

栽培環境の違いが食品中ビオチン含量に及ぼす影響

安部 恵¹⁾・石原和夫²⁾・曾根英行³⁾

水溶性ビタミンの一種であるビオチンは、4種のカルボキシラーゼの補酵素として、糖新生、脂肪酸合成、アミノ酸代謝において重要な役割を果たしている。

食品中のビオチン含量は平成17年に改訂された「五訂増補日本食品標準成分表」には記載されておらず、ビオチンの摂取基準についても「日本人の食事摂取基準(2005年版)」で目安量 $45\mu\text{g}/\text{日}$ (12歳以上)と公表されているが、科学的データの不足から推奨量を設定できずにいるのが現状である。それゆえに、ビオチン摂取量と生体内必要量に関する根拠のあるデータの集積が必要と考えられている。本研究の小山田は、健康な女子大生(18~22歳)84人を対象として3日間の連続した食事調査を行い、ドイツの食品成分表を用いて食事由来のビオチン摂取量を算出し、ビオチンの栄養状態について検討した。しかし、ビオチン摂取量と食事調査終了翌朝に採取した血清ビオチン濃度との間に相関性を見出すことができず、明確な結論を得ることができなかった¹⁾。これらの原因として、腸内細菌から供給されるビオチンが血清ビオチン濃度の変化に強く影響すると考察している。しかし、食品中のビオチン含量が生育環境の違いにより変動する可能性は否定できず、ドイツの食品成分表を用いたビオチン摂取量の算出法にも問題があったと考えられる。一般的に、植物はビタミンB₁やB₂、B₆、葉酸といったB群ビタミンを生合成している²⁾。植物中のビオチン生合成は、ミトコンドリアでの5段階の酵素反応によって行われており、3段階目の酵素反応ではATPを必要とする。4段階目と5段階目の酵素反応はビオチンシンターゼで進行し、これらの反応はアシドマイシン($\text{C}_9\text{H}_{15}\text{NO}_3\text{S}$ 、分子量217.28)によって阻害されることが報告されている³⁾。

本研究では、これまでに報告されている日本⁴⁾と欧米諸国の食品中ビオチン含量のデータを用い、食品中ビオチン含量の地域差について食品群別に比較・検討した。

次に、乳酸菌(ATCC8014)を利用した微生物定量法—比濁法により、植物性食品である野菜類を中心とした国内産の食品中ビオチン含量を測定し、日本国内での含量差について調査を行った。更に、小山田の研究を再解析するために、本研究の測定結果と既に報告されている日本の食品中ビオチン含量の結果を併用して新たにビオチン摂取量を算出し、血清ビオチン濃度との相関性を検討した。また、植物中でのビオチン生合成経路は詳細に解明されているが、環境因子によるビオチン生合成への関与の有無については報告がない。ビオチンと同様に水溶性ビタミンに分類されるビタミンCでは、食品中含量の季節変動が広く知られている⁵⁾。そこで本研究では、土壌を必要とせず、蒸留水のみで栽培が可能であり、比較的栽培期間の短い豆苗を用いて、植物中のビオチン含量に及ぼす環境因子(日照量や栽培温度)の影響について検討した。

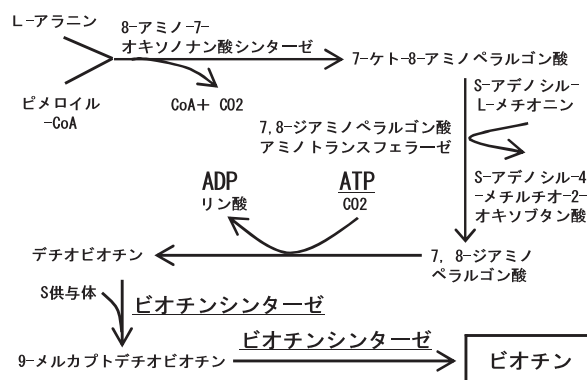


図 植物におけるビオチンの生合成経路

1. 食品中ビオチン含量の地域差の検討

1) 日本と諸外国との比較

日本と諸外国の食品中ビオチン含量の比較を各食品群別に行った。ドイツとの比較では、卵類で強い正の相関($r=0.9874$)が見られたが、魚介類($r=0.1463$)と野菜類($r=0.0325$)では、相関性は認められなかった。デンマークとの比較では、穀類($r=0.7005$)、肉類($r=0.9964$)、果実類($r=0.7999$)に強い正の相関が観察されたが、野菜類($r=0.066$)と乳類($r=0.0056$)では、相関性は認められなかった。カナダとの比較では、

あべ めぐみ¹⁾、いしはら かずお²⁾、そね ひでゆき³⁾

¹⁾ 県立新潟女子短期大学 専攻科

²⁾ 県立新潟女子短期大学 名誉教授

³⁾ 県立新潟女子短期大学 (勤務先)

肉類 ($r=0.9825$) で強い相関を示したのに対し、乳類 ($r=0.340$) と野菜類 ($r=0.4908$) では、肉類のような強い相関は認められなかった。アメリカとの比較では、豆類 ($r=0.9511$)、肉類 ($r=0.9793$)、卵類 ($r=0.9964$) で強い相関が観察されたが、野菜類 ($r=0.3193$) では、他の食品群のような強い相関は認められなかった。これらの結果から、日本と諸外国における食品中ビオチン含量は、肉類、卵類で強い相関を認めるが、野菜類、乳類では弱い傾向にあることが示された。特に、野菜類は諸外国との相関が弱く、その原因として植物におけるビオチンの生合成が考えられる。ビオチン生合成は酵素反応で進行し、その反応過程で光合成由来の ATP を必要とする。そのため、その合成量は各国の気候に左右されると推察される。一方、肉類や卵類では、ビオチン含量は諸外国と強い相関が認められた。これらの食品は、ビオチンを必須栄養素として他の生物から摂取し、生体内に貯蔵している。水溶性ビタミンの生体外排出率は比較的高く、保有量にも一定の上限があるため地域差が少なかったと考えられる。

2) 日本国内での比較

次に、小山田の調査で対象者の主なビオチン供給源となっている植物性食品19品目、諸外国との相関が弱かった乳類3品目、相関が強く優良なビオチン供給源である卵類1品目(卵黄)の計23品目のビオチン含量を測定した。穀類の〔こめ・精白米〕と〔食パン〕では、本研究の測定値と谷口らの報告値で大きな差は認められなかった。いも類では、さつまいもで報告値 $3.5\mu\text{g}/100\text{g}$ に対し、本研究 $4.0\mu\text{g}/\text{日}/100\text{g}$ と同程度であった。豆類では、木綿豆腐で報告値 $5.0\mu\text{g}/100\text{g}$ に対し、本研究 $22.2\mu\text{g}/100\text{g}$ と高値を示した。糸引き納豆と生揚げでも、本研究の測定値が若干高い傾向を示したが、木綿豆腐のような大きな差は認められなかった。野菜類では、ほうれん草の報告値 $6.2\mu\text{g}/100\text{g}$ に対し、本研究測定値 $3.2\mu\text{g}/100\text{g}$ 、キャベツの報告値 $3.2\mu\text{g}/100\text{g}$ に対し、本研究 $1.8\mu\text{g}/100\text{g}$ とそれぞれ低値を示した。果実類の報告値は、かきで $1.4\mu\text{g}/100\text{g}$ 、バナナで $2.5\mu\text{g}/100\text{g}$ 、りんごで $1.6\mu\text{g}/100\text{g}$ であったが、本研究ではそれぞれ $3.0\mu\text{g}/100\text{g}$ 、 $4.6\mu\text{g}/100\text{g}$ 、 $4.1\mu\text{g}/100\text{g}$ と高値を示した。きのこ類では、報告値はえのきたけ $5.6\mu\text{g}/100\text{g}$ 、しいたけ $13.5\mu\text{g}/100\text{g}$ 、ぶなしめじ $8.1\mu\text{g}/100\text{g}$ に対し、本研究ではそれぞれ $7.6\mu\text{g}/100\text{g}$ 、 $8.8\mu\text{g}/100\text{g}$ 、 $12.6\mu\text{g}/100\text{g}$ であった。乳類では、普通牛乳で報告値 $3.8\mu\text{g}/100\text{g}$ 、本研究 $2.7\mu\text{g}/100\text{g}$ と報告値がやや高い値を示したものの、その他は同程度であった。卵類では、卵黄の報告値 $63.9\mu\text{g}/100\text{g}$ に対し、本研究は $46.5\mu\text{g}/100\text{g}$ と低値を示したが、他の

食品と比較すると、豆類に対し2~7倍、野菜類に対し20~30倍のビオチンを含有しており、優良なビオチン供給源と言える。

表 食品中のビオチン含量

食品群	食品名	ビオチン含量 ($\mu\text{g}/100\text{g}$)					
		本研究	日本	デンマーク	ドイツ	カナダ	アメリカ
穀類	こめ(水稲穀粒)、玄米	7.8	3.0	12.0			
	こめ(水稲穀粒)、精白米	2.2	2.0	3.0	3.0	6.0	5.0
	食パン、市販品	1.2	1.6				
いも類	さつまいも 塊根、生	4.0	3.5		4.3		4.3
	木綿豆腐(外国産大豆)	22.2	5.0				
豆類	木綿豆腐(国産大豆)	15.6					
	糸引き納豆	19.3	13.1				
	生揚げ	5.9	4.2				
野菜類	キャベツ 結球葉、生	1.8	3.2	1.2	3.1	0.8	2.4
	たまねぎ りん茎、生	1.9	1.2	0.9	3.5	0.8	3.5
	トマト 果実、生	2.0	1.7	1.5	4.0	1.3	4.0
	にんじん 根、皮付き、生	3.6	4.3	3.4	5.0	2.7	2.5
	ほうれんそう 葉、生	3.2	6.2	1.2	6.9	3.4	6.9
果実類	かき 甘かき、生	3.0	1.4				
	バナナ 生	4.6	2.5	5.5	5.5	4.0	4.4
	りんご 生	4.1	1.6	3.0	4.5	0.9	0.9
きのこ類	えのきたけ 生	7.6	5.6				
	しいたけ しいたけ、生	8.8	13.5				
	ぶなしめじ 生	12.6	8.1			5.0	
乳類	普通牛乳	2.7	3.8	3.5			
	加工乳 低脂肪	3.1	2.8	1.4	3.5		
	ヨーグルト 全脂無糖	1.8	1.9	3.5	3.5		
卵類	鶏卵 卵黄、生	46.5	63.9	60.0	53.0		52.0

これら測定結果の比較から、食品中ビオチン含量は日本国内においても存在することが確認された。特に、野菜類(ほうれんそう、キャベツ)や果実類では2倍近くの含量差が認められた。これには、本研究の試料購入時期が12月であったのに対し、谷口らの研究では9月から10月であり、気温や日照量の変化など収穫時期の気候が影響したと推察される。また、諸外国との間で相関の弱かった乳類は、日本国内ではビオチン含量に大きな差が認められなかった。乳類を食品別に諸外国と比較すると、牛乳よりも乳製品で差の大きいことがわかる。乳製品では、原料である牛乳が同程度のビオチンを含有していたことから、製法や保存方法の違いが含量差の原因と考えられる。反対に、諸外国との間で相関のあった豆類に分類される木綿豆腐では、予想に反し日本国内で含量に大きな差が認められた。豆腐は、大豆の使用量や製法の違いによって多種多様な製品が流通している。特に、豆腐の成分値は豆乳製造過程における水の添加量によって大きく変化する。木綿豆腐の含量差は、製品中の水分含量の違いに強く影響されたと推察される。

2. ビオチン摂取量と血清ビオチン濃度の相関性の再検討

小山田の調査では、ドイツの食品成分表を用いてビオ

チン摂取量を算出し、血清ビオチン濃度との関連性を検討したが、両者の間に相関性は認められなかった ($y=0.0119x+1.4186$, $r=0.056$)。そこで、本研究及び谷口らの食品中ビオチン含量のデータを併用してビオチン摂取量を算出し、血清ビオチン濃度の相関性について再検討を行った。しかし、日本の食品中ビオチン含量のデータを使用した解析においても、ビオチン摂取量と血清ビオチン濃度の散布図に規則性を見出すことができず、相関性は認められなかった ($y=0.008x+1.6408$, $r=0.028$)。これらの結果は、血清ビオチン濃度が食事由来のビオチンだけではなく、それ以外の要因(腸内細菌叢からのビオチンの供給)からも影響を受けていることを示している。しかし、ビオチン摂取量の平均値を比較すると、ドイツの成分表を用いて算出した値は $47.850 \pm 18.143 \mu\text{g}/\text{日}$ であったのに対し、日本の食品中ビオチン含量のデータを用いて算出した値では $43.356 \pm 19.112 \mu\text{g}/\text{日}$ と統計的に有意な差が認められた ($p < 0.01$: Paired Student's t-test)。この結果は、食品中ビオチン含量の地域差が、食品成分値を用いて算出されるビオチン摂取量に大きく反映されることを意味している。そのため、正確なビオチン摂取量の算出には、その国独自の食品成分表を作成することが必要と考える。

3. 植物中でのビオチン生合成の検討

本研究の結果から、食品中ビオチン含量における地域差の存在が明らかにされた。そこで、諸外国と日本国内の双方でビオチン含量差の大きかった野菜類に注目し、豆苗を栽培温度と日照量を変えて栽培し、生育環境の違いが植物中のビオチン合成量に与える影響について検討した。通常の日照時間で室温栽培した**対照群**、ビオチンシンターゼ阻害剤であるアシドマイシンを添加して対照群と同様に栽培した**ネガティブ対照群**、暗室で室温栽培した**非緑化群**、対照群よりも日照時間を短縮した**弱緑化群**、日照時に低温下で栽培した**低温栽培群**の計5群に分類し、それぞれのビオチン含量を測定した。ビオチン含量は、対照群 $10.914 \pm 2.520 \mu\text{g}/100\text{g}$ 、ネガティブ対照群 $5.823 \pm 1.819 \mu\text{g}/100\text{g}$ 、非緑化群 $3.430 \pm 2.186 \mu\text{g}/100\text{g}$ 、弱緑化群 $8.185 \pm 4.016 \mu\text{g}/100\text{g}$ 、低温栽培群 $1.446 \pm 1.842 \mu\text{g}/100\text{g}$ であった。次に、5群間の分散分析を行い、平均値の差の検定(Bonferroni post hoc test)を行った。その結果、対照群に対しネガティブ対照群、低温栽培群、非緑化群で有意差が認められた ($p < 0.05$)。弱緑化群では、対照群に対し統計的に有意な差は認められなかったが ($p=0.1679$)、ビオチン含量はおおよそ25%減少しており、低い傾向を示した。

植物中のビオチンは、植物が根から吸収する外来性の

ビオチンと自身によって生合成される内因性のビオチンの総和と考えられる。ネガティブ対照群の結果が対照群のおよそ60%弱であったことから、植物中では比較的多くのビオチンが生合成されていると言える。また、低温栽培群ではビオチン含量は最も低値を示した。これは、ビオチン生合成酵素の活性が低温により抑制されたからと考えられる。このことから、栽培時の気温はビオチン生合成に大きく影響することが示唆された。更に、ビオチン含量が弱緑化群、非緑化群と緑化の程度に従い低下したことから、ビオチン合成量は日照量にも依存することが示された。ビオチン生合成は、合成反応の3段階目でATPを必要とする。植物では、ATPは葉緑体での光合成によって産生されることから、ビオチン合成量の日照量依存性は植物中で産生されるATP量に起因すると考えられる。以上の結果から、植物性食品中のビオチン含量は、気温や日照量など栽培環境の変化に強く影響を受けることが明らかにされた。これらの違いがビオチン含量に地域差を生み出す要因と考えられる。

本研究では、植物性食品のビオチン含量には、栽培環境の違いにより地域差が存在することを明らかにした。植物の栽培環境は、ビオチン生合成に強く影響を及ぼすことが示唆され、この環境差がビオチン含量の地域差を生み出す要因と推察される。正確なビオチン栄養状態を把握するためには、日本においてもビオチンに関する食品成分表を作成することが不可欠と言える。そのためには、季節別、品種別の食品中ビオチン含量を詳細に検討することが必要と考える。

参考文献

- 1) 小山田恵美, 曾根英行, 平岡真美, 宮西邦夫, 谷口敏明, 安田和人 (2007) マイクロバイオアッセイによるビオチン定量法の確立とビオチンの栄養状態について Trace Nutrients Research24 : p157-162
- 2) Roje S (2007) Vitamin B biosynthesis in plants. Phytochemistry 68 (14) : p1904-1921
- 3) Patton DA, Schetter AL, Franzmann LH, Nelson K, Ward ER, Meinke DW (1998) An embryo-defective mutant of arabidopsis disrupted in the final step of biotin synthesis Plant Physiology 116 (3) : p935-946
- 4) 谷口歩美, 武智隆祐, 福嶋厚, 渡邊敏明 (2008) わが国の食品中ビオチン含量の分析 日本栄養・食糧学会誌61(1) : p27-36
- 5) 辻村卓, 小松原晴美, 荒井京子, 福田知子 (1997) 出回り期が長い食用植物のビタミンおよびミネラル含有量の通年成分変化 ビタミン71(2) : p67-74