

論文内容の要旨

論文題目 飲料の選択的カフェイン吸着技術に関する研究
—吸着剤による飲料中のカフェイン除去と飲料品質の両立—
氏名 塩野 貴史

第1章 序論

茶やコーヒーなどの嗜好飲料は日常の食生活や食文化に密着した飲みものとして世界中で広く飲用されている。しかし、近年のカフェイン製剤やエナジードリンクなどの普及に伴って、カフェインの過剰摂取に対する懸念が示されており、飲用シーンや体質・体調に応じてカフェイン摂取量を調節したいという社会的ニーズが高まっている。

従来のカフェイン除去技術は、原料である茶葉やコーヒー豆からカフェインを溶出させる方法が一般的であるが、カフェインのみならず香味や機能性に関わる成分も溶出するといった課題を有している。そこで、カフェイン除去と飲料品質の両立に向けた知見の獲得を目的として、吸着剤による飲料中の選択的なカフェイン吸着技術に着目した。本研究では、食品製造における実用性という観点で、食品添加物として認可されている素材の中から天然に採掘される粘土鉱物であるモンモリロナイトを選抜し、飲料中のカフェイン吸着における選択性について一般的な吸着剤である活性炭と比較するとともに、飲料における汎用性および吸着剤の改質が及ぼす影響について、それぞれ詳細な検討を行った。

第2章 カフェインの生理作用

カフェインは茶葉やコーヒー豆、カカオ豆などの天然植物に含まれる食品成分である。経口摂取されたカフェインは、摂取後に速やかに胃腸から吸収され、血中に移行する。カフェインの主な作用機序としてはアデノシン受容体の遮断が知られており、中枢神経系への刺激作用に代表される生理作用には有益なものと同様にネガティブな影響の両面がある。

飲料中のカフェイン除去による期待効果としては、カフェインのネガティブな影響の緩和およびポリフェノール類などの飲料中成分の生理機能の効果的な活用が挙げられる。一例として、厚労省が2014年に公表した「健康づくりのための睡眠指針2014」において、就寝前のカフェイン摂取を控えることが推奨されており、高品質なデカフェ飲料が実現できることで、カフェイン摂取量の調節という社会的ニーズへの貢献が期待される。

第3章 モンモリロナイトの飲料中におけるカフェイン吸着特性解析

モンモリロナイトと活性炭の飲料中における吸着特性について、茶およびコーヒー中のカフェイン吸着速度およびカフェイン吸着における選択性を比較した。カフェイン溶液中の吸着特性と比較して、モンモリロナイトでは茶およびコーヒー中でもカフェイン吸着は速やかに進行したのに対し、活性炭では茶およびコーヒー中ではカフェイン吸着速度は顕著に低下した。また、モンモリロナイトでは茶およびコーヒー中でのカフェイン吸着量の減少は限定的であり、カフェイン除去率の上昇に伴うポリフェノール類の吸着はほとんど確認されなかったのに対し、活性炭では茶およびコーヒー中においてカフェイン吸着量が顕著に減少し、カフェイン除去率の上昇に伴ってポリフェノール類が吸着された。茶およびコーヒーにおけるモンモリロナイトのカフェイン吸着特性はLangmuirの吸着等温式と良好なフィッティングを示したことから、モンモリロナイトによる飲料中のカフェイン吸着は表面の吸着サイトによる選択的な吸着であると考えられた。

本実験により、モンモリロナイトは一般的な吸着剤である活性炭と比較して飲料中のカフェイン吸着における高い選択性を有しており、カフェイン除去と嗜好飲料としての良好な香味を両立できる可能性があることが明らかになった。

第4章 接触条件がモンモリロナイトへのカフェイン吸着と飲料品質に及ぼす影響

モンモリロナイトと飲料の接触条件がカフェイン吸着能と飲料の品質に及ぼす影響を評価した。茶抽出液におけるモンモリロナイトへのカフェイン吸着量は、食品製造の範疇であるpH(4~8)、温度(5~35°C)、時間(0.5~60分)では接触条件に依らず一定であったことから、モンモリロナイトによるカフェイン吸着は接触条件の影響を受けることなく迅速に進行すると考えられた。一方、モンモリロナイトからの鉄イオンの溶出は接触時間に依存して進行するとともに、低pHおよび高温では溶出が促進され、鉄イオン濃度の増加に伴い茶飲料の明度が低下した。これらのカフェイン吸着と鉄イオン溶出における特性の違いを利用し、茶抽出液とモンモリロナイトの接触条件を中性付近かつ低温に設定したところ、処理後の茶飲料の外観品質の向上(明度の上昇)が確認された。

本実験により、モンモリロナイトと飲料の接触条件がカフェイン吸着と鉄イオン溶出に及ぼす影響が明らかになり、その特性の違いを利用して接触条件を産業利用上実現可能な範囲(中性付近かつ低温)に調整することで、カフェイン除去と飲料としての良好な外観品質が両立できることが初めて示された。

第5章 モンモリロナイトによるカフェイン除去技術の汎用性評価

茶種の違いおよびコーヒー豆の違いがモンモリロナイトのカフェイン吸着特性に及ぼす影響を評価した。茶種の違いについては、緑茶、烏龍茶、紅茶のいずれの茶種においてもカフェイン吸着量は同等であったことから、モンモリロナイトによるカフェイン吸着は茶葉の発酵度や産地の違いに依らず幅広い茶飲料に適用可能であると考えられた。コーヒー豆の違いについては、アラビカ種よりもカフェイン含量の多いロブスタ種の方がカフェイン吸着量はわずかに高かったが、焙煎度や産地の違いに依らずカフェイン吸着量は同等であったことから、モンモリロナイトによるコーヒー中でのカフェイン吸着は品種の影響をわずかに受けるものの、焙煎度や産地の違いによる影響は受けないと考えられた。

本実験により、モンモリロナイトによるカフェイン吸着は茶およびコーヒーを始めとする飲料に幅広く適用可能な汎用性を有していることが明らかになった。これらの知見は、飲料製造技術としての実用性という観点で、重要な知見であると考えられる。

第6章 モンモリロナイトの改質がカフェイン吸着と飲料品質に及ぼす影響

モンモリロナイトのイオン置換処理がカフェイン吸着能と飲料の外観品質に及ぼす影響を評価した。モンモリロナイト処理後のデカフェ茶飲料を低温保管したところ、経時的に濁りが発生し、茶飲料としての外観品質が低下することが確認された。デカフェ茶飲料において発生した濁り（析出物）の FT-IR スペクトルの解析結果から、シュウ酸カルシウムの特徴的なピークが確認できたことから、モンモリロナイトと茶抽出液の接触によってモンモリロナイト層間にあるカルシウムイオンが茶中の陽イオンとのイオン交換により溶出し、茶由来のシュウ酸イオンと反応してシュウ酸カルシウムが生成・析出することで濁りが生じていると考えられた。そこで、モンモリロナイトの層間イオンをカルシウム以外のイオンに置換したイオン置換モンモリロナイトを調製したところ、イオン置換モンモリロナイトで処理したデカフェ茶飲料では、未処理の緑茶飲料と比較してカルシウムイオン濃度の増加やシュウ酸イオン濃度の低下は確認されず、濁りも発生しなかった。また、モンモリロナイトのカフェイン吸着能はイオン置換処理に依らず同等であった。

本実験により、モンモリロナイトの層間イオンを置換することで、カフェイン吸着能を維持しつつシュウ酸カルシウムの析出が抑制されることが明らかになり、モンモリロナイトの改質によって飲料中のカフェイン除去と飲料の外観品質における保存安定性の維持が両立できることが新たに示された。

第7章 結論

本研究により、飲料における選択的なカフェイン除去技術として、モンモリロナイトが飲料中のカフェイン吸着における高い選択性と汎用性を有していることを見出した。また、モンモリロナイトと飲料の接触条件の調節およびモンモリロナイトの改質処理によって、飲料中のカフェイン除去と飲料品質の両立が可能であることを示すことができたことは、産業利用上の観点においても価値があると考えられる。

これらの知見が、飲料中成分の選択的除去と飲料品質の両立という課題に対する科学的知見として活用され、多くの人々が飲用シーンや体質・体調を問わず安心して飲みものを楽しめる日常が広がることを今後期待したい。

発表論文・総説

- (1) Shiono T, Yamamoto K, Yotsumoto Y, Kawai J, Hioki J, Naganuma H, Eguchi T, Kurihara M, Yoshida A, Deuchi K.
Selective decaffeination of tea extracts by montmorillonite.
J. Food Eng. (2017) 200: 13-21.
- (2) Shiono T, Yamamoto K, Yotsumoto Y, Yoshida A.
Caffeine adsorption of montmorillonite in coffee extracts.
Biosci. Biotechnol. Biochem. (2017) 81: 1591-1597.
- (3) Shiono T, Yamamoto K, Yotsumoto Y, Yoshida A.
Effects of interlayer ion in montmorillonite on appearance of decaffeinated tea beverage.
Food Sci. Technol. Res. (2018) 24: 215-221.
- (4) 塩野貴史, 河合淳一郎, 山本研一朗.
天然吸着剤による飲料からのカフェイン除去技術.
日本食品科学工学会誌 (2018) 65: 99-103.
- (5) 塩野貴史.
食品製造における選択的なカフェイン除去技術の開発.
化学と生物 (2018) 56: 395-401.
- (6) 塩野貴史.
天然吸着剤による飲料中のカフェイン除去と飲料品質の両立.
ソフト・ドリンク技術資料 (2018) in press.