

〈原著論文〉

葉酸たまご，アスパラガス，ほうれん草の葉酸含有量に及ぼす加熱調理操作の影響

Thermal cooking and effects on folic acid content :
A study of folic acid-enriched egg, asparagus and spinach

村上 恵 橋本 幸江* 小鳥 愛*
(Megumi MURAKAMI) (Sachie HASHIMOTO) (Ai KOTORI)

岡本 千加* 栗林 由樹** 澤田 奈津希**
(Chika OKAMOTO) (Yuki KURIBAYASHI) (Natsuki SAWADA)

Abstract : In this study, we investigated the change in folic acid contents in foods during thermal cooking. The results showed that the folic acid content of boiled beaten eggs was significantly lower than that of raw, boiled, and pan-fry eggs. The folic acid contents of boiled asparagus and spinach was also significantly reduced. In spinach, the folic acid content tended to increase through pan-frying, indicating that folic acid was at least retained. When folic acid-enriched eggs and spinach were mixed and pan-fried, the folic acid content increased significantly more than when they were pan-fried separately. Therefore, folic acid can be more efficiently consumed through pan-frying than boiling, which involves direct exposure to boiling water. In addition, the loss of folic acid is shown to be inhibited by combining spinach with egg solution, which is highly heat stable.

Key words : folic acid, folic acid-enriched egg, asparagus, spinach, thermal cooking

緒 言

葉酸はほうれん草から発見された水溶性ビタミン B 群の一種で、プテリジン、p-アミノ安息香酸、1つ以上のグルタミン酸が結合した化合物である。天然の食品中では大部分がプテロイルポリグルタミン酸として、3個から7個のグルタミン酸が結合した形で存在している¹⁾。葉酸は種々の食品に広く分布しており、特に卵黄、緑黄色野菜などに多く含まれている²⁾。

葉酸を摂取すると、小腸においてモノグルタミン酸型

に分解され、さらにテトラヒドロ葉酸となり、その後メチル化されて5-メチルテトラヒドロ葉酸となる。血液中では主にこの5-メチルテトラヒドロ葉酸の形で存在している^{1,3)}。葉酸の生理機能としては、細胞内ではヌクレオチド類の生合成、メチル化やアミノ酸の代謝などに関わり、特にホモシステインからメチオニンの転移に不可欠である^{3,4)}。このため葉酸の摂取量が低下すると、血漿ホモシステインの上昇がみられ血管障害を引き起こし、動脈硬化などの血管性疾患の原因となることが明らかにされている^{4,5)}。また、欧米を中心とした諸外国による疫学研究では、妊娠可能な年齢の女性への葉酸摂取が妊娠のごく初期に発生する神経管閉鎖障害（無脳症、二分脊椎症などの胎児の先天異常）の発症リスクを低減

同志社女子大学生生活科学部

*同志社女子大学生生活科学部 2012年度卒業生

**同志社女子大学生生活科学部 2013年度卒業生

させることが報告されている⁶⁻⁸⁾。

日本人の食事摂取基準 2020 年版では、妊娠を計画している女性、妊娠の可能性がある女性及び妊娠初期の妊婦は、胎児の神経管閉鎖障害のリスク低減のために、通常の食品以外の食品に含まれる葉酸（狭義の葉酸：葉酸サプリメント）を 400 μg /日摂取することが望まれる、としている。通常の食品からの葉酸摂取推奨量は、18～49 歳までの女性では 240 μg /日であり、妊婦への付加量は +240 μg /日、授乳婦への付加量は +100 μg /日とされている³⁾。しかし令和元年度国民健康・栄養調査では、1 日の葉酸摂取量は 20 歳～49 歳の女性で 226～247 μg /日、妊婦では 243 μg /日、授乳婦で 220 μg /日⁹⁾と摂取推奨量を満たしていないのが現状である。

食品中の葉酸は光、熱、酸化に対して不安定で、調理に際して 50% 近くが分解するか、水溶性のためにゆで汁に溶出するため、調理によって失われやすい¹⁰⁻¹²⁾ことが報告されている。また日本人を対象とした実験では、葉酸サプリメントに対する食品中の葉酸の相対的な生体利用率は 50% と報告されている¹³⁾。そのため、食事での葉酸のみで摂取量の充足は難しく、葉酸サプリメントの利用が推奨されている。しかしながら、悪性貧血の患者に葉酸サプリメントを多量に投与すると、神経症状が発現あるいは悪化したとする多数の症例報告がアメリカ・カナダの食事摂取基準にまとめられている¹⁴⁾。また、妊娠を知る時期は神経管の形成に重要な時期（受胎後およそ 28 日）よりも遅いことや神経管閉鎖障害の原因は複合的であることから、日常的に食事からの葉酸摂取を心がけることが重要である。

食品中の葉酸の調理損耗に関する研究はこれまでもされているが、一定の見解を得るためにはデータが不足している状況である¹⁵⁾。そこで本研究では葉酸含有量の多い葉酸たまご、アスパラガス、ほうれん草を用いて加熱調理による葉酸の損失と調理法との関係を明らかにすることで、日常の食生活で葉酸を効率よく摂取するための調理法について検討することを目的とした。

方 法

1. 食品試料

ほうれん草（京都府産、長野県産、奈良県産、滋賀県産）、アスパラガス（熊本県産）は京都市内の青果店より購入した。葉酸たまごは、株式会社ファーマフーズより供与されたものを使用した。葉酸たまごは葉酸を強化した専用飼料で飼育された鶏の卵であり、普通卵の約 3 倍量である 130 μg /100 g の葉酸を含んでいる。

2. 調理方法

(1) 葉酸たまご

①生

全卵・卵黄・卵白をそれぞれボウルに入れ、泡立ないように溶きほぐした。

②ゆで調理

ゆで調理として、固ゆで卵とかけ卵を調整した。固ゆで卵はステンレス製の鍋に蒸留水 700 ml と葉酸たまご 1 個を入れ、IH クッキングヒーターの強火（火力 8）で点火した。沸騰するまで菜箸で時々たまごを転がし、沸騰後、弱火（火力 4）で 11 分間ゆでた。取り出して蒸留水で 2 分間冷却し、殻をむき、半分に切って、卵黄と卵白に分けた。

かけ卵は、ボウルに全卵、卵黄、卵白それぞれ溶きほぐした。ステンレス製の鍋にそれぞれ蒸留水 500 ml を入れ、強火（火力 8）で加熱し、沸騰後、中火強（火力 4）にした。それぞれの鍋に溶きほぐした全卵、卵黄、卵白を穴杓子に通し、円を描くように動かしながら鍋の中に流し入れた。穴杓子から流れ落ちてから全卵は 40 秒後、卵黄は 20 秒後、卵白は 40 秒後に火を止め、ストレーナーでこして、水気を切った。

②炒め調理

炒り卵を調整した。ボウルに全卵、卵黄、卵白それぞれ溶きほぐし、泡立ないようにかき混ぜた。ホットプレートで 180 $^{\circ}\text{C}$ に予熱し、そこへそれぞれの卵液を入れ、投入直後に消火し、余熱を利用して、全卵、卵黄は 45 秒間、卵白は 35 秒間 4 本の菜箸でかき混ぜた。なお、今回、油の影響を除去するため、油は用いなかった。

(2) アスパラガス

①生

アスパラガスは蒸留水で洗い、キッチンペーパーで水気をふき取り、輪切りにした。

②ゆで調理

アスパラガスの根元の固い部分を折り、断面を切りそろえたものを可食部とし、100 g 量った。蒸留水で洗ったのち、キッチンペーパーで水気をふき取って、包丁で 2 分割にした。試料にはピーラーで皮を根元から 1/3 むいたもの（皮なし）と、そのままのもの（皮あり）を用いた。ステンレス製の鍋に蒸留水 1000 ml を入れ、IH クッキングヒーターの強火（火力 8）で点火し、沸騰後、中火強（火力 4）にして試料を入れ、3 分間加熱した。取り出して水気を切ってから輪切りにした。

(3) ほうれん草**①生**

ほうれん草は蒸留水で洗い、キッチンペーパーで水気をふき取り、粗みじん切りにした。

②ゆで調理

ほうれん草の根を切り落としたものを可食部とし、100 g 量った。蒸留水で洗って砂などの汚れを除き、包丁で根元に十字を入れた。ステンレス製の鍋に蒸留水 1000 ml と 1% の食塩を入れ、IH クッキングヒーターの強火（火力 8）で沸騰後、中火強（火力 4）にし、試料を根元から入れ、10 秒後葉の部分を入れた。試料投入後 1 分間加熱した。加熱後のほうれん草を試料重量の 6 倍量の蒸留水に 3 分さらし引き上げて絞り、粗みじん切りにした。

③炒め調理

ほうれん草の根を切り落としたものを可食部とし、100 g 量った。蒸留水で洗って砂などの汚れを除き、キッチンペーパーで水気をふき取り、3 cm の長さに切った。ホットプレートに 180℃ に予熱し、そこへ試料を入れ、2 分間菜箸でかき混ぜながら加熱した。なお、今回、油の影響を除去するため、油は用いなかった。

(4) 葉酸たまごとほうれん草の炒め調理

卵は割りほぐし、泡立てないようにかき混ぜた。ほうれん草は卵の 1/2 の重量になるように量り（卵は約 60 g、ほうれん草は約 30 g）、蒸留水で洗って砂などの汚れを除き、キッチンペーパーで水気をふき取り、3 cm の長さに切った。ほうれん草を卵に加え混ぜ合わせた。ホットプレートに 180℃ に予熱し、そこへ卵とほうれん草を入れ、2 分間菜箸でかき混ぜながら加熱した。なお、今回、油の影響を除去するため、油は用いなかった。

3. 葉酸定量**(1) 抽出方法¹⁶⁾**

調理後の試料 4 g を電子天秤で量り、HEPES/CHES 緩衝液 (pH 7.85) 15 ml を加えホモジナイズ (アスパラガスとほうれん草は 3 分、葉酸たまごの生と固ゆで卵は 1 分、かき卵は 2 分、炒り卵は 3 分) し、HEPES/CHES 緩衝液 (pH 7.85) で洗いながら容量 100 ml の耐熱性ねじ口褐色ビンに移し、蓋を少し緩めてからオートクレーブ (121℃, 15 分) にかけて、加圧抽出した。冷却後、0.01% (w/v) プロテアーゼ溶液 10 ml を加え 37℃ インキュベーターで 3 時間反応させ、沸騰水浴中で 10 分間加熱した。冷却後、6 mg/ml コンジュガーズ溶液 5 ml およびシステイン塩酸塩 0.025 g、トルエン 3 滴を加え、

37℃ インキュベーターで 20 時間反応させた。これを沸騰水浴中で 10 分間加熱し、冷却後、高速冷却遠心機で 12,000 rpm, 4℃, 10 分間遠心にかけ、これを濾紙 (NO.6) で濾過した。濾過したものを HEPES/CHES 緩衝液 (pH 7.85) で 100 ml に定容した。

(2) 測定方法

Vita Fast[®]葉酸キット (アズマックス株式会社) を用いて測定を行った。

①測定用培地

葉酸測定用培地にキット付属の滅菌水 10 ml と葉酸用バッファー 1 ml を加えた。十分に振とう混和したのち 95℃ の沸騰水で 5 分間加温した。その後、ただちに 30℃ 以下の室温まで冷却し、0.2 μm フィルターでろ過した。

②参照標準

葉酸標準試料に 2 ml の滅菌水を加え、葉酸参照標準濃縮液を調製した。検量線作成のため、葉酸参照標準濃縮液を滅菌水で 0, 0.16, 0.32, 0.64, 0.96, 1.28 ng/100 ml に調製した。

③測定手順

抽出溶液 1 ml を、蒸留水を用いてメスシリンダーで 40 ml にメスアップした。この希釈についてはすでに標準検量線の濃度に勘案されている。この溶液をさらに適宜希釈し、0.2 μm フィルターでろ過した。

葉酸測定用培地 150 μl をキット付属の 96 穴ウェルに滴下し、各参照標準液あるいは希釈した試料 150 μl を所定のウェルに滴下した。ストリップ/ホルダーを粘着シートで覆い、マイクロプレートミキサーで軽く揺すり、37℃ インキュベーター内で 48 時間培養した。

培養後、マイクロプレートミキサーで軽く混和しマイクロプレートリーダーを用いて、630 nm の波長で測定した。次式より試料 100 g 中の葉酸含有量を求めた。

$$\text{葉酸含有量} (\mu\text{g}/100\text{g}) = \frac{A \times F}{W} \times \frac{B}{C}$$

A: 検量線より求めた試料溶液中の葉酸濃度 (μg/100 g)

B: 加熱後の重量 (g)

C: 生の重量 (g)

F: 希釈ファクター

W: 試料採取量 (g)

4. 統計処理

検量線はデータ解析用ソフト RIDA SOFT Win (r-biopharm 社) を用いて 4-パラメータ回帰式を作成した。各試料の結果は、平均値 ± 標準偏差で示した。有意差検定

葉酸たまご、アスパラガス、ほうれん草の葉酸含有量に及ぼす加熱調理操作の影響

は、一元配置分散分析ならびに Tukey の検定 (Excel 統計 Ver.3.21) により行った。

結 果

1. 葉酸たまご、アスパラガス、ほうれん草の葉酸含有量の変化

結果を表1に示した。葉酸含有量は100g生重量当たりで示した。

葉酸たまごでは、全卵(生)で111 μ g/100g、卵黄(生)で396 μ g/100g含まれ、卵白には含まれていなかった。日本食品標準成分表2020年版(以下、食品成分表2020)によると卵白(生)の葉酸含有量は0 μ g¹⁷⁾であり、今回の結果と一致した。全卵および卵黄のかき卵の葉酸含有量は生と比較して有意に低値を示したが、固ゆで卵と炒り卵では保持していた。残存率で比較すると、全卵(炒り卵)94%、卵黄(炒り卵)106%と最も高く、次いで全卵(固ゆで卵)89%、卵黄(固ゆで卵)80%であった。かき卵では全卵45%、卵黄62%と残存率は最も低くなった。なお、全卵(固ゆで卵)の葉酸含有量については、ゆで卵調整後、卵黄と卵白に分けて測定を行ったことから、卵黄と卵白の固ゆで卵の結果から

計算によって求めた。

アスパラガスは生に対し、ゆで調理をしたものは葉酸含有量が減少し、残存率が66~68%であった。調理時にアスパラガスの根元1/3の皮をむいたもの(皮なし)とむかなかったもの(皮あり)の間に有意差は認められず、調理時の皮の有無は調理後の葉酸含有量に影響を与えなかった。食品成分表2020の値と比較すると、アスパラガス(生)の葉酸含有量は190 μ g/100g¹⁷⁾に対し、測定値は68 μ g/100g、ゆででは180 μ g/100g¹⁷⁾に対し、45~46 μ g/100gと低値を示した。

ほうれん草は、生および炒め調理に対し、ゆで調理をしたものは有意に減少し、残存率は50%であった。炒め調理では葉酸含有量が残存率で126%と増加していたが、ばらつきが大きく有意差は認められなかった。ほうれん草についても食品成分表2020と比較すると、生210 μ g/100g¹⁷⁾に対して73 μ g/100g、ゆで110 μ g/100g¹⁷⁾に対して92 μ g/100gと特に生で低値を示した。

2. 葉酸たまごとほうれん草の炒め調理

結果を図1に示した。葉酸たまごとほうれん草を同時に炒めた試料の結果を実測値とした。葉酸たまごとほう

表1 調理による葉酸含有量の変化

			葉酸含有量 (μ g/100g 生)	残存率 (%)	
全卵	生	(n=9)	111 \pm 24 ^a	100	
	固ゆで卵※	(n=3)	99 \pm 13 ^a	89	
	かき卵	(n=6)	50 \pm 4 ^b	45	
	炒り卵	(n=3)	104 \pm 5 ^a	94	
葉酸 たまご	卵黄	生	(n=9)	396 \pm 171 ^a	100
		固ゆで卵	(n=6)	318 \pm 43 ^{a, b}	80
		かき卵	(n=15)	245 \pm 83 ^b	62
		炒り卵	(n=12)	418 \pm 122 ^a	106
卵白	生	(n=3)	0 \pm 0	—	
	固ゆで卵	(n=3)	3 \pm 0	—	
	かき卵	(n=6)	0 \pm 0	—	
	炒り卵	(n=6)	0 \pm 0	—	
アスパラガス	生	(n=5)	68 \pm 20	—	
	ゆで(皮あり)	(n=3)	46 \pm 1	68	
	ゆで(皮なし)	(n=3)	45 \pm 3	66	
ほうれん草	生	(n=7)	73 \pm 29 ^{a, b}	—	
	ゆで	(n=7)	37 \pm 22 ^b	50	
	炒め	(n=7)	92 \pm 28 ^a	126	

平均値 \pm 標準偏差

a, b の異なるアルファベットは有意差 (p<0.01) を示す

※全卵・固ゆで卵は、卵黄・固ゆで卵と卵白・固ゆで卵の結果から計算により求めた。

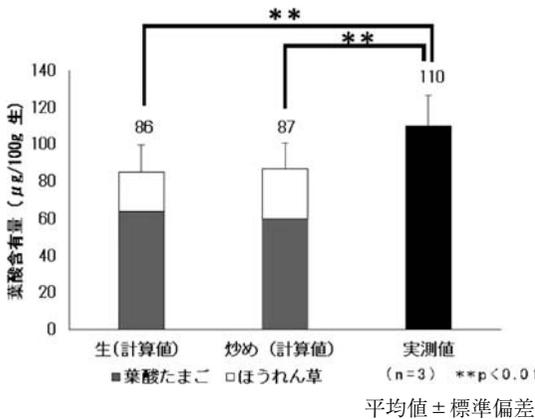


図1 葉酸たまごとほうれん草炒め

れん草の生および別々に調理した際の葉酸含有量は表1の結果から配合割合をかけて算出し、計算値とした。葉酸たまごとほうれん草を同時に炒めた試料の実測値は計算値と比較し、有意に高い値を示した。

考 察

葉酸たまごでは、かき卵の葉酸含有量が有意に減少した。葉酸は大量の水と熱を使う調理で失われるといわれており、5分間加熱により10%~50%まで減少すると報告されている¹¹⁾。かき卵の調理法では、卵液がゆで水に直接接触するため、ゆで水中に葉酸が流出したと考えられる。固ゆで卵は殻を割らず、卵殻に覆われた状態で調理するため、卵液が直接ゆで汁に触れることがなく、葉酸の損失が抑えられた。なお、卵白(固ゆで卵)にわずかに葉酸が含まれていたが、試料調製時に卵白に付着した卵黄が測定時に混入した可能性が考えられた。

かき卵といり卵は、全卵に加えて卵黄と卵白に分けたものについてもそれぞれ調理を行った。全卵(かき卵)と同様、卵黄(かき卵)では直接ゆで汁と接触することにより卵黄中の葉酸がゆで汁に溶出したと考えられた。一方、炒り卵では炒め操作は高温での調理であるが水を使用しない調理法であることから流出による損失がなく、残存したと推測される。食品成分表2020においても、全卵(炒り卵)の葉酸含有量は変化しておらず¹⁷⁾今回の結果と一致していた。

卵黄中には5-メチルテトラヒドロ葉酸(メチル型葉酸)が約85%、5-ホルミルテトラヒドロ葉酸(ホルミル型葉酸)が約15%含まれている¹⁸⁾。メチル型葉酸はホルミル型葉酸より熱に安定である可能性が示唆されている¹¹⁾ことから、固ゆで卵も炒り卵も高い残存率を示し

たと考えられた。かき卵については調理後の葉酸含有量が減少していたことから、葉酸の加熱安定性よりもゆで水への溶出の方が葉酸の損失に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

アスパラガスでは食品成分表2020よりも葉酸含有量が低値を示した。これは今回、国産のアスパラガスを使用しているが、海外産のアスパラガスは国産よりも葉酸含有量が高いことを確認しており(データ未掲載)、産地の違いが影響していると考えられた。ゆで調理では有意差は見られなかったものの、ゆで調理によって葉酸含有量は減少した。葉酸がゆで水に流出した可能性があるが、ゆで調理後のアスパラガスの重量減少率は約99%であったことから、ゆで水への流出よりもゆで調理後の試料調整時に輪切りにした際、生に比べ水分の流出が多かったことが、葉酸の損失につながった可能性が考えられた。

ゆで調理時の根元1/3の皮の有無は葉酸の損失に関係していなかった。アスパラガスの下部の組織は一層の表皮、その内側に皮層部、さらにその内側に小さい細胞からなる厚角組織(一般的にスジという部分)が存在し、この厚角組織の細胞が密着して細胞間隙が全くないことにより強度を保ち地上に伸びる茎が折れにくいように支えている¹⁹⁾。皮をむく操作はこの厚角組織を除くことになり、加熱後の軟化を促進すると考えられるが、厚角組織の有無が葉酸の損失には直接関与しないと考えられた。

ほうれん草では、アスパラガスと同様、生の葉酸含有量が食品成分表2020よりも低値を示した。ほうれん草については、7月や9月はビタミンC含有量が食品成分表の値を下回ることが報告されている²⁰⁾。今回の試料調製時期が6月~9月であったことから、葉酸含有量も同様に食品成分表の値よりも低値を示した可能性が考えられた。

調理法では生や炒め調理に対して、ゆで調理したものの葉酸含有量は有意に減少した。ほうれん草の調理ではゆで調理後、水さらしを行ってから絞る操作があり、葉酸がゆで水中に流出したことに加え、水さらしと絞る操作によって、より損失が大きくなったと考えられる。一方で炒め調理の葉酸含有量は増加していたが、ばらつきが大きく有意差は見られなかった。ほうれん草中には5-メチルテトラヒドロ葉酸が約43%、5-ホルミルテトラヒドロ葉酸が約21%¹⁸⁾であり、卵黄よりメチル型葉酸が少なく、ホルミル型葉酸が多いため、卵黄よりも加熱安定性は低いと考えられるが、今回の炒め調理の結果

は、葉酸含有量の増加、少なくとも保持されていることを示した。炒め調理は乾式加熱であり、乾式加熱は葉酸の流出が少ない²¹⁾ ことに加えて、炒め調理後の軟化によって、ほうれん草から葉酸が抽出されやすくなった可能性も考えられた。

葉酸たまごとほうれん草を同時に炒めると、別々に調理した場合に比べ、葉酸含有量は有意に高い値を示した。卵液とほうれん草を混ぜ合わせて炒めることにより、乾式加熱であることに加えて、卵液がほうれん草からの葉酸の溶出を抑えたことやほうれん草の軟化によって葉酸が抽出されやすくなったことなどが要因として考えられた。

以上の結果から、葉酸を効率よく摂取するためには、ゆで水と接触するゆで調理より炒め調理の方が適していると考えられた。葉酸たまごにおいては、比較的加熱安定性が高いとされるメチル型葉酸が含まれることから加熱による損失は少ないが、かき卵のように水との接触面が大きくなる調理法では、葉酸の加熱安定性よりもゆで水への流出の方が葉酸の損失に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。また、葉酸たまごとほうれん草の炒め調理では、食材を別々に炒めるより葉酸含有量は有意に増加し、炒め調理であること、卵液がほうれん草からの葉酸の流出を抑えたこと、組織の軟化により葉酸が抽出されやすくなったことが要因として考えられた。

謝辞

葉酸たまごをご提供頂きました株式会社ファーマフーズ、原田様、渡邊様に厚く御礼申し上げます。

また、この研究は2009年から卒業論文でかかわってくださった後藤紗也加さん、東野ゆうきさん、松原久美加さん、水川梨恵さん、安本理恵さん、栗原久実さん、藤原由貴さん、小田彩弥子さん、河内鈴佳さん、西池明子さん、小川絵理奈さん、梅田明里さんのご尽力の上に成り立ったものです。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

なお、本研究はJSPS 科研費 21500768 の助成をうけたものです。

参考文献

- 1) 平原史樹：妊娠への葉酸摂取推進－先天異常リスクの低減化－，ビタミン，83(5-6)，259-263 (2009)
- 2) 太田英明，北畠直文，白土英樹 (2018)：食べ物と健康食品の科学 改訂第2版，南江堂，東京，

pp.90-91

- 3) 日本人の食事摂取基準 (2020年版) 策定検討会報告書：ビタミン (水溶性ビタミン)，<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586563.pdf>，(閲覧日 2021.9.28)
- 4) 木村修一，古野純典 (2014)：最新栄養学 [第10版]，建帛社，東京，pp.285-304
- 5) 日本ビタミン学会 (2010)：ビタミン総合辞典 II 6. 葉酸 6.4 欠乏症，朝倉書店，東京，pp.301-303
- 6) Czeizel AE, Dudas I: Prevention of the first occurrence of neural-tube defect by periconceptional vitamin supplementation, *The New England Journal of Medicine*, 327, 1832-1835 (1992)
- 7) Berry RJ, Li Z, Erickson JD, Li S, Moore CA, Wang H, Mulinare J, Zhao P, Wong LY, Gindler J, Hong SX, Correa A: Prevention of neural-tube defects with folic acid in China, *The New England Journal of Medicine*, 341, 1485-1490 (1999)
- 8) Stevenson RE, Allen WP, Pai GS, Best R, Seaver LH, Dean J, Thompson S: Decline in prevalence of neural tube defects in a high-risk region of the United States, *Pediatrics*, 106, 677-683 (2000)
- 9) 令和元年度国民健康・栄養調査結果：第1部 栄養素等摂取状況調査の結果，<https://www.mhlw.go.jp/content/000711006.pdf>，(閲覧日 2021.9.28)
- 10) 日本ビタミン学会 (1989)：ビタミンハンドブック②水溶性ビタミン，化学同人，京都，pp 127-131
- 11) 田口博国，原功一，長谷井敏男，真田浩：食品中の葉酸含量に関する研究 (II) 食品中の葉酸の加熱調理による損失，ビタミン，47(1)，21-25 (1973)
- 12) Mckillop DJ, Pentieva K, Daly D, Mcpartlin JM, Hughes J, Strain JJ, Scott JM, McNulty H, The effect of different cooking methods on folate retention in various foods that are amongst the major contributors to folate intake in the uk diet. *British Journal of Nutrition*, 88, 681-688 (2002)
- 13) 福渡努，柴田克己：パンを主食とした食事に含まれる水溶性ビタミンの遊離型ビタミンに対する相対利用率，日本家政学会誌，60，57-63 (2009)
- 14) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: Folate. *In*: Institute of Medicine med. (1998):

- Dietary Reference Intakes : For Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B 6, Folate, Vitamin B 12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. Washington, D.C., National Academy Press, 196-305
- 15) 小島彩子, 尾関彩, 中西朋子, 佐藤陽子, 千葉剛, 阿部皓一, 梅垣敬三: 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), *ビタミン*, 91(2), 87-112 (2017)
 - 16) 安井明美, 渡邊智子, 中里孝史, 瀧上賢一 (2016): 日本食品標準成分表2015年版 (七訂) 分析マニュアル・解説, 第3章 30 葉酸, 建帛社, 東京, pp.160-163
 - 17) 文部科学省 (2020): 日本食品標準成分表2020年版 (八訂), 全国官報販売協同組合, 東京, 102-103, 126-127, 206-207
 - 18) Derek J McKillop, Helene McNulty, John M Scott, Joseph M McPartlin, JJ Strain, Ian Bradbury, Jayne Girvan, Leane Hoey, Richard McCreedy, Joy Alexander, B Karen Patterson, Mary Hannon-Fletcher, and Kristina Pentieva : The rate of intestinal absorption of natural food folates is not related to the extent of folate conjugation, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 84, 167-173 (2006)
 - 19) 田村咲江 (1999), 食品・調理・加工の組織学 Chapter 4 野菜・いも・果実類, 学窓社, 東京, 49-73
 - 20) 辻村卓, 日笠志津: 全国6地域のスーパーマーケットで販売される野菜の産地とビタミン・ミネラル含有量の通年成分変化 [1], *ビタミン*, 9(9), 453-457 (2005)
 - 21) 代谷沢, 橘高美弥子, 湯朝良子: 冷凍ほうれん草の調理科学的研究, *コールドチェーン研究*, 2(2), 22-24 (1976)

(2021年10月8日受理)
(2021年10月11日採択)