

ビタミン C 簡易測定法を野菜に適用するための方法

中村 泰彦・田島 真理子・長石 啓子

(1995年10月16日 受理)

Procedures for Applying a Convenient Method of Measuring Vitamin C to Vegetables

Yasuhiko NAKAMURA, Mariko TAJIMA and Keiko NAGAISHI

はじめに

著者らは、小学校家庭科で扱う果物や野菜中の還元型ビタミン C の含有量を小学校 5, 6 年の児童に測定させるための簡便な方法を、その実用性を中心に検討し、報告した^{1), 2)}。この方法は用いる器具や操作の簡単さ、測定の精度などから、小学校の食物の授業に取り入れるのに適していると考えられたが、野菜類では抽出にメタリン酸を使わないと正しい結果が得られないことも判明した。食物の授業の中で行う実験は通常、家庭科実習室（調理実習室）で行われることが多いので、化学薬品の使用はできるだけ避ける方が望ましい。インドフェノール色素はやむを得ないとして、メタリン酸は使用しないで済む方がよい。

中学校や高等学校などさらに進んだ食物の授業では調理操作による栄養素の損失の問題も教えるべき重要な課題のひとつである。ちなみに、高校の家庭科関係の教科書でビタミン C の検出や調理による損失を実験や実験データとして取り上げているものは少なくない^{3)~6)}。実験によって、損失の程度を把握させたいときには、用いる測定方法にある程度の定量性が求められてくる。中学校や高等学校では理科の実験で化学用の実験器具の使用も多少は経験していることがあるが、ガラス製のビュレットやホールピペットの使用は器具に見合った正しい使い方をさせるためにも、また破損等による危険防止のためにも指導者の十分細かな注意と指導の下になされる必要があり、実験補助者の得られない家庭科の現状では無理があろう。安全で簡便な器具を使い、より高い定量性を望むときには器具の補正や濃度の調整で対応するというやり方の方が現実的であると思われる。

このような観点から、器具としてプラスチック製のスポイト、簡易ピペット、計量カップ等を、試薬としてインドフェノール色素のみを使用し、野菜の還元型ビタミン C をできるだけ定量的に測定できる方法を見つけることを目的に本研究を行った。

なお、インドフェノール色素の消費量から求められるビタミンC量は還元型ビタミンCの量であるが、野菜中の酸化型ビタミンCの量は例外的なものを除けば一般に多くはないので、ここでは還元型ビタミンCだけを測定対象として考えた。また、本研究の目的は試料中のビタミンC量を厳密な正確さで求めることにあるのではなくて、還元型ビタミンCの大まかな量を簡単な器具と操作および短い時間内で測定する方法を捜し、学校現場での実践を通して食物教育の効果を高めることにあるので、実験条件下でインドフェノール色素を還元するものを「還元型ビタミンC」とした。

実験方法

1. 器具

インドフェノール色素溶液（以下色素液と略す）滴下用として、市販のポリエチレン製の2ml容スポイトを用いた。他の器具は本実験ではガラス製品を使用した。家庭科実習室での測定を前提とした試行実験では試験管と加熱用ビーカーを除きプラスチック製品を使用した。ろ過はNo.2のろ紙を用い自然ろ過で行ったが、多量のろ液を短時間に得る必要があるときは、吸引ろ過装置を利用した。

2. 材料および試薬

野菜は市内のスーパーマーケットで購入しその日のうちに実験に供した。やむを得ず翌日使用するときはポリエチレンの袋に入れて冷蔵庫に保存した。食酢は市販のびん詰め製品を購入して用いた。試薬の2,6-ジクロロフェノールインドフェノールナトリウム（インドフェノール色素）と酸類は特級品を使用した。

3. 還元型ビタミンCの測定

前報¹⁾に従ってサンプリングした野菜10gをすり鉢に取り、蒸留水10mlを加えて十分にすりつぶした後、蒸留水30mlを追加して均一になるように混和し、ろ過した。ろ液5mlをピペットで試験管に取り、0.2%の色素液をスポイトで滴下し、色が消えなくなるまでに要した色素液の滴数を記録した。酸・食酢の添加や加熱の場合も、磨砕またはろ過以降の操作は同様にした。

各種の酸溶液または食酢の還元型ビタミンCに対する分解防止効果を調べる実験では、最初に加える蒸留水10mlのかわりに目指す最終濃度の2倍の濃度の酸または食酢10mlを加え、後で加える蒸留水30mlのかわりに最終濃度の酸または食酢30mlを加えた。希釈しない食酢で直接抽出するときは、どちらも食酢原液を加えた。

加熱の影響を見る実験では、蒸留水40mlを沸騰状態にしたものの中に10gの野菜を入れ、3分間煮沸した。ただちに流水中で冷やした後、蒸発した水分を補い、すり鉢に移してすりつぶした。

還元型ビタミン C の添加試験は、野菜を生のみで水で磨碎・抽出して30分後にそのろ液 5 ml に色素液を滴下して滴下数を求め、同時にろ液 5 ml に100mg%の L-アスコルビン酸溶液 1 ml を加えたものを必要数用意してこの混合液に経時的に色素液を滴下して滴下数を記録した。L-アスコルビン酸溶液添加後所定の時間の滴下数を、L-アスコルビン酸溶液 1 ml に対する滴下数と磨碎後 30 分のろ液 5 ml に対する滴下数との合計から差し引き、添加後所定時間における L-アスコルビン酸の残存率を算出した。加熱処理後の添加は、磨碎後30分の抽出液 5 ml を試験管に取り、これを沸騰湯浴中で5分間加熱した後流水中で冷やし、L-アスコルビン酸溶液を加えた。

結果と考察

1. 食酢での抽出による還元型ビタミン C の分解防止

パセリ、ピーマン、ブロッコリー、キャベツなどの野菜では水で磨碎・抽出した場合には、還元型ビタミン C 測定の方法となっているインドフェノール滴定法⁷⁾で測定した場合よりはるかに低い値しか得られない¹⁾ので、これが時間経過による還元型ビタミン C の分解によるものか

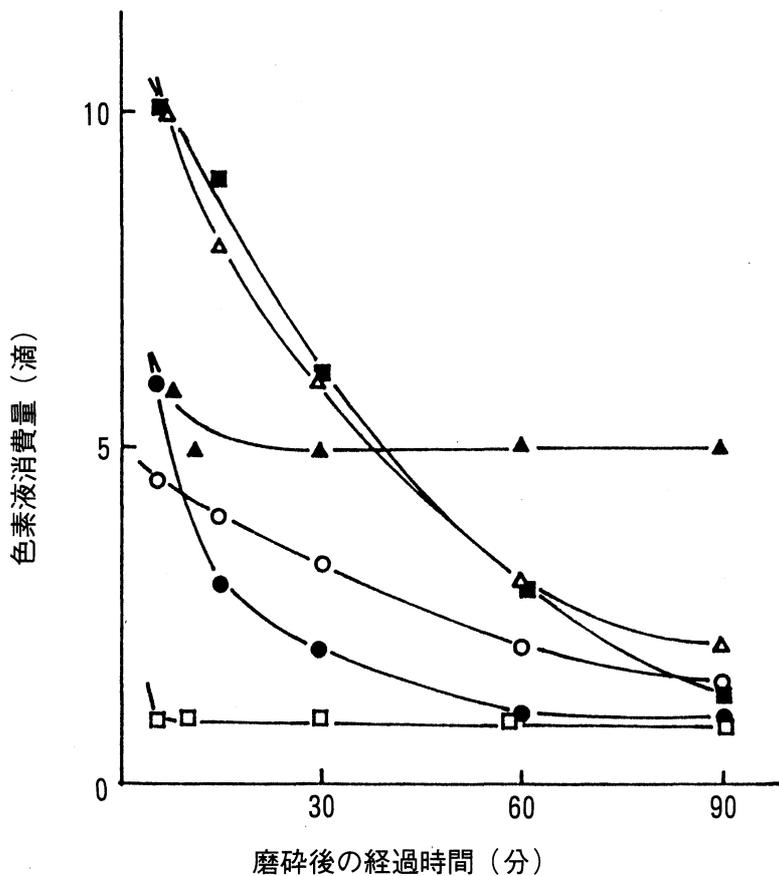


図1 水抽出液中の還元型ビタミンCの経時変化

○：キャベツ、●：ほうれんそう、□：ブロッコリー
 ■：ピーマン、△：にがうり、▲：れんこん

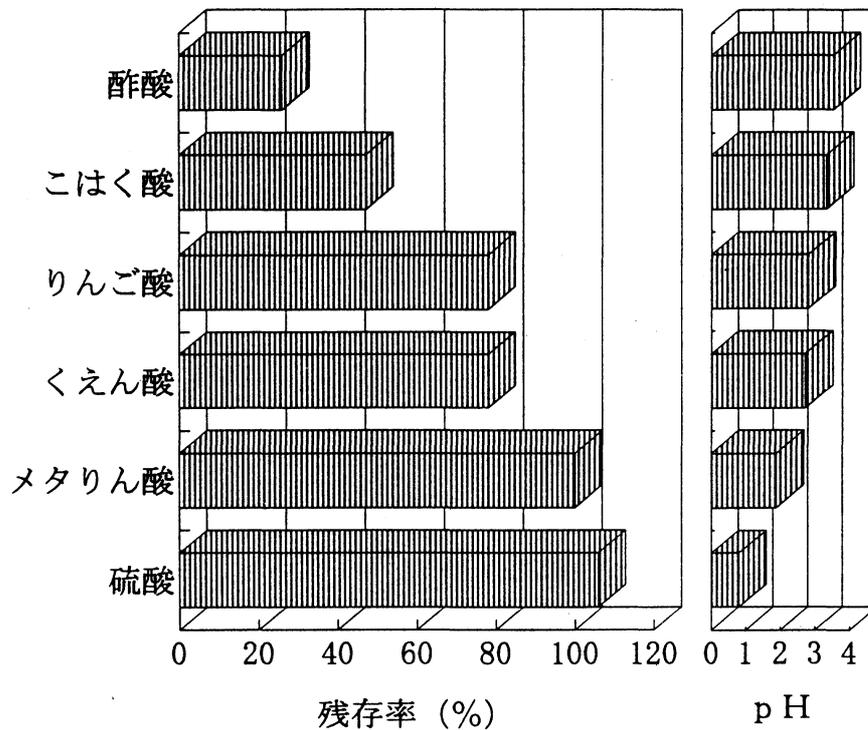


図2 ブロッコリーからの抽出に対する酸の還元型ビタミンC分解防止効果

どうかを確かめるために、磨砕液をろ過したろ液の還元型ビタミンC含有量を経時的に測定した。結果は図1に示したように、いずれも時間とともに色素液消費量が急激に減少し、磨砕開始後10分で、ブロッコリーではメタリン酸で抽出したときの10%以下に、ほうれんそうでは50%以下にまで減少することが示された。ピーマン、にがうり、キャベツ、れんこんでもかなりの減少が認められた。ビタミンCは酸性では比較的安定であることが分かっており、試料からビタミンCを抽出するときには通常、終濃度2%のメタリン酸が使用される。そこで、pHの異なる2%の酸の存在下で抽出を行い、pHと還元型ビタミンCの減少との関係について調べた。結果は図2に示したように、磨砕後30分の還元型ビタミンCの残存率は用いた酸の種類にかかわらず、ほぼ液のpHの上昇に依存して減少した。硫酸はメタリン酸より高い値となったが、pHが1以下と低いため、糖の分解によるレダクトン類の生成が原因となっているのではないかと推定される。食酢の酸度は一般に4~5%で、図2で用いた酸の2倍ほどの酸濃度であり、主成分は酢酸あるいはくえん酸である。そこで化学薬品の酸のかわりに食酢の原液または希釈液を用いて抽出した。結果は図3~5に示した。キャベツでは食酢を希釈せずに使用した場合には磨砕後30分でもりんご酢、かき酢、梅酢ではほぼ100%の残存率を維持させることができた。しかし、パセリでは食酢を原液のまま使用しても30分後には還元型ビタミンCの残存率は60%前後にまで減少し、ブロッコリーでは同じ条件下で50~70%近くまで低下した。食酢原液を加えて抽出したときの抽出液、すなわち食酢に関して

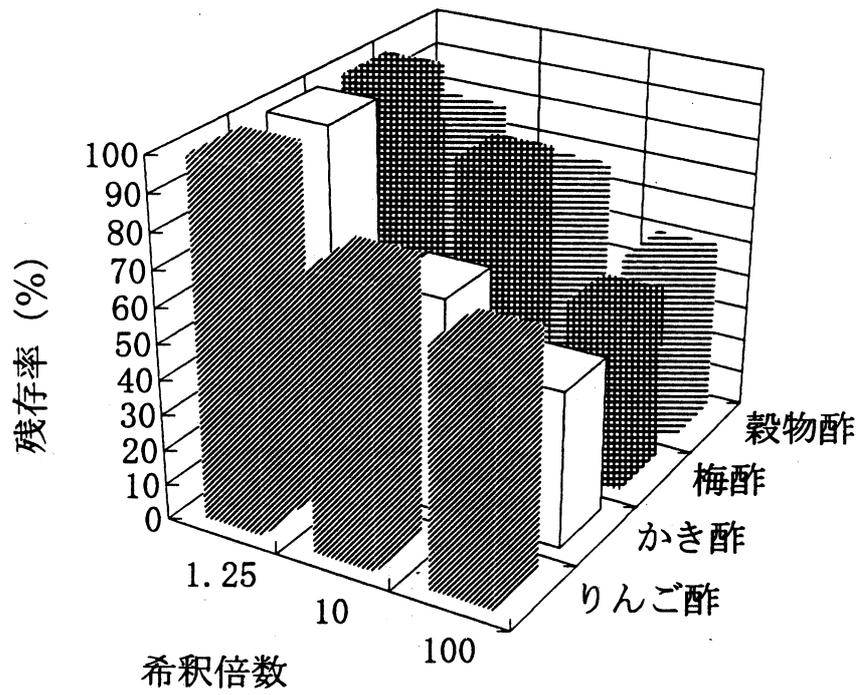


図3 キャベツに対する食酢の還元型ビタミン C 分解防止効果

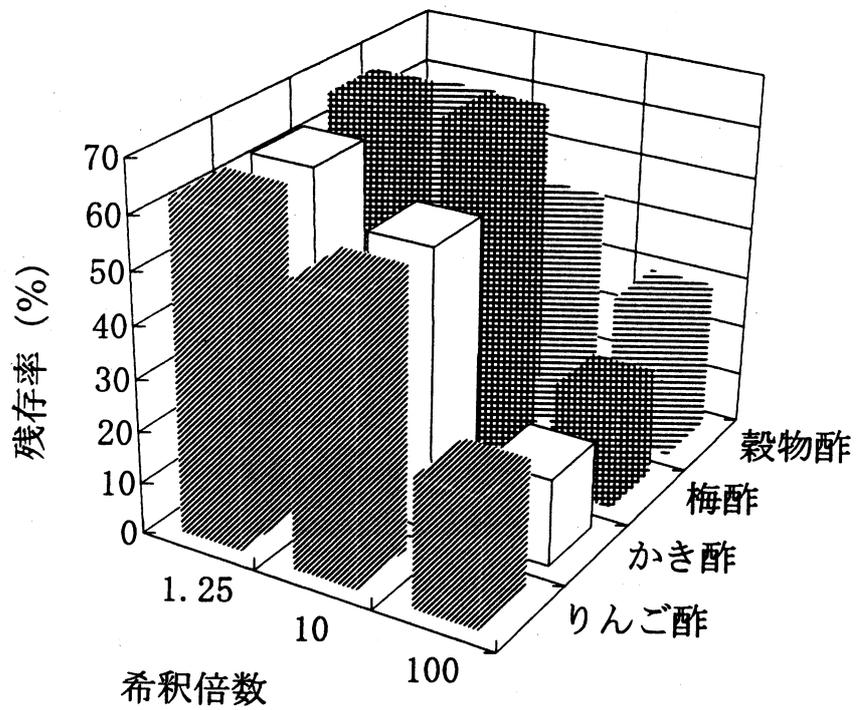


図4 パセリに対する食酢の還元型ビタミン C 分解防止効果

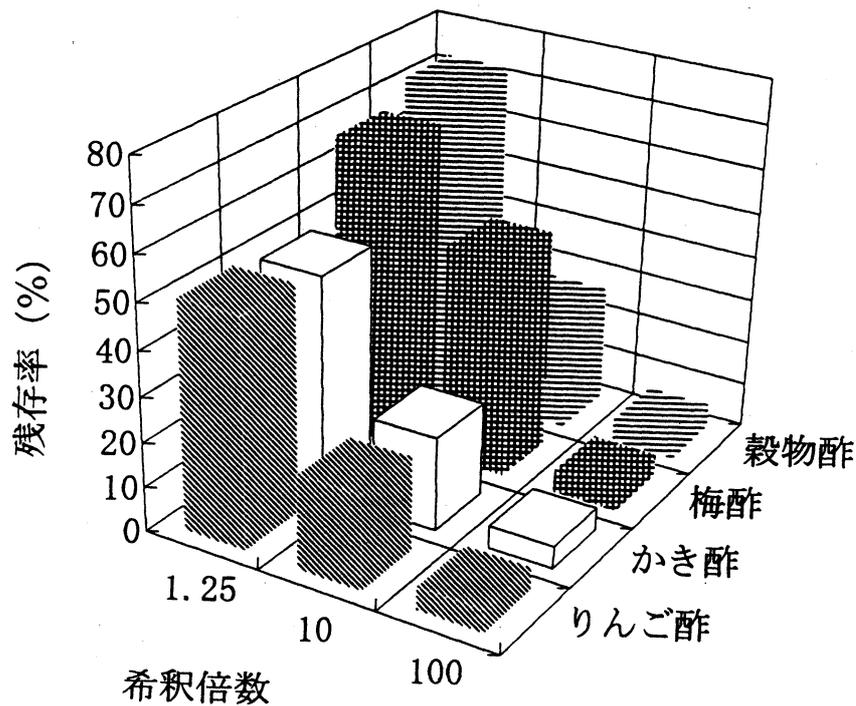


図5 ブロッコリーに対する食酢の還元型ビタミンC分解防止効果

1.25倍希釈状態の抽出液のpHは2~3であった。ブロッコリーの2%酸抽出液(図2)でpHがこれに近いものはくえん酸、りんご酸、こはく酸であるが、これらの酸で抽出したときの還元型ビタミンCの残存率は45~75%で、食酢原液で抽出したときとほぼ同程度の残存率であった。これらのことから、食酢の還元型ビタミンC分解抑制作用はその低いpHによるものと推定される。なお、食酢原液の色素液消費量は1滴以下であったので、食酢から持ち込まれるかもしれないインドフェノール色素還元性の物質の影響は考えられない。

図3~5の結果は、野菜に含まれている還元型ビタミンC量を正確に測定しようとするときには食酢での抽出あるいは抽出時の食酢の添加だけでは十分ではないことを示している。しかし、蒸留水で抽出したときのブロッコリー、キャベツの30分後の還元型ビタミンCの残存量(図1)と比べると、食酢で抽出したときのそれらの30分後の残存量ははるかに多く、食酢の使用が還元型ビタミンCの損失を防ぐのに効果があることが分かる。したがって、抽出時の分解を完全に阻止するための方法としては使えないが、調理における食酢使用の意義を考える教材として用いることは十分に可能である。

酢酸発酵により製造された食酢は主成分の酢酸が揮発性であるため、原液のまま児童や生徒が使用する際には顔を近づけて過ぎてむせないように注意する必要があるが、梅酢であればそのような心配はない。しそを使っていない梅酢が入手できるときは、それを使用するのが望ましい。

2. 短時間加熱処理による還元型ビタミン C の分解防止

野菜磨砕液において観察される色素液消費量の経時的減少がアスコルビン酸オキシダーゼ等の酸化酵素の作用の結果だとすると、野菜を磨砕する前に短時間の加熱処理をすることによって磨砕による野菜の色素液消費量の減少を阻止できるはずである。換言すれば、磨砕抽出液中の還元型ビタミン C が無くなった後でも、外部から添加した還元型ビタミン C のその後の消長は、磨砕抽出液を加熱するかしないかによって大きく変わるであろう。そこで磨砕液で色素液消費量の減少が著しかったブロッコリー、パセリ、ほうれんそう、ピーマンについて、その磨砕液のろ液を沸騰水中で 5 分間加熱した後、濃度既知の L-アスコルビン酸溶液を添加して色素液の消費量を経時的に測定し、加熱処理しない場合と比較した。結果は図 6 に示したように、加熱することによって 60 分後でもキャベツ、パセリでは 95% 以上の、またブロッコリー、ほうれんそうでは 90% 以上の還元型ビタミン C が残存した。加熱しない場合は、野菜中にもともとある還元型ビタミン C の経時変化と同じように、添加した L-アスコルビン酸についてもブロッコリー、パセリでは顕著に、ほうれんそう、キャベツではそれより緩やかに、色素液消費量は減少した。

野菜を 3 分間加熱して冷却後、煮汁と共に水で磨砕・抽出したときの色素液の消費量を図 7 に示した。短時間加熱処理することによって、パセリ、ブロッコリー、キャベツ、にがうりの色素液消

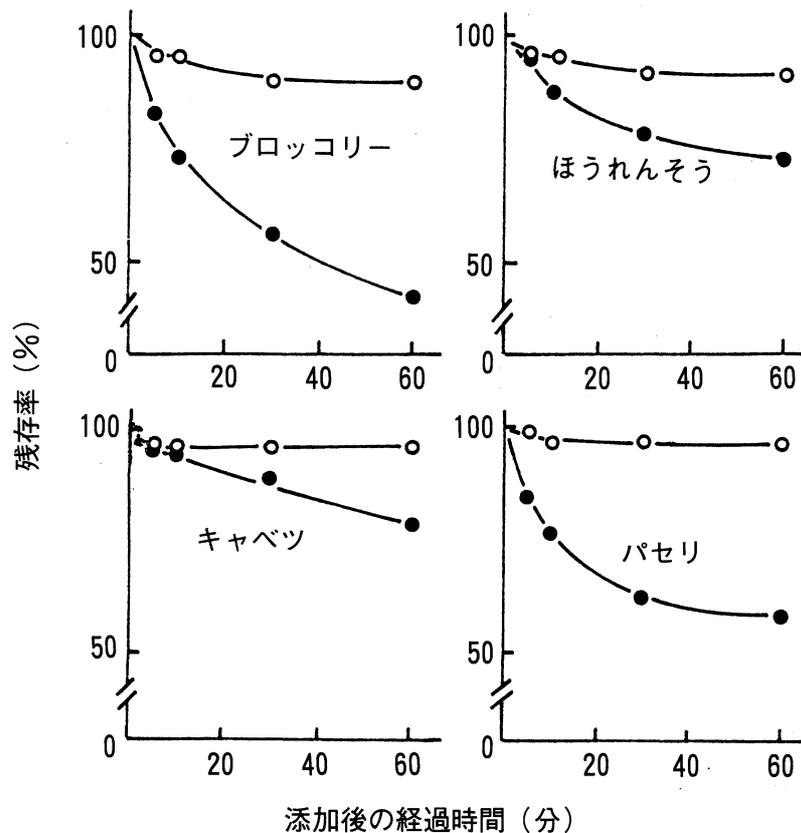


図 6 水抽出液に添加した L-アスコルビン酸の変化

○：加熱，●：非加熱

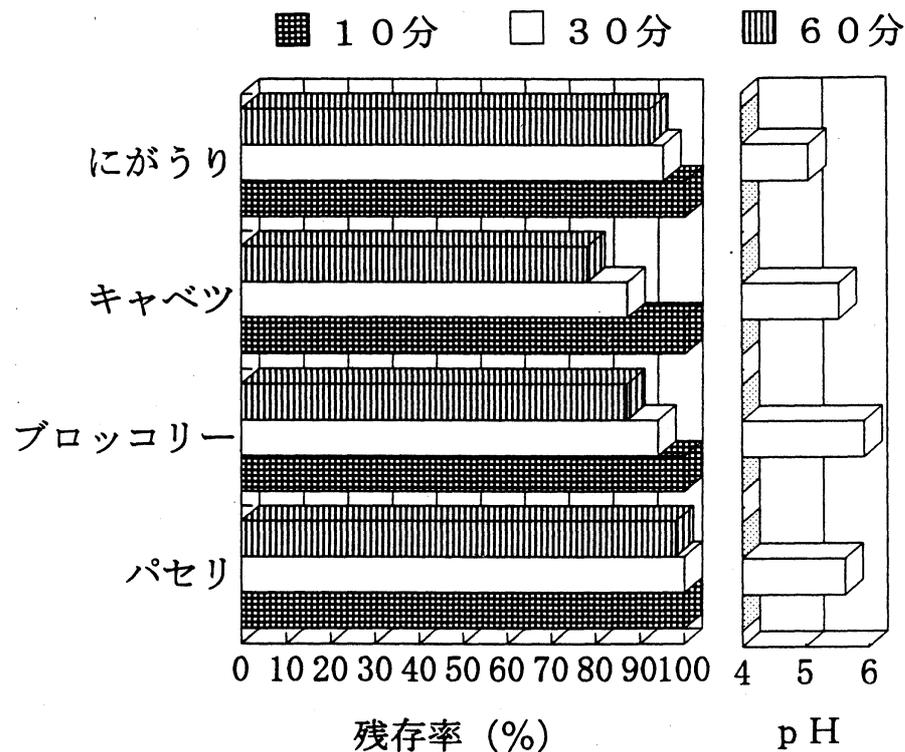


図7 短時間加熱処理による還元型ビタミンCの分解防止

費量は30分後でもメタリン酸で抽出したときの85%以上の高い値となった。磨砕後10分ではメタリン酸抽出とまったく変わりなく、抽出操作を速やかにやれば、磨砕前の短時間加熱処理によって野菜の還元型ビタミンCを損失させることなく測定できることが確かめられた。磨砕から色素液滴下までの操作を10分以内に終わらせることは児童・生徒には無理であるかもしれないが、操作をゆっくり行っても磨砕し始めてから30分あれば色素液滴下まで持つていくことは難しいことではない。30分後の測定値のメタリン酸抽出に対する割合、85%以上、はこの方法の測定精度からいっても十分実用に耐える値である。

ビタミンCは熱に弱いと言われてきたが、それが厳密な意味では正しくないことはすでに指摘されている。本実験結果は、限られた種類の野菜についてはあるが、短時間の加熱によっては還元型ビタミンCは減少しないことを示しており、上の指摘を支持するものである。加熱によって壊れるという現象は、加熱が酵素を失活させるのに十分でないときには起こるのであろう。実際に野菜を加熱調理する場面では、いろいろな原因で野菜の内部の温度が酵素を失活させるまでに上昇していないということがあり、そのようなときには酵素作用は加熱しないときより促進される。還元型ビタミンC測定の際の前処理として加熱を行うときには、野菜の内部の温度を短時間内に十分に上昇させるために、あらかじめ沸騰させておいた水に野菜を投入する、野菜に対する水の量を多くする、大きな塊の形状のものは小さくして入れるなどの注意が必要である。また、酵素の関与が大

きくない野菜における磨砕後の還元型ビタミン C の減少は当然、加熱前処理によっては抑制されないことにも留意しなければならない。

要 約

インドフェノール色素を用いて、野菜中の還元型ビタミン C 量を簡単に測定するための方法について検討し、以下の結果を得た。

1) 野菜を水で磨砕・抽出すると、抽出液の還元型ビタミン C 量は時間と共に減少した。磨砕10分後にはブロッコリーでは10%以下に、ほうれんそうでは50%以下に低下した。減少はにがうり、ピーマン、キャベツ、れんこんでも観察された。

2) 野菜を市販の食酢で磨砕・抽出すると、還元型ビタミン C の減少はいくらか抑制された。各種の酸溶液での磨砕・抽出との比較から、食酢の還元型ビタミン C 分解抑制作用はその低い pH によるものと判断された。

3) 野菜を磨砕する前に短時間加熱することで、磨砕後10分間の還元型ビタミン C の減少は完全に抑制することができた。未加熱抽出液への L-アスコルビン酸添加試験から、観察された還元型ビタミン C の減少は酵素の作用によるものと推定された。

4) ビタミン C 簡易測定法を野菜に適用する際には、沸騰水中で野菜を3分間加熱してから磨砕すれば、実用的正確さで還元型ビタミン C の量を測定できることが分かった。

文 献

- 1) 中村泰彦, 田島真理子, 長石啓子: 小学校家庭科向きのビタミン C 簡易測定法の精度と適用性, 鹿児島大学教育学部研究紀要教育科学編, 47, 95-103 (1996)
- 2) 中村泰彦, 林涼子, 上床直美, 上村近子: 小学校家庭科の授業におけるビタミン C 測定実験の実践研究, 鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要, 5, 137-142 (1995)
- 3) 小池五郎, 仙波千代ほか: 新版食物, 教育図書, 112-113 (1992)
- 4) 福場博保ほか: 食物, 実教出版, 127 (1994)
- 5) 岩崎芳枝ほか: 新版家庭一般改訂版, 実教出版, 58 (1990)
- 6) 大日向雅美, 木村静枝, 渋川祥子, 庄司洋子, 貴田康乃, 内藤道子, 松村祥子: 生活一般, 学習研究社, 143 (1993)
- 7) 林淳三, 印南敏, 菅原龍幸 (編): 改定食品分析ハンドブック, 建帛社, 335-336 (1982)