

スピルリナの一般食品への利用に関する一考察 (1)

A study on making use of *Spirulina platensis* as daily foods (1)

佐藤紀代美¹⁾・黄堂泰昌²⁾・万倉三正¹⁾
Kiyomi SATOH¹⁾・Yasumasa KODO²⁾・Mitsumasa MANKURA¹⁾

Abstract

Spirulina, *Spirulina platensis*, is a traditional food for some Mexican and African natives and has recently become a subject of extensive research interest because of its high concentrations of functional ingredients relating to the suppression of oxidative stress. *Spirulina* is considered one of the richest sources of plant protein (60-70%), vitamin B₁₂ and minerals such as iron and magnesium. Recently, spirulina came to be known well as a dietary supplement. Although the smell of the coast is attractive, the unique incense from spirulina itself is occasionally unappetizing for some people.

In order to provide appetizing foods employed spirulina, we explored the utilization manner of spirulina with the miso manufactured by fermenting soybean paste, and both margarines and custard puddings containing high amounts of fats and oils.

Miso soup mixed spirulina forming colloidal solution and the dispersion state was smelled with good taste. When the spirulina was mixed to several kinds of margarines, those of higher contents of fats and oils improved the dispersion status and the relish. Custard puddings contained spirulina dispersing neatly to an egg yolk also smelled favorably with an acceptable taste.

For the making use of spirulina as daily foods, it seems to be important that a stable dispersion state is present. In view of the pudding having been made very deliciously, it is possible that spirulina is congenial to an egg yolk physicochemically.

Key words : *Spirulina platensis*, miso, margarine, egg yolk

I. 緒言

スピルリナ (*Spirulina platensis*) は、35億年前を起源とする藍藻類であり、幅0.005~0.008mm、長さ0.3~0.5mmの大きさで螺旋の形状をもつ。栄養特性としては、必須アミノ酸をバランスよく含む良質のたんぱく質を60~70%含有し、細胞膜が薄いために消化吸収率も非常に高いことが挙げられる。また、プロビタミンA、パントテン酸、ビタミンB群、ビタミンE、ビタミンKなどのビタミン類を多く含み、中でもβ-カロテンとビタミンB₁₂は特異的に多く含む。さらに、カルシウム、マグネシウム、カリウム、鉄、リンなどのミネラル類も多く含み、栄養価に優れた食品と言える^{1),2)}。そのため、1980年には国連工業開発機関が報告という形でスピルリナが「未来の重要な食糧」として注目されるべき食品であると発表し²⁾、近年では宇宙食としての利用についても検討されている³⁾。なお、人類が数千年前からスピルリナを食用としてきた歴史があり、アルカリ性の塩水にて生育するため、メキシコやアフリカの塩水湖を中心に周辺部の原住民のたんぱく源になっていたことがわかっている²⁾。また、酸化ストレス抑制作用をもつことが明らかにされている^{1),2),4),5)}。

近年は管理された人工池で大量培養され、癌、糖尿病、および脂質異常症などの生活習慣病のリス

1) くらしき作陽大学食文化学部現代食文化学科 Department of Contemporary Food Culture, Faculty of Food Culture, Kurashiki Sakuyo University

2) 株式会社 スピルリナ研究所 Spirulina Bio Lab Co., Ltd

ク低下やアトピー性皮膚炎の改善など、様々な効果^{1),2),4)-10)}を期待し、主に健康食品として販売されている。

昨今の健康志向に伴いスピルリナの知名度や利用率は高まっているが、消費量は横ばいである。これには、品質的に濃い緑色と独特の強い香りが大きく影響していると思われる。本研究では、このスピルリナの問題点を克服する手法を検討し、日常の食事や食品に取り入れるための基礎的な実験を行ったので報告する。

Ⅱ. 方法

1. スピルリナの特徴

藍藻類特有の色素成分としてクロロフィルa、カロテノイド、およびフィコシアニンを含む。青色色素であるフィコシアニンを含むため、これを含まない同じく健康食品であるクロレラの緑色とは異なる緑色を呈する。また、この青色色素はスピルリナ青と称され、天然色素として食品に用いられている。図1に、スピルリナと青色色素を示した。

臭いに関してはかなり強い磯の香りのような独特の風味がし、これを活かすよりも覆い隠す調理方法をとる方がよいと判断した。

溶解性に関しては、液体に対しては溶解というよりは分散するといった性質であると思われる。一般に、粘性をもつものと混ぜ合わせた際の分散性はよく、粒子が細かいため口にした時のざらつきなどはほとんど感じられない。



図1. スピルリナ・スピルリナ青

2. 試料

株式会社スピルリナ研究所製の*Spirulina platensis*を原料とするスピルリナパウダー（以下、スピルリナと呼ぶ）を使用した。

また、対照実験の試料として、色、性状が似ており日常的に製品によく用いられている抹茶と、同じく色、性状が似ており健康食品として販売されているクロレラ粉末（商品名:ヤエヤマ・クロレラ）を使用した。

3. 実験項目

上記のことを踏まえ、次の3点について検討を行った。

- 1) 味噌における分散性
- 2) 味噌汁への利用
- 3) 油脂類への分散性と相性

Ⅲ. 結果および考察

1. 味噌における分散性

スピルリナを60℃前後の湯に0.25%の割合で投入し、手動にて攪拌した（実験①）。スピルリナを味噌に混合する場合は、味噌に対して1.3%のスピルリナを混合した後、スピルリナの割合が0.25%になるように湯を加えて攪拌した（実験②）。また、スピルリナの分散性を確認するために、スピルリナの代わりに抹茶を湯に投入・攪拌し対照実験を行った（実験③）。なお、味噌はマルコメ株式会社製のだし入り味噌「料亭の味」、抹茶は（株）矢野園製の「宇治の松風」を使用した。

実験①

湯にスピルリナを投入、攪拌した後の様子を図2に示した。

スピルリナの多くが溶け残り、縁や水面にも粒子が見られた。香りはスピルリナ独特の強い磯の香りがした。また、静置後は沈澱が確認され、上澄部分は蛍光色の緑色を呈した。



図2. スピルリナ/湯

実験②

スピルリナを味噌に混ぜ込んだ後、湯を注ぎ攪拌した後の様子を図3に示した。わずかに粒子が見られたものの、均一に分散し、白濁した黄緑色を呈した。香りは味噌の香りがし、スピルリナ独特の磯の香りはなかった。静置後は、スピルリナの粒子と味噌はともに沈澱した。このとき上澄部分は黄土色を呈した。



図3. スピルリナ/味噌/湯

実験③

スピルリナの分散性を確認するために対照実験として湯に抹茶を加えて攪拌した後の様子を図4に示した。細かな粒子がわずかに容器の壁面に見られたものの、ほぼ全て分散していた。水面にも粒子は見られなかった。静置後沈澱が確認されたが、上澄部分にも抹茶粒子が分散しており、黄緑色を呈した。



図4. 抹茶/湯

以上の結果より、スピルリナの分散性は湯に対して劣ること、味噌と混合すると結合し分散性が向上するとともに独特の香りが抑制される傾向がみられることがわかった。味噌はよくすりつぶして用いると粒度の細かいコロイド溶液となり分散性が増すこと、コロイド粒子にはマスキング効果があることが知られており、今回の実験ではスピルリナを味噌に混ぜ込むために攪拌したことで味噌自体の分散性が向上したこと、味噌によるマスキング効果で香りが和らいだことが考えられる。

2. 味噌汁への利用

スピルリナ入り味噌汁における、美味しいと感じられるスピルリナの添加割合の目安を見出すことを試みた。味噌汁の調製は、だし入り味噌に湯を注ぐ簡易な手法とした。

だし入り味噌15gに対して、スピルリナをそれぞれ1.0g、0.8g、0.5g、0.3g、0.2g添加し攪拌・混合

した後、湯100gを加えて溶かし、食味の検討を行った。また、スピルリナと味噌の混合攪拌時、湯に溶解時、および静置後の各々の状態を観察した。

その結果、スピルリナと味噌の組み合わせでは、嗜好性を考慮すると、味噌15gに対してスピルリナ0.5g以下を混合するのが適していると考えられた。また、この中でも味噌15gに対してスピルリナ0.2gを混合したものの、すなわち味噌に対して1.3%が、香り・味・風味において美味しく感じることができる割合と判断した。

混合に際しては、スピルリナの添加量が多くなるにつれて攪拌がしにくくなった。静置時においては、スピルリナの粒子が味噌と共に沈澱していることより、大半のスピルリナは溶解しているのではなく、味噌のコロイドと結合して分散していることが観察された。そしてその上澄部分には、スピルリナの量が多くなればなるほど緑色が濃くなることから、味噌のコロイドと結合できる量には限界があり、結合が飽和状態になると超過分は上澄みに移行すると推察した。

3. 油脂類への分散性と相性

3-1. マーガリン

味噌と同様なマスキング効果を期待でき、日常的によく利用される食品の一つとして、油脂類が考えられる。

そこで、マーガリンにスピルリナを混合し、パンに塗ることとした。なお、スピルリナ混合マーガリンをトーストしていない食パンに塗った場合、図5のように外観が著しく食欲を損なうものであったため、スピルリナ混合マーガリンを塗った後、トーストする手法をとった。

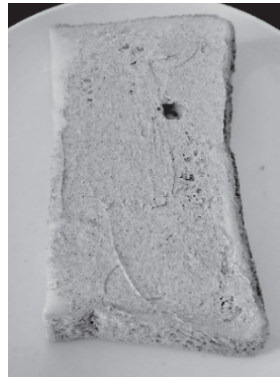


図5. スピルリナ/マーガリン (生)



図6. スピルリナ/マーガリン (焼き)

脂質量が23% (明治 明治ヘルシーソフト オフスタイルベに花)、40% (明治 なめらかソフトカロリー-50%カット)、64% (明治 コーンソフト)、66% (雪印メグミルク ネオソフト)、75.3% (明治 チューブでバター 1/3) と異なるマーガリンを用い、それぞれのマーガリンに重量の2.5%のスピルリナを手動で均一になるように混合した後、食パンに塗ってオーブントースターで焼いたもの (図6) を7名 (女子学生5名、教員男女各1名) のパネルによって試食し比較を行った。その結果、「脂質量が最も多いマーガリンが、スピルリナの強い香りを最も強くマスキングし、美味しく食べられた。」という評価で全員一致した。また、マーガリンの脂質が多ければ多いほど、スピルリナの香りや味、風味をマスキングするとともに、組み合わせさせた味としても相性が良い傾向が見られた。

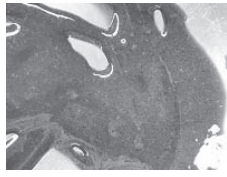
3-2. プリン

卵黄は脂質の多い食品である。従って卵黄にスピルリナを混ぜ込むことでマスキング効果が得られると予想される。そこで、カスタードプディング (以下、プリンと呼ぶ) を作成し、その効果を確かめた。プリンの材料は卵 (88g)、牛乳 (265g)、砂糖 (50g)、スピルリナとし、試料の調製は次のように行った。

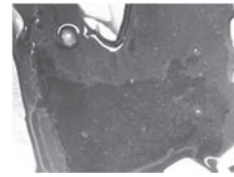
まず、卵を卵黄と卵白に分け、卵黄にスピルリナを少しずつ加え攪拌する。その中に腰をきった卵白を少しずつ加え攪拌後、温めて砂糖を溶かし込んだ牛乳を少量ずつ加え混ぜて卵液とする。これを油を薄く塗ったプリン型に流し込み、12分ほど蒸す。

今回の実験では、まず、卵黄にスピルリナが混ざる最も高い割合を求めた。その結果、2.86% (スピルリナ1.0g/卵黄35g) が問題なく混合できる割合、3.42% (スピルリナ1.2g/卵黄35g) が上限 (時間をかければ混合できる割合) であることが確認できた。なお、ここで言う『卵黄がスピルリナと混

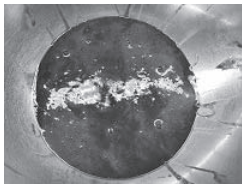
合する』は、スピルリナがダマを作ることなく卵黄に混ざり込み、濃い緑色の粘性のある液体になることを指し、混合方法としてはゴムベラで少しずつ混ぜる手法を用いている。卵液を調製している過程を図7に示した。



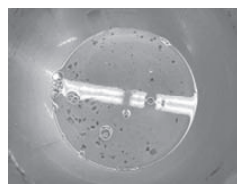
卵黄にスピルリナを半量加え混合した状態



卵黄にスピルリナを全量混合した状態



上記に卵白を加え混合した状態



卵液



卵液をプリン型に流した状態

図7. スピルリナ入り卵液調製工程

調製した卵液は少し蛍光を帯びたエメラルドグリーンをしていた。次に、この卵液を蒸してできたプリンの外観を図8に示した。



表面



底面



側面



断面

図8. スピルリナ入りプリンの外観

できたプリン、底面に僅かにスピルリナの沈澱が見られたが、それ以外はきれいに卵液に溶け込んだまま蒸しあがっていた。プリンは、スピルリナを卵黄に2.86%添加したものと、3.42%添加したものの2つを作成し、女子学生4名と教員男女各1名の計6名をパネルとして試食を行った。その結果、全員一致で、スピルリナ独特の磯の風味は和らげられ、卵液の味との相性もよく、美味しく食べられるものができたと評価された。また、スピルリナの添加割合の高い方が磯の風味が強く、特徴が顕著に表現されてよい傾向が認められた。

しかし卵黄に対するスピルリナの割合が3.42%では、混ぜ込むのに長時間を要するため、卵の重量88gとスピルリナの重量は変えることなく、卵黄を増加することで操作を楽にすることを試みた。すなわち混ぜ込みやすかった2.86%という卵黄に対するスピルリナの割合になるように、卵黄量を増加した。その結果、外観は沈澱が減少し、蒸しあがったものは卵黄が増えコクが増したため、プリンとしての外観・食味ともに向上したと言える。

以上のことより、好ましいスピルリナ入りプリンの配合および作り方として、表1のようなレシピが提案できる。なお、プリン作成の際、一般的に添加される香料（バニラエッセンス等）については、スピルリナの風味を活かすために使用しなくてもよいと判断した。

表1. スピルリナ入りプリンのレシピ

材料 (5個分)	重量 (g)	作り方
卵黄	42	①卵黄にスピルリナを加え、ゴムベラで攪拌する。 ②腰をきった卵白を①に少しずつ加え、ゴムベラで攪拌する。
卵白	46	
スピルリナ	1.2	③鍋に牛乳と砂糖を入れて加熱し、砂糖を煮溶かす。 ④粗熱をとった③を②に加え混ぜ、卵液とする。
牛乳	265	
砂糖	50	⑤卵液をプリン型に分け入れ、10～12分蒸す。

次に、スピルリナのプリンへの利用の可能性について検討するために、同様の性状であり健康食品として出回っているクロレラを用い、考案したスピルリナ入りプリンのレシピ（表1）に基づきプリンを作成した。図9に、クロレラの外観を示した。粒子はクロレラよりもスピルリナの方が大きく、色はクロレラの方が鮮やかな緑色を呈している。なお、対照実験として、スピルリナやクロレラと同様な性状、色をもち、お菓子作りによく利用される抹茶を用いたプリンを作成した。また、図10にクロレラを使用したプリンの外観、図11に抹茶プリンとの比較を示した。

先述したように、クロレラはスピルリナよりもかさ比重が小さいことより、沈澱や浮遊する割合が多いと推察される。そのため、外観が他の2つのプリンよりも著しく劣った。また、味についてもウニのような味が強く、卵黄と混ぜる工程では錆びた鉄のような独特な香りがしたことより、プリンに使用するには向かないと結論した。これに対し、スピルリナ入りプリンは、抹茶プリンと酷似した外観であるだけでなく、味も特徴的で好まれるものであった。なお、スピルリナ入りプリンの味が受け入れられやすい理由については、一般的に卵と海苔の相性はよいとされており、スピルリナがもつ海苔のような磯の風味が卵と合うからではないかと推察される。

これらのことより、スピルリナのプリンへの利用は多いに期待できると考えられる。

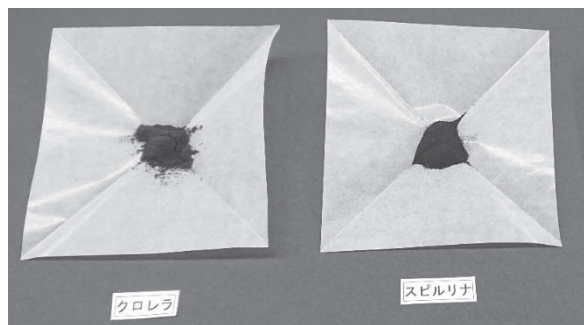


図9. クロレラの外観

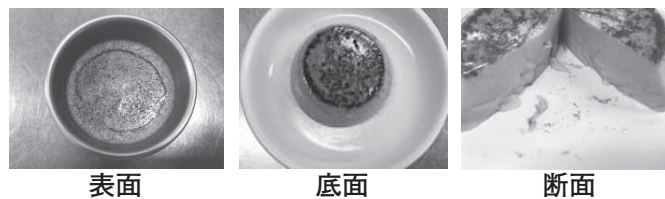


図10. クロレラ入りプリンの外観

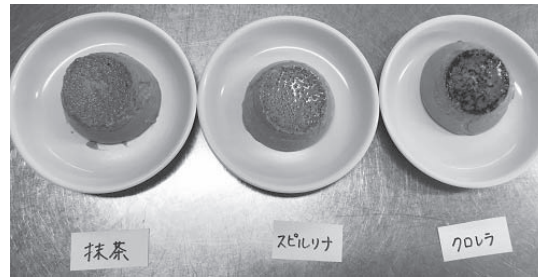


図11. 外観の比較

IV. 要約

主に健康食品として利用されているスピルリナは、液体への分散性の悪さと独特の強い磯の風味が料理や食品に利用する際の問題点として挙げられる。このため、香りをマスキングすることで、日常的な料理へ利用できると考えられる。その性質は、湯への分散性は劣るが、コロイド粒子をもつ味噌と混ぜ合わせることで改善されることがわかった。

また、味噌と同様のマスキング効果を期待できると予想された油脂類の一つであるマーガリンに混合し、食パンに塗って焼くことでも独特の香りや風味を抑えられる傾向が示唆された。

そこで、脂質を多く含む食品であり、日常の調理において使用頻度の高い卵黄についても検討を行った。その結果、ある一定の割合でスピルリナはきれいに分散されることがわかった。そしてこのスピルリナ入り卵黄を使用してプリンを作成したところ、抹茶プリンと酷似した外観で、好ましい味のものに仕上がった。今後はさらに卵黄を使用した料理、あるいは他の油脂との相性や利用方法について検討していきたいと考えている。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、試食にご協力いただきました本学食文化学部教員、および学生の皆様に深く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 尾崎東明：スピルリナ ―ガンや老化も予防する、未来の食品―、健全社（1998）
- 2) 斉木育夫：究極の完全食品 スピルリナ、高輪出版社（1996）
- 3) <https://this.kiji.is/-/labels/ちとせ研究所>（閲覧年月日：2018年11月15日）
- 4) Jing Zheng, Toyoshi Inoguchi, Shuji Sasaki, Yasutaka Maeda, Mark F. McCarty, Masakazu Fujii, Noriko Ikeda, Kunihi Kobayashi, Noriyuki Sonoda, and Ryoichi Takayanagi : Phycocyanin and phycocyanobilin from *Spirulina platensis* protect against diabetic nephropathy by inhibiting oxidative stress, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 304, 110-120 (2013)
- 5) Wing Pak, Fusako Takayama, Manaka Mine, Kazuo Nakamoto, Yasumasa Kodo, Mitsumasa Mankura, Toru Egashira, Hiromu Kawasaki, Akitane Mori. : Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of spirulina on rat model of non-alcoholic steatohepatitis, *J Clin Biochem Nutr*, 51(3), 227-234 (2012)
- 6) 新居裕久：緑黄色野菜の栄養素を凝縮した藻 スピルリナで現代病に勝つ ～ガン・動脈硬化・高コレステロール血症・糖尿病～、ハート出版（2013）
- 7) 富永信子, 石原由夏, 石井恭子, 林修, 吉村和法, 仁科正実：スピルリナ長期飲用におけるマウス固形癌形成抑制効果の検討、*体力・栄養・免疫学雑誌*, 24(3), 222-223 (2014)
- 8) 石原由夏, 富永信子, 石井恭子, 林修, 吉村和法, 仁科正実：フィコシアニンにおける癌細胞抑制効果の検討、*体力・栄養・免疫学雑誌*, 24(3), 216-221 (2014)
- 9) 浦修, 林修：ラット好塩基球白血球細胞 (RBL-2H3) におけるスピルリナ成分の抗アレルギー

- 作用の検討, 体力・栄養・免疫学雑誌, 22(3), 232-234 (2012)
- 10) 岩田多子, 稲山貴代、加藤敏光: ラットの果糖誘導性高脂血症に及ぼすスピルリナ (*Spirulina platensis*) の影響, 日本栄養・食糧学会誌, 40(6), 463-467 (1987)