.03	<0.001
		p 値 ^{††}	<0.001	<0.001	<0.001		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 [*]			
葉柄部	0日	0日	31.3 ± 0.02 a	13.9 ± 0.03 b	13.8 ± 0.03 b	19.7 ± 8.72	<0.001
		14日	6.1 ± 0.06 a	7.4 ± 0.38 b	4.9 ± 0.08 c	6.1 ± 1.10	<0.001
		p 値 ^{††}	<0.001	<0.001	<0.001		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 ^{***}			
花 蕾 部	0日	0日	116.3 ± 0.61 a	104.6 ± 1.45 b	109.4 ± 0.16 c	110.1 ± 5.19	<0.001
		14日	46.9 ± 0.49 a	85.7 ± 2.79 b	86.0 ± 0.06 b	72.9 ± 19.5	<0.001
		p 値 ^{††}	<0.001	<0.001	<0.001		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 ^{***}			
ブ ロ ッ コ リ ー	花茎部	0日	96.2 ± 0.31 a	104.4 ± 0.67 b	88.2 ± 0.29 c	96.2 ± 7.04	<0.001
		14日	51.4 ± 0.02	62.0 ± 13.5	75.1 ± 0.86	62.8 ± 13.2	0.061
		p 値 ^{††}	<0.001	<0.001	0.051		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 ^{**}			
茎部	0日	0日	49.4 ± 0.09 a	60.9 ± 0.11 b	46.9 ± 0.07 c	52.4 ± 6.48	<0.001
		14日	34.7 ± 0.13 a	54.8 ± 0.27 b	53.0 ± 1.63 b	47.5 ± 9.69	<0.001
		p 値 ^{††}	<0.001	<0.001	<0.001		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 ^{***}			
外葉部	0日	0日	76.3 ± 0.10 a	53.6 ± 0.07 b	65.5 ± 0.45 c	65.1 ± 9.83	<0.001
		14日	89.5 ± 0.10 a	64.9 ± 0.03 b	77.9 ± 1.54 c	77.5 ± 10.7	<0.001
		p 値 ^{††}	<0.001	<0.001	<0.001		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 not significant			
キ ャ ベ ツ	結球葉	0日	33.0 ± 0.13 a	34.2 ± 0.21 a	35.7 ± 1.32 b	34.3 ± 1.42	0.036
		14日	34.3 ± 0.23 a	39.5 ± 0.10 b	36.9 ± 0.39 c	36.9 ± 2.31	<0.001
		p 値 ^{††}	0.052	<0.001	0.060		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 ^{**}			
芯部	0日	0日	51.9 ± 0.21 a	60.0 ± 0.78 b	60.1 ± 0.18 b	57.3 ± 4.09	<0.001
		14日	48.1 ± 1.57 a	61.6 ± 0.17 b	70.2 ± 0.47 c	60.0 ± 9.70	<0.001
		p 値 ^{††}	0.002	0.072	<0.001		
		二元配置分散分析	保存日数 ^{***}	保存日数×保存条件 ^{***}			

平均値±標準偏差 (n=3)、*; p<0.05、**; p<0.01、***p<0.001

†; 保存条件の群間の1変量検定、††; 保存日数の群間比較検定

表内のアルファベットは多重比較 (Bonferroni 検定) の結果であり、異文字間で有意差あり。

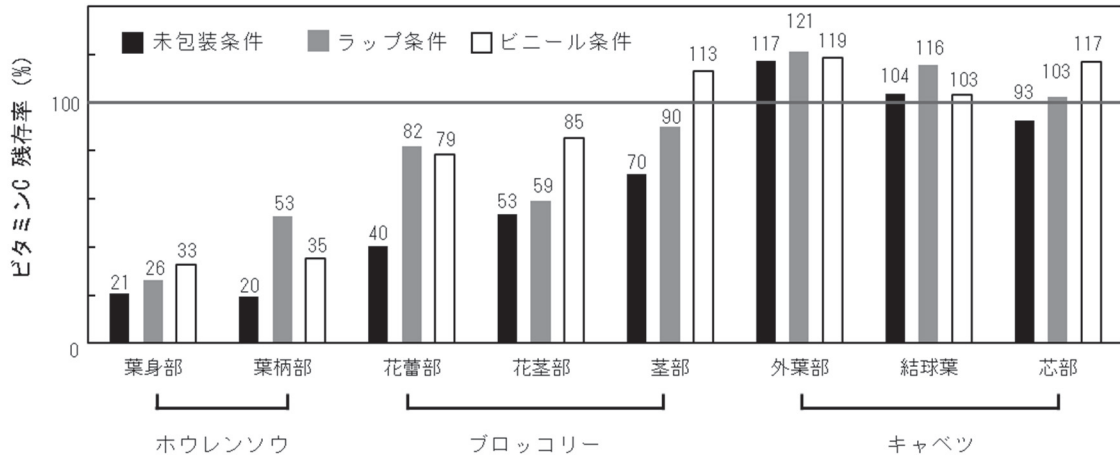


図4 野菜の各部位における冷蔵保存14日目のVCの残存率(%)

部位では、ラップ条件で残存率が高かった。一方、ブロッコリーの花茎部や茎部、キャベツの芯部など組織の硬い部分ではビニール条件でVCの残存率が高い傾向がみられた。

図5に冷蔵保存中の各野菜の部位の色の変化について色差 ($\Delta E00$ 値)の変動を示した。保存条件と色差あるいはVC量の変動との相関はみられなかった。ホウレンソウの葉身部を除いて低温にさらされることにより、保存1、2日で速やかに色の変化が生じ、 $\Delta E00$ 値の上昇がみられた。またホウレンソウの葉身部は乾燥が著しく、色の変化も経時的に変動した。ブロッコリーの花蕾部やキャベツの結球葉など色の変化が目にとまりやすい部位よりもブロッコリーの花茎部や茎部、キャベツの芯部などで $\Delta E00$ 値が大きくなり、明度 (L^*) と黄味度 (b^*) の上昇による影響が大きいことがうかがえた。キャベツの外葉部は色のむらが大きく測定箇所によって値がばらついていた。

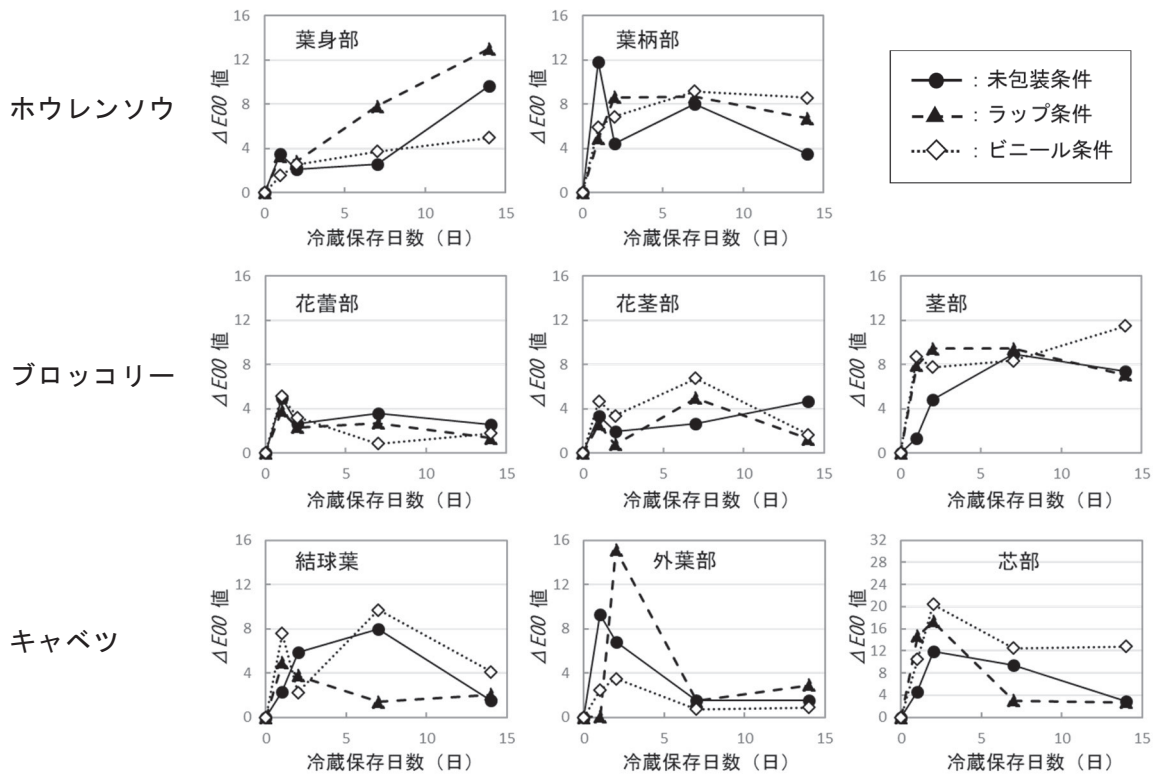


図5 野菜の各部位の冷蔵保存日数による色差(0日対照)の推移

4. 考察

ホウレンソウは、葉柄部より葉身部に8~9倍多いと報告されており（日阪, 1992）、本研究においても、葉身部に多く、葉柄部に少なかった（約2~4倍）。冷蔵保存期間が14日で、重量変化率が大きく、水分とともにVC量も有意に減少した。特に葉身部では減少率が大きく、重量は約1/4~1/3以下となった。植物は光合成によりミトコンドリアでVCを合成し、葉緑体へ運ばれる（Miyaji, *et al*, 2014）。ホウレンソウの萎れた葉では、細胞内の微細構造が傷つき、葉緑体の膜が破壊される（峰ら, 1992）ことより、本研究においても萎凋により、葉身部のVC量の減少が葉柄部より多くみられたと考える。見た目の劣化としては、未包装条件では著しく萎凋し、生野菜の域を脱していた。ラップ条件や、ビニール条件では、冷蔵保存14日でも葉の部分に水滴がついているなど、みずみずしさは保たれており、見た目の劣化は肉眼ではとらえられなかったが、VC量は有意に減少した。水上ら（2003）は、密閉包装により袋内の二酸化炭素濃度を高く、酸素濃度を低くするCA（controlled atmosphere）貯蔵におけるVC量の変動では、適切なガス条件下にホウレンソウを貯蔵することにより、VC量を高率に保持できたことを報告している。また、水上らは、25℃以下での貯蔵でもVC量は減少し、脂質の酸化、クロロフィルの分解が進み、黄化が進行すると報告している。本研究でも、葉身部の未包装条件においては黄化がみられたが、ラップやビニール袋で包装し保存した条件では、黄化はみられなかった。葉柄部では条件にかかわらず、明度（ L^* ）と黄味度（ b^* ）の上昇がみられ、 $\Delta E00$ 値が高値であった。

ブロッコリーでは、VC量は花蕾、花茎、茎の順で多かった。植物のVC生合成に関しては、光合成産物であるD-フルクトースをもとにD-マンノースとL-ガラクトースの誘導体を代謝中間体としてアスコルビン酸（ビタミンC）を合成するD-Man/L-GaL経路が主要経路である（石川, 2020）。そのため、光合成が活発な花蕾でVC量が最も多くなったと考えられる。重量の変化では、未包装条件で73.5%となり、水分の減少がみられたが、ラップやビニール袋で包装した条件ではほとんど水分は減少しなかった。これはブロッコリーが準乾燥地帯に起源しているため、乾燥耐性のため表面にワックス層があり、水分の蒸散を防ぐためと考えた。ブロッコリーのVCの残存率は、どの保存方法においても茎が最も高かった。黒須ら（2006）の報告では、調理加工より茎のVC量の変動が小さいこと、Munyaka, *et al*（2010）の報告では、アスコルビン酸オキシターゼ活性は、茎は花蕾の約7分の1であるとのことより、茎は繊維質で硬く、細胞が破壊されにくく、アスコルビン酸オキシターゼ活性も低いためVC量の減少が抑えられていると推測された。青果物の鮮度保持に利用される包装の効果はMA（Modified Atmosphere）効果による呼吸の抑制に起因するが、通気性の高い包装では、青果物の品質劣化が急速に進むと報告がある（興座ら, 1992）。本研究でも、未包装条件では、呼吸の抑制ができなかったため萎凋し、さらにVC酸量が減少し、花蕾では深緑色、花茎、茎では黄味が増え品質劣化が認められた。また、冷蔵保存14日では強い発酵臭の発生や腐敗は認められず、ガス障害は起こらなかったと考えられた。ラップ条件では、水分活性（非掲載データ）も高く、鮮度が保持できていたことより、VC量の残存率は最も高くなると考えたが、ビニール条件より低値であったことよりVC量は必ずしも通気性とは関与しないと考えられた。

キャベツでは、VC量は外葉部、芯部、結球葉の順で多かった。冷蔵保存7日ではどの保存条件でもVC量は有意に増加した。ラップ条件では14日間の冷蔵保存でも有意に増加した。結球葉、芯部でも測定値にばらつきがあったため、有意差は出なかったが減少はみられなかった。長島ら（1972）の報告でも、14日間の冷蔵、室温保存のキャベツではVCの残存率が、それぞれ93%、84%と報告があり、本研究の高いVC残存率と一致していた。また、大羽（1990）は、新鮮なキャベツのアスコルビン酸オキシターゼ活性は低く、千切りすることによりアスコルビン酸オキシダ

ーゼ活性の増加がみとめられたと報告している。本研究では1玉ごと冷蔵保存したため、アスコルビン酸オキシダーゼ活性が抑制され、14日間の冷蔵保存においてVC量が保持されたと考えた。さらに、VCだけでなくミネラルも結球葉よりも芯や外葉に多いことが報告されており（北村ら、2015）、廃棄部位とされている芯や外葉において、ミネラルやVCを効率よく摂取できることを見直し、有効利用することが望ましい。色差では、バラツキの大きい外葉部を除いて、結球葉と芯部で、ラップ条件において他の条件と比べ、彩度（ C^* ）と黄味度（ b^* ）の上昇が抑えられ、 $\Delta E00$ 値が低値であった。芯部では、0日目には白色が多く見られたが冷蔵保存14日には、オレンジや茶色のような色に変色しており、保存条件においても $\Delta E00$ 値の変動に差があることがわかった。キャベツの芯部にはポリフェノールオキシダーゼが結球葉や外葉の4.5倍多く含まれている（若山ら、2003）ため、キャベツの芯では、ポリフェノールオキシダーゼによる褐変反応が起きたと考えられる。また、保存方法によって抑制できる可能性が示唆された。

本研究の限界点は、家庭での保存を仮定したため、株や玉ごと試料に用いており、VC量の個体差が大きいことである。再現性の確認は必要であるが、冷蔵保存時の時間経過と保存条件には相互作用があり、水分が蒸発しやすい野菜のやわらかい組織では水分やガス透過性の低いラップ（ポリ塩化ビニリデン）包装が有利であり、組織が硬く蒸散が少ない組織ではビニール袋（ポリエチレン）での包装で食品の劣化や栄養成分の損失を少なくできる可能性があった。食品加工・保存手法を追求するための基礎データとして報告したい。

5. まとめ

本研究では、ホウレンソウ、ブロッコリー、キャベツを用いて、冷蔵（4℃）での保存条件における包装素材の違いによるVC量および色差の変動について調べた。

①各野菜の可食部に含まれるVC量の経時変化については、葉の柔らかいホウレンソウでは、未包装条件では水分が失われ、VC残存率も16.1%と大きく低下し、黄化も確認された。ブロッコリーとキャベツでは、未包装条件においてもVC残存率はそれぞれ62.0%、103.8%と保持された。ラップ条件、ビニール条件では水分の蒸発は抑制できた。

②野菜の部位別に冷蔵保存日数0日と14日時点の冷蔵保存条件の違いによるVC量を比較した。二元配置分散分析により、キャベツの外葉部を除いて、保存日数の主効果（保存日数）と相互作用項（保存日数×保存条件）が有意であり、保存条件によってVC量の変動に有意差が認められた。食品100gあたりのVC量は、ホウレンソウでは葉身部58.8mg、葉柄部19.7mg、ブロッコリーでは花蕾110.1mg、花茎96.6mg、茎52.4mg、の順で多く、2週間で有意に減少した。ブロッコリーの茎のビニール条件のみ14日に有意に増加した。キャベツは外葉部65.1mg、芯部57.3mg、結球葉34.3mgの順でVC量は多かった。芯部の未包装条件でのみVC量は減少したが、ラップやビニール条件ではVC量は有意増加した。

③色差においては冷蔵保存条件やVC量の変動との相関はみられなかった。

冷蔵庫内での乾燥を防ぎ、食品の呼吸の抑制をする事によって、見た目の劣化を防ぎ、VC量をより多く保持できる可能性が示唆された。

付記

本研究は愛知淑徳大学研究助成（課題番号：20KD04）の助成を受け実施した。この報告に関連して、開示すべきCOI状態にある企業等はありません。

引用文献

- 石川孝博 (2020) 植物のアスコルビン酸生合成研究の現状, *ビタミン*, 94 (8), 438-442.
- 石谷孝佑 (2005) 機能性食品包装材料, シーエムシー出版, 東京, 75.
- 伊藤貞嘉・佐々木敏 (2020) 日本人の食事摂取基準 (2020年版), 第一出版, 東京, 244-248, 265.
- 大羽和子 (1990) 野菜の切断・放置、生食調理に伴うビタミンC量およびアスコルビン酸オキシダーゼ活性の変化, *日本家政学会誌*, 41 (8), 715-721.
- 北村八祥・松田智子・原正之・矢野竹男 (2015) コメ、キャベツ、タマネギおよびニンジンにおける部位別のミネラル含量, *日本土壌肥料学雑誌*, 86 (2), 114-119.
- 國久美由紀・徳田進一・村上健二・浦上敦子・相澤証子・中野有加・岡田邦彦・東尾久雄 (2012) キャベツの品質比較試験におけるサンプリング方法、および化成・有機質肥料連用試験での応用, *日本食品保蔵科学会誌*, 38 (4), 201-210.
- 黒須泰行・藤澤美智恵・小川昭二郎 (2006) ブロッコリー中の部位別ビタミンC含量の分析, *生活工学研究*, 8 (1), 84-89.
- 厚生労働省 (2021) 厚生労働省『「統合医療」に係る 情報発信等推進事業』, <https://www.ejim.ncgg.go.jp/pro/overseas/c03/16.html> (閲覧日2022年1月24日)
- 小島彩子・尾関彩・中西朋子 他4名 (2017) 食品中ビタミンの調理損耗に関するレビュー (その2) (ナイアシン, パントテン酸, ビオチン, 葉酸, ビタミンC), *Vitamins (Japan)*, 91 (2), 87-112.
- Sharma, G., Wu, W. & Dalal, E. N. (2005). The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research and Application*, 30 (1), 21-30.
- 長島和子・富樫恵子 (1972) 野菜の貯蔵中におけるビタミンCの変化、千葉大学教育学部研究紀要、21、147-153.
- 日坂弘之 (1992) 葉菜類の貯蔵温度と品質に関する研究, *千葉県農業試験場特別報告*, 20, 3-42.
- 水上祐造・斎藤高弘・志賀徹 (2003) 貯蔵ホウレンソウのアスコルビン酸関連酵素活性, *日本食品工学会誌*, 1, 1-6.
- 峰弘子・増原加津美・田村咲江 (1992) ホウレンソウの貯蔵による葉緑体の微細構造変化, *日本家政学会誌*, 43, 23-29.
- Miyaji, T., Kuromori, T., Takeuchi, Y., Yamaji, N., Yokosho, K., Shimazawa, A., Sugimoto, E., Omote, H., Ma, J. F., Shinozaki, K. & Moriyama, Y. (2005). AtPHT4;4 is a chloroplast-localized ascorbate transporter in Arabidopsis., *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms6928
- Munyaka, A. W., Makule, E. E., Oey, I., Van Loey, A. & Hendrickx, M. (2010) Thermal stability of L-ascorbic acid and ascorbic acid oxidase in broccoli (*Brassica oleracea var. italica*). *J. Food Sci.*, 75 (4), C336-340.
- 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会 (2021) 日本食品標準成分表2020年版 (八訂), 蔦友印刷, 東京.
- 興座宏一・大田英明・野方洋一・石谷孝佑 (1992) 常温貯蔵中におけるブロッコリー品質に及ぼす包装資材の影響, *日本食品工業学会誌*, 39 (9), 800-805.

(2023年 2月10日 受付)
(2023年 2月15日 受理)