

学位論文題名

ビートファイバーの栄養生理に関する研究

学位論文内容の要旨

食物繊維（DF）に対する関心が高まるなか、数多くのDF素材が開発・生産されている。そして、栄養学的研究においても、その対象として数多くのDF素材を積み上げている。とくに、これまでのDFに関する研究では、単離・精製されたDF素材（ガム質、セルロース、ペクチン、マンナン、キトサンなど）を用いた研究が多い。しかし、食生活では、DFは単離・精製されたものではなく、穀類、野菜、果物、豆類、海草類などより各種繊維質成分の複合体として摂取されている。

本研究は、複合DF素材であるビートファイバー（BDF）を主に用い、DFの各種栄養生理的作用に対するBDFの位置づけと、DFの効果発現の機構を解明する目的で開始した。なお、本研究は、ラットを用いたDFの栄養学に関する基礎的研究に属するものである。研究は、ラットに全栄養素を十分含む精製基本飼料と、これに、BDFをはじめ各種DF素材、または化学物質を添加した飼料を給与し、このときの成長応答をはじめとする生理的応答を比較する方法で進めた。

1. ビートファイバーの化学成分と物理化学的性質

BDFは、ビート根の砂糖抽出残渣を、可溶性成分、皮層部の除去などにより洗浄し、脱水・乾燥・粉碎して得られる乾燥粉末である。BDFは約81%のDFを含有し、本来食用植物が保有しているセルロース、リグニン、ヘミセルロース、およびペクチンの繊維質成分よりなり、植物由来のDF素材の中では保水性、膨潤性および陽イオン交換能が高いなどの物理化学的性質があることを確かめた。

2. ビートファイバーの食餌性有害物質毒性阻止作用

DFの栄養機能の一つである食餌性有害物質の毒性阻止効果について、アマラン

ス（Am、食用赤色2号）をモデルとして、これまでの報告を追試し、不明瞭な点についてそのメカニズムの解明を試みた。BDFはAm毒性に対し阻止効果の強いDF素材であることが確認され、この効果発現には小腸腔内移動速度（SITS）が関与していることが *in vivo* の実験で明かとなった。また、Amによる栄養素の消化吸収阻害は、消化吸收機能の不可逆的な、また進行性の阻害によるものではなく、栄養素の吸収量低下に基づくことが長期飼育ラットで再確認された。さらに、Am毒性に対するDFの阻止効果の強さは、DFの水中沈定体積（SV）値と相関関係にあり、とくに胃・小腸腔内でのDFのSV値がより密接な関連性を示すデータが得られた。また、DFのAm毒性阻止作用は、飼料タンパク質源の質（アミノ酸バランス）とも密接に関係することが示唆された。これらより、Am毒性に対するDFの効果発現の機構は、DFがAmと共存時、DFの胃・小腸腔内での膨潤性が小腸との相互作用を通じて小腸腔内内容物のSITSを正常化させ、栄養素の消化吸収が改善され、ひいては成長回復が得られると推定した。なお、DFの膨潤性がいかにSITSをコントロールしているかを解明することは、今後の重要なテーマである。

3. ビートファイバーの脂質代謝改善作用

DF素材として主にBDFを用い、給与飼料はこれまで報告されていないコレステロール（Chol）、コール酸を負荷しない飼料とし、また、長期飼育を条件として試験を実施した。結果、BDFは、顕著な血清脂質（Chol、中性脂肪）の低下作用、肝臓および体組織への脂質蓄積抑制作用を有することが確認された。しかし、本実験条件下では、これまでChol低下作用があるとされているペクチンは、持続性のある効果は示さなかった。なお、BDFは血中脂質を上昇させるカゼイン飼料では作用を発揮するが、大豆蛋白を蛋白源とする飼料ではChol低下作用は示さなかった。さらに、Chol負荷飼料条件下では、血清Cholの大部分が給与飼料中のCholに由来し、飼料Cholの影響が大きいため、摂取DFの血清脂質調節作用の能力が発揮できないことも明かにした。

また、BDFのその効果発現は、盲腸切除ラットにおいては消失すること、および腸内細菌による分解を受けにくくなるように改質したBDFは効果がないことより、盲腸機能が密接に関与していることを見いだした。このBDFの血清脂質低下作用は、BDFの物質的性質（粒度、大腸内での発酵性）とは関連性が得られず、

成分中の非水溶性画分であるADF（セルロースとリグニンの結合体）が重要な成分的要因であることが示唆された。なお、BDF中の水溶性繊維質（SDF）であるペクチン、ヘミセルロースには血清脂質低下作用は確認されなかった。また、小麦ふすま（WB）にもその効果がなかったが、WBからのADF画分は、BDFおよびそのADF画分と同様、顕著な血清脂質低下作用を示した。これより、ADF画分は、食用植物由来の複合型DF素材の共通の、血清脂質に影響する成分因子であることが推測された。なお、全実験を通して、血清脂質の変動と、糞排泄量、糞中へのステロール排泄量、盲腸内有機酸組成および含量とは関連性のあるデータは得られなかった。

以上の結果から、BDFの血清脂質低下作用は、摂取BDFが胃・小腸腔内をそのまま通過し盲腸部（ヒトでは結腸上部）に達した時、腸内菌叢によりBDF中の非DF成分およびSDFであるペクチン、ヘミセルロースが分解されてADF画分が露出した段階で、そのADF成分が結腸部組織との相互作用により生理的効果を発揮して効果発現しているのではないかと推定した。しかし、このADFの効果はこれまで報告されておらず、また、これまでの血清Chol低下作用におけるSDFの効果とは全く異なったものであるため、今後、詳細な検討が必要である。

4. ビートファイバーの実験的大腸ガン発生率抑制作用

1,2-dimethylhydrazine（DMH）誘発ラット腸ガンに対するBDFの効果を調べた。DMH誘発ラット腸ガン発生に対して、DFの抑制効果はそのDFの種類によって異なり、なかでもBDFは強い抑制作用を示した。また、糞排泄量および消化管内容物の移動時間と、腸ガン発生との間には関連性を示すデータは得られなかった。DMH誘発ラット腸ガンの発生に対するBDFの抑制効果は、DMH投与時の胃および小腸腔内にBDFが存在しているかどうかが大きく関与しており、また、焙焼変異原吸着試験でのBDFの強い変異原吸着より、BDFのDMH吸着排泄作用が腸ガン発生を抑制している可能性があることが示唆された。

以上のように、BDFは、各種の生理的効果を有するDF素材であることが示された。BDFは、食用植物由来のDF素材（小麦ふすま、コーンふすま、大豆かすリンゴファイバーなど）と比べても、繊維質成分にちがいはないことより、この

BDFの効果は、DF含量の高さと、DF特有の物理化学的性質の長けていることに起因しているものと推測している。また、BDFのAm毒性阻止作用、脂質代謝改善作用およびDMH誘発ラット腸ガン発生の抑制作用をみると、その効果発現は、BDFのSV値（膨張性）、BDFのADF画分（成分的要因）、BDFの吸着能とそれぞれかなり異なった機構によるものと推測される。これは、DFが消化管の各部位（口から胃、小腸部、大腸部）における特有の機能に対応しながら、内容物の状態と移動速度の調節に関わり、各種の生理効果を実現していくため、DFの持つ生理効果発現機構の複雑さを示していると考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教授 葛 西 隆 則
副 査 教授 仁 木 良 哉
副 査 教授 富 田 房 男
副 査 助教授 原 博

学位論文題名

ビートファイバーの栄養生理に関する研究

本論文は、総頁数253ページの和文論文で、表54、図42、写真13、引用文献167を含み、6章で構成されている。別に参考論文10編が添えられている。

食物繊維（DF）に対する関心が高まるなか、栄養学的研究においても、その対象として数多くのDF素材を積み上げている。

本研究は、これまで研究がなされていないビートファイバー（BDF）について、ラットを用いた実験系で、DFとしての栄養生理的效果を確認することを目的としたものである。また、様々な角度からDFの効果発現の解明を試みている。

本研究で得られた成果を要約すると以下の通りである。

1. ビートファイバーの化学成分と物理化学的性質

本研究では、ビート根の砂糖抽出残渣（パルプ）から得られるBDFを主なDF試料として用いている。BDFは約81%のDFを含有し、本来食用植物が保有しているセルロース、リグニン、ヘミセルロース、およびペクチンの繊維質成分よりなり、植物由来のDF素材の中では保水性、膨潤性および陽イオン交換能が高いなどの物理化学的性質があることを明かにした。

2. ビートファイバーの食餌性有害物質毒性阻止作用

DFの栄養機能の一つである食餌性有害物質の毒性阻止効果について、アマランス（Am、食用赤色2号）をモデルとして、そのメカニズムの解明を試みている。

BDFはAm毒性に対し阻止効果の強いDF素材であることを確認し、この効果発現には小腸腔内移動速度(SITS)が関与していることをin vivoの実験で明かした。また、Amによる栄養素の消化吸収阻害は、消化吸収機能の不可逆的な、また進行性の阻害によるものではなく、栄養素の吸収量低下に基づくことを長期飼育ラットで実証した。一方、Am毒性に対するDFの阻止効果の強さは、DFの水
中沈定体積(SV)値と相関関係にあり、とくに胃・小腸腔内でのDFのSV値がより密接な関連性があることを見いだした。また、DFのAm毒性阻止作用は、飼料タンパク質源の質(アミノ酸バランス)とも密接に関係することを示した。これより、Am毒性に対するDFの効果発現の機構は、DFがAmと共存時、DFの胃・小腸腔内での膨潤性が小腸との相互作用を通じて小腸腔内内容物のSITSを正常化させ、栄養素の消化吸収が改善され、ひいては成長回復が得られると推定している。

3. ビートファイバーの脂質代謝改善作用

DF素材として主にBDFを用い、給与飼料はこれまで報告されていないコレステロール(Chol)、コール酸を負荷しない飼料とし、また、長期飼育を条件として試験を実施している。結果、BDFは、顕著な血清脂質(Chol、中性脂肪)の低下作用、肝臓および体組織への脂質蓄積抑制作用を有することを示した。なお、BDFは血中脂質を上昇させるカゼイン飼料では作用を発揮するが、大豆蛋白を蛋白源とする飼料ではChol低下作用は示さなく、さらに、Chol負荷飼料条件下では、血清Cholの大部分が給与飼料中のCholに由来し、飼料Cholの影響が大きいため、摂取DFの血清脂質調節作用の能力が発揮できないことも明かにした。

また、BDFのその効果発現は、盲腸切除ラットにおいては消失すること、および腸内細菌による分解を受けにくくなるように改質したBDFは効果がないことより、盲腸機能が密接に関与していることを突き止めた。このBDFの血清脂質低下作用は、BDFの物質的性質(粒度、大腸内での発酵性)とは関連性が得られず、成分中の非水溶性画分であるADF(セルロースとリグニンの結合体)が重要な成分的要因であることを示唆した。さらに、血清脂質低下作用が確認されていない小麦ふすまより分離したADF画分は、BDFおよびそのADF画分と同様、顕著な血清脂質低下作用を有することも示した。よって、ADF画分は、食用植物由来の複合型DF素材の共通の、血清脂質に影響する成分因子であることを推定している。

なお、全実験を通して、血清脂質の変動と、糞排泄量、糞中へのステロール排泄量、盲腸内有機酸組成および含量とは関連性のあるデータは得られていない。

以上の結果から、B D Fの血清脂質低下作用は、摂取B D Fが胃・小腸腔内をそのまま通過し盲腸部（ヒトでは結腸上部）に達した時、腸内菌叢によりB D F中の非D F成分およびS D Fであるペクチン、ヘミセルロースが分解されてA D F画分が露出した段階で、そのA D F成分が結腸部組織との相互作用により生理的効果を発現しているのではないかと仮説をたてている。

4. ビートファイバーの実験的大腸ガン発生率抑制作用

1,2-dimethylhydrazine (DMH) 誘発ラット腸ガンに対する各種D Fの効果を比較し、効果発現の解明を試みている。DMH誘発ラット腸ガン発生に対する、抑制効果はD Fの種類によって異なり、なかでもB D Fは強い抑制作用があることを示した。なお、糞排泄量および消化管内容物の移動時間と、腸ガン発生との間には関連性を示すデータは得られていない。DMH誘発ラット腸ガンの発生に対するB D Fの抑制効果は、DMH投与時の胃および小腸腔内にB D Fが存在しているかどうかが大きく関与しており、また焙焼変異原吸着試験でのB D Fの強い変異原吸着より、B D FのDMH吸着排泄作用が腸ガン発生を抑制している可能性があることを示唆している。

以上、B D Fを用いたラット試験で、D Fの新しい現象を数多く見だし、それらの効果発現の解明を進めたことは高く評価される。よって、審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者、有塚勉は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。