

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20380077

研究課題名（和文）食物繊維としてのレジスタントスターチ4：栄養・生理機能の評価と作用機構

研究課題名（英文）Resistant starch type-4 (RS4) as dietary fiber: evaluation of nutritional and physiological function of RS4

研究代表者

海老原 清 (EBIHARA KIYOSHI)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号：90036492

研究成果の概要（和文）：レジスタントスターチ・タイプ4（RS4）とは加工デンプンのことであり、各種の加工食品に利用されている。本研究では、RS4の消化性、発酵性、血糖およびインスリン応答、糖尿病発症抑制効果、消化管免疫に対する影響について検討した。その結果、置換基の付加により、①RS4の消化性は低下し、発酵性血糖値およびインスリン分泌応答は改善され、その効果は置換基の種類および置換度によって影響された、②RS4は2型糖尿病モデルマウスにおいて発症を抑制した、③RS4はIgAの分泌を促進したことなどを明らかになった。本研究からRS4は糖代謝、消化管免疫機能に影響を与えるとともに、低エネルギー食品の開発に有用な素材であることも明確になった。

研究成果の概要（英文）：Resistant starch type 4 is modified starch and is used for various kinds of processed foods. In this study, it is examined the effects of RS4 on digestibility, fermentability, blood glucose and insulin responses, insulin resistance in genetically diabetic mice, and gastrointestinal immunity. The effect of RS4 on digestibility, fermentability and blood glucose and insulin responses were affected by the kind and degree of substitution of RS4. RS4 retarded the development of insulin resistance in a type 2 diabetes model mice. RS4 promoted secretion of IgA in the small intestine and cecum. From the results of this study, it became clear that metabolism and gastrointestinal immunity are affected by RS4, and then that RS4 is a useful material for the development of low energy food.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：食品栄養化学

科研費の分科・細目：農芸化学・食品科学

キーワード：レジスタントスターチ・タイプ4（加工デンプン）、血糖値、インスリン、消化性、
発酵性、消化管ホルモン、消化管免疫

1. 研究開始当初の背景

レジスタントスターチ (RS) に食物繊維と類似した栄養・生理機能のあることは広く認識されている。RS はその特性により4タイプに分類される。いずれも食物繊維と同様に消化され難い。タイプ1 (RS1) は精製度の低いデンプン、タイプ2 (RS2) はアミロース含量の多いデンプン、タイプ3 (RS3) は老化デンプン、タイプ4 (RS4) は加工デンプン (化学修飾デンプン) である。RS1-3 の栄養・生理機能については多くの研究がなされているが、RS4 の栄養・生理機能についてはほとんど研究されていない。RS4 は既に加工食品に利用され、安全性も証明されている。食物繊維は食感、加工の点で食品への応用に限界があり、食物繊維の摂取量を増やすことを目的とした食品への利用において多々問題点がある。しかし、RS4 は食感、加工面においてほとんど問題はないだけでなく、日常的に摂取するデンプン食品への利用が可能のため、量的に問題なく摂取できる。こうした利点があり、加工食品を通して日常的に摂取している RS4 をレジスタントスターチとして位置づけ、その栄養・生理機能についての研究はほとんどされていない。現在日本人の食物繊維の摂取量は目標量に達していない。食物繊維摂取量の確保は日本人の健康の維持・増進にとって重要な課題である。RS2 および RS3 を食物繊維摂取量確保のための利用については、価格および加工特性の面で現実的ではない。RS4 の利用は食物繊維摂取量確保の手段の一つである。従って、RS4 の栄養・生理機能の検討は重要課題である。

2. 研究の目的

RS4 の栄養・生理機能は化学修飾方法 (置換基の種類、置換度、架橋の有無) によって異なることが推定される。そこで本研究では、RS4 の化学修飾方法が RS4 の栄養・生理機能にどのような影響を及ぼすかを明らかにしようとした。

3. 研究の方法

ラット、マウスを実験動物として用い、主に実験栄養学の立場から以下の項目について検討を行った。可能な場合にはヒトにおいての検討も行った。

(1) RS4 の消化性

①ラットでの検討

摂取したデンプンは主に小腸で消化され、

グルコースとして吸収される。デンプン摂取後の血糖値の変動は、そのデンプンの消化性を大きく反映している。食品加工の場で利用度の高い RS4 であるヒドロキシプロピル化デンプン、アセチル化デンプン、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋デンプン、アセチル化架橋デンプンについて、置換度および架橋の有無の点から消化性を検討した。化学修飾を施していないデンプンを対照に用いた。デンプンは全て糊化してから用いた。デンプン懸濁液 (グルコース量として10%となるように調製) を1夜絶食させた体重約200gのラットに胃管で投与し、投与直前 (絶食時)、投与後15、30、60、90、120分に尾静脈より採血し、血糖値を測定し、血糖値曲線を描いた。懸濁液は体重100gあたりグルコース量が100mgになるように投与した。血糖値曲線下面積を計算し、得られた面積値を消化・吸収されたグルコース量とした。面積値の大小により消化性を比較した。

②ヒトでの検討

25-50歳 (36±5歳)、体格指数 (BMI) が22.0±2.4の健常成人男性10人を被験者とした。被験者には実験前日の21時以降、水あるいは茶飲料以外の飲食を禁じた。12時間絶食後、被験者にはクッキー5枚 (1枚につき試験物質を10g含む) を飲料水300mLとともに10分以内に摂取させた。試験物質にはヒドロキシプロピル化デンプン (架橋度=0.17)、リン酸架橋デンプン (リン含量=0.46%) を用いた。陽性対照試験物質 (ポジティブコントロール) に化学修飾を施していないデンプンを、陰性対照試験物質 (ネガティブコントロール) としてセルロースを用いた。実験はクロスオーバー法で実施した。クッキー摂取直前 (絶食時)、摂取後30、60、90、120、150、180分に指先より採血し、血糖値を測定し、血糖値曲線を描いた。血糖値曲線下面積を計算し、得られた面積値を消化・吸収されたグルコース量とした。面積値の大小により消化性を比較した。

(2) RS4 の発酵性

小腸での消化を免れた食物繊維やRSなどの難消化性糖質は大腸に達すると、そこに生息する腸内細菌によって分解 (発酵) され、短鎖脂肪酸、メタンガス、水素ガスなどが生成される。生成された水素ガスは呼吸より排泄されるが、水素ガスは腸内細菌により難消化性糖質が分解されたときのみ生成される

ので、呼気中の水素ガスの量を測定することにより、難消化性糖質の発酵性の有無および発酵の度合いを知ることができる。

①ラットでの検討

ラットにRS4として置換度の異なるヒドロキシプロピル化デンプン（置換度=0.058、0.086、0.144、0.360）、アセチル化デンプン（置換度=0.09）、アセチル化リン酸架橋デンプン（置換度=0.08、リン含量=0.08）を含む実験飼料を48時間絶食させたラットに30分間摂取させた後、ラットチャンバーに入れ、ポンプでチャンバー内に空気を一端から取り入れ、他端からラットの呼気を含む空気を30分置きに12時間サンプリングバッグに採取し、サンプリングバッグ中に含まれる水素量を測定した。対照に発酵性の高いことが既に知られているRS2であるハイアミローススターチを用いた。実験飼料の組成は100gあたりデンプン80g、ショ糖13g、大豆油7gである。12時間測定後、各測定時の水素量をプロットし、プロット曲線下の面積を算出した。面積値の大小により発酵性（腸内細菌による消化性）を比較した。

②ヒトでの検討

29-49歳（36±5歳）、体格指数（BMI）が22.0±2.4の健常成人男性10人を被験者とした。被験者には実験前日の21時以降、水あるいは茶飲料以外の飲食を禁じた。12時間絶食後、被験者に飲料水150mLもしくは試験物質5gを飲料水150mLとともに3分以内に摂取させた。試験物質にはリン酸架橋デンプン（リン含量=0.45%）を用いた。陽性対照試験物質（ポジティブコントロール）としてフラクトオリゴ糖を用いた。実験はクロスオーバー法で実施した。

試験物質摂取直前、摂取後1時間ごとに12時間呼気を採取し、排泄呼気中の水素量を測定した。測定後、各測定時の水素量をプロットし、プロット曲線下の面積を算出し、12時間内に排泄された水素量を求めた。

(3) RS4の難消化性糖質含量の定量

食物繊維の定量に確立された方法はまだないが、現在のところ酵素重量法（プロスキー法、AOAC Method 985.29）が一般的に用いられている。しかし、RSについてもRS2の定量について問題点が多々指摘されているが、定量法は提案されている。しかし、RS4についての定量法は、現在のところ定められていない。そこで、ヒドロキシプロピル化デンプン（置換度=0.338）をRS4として用い、難消化性糖質含量の評価方法について検討した。

①*In vitro study*: 難消化性デキストリンの難消化性糖質含量測定法であるAOAC method 2001.03（酵素重量法とHPLCとを併用

した方法）を用いて行った。

②*In vivo study*: ラットに回-直腸吻合手術を施し、術後の回復を確認した後に2群に分けた。硫酸ネオマイシン（0.1%）を含む飲料水として与え、1群にはAIN93G組成に基づくが、セルロースを含まない飼料（通常の糊化デンプンをデンプン源として含む）、残りの1群にはヒドロキシプロピル化デンプンを5%含む飼料を28日間与え、実験最後の1日（29日目）は両群ともAIN93G組成に基づくがセルロースを飼料与え、実験期間の最後の4日間（26-29日目）糞を採取した。AOAC method 2001.03により糞中の難消化性量を定量した。

(4) RS4の腸内細菌叢に及ぼす影響

腸内細菌叢に対するヒドロキシプロピル化デンプン（置換度=0.058、0.086、0.144、0.360）、アセチル化デンプン（置換度=0.09）、アセチル化リン酸架橋デンプン（置換度=0.08、リン含量=0.08）、ヒドロキシプロピル化ハイアミロースデンプンの影響を検討した。ラットはAIN93組成に基づく飼料の5%をRS4で置き換えた飼料を4週間与えられた。実験終了時に盲腸内容物を採取し、16S rRNA遺伝子を標的としたPCR-DGEE法にて盲腸内細菌叢の分析を行うとともに、クラスター解析を行うことにより、相同性を調べ、RS4の腸内細菌叢に及ぼす影響について検討した。

(5) RS4の糖尿病発症抑制効果

①通常脂肪飼料（7%、NF飼料）での検討
肥満を伴う2型糖尿病モデルKKAYマウスを用いて実験を行った。AIN93G飼料の飼料組成を基本し、デンプン源に化学修飾を施していないものを用いた飼料、この飼料のデンプン源の5、10%をヒドロキシプロピル化デンプン（HPS）で置き換えた飼料（NF+5%HPS、NF+10%HPS）をKKAYマウスに33日間摂取させた。ヒドロキシプロピル化デンプンには置換度が0.348のものを用いた。実験期間中の7、14、21、28日目に尿を採取し、尿糖を測定した。また、14、28日目にKKAYマウスを1晩絶食させた後にグリコース負荷試験を行った。実験最終日に血液、副睾丸周辺脂肪組織を摘出した。

血液については、グルコース、インスリン、アディポネクチン、コレステロール、中性脂肪を測定した。インスリンの感受性を調べるために、空腹時の血清インスリン値と空腹時血糖からインスリン抵抗指数（HOMA-IR）および量的インスリン感受性検査指数（QUICKI）を算出した。

副睾丸周辺脂肪組織の切片を切り出し、染色後に脂肪サイズを測定した。

②高脂肪飼料（20%、HF飼料）での検討

脂肪摂取量の増大はインスリン抵抗性を引き起こす最も重要な環境因子である。これは、高脂肪食の摂取により肥満が発症し、それによって脂肪組織や筋肉での糖の取り込みが低下するためと考えられている。インスリン抵抗性は糖尿病発症の重要な要因である。

そこで肥満を伴う2型糖尿病モデル KKAy マウスを用い、高脂肪飼料にて実験を行った。AIN93G 組成に基づく飼料の飼料組成のうち、脂質量を20%とした高脂肪飼料を基本し(高脂肪飼料、HF)、デンプン源に化学修飾を施していないものを用いた飼料、この飼料のデンプン源の5、10%をヒドロキシプロピル化デンプン(HPS)で置き換えた飼料(HF+5%HPS、HF+10%HPS)をKKAy マウスに33日間摂取させた。ヒドロキシプロピル化デンプンには置換度が0.348のものを用いた。実験期間中の14、28日目にKKAy マウスを1晩絶食させた後にグリコース負荷試験を行った。実験最終日に血液、副腎丸周辺脂肪を摘出した。

血液については、グルコース、インスリン、アディポネクチン、コレステロール、中性脂肪を測定した。インスリンの感受性を調べるために、空腹時の血清インスリン値と空腹時血糖からインスリン抵抗指数(HOMA-IR)および量的インスリン感受性検査指数(QUICKI)を算出した。

副腎丸周辺脂肪組織の切片を切り出し、染色後に脂肪サイズを測定した。

4. 研究成果

(1) RS4 の消化性

①ラットでの検討

アセチル化デンプン(置換度=0.09)、アセチル化リン酸架橋デンプン(置換度=0.08、リン含量=0.08)は対照の化学修飾を施していないデンプンとほぼ変わらない血糖値曲線を描き、血糖値曲線下面積も対照の化学修飾を施していないデンプンと有意差がなかった。消化性に差が認められなかったのは、置換度、架橋度が小さいうえに、置換基であるアセチル基の分子量が小さいため、消化酵素の働きを阻害する作用が小さいためと考えられる。

一方、ヒドロキシプロピル化デンプン、ヒドロキシプロピル化リン酸架橋デンプンの血糖値曲線は緩やかなカーブを描き、血糖値曲線下面積も有意に小さくなった。置換度、架橋度の上昇に伴い、血糖値曲線のカーブはより緩やかになり、血糖値曲線下面積も小さくなり、消化性は置換度、架橋度に影響されることが明らかになった。

②ヒトでの検討

被験者の空腹時血糖値に有意差はなかった。化学修飾を施していないデンプンを配合したクッキー摂取により、血糖値は速やかに

大きく上昇し、摂取30分後で最大となり、その後ベースラインまで戻っていった。リン酸架橋デンプン、ヒドロキシプロピル化デンプン、セルロースを配合したクッキー摂取時の血糖値も摂取後30分で最大となったものの、化学修飾を施していないデンプンを配合したクッキー摂取時の血糖値に比べ、それぞれ28、62、17%の上昇率であった。血糖値曲線下面積も化学修飾を施していないデンプンを配合したクッキー摂取時の面積値に比べ、それぞれ62、47、73%であった。

(2) RS4 の発酵性

①ラットでの検討

アセチル化デンプン、アセチル化リン酸架橋デンプン摂取時の水素ガス排泄曲線下面積は、ハイアミローススターチ摂取時の曲線下面積に比べ、それぞれ約2%、12%小さかったが、有意差は認められなかった。このことは、アセチル化デンプン、アセチル化リン酸架橋デンプンが非常に腸内細菌によって分解(発酵)され易いことを示している。

ヒドロキシプロピル化デンプンの排泄水素ガス量は、ハイアミローススターチ摂取時の曲線下面積に比べ2~5%と非常に少なかった。このことはヒドロキシプロピル化デンプンの腸内細菌に依る分解、すなわち発酵性はほとんど認められなかったことを示している。また、発酵性に対する置換度の影響も認められなかった。別途、酵素処理によりヒドロキシプロピル基がついている部分だけを取得し、発酵性を調べたところ、ほとんど発酵されなかった(腸内細菌によって利用されなかった)。これらのことは、小腸での消化を免れ、大腸に達したヒドロキシプロピル化デンプンの難消化部分は、腸内細菌によって利用されず、そのまま糞中に排泄されることが明らかとなった。

②ヒトでの検討

リン酸架橋デンプン摂取時の水素ガス排泄量は、飲料水のみを摂取したときと同じであり、フラクトオリゴ糖を摂取したときの7%に過ぎなかった。高度にリン酸架橋化されたデンプンは腸内細菌によってほとんど利用されないことが明らかとなった。

(3) RS4 の難消化性糖質含量の定量

①*In vitro study*: ヒドロキシプロピル化デンプン中の難消化性糖質量は100gあたり59gであり、その平均分子量は2,100であった。

②*In vivo study*: ヒドロキシプロピル化デンプン中の難消化性糖質量は100gあたり56gであり、その平均分子量は1,800であった。ヒドロキシプロピル基の回収率は98%であった。

In vitro, *in vivo* の値はほとんど同じで

あり、ヒドロキシプロピル化デンプン中の難消化性糖質量の測定に AOAC method 2001.03(酵素重量法と HPLC とを併用した方法)が利用できることが明らかになった。

(4) RS4 の腸内細菌叢に及ぼす影響

ヒドロキシプロピル化デンプンを摂取させたラットでは、クラスター解析を見ると腸内細菌叢に変化は見られ、置換度が最も高いもので一番大きな変化が見られた。しかし、ヒドロキシプロピル化デンプンと置換基のない化学修飾を施していないデンプンを摂取させたラットとの相同性は 50%であり、クラスター解析の結果から、盲腸内細菌叢に対しヒドロキシプロピル化の有無、置換度の度合いの影響は極めて小さいことが明らかとなった。このことはヒドロキシプロピル化デンプンが、腸内細菌にほとんど利用されないということを明らかにしたこれまでの結果を補完するものであった。

クラスター解析によるアセチル化デンプンおよびアセチル化リン酸架橋デンプンを摂取したラットと化学修飾を施していないデンプンを摂取したラットとの盲腸内細菌叢との相同性は 40%であった。このことは、明らかに腸内細菌叢はアセチル化デンプンおよびアセチル化リン酸架橋デンプン摂取に影響されたことを示している。しかし、アセチル化デンプンとアセチル化リン酸架橋デンプン間には腸内細菌叢に変化は認められなかった。この結果は、アセチル化デンプンおよびアセチル化リン酸架橋デンプンが盲腸内で腸内細菌によって極めて良く利用されることを明らかにしたこれまでの結果と良く一致した。

(5) RS4 の糖尿病発症抑制効果

①通常脂肪飼料 (7%、NF 飼料) での検討

NF 飼料摂取マウスでは 7 日目には 40%のマウスに、14 日目には 80%のマウスに尿糖が確認され、21 日目には全てのマウスで尿糖が確認された。NF+5%HPS 飼料摂取マウスでは 7 日目ではどのマウスにも尿糖は認められず、14 日目で 40%の、21 日目で 50%、28 日目に 60%のマウスで尿糖が確認された。NF+10% HPS 飼料摂取マウスでは、7 日目ではどのマウスにも尿糖は認められず、14 日目で 20%の、21 日目で 30%、28 日目でも 30%のマウスで尿糖が確認されたが、明らかに NF 摂取マウスに比べ尿糖の検出が遅れた。

14、28 日目のグルコース負荷試験においても、NF 飼料摂取マウスに比べ、NF+5%HPS、NF+10%HPS 飼料摂取マウスでは急激な血糖値の上昇とその後の急激な低下は緩和され、血糖値曲線下面積は有意に低下した。

HOMA-IR および QUICKI は NF 飼料摂取マウスに比べ、NF+5%HPS、NF+10%飼料摂取マウス

スで低下および増加し、HPS 摂取によりインスリン抵抗性が明らかに改善した。アディポネクチンは脂肪細胞から分泌されるホルモン (アディポカイン) でインスリン抵抗性を改善するが、血中アディポネクチン濃度は HPS 摂取により有意に増加した。

副睾丸周辺脂肪組織の脂肪サイズは、NF 飼料摂取マウスで $119 \pm 4 \mu\text{m}$ 、NF+5%HPS 飼料摂取マウスで $90 \pm 2 \mu\text{m}$ 、NNF+10%飼料摂取マウスで $88 \pm 4 \mu\text{m}$ であり、明らかに脂肪細胞のサイズは小さくた。

上記の耐糖能改善効果に関する指標は全て HPS の添加で改善されたが、添加量を 5%から 10%に増加しても、さらに改善効果が高まることはなかった。

②高脂肪飼料 (20%、HF 飼料) での検討

14、28 日目のグルコース負荷試験においても、HF 飼料摂取マウスに比べ、HF+10%HPS 飼料摂取マウスでは急激な血糖値の上昇とその後の急激な低下は緩和され、血糖値曲線下面積は有意に低下した。HF+5%HPS 飼料では 28 日目に低下傾向が見られるものの、14 日目では HF 飼料摂取マウスと同じ変化を示した。

HOMA-IR は HF 飼料摂取マウスに比べ、HF+10%飼料摂取マウスで有意に低下したが、HF+5%飼料摂取マウスでは低下傾向は認められるが、有意差は認められなかった。QUICKI は HF 飼料摂取マウスに比べ、HF+5% HPS、HF+10%飼料摂取マウスで有意に増加した。HPS 摂取によりインスリン抵抗性は改善されるが、通常上記①の通常飼料 (飼料中の脂質量=7%) の場合と比べ、HPS のインスリン抵抗性改善効果能は低下した。

アディポネクチンは脂肪細胞から分泌されるホルモン (アディポカイン) でインスリン抵抗性を改善するが、血中アディポネクチン濃度は、HF 飼料摂取に比べ HF+10%HPS 飼料摂取により有意に増加したが、HF+5%飼料摂取では増加するものの、有意な増加は認められなかった。

副睾丸周辺脂肪組織の脂肪サイズは、HF 飼料摂取マウスで $94 \pm 3 \mu\text{m}$ 、NF+5%HPS 飼料摂取マウスで $91 \pm 6 \mu\text{m}$ 、NNF+10%飼料摂取マウスで $104 \pm 5 \mu\text{m}$ であり、脂肪細胞のサイズは HPS 摂取の影響は認められなかった。

上記の耐糖能改善効果に関する全ての指標は HPS の添加量が 5%では改善は認められなかったが、10%に増加すると改善効果が確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

① Tachibe M, Ohga H, Nishibata T and Ebihara

K: Digestibility, fermentability, and energy value of highly cross-linked phosphate tapioca starch in men. *J Food Sci.*, 76(6): H152-H155 (2011) (査読あり)

② Tachibe M, Oga H, Nishihata T and Ebihara K. Resistant starch type 4, cross-linked phosphate starch and hydroxypropyl distarch phosphate attenuate rapid glycaemic response in men. *Jpn Pharmacol Ther.*, 38(8): 731-736 (2010) (査読あり)

③ Tachibe M, Kato R, Nishihata T, Tashiro K, **Kishida T** and **Ebihara K**: Evaluation of nondigested carbohydrates in hydroxypropylated tapioca starch. *J Food Sci.*, 75(1), H1-H4 (2010) (査読あり)

④ Kato R, Tachibe M, Sugano S, **Kishida T** and **Ebihara K**: High-hydroxypropylated tapioca starch improves insulin resistance in genetically diabetic KKAY mice. *J Food Sci.*, 74(1), H89-H96 (2009) (査読あり)

⑤ Tachibe M, Kato R, Sugano S, **Kishida T** and **Ebihara K**: Hydroxypropylated tapioca starch retards the development of insulin resistance in KKAY mice, a type 2 diabetes model, fed a high-fat diet. *J Food Sci.*, 74(7), H232-H236 (2009) (査読あり)

[学会発表] (計 13 件)

①内田乃利旭 (発表者) 他: リン酸架橋デンプンの消化性、第 30 回日本農芸化学会中四国支部講演会、2011 年 5 月 21 日、(岡山大学)

②内田乃利旭 (発表者) 他: リン酸架橋デンプン (DP) の *in vivo* 消化性は架橋度に影響される、第 65 回日本栄養・食糧学会大会、2011 年 5 月 14 日、(お茶の水女子大学)

③立部 誠 (発表者) 他: Resistant starch-type 4 含有食品の安全性と生理効果、第 15 回日本食物繊維学会、2010 年 11 月 22 日、(北海道大学)

④内田乃利旭 (発表者) 他: RS4 の消化性は飼料澱粉の食餌歴に影響される、第 43 回日本栄養・食糧学会中国・四国支部大会、2010 年 11 月 7 日、(高知女子大学永国寺キャンパス)

⑤樫原 彩 (発表者) 他: 化学修飾デンプンの生理作用は修飾方法に影響される、第 43 回日本栄養・食糧学会中国・四国支部大会、2010 年 11 月 7 日、(高知女子大学永国寺キャンパス)

⑥結石倫世 (発表者) 他: ヒドロキシプロピルデンプンが消化管ホルモン応答に及ぼす影響、第 43 回日本栄養・食糧学会中国・四国支部大会、2010 年 11 月 7 日、(高知女子大学永国寺キャンパス)

⑦大川佑治 (発表者) 他: ハイアミロースコーンスタチ、ヒドロキシプロピルハイアミロースの栄養生理効果に関する研究、日本農芸

化学会関西・中四国・西日本支部、日本栄養・食糧学会九州・沖縄支部、日本食品科学工学会西日本支部、2009 年度合同支部大会、2009 年 10 月 31 日、(琉球大学)

⑧立部 誠 (発表者) 他: Resistant starch-type4 の発酵性とカロリー評価、第 14 回日本食物繊維学会、2009 年 10 月 22 日、(国立健康・栄養研究所)

⑨大賀浩史 (発表者) 他: Resistant starch-type4 がヒト血糖値に及ぼす影響、第 14 回日本食物繊維学会、2009 年 10 月 22 日、(国立健康・栄養研究所)

⑩大川佑治 (発表者) 他: II 型糖尿病モデルラット (KKAY マウス) の耐糖能に対する HPS の作用—高脂肪食における検討—、第 14 回日本食物繊維学会、2009 年 10 月 22 日、(岐阜大学)

⑪加藤 良 (代表者) 他: ヒドロキシプロピルデンプンの耐糖能改善効果の要因—Gastric Emptying 消化管ホルモンの経時応答、第 13 回日本食物繊維学会、2008 年 11 月 22 日、(国立健康・栄養研究所)

⑫大川佑治 (発表者) 他: リン酸架橋澱粉の脂質代謝に及ぼす架橋度の影響、日本農芸化学会中四国支部第 22 回講演会、2008 年 9 月 13 日、(鳥取大学)

⑬加藤 良 (発表者) 他: Hydroxypropyl starch (HPS) の消化性と耐糖能に及ぼす影響、第 62 回日本栄養・食糧学会大会、2008 年 5 月 3 日 (女子栄養大学坂戸キャンパス)

[図書] (計 1 件)

海老原清: レジスタントスターチ・タイプ 4 と低エネルギー食品、「ルミナコイド研究のフロンティア」(海老原清、早川享志、奥 恒行編集)、建帛社、p246-260、280 頁 2010 年

[その他]

①海老原清: 加工でん粉の生理機能評価と利用技術、「新規レジスタントスターチ (加工デンプン) の化学と生理機能」、食品ニューテクノロジー研究会、2009 年 10 月 27 日、(日東紡ビル)

②海老原清: 大学発産業界行、シーズ (研究成果) 探報 vol130、「消化されないデンプン: 低エネルギー食品への応用と展開」月刊愛媛ジャーナル、p84-86 (2009)

③海老原清: 「新規レジスタントスターチ (加工デンプン) の化学と生理機能」食糧新聞、2009 年 11 月 25 日

④海老原清: レジスタントスターチ、第 21 回食品マイクロコロイドシンポジウム、2010 年 5 月 21 日、(日本教育会館)

⑤海老原清: 「消化されないデンプン: 低エネルギー食品への応用と展開」、愛媛大学発産業界行、シーズ (研究成果) 探報 2、p16-19 (2011)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

海老原 清 (EBIHARA KIYOSHI)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号：90036492

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

岸田 太郎 (KISHIDA TARO)

愛媛大学・農学部・准教授

研究者番号：80304658