

キクイモにおけるイヌリンの貯蔵中の分解とプレバイオティクス効果

誌名	日本食品科学工学会誌 : Nippon shokuhin kagaku kogaku kaishi = Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology
ISSN	1341027X
著者名	森田,朗 原,崇 城斗,志夫
発行元	日本食品科学工学会
巻/号	69巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 313-319
発行年月	2022年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



研究ノート

キクイモにおけるイヌリンの貯蔵中の分解と プレバイオティクス効果

森田 朗¹, 原 崇², 城斗志夫^{2*}

¹ 新潟大学大学院自然科学研究科

² 新潟大学農学部

Decomposition and effect as prebiotics of inulin in Jerusalem artichoke tubers during storage

Akira Morita¹, Takashi Hara² and Toshio Joh^{2*}

¹ Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2-8050 Ikarashi,
Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan

² Faculty of Agriculture, Niigata University, 2-8050 Ikarashi, Nishi-ku, Niigata 950-2181, Japan

In order to reveal the effect of normal temperature storage on the decomposition of inulin, Jerusalem artichoke tubers were stored at 20 °C and 5 °C for 90 days, and changes in the content and molecular weight of inulin were investigated. The rate of decrease on day 90 was 37.4 % at 20 °C and 31.1 % at 5 °C. Low-molecular-weight inulin with a chain length of 3 to 4 units increased significantly during storage at 20 °C. Inulin was divided into low- and high-molecular weight fractions by gel filtration, and the growth effect on *Bifidobacterium* spp. was examined. The low-molecular weight fraction showed a strong effect. In addition, an extract of Jerusalem artichoke stored at 20 °C had greater growth effect on *Bifidobacterium* spp. than the one immediately after harvest.

(Received Dec. 7, 2021 ; Accepted Jan. 17, 2022)

Keywords : Jerusalem artichoke, storage, inulin, fructooligosaccharide, prebiotics

キーワード : キクイモ, 貯蔵, イヌリン, フラクトオリゴ糖, プレバイオティクス

キクイモ (*Helianthus tuberosus* L.) は、北アメリカ原産のキク科ヒマワリ属の多年草植物である。その草丈は 1.5～3 m と高く、短日性で 9 月上旬頃に開花し、気温が 17 °C 以下に下がると地中に塊茎を形成する。日本には江戸時代末期に飼料用作物として伝来し、戦後の食糧難の時代には食用として積極的に利用されていた¹⁾。しかし、食生活が豊かになるにつれ消費は減少し、その強い繁殖力から野生化が問題となり、要注意外来生物に指定されている。一方、キクイモの塊茎には難消化性多糖類のイヌリンが豊富に含まれており、イヌリンの血糖値上昇抑制作用、整腸作用、高脂血症改善作用、免疫力増強作用などの機能性¹⁾²⁾が注目され、近年ではキクイモを利用した 6 次産業化を推進している地域もある³⁾。また、キクイモには白色種以外に紫色種も存在し、ポリフェノール成分を活用した機能性食品素材としての利用も期待されている⁴⁾。

イヌリンは、D-フルクトースが β (2→1) 結合で直鎖状に繋がったフルクタン的一种であり、末端のフルクトースに D-グルコースが α (1→2) 結合した構造を持つ。その糖鎖の長さはキクイモで 2～60 単位程度であり⁵⁾、平均鎖長は 14～19 単位と報告されている⁶⁾⁷⁾。イヌリンは、キクイモ以外にチコリ、ニンニク、ゴボウ、ニラ、タマネギなどの作物にも多く含まれ、その生鮮重あたりの含量は、チコリで 15～20%、ニンニクで 9～16%、ゴボウで 3.5～4%、タマネギで 2～6% であるのに対し⁸⁾、キクイモ塊茎中の含量は 12～19% と報告されており⁹⁾、キクイモはイヌリンを非常に多く含む代表的食材の一つである。

キクイモ塊茎中のイヌリンの鎖長は、収穫時期により異なり、最大で 60 単位を超える¹⁰⁾。しかし、収穫直後に豊富に含まれる高分子のイヌリンは、貯蔵中に内在性酵素の働きにより低分子化されていく。この反応を触媒する酵素が、フルクタンエキソヒドロ

^{1,2} 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐 2 の町 8050

*連絡先 (Corresponding author), joh@agr.niigata-u.ac.jp

ラーゼ(FEH)であり、加水分解によりフルクトンのフルクトース末端から1分子ずつフルクトースを遊離する¹¹⁾。また、FEHにより生じたスクロースは、主にインペルターゼの働きにより最終的にグルコースとフルクトースへと分解される¹²⁾。多くの機能性が報告されているイヌリンの貯蔵中の分解による減少は、作物の商品価値や機能の低下を招くため、イヌリンを豊富に含むキクイモやチコリなどでは、イヌリンの減少を防ぐための貯蔵法などに関する研究が現在まで行われてきている¹⁰⁾¹³⁾。

生物活性は、一般に温度に依存する。そこで低温貯蔵によりイヌリンの分解を抑制する試みがなされているが、イヌリン含量の低下を抑制できたという報告はなされていない。一方、Van den Endeらは、チコリの根においてイヌリンの分解に関わるFEHの合成が植物体を気温14℃以上のハウスに移すことで抑制されることを報告している¹⁴⁾。このことは、低温ではなく常温で貯蔵することでイヌリンの分解を抑制できる可能性を示唆している。そこで本研究では、常温貯蔵がイヌリンの分解に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、キクイモを90日間、20℃と5℃で貯蔵し、貯蔵中のイヌリンの含量と分子量の変化を調べた。また、*Bifidobacterium* 属菌など腸内有用細菌に対するイヌリンの増殖効果は分子量により異なることが知られている¹⁵⁾。そこで次に、ゲル濾過クロマトグラフィーによりキクイモの抽出物を高分子画分と低分子画分に分け、それらの*Bifidobacterium* 属菌に対する増殖効果を調べた。さらに、収穫直後と20℃で貯蔵したキクイモの抽出物の*Bifidobacterium* 属菌に対する増殖効果を比較し、常温貯蔵がキクイモのプレバイオティクス効果を向上させるかどうか検討した。

1. 実験方法

(1) 実験材料

キクイモは、新潟市北区南浜で栽培し、2018年11月22日に収穫したものを用いた。

Bifidobacterium 属の菌株は、理化学研究所バイオソース研究センターより入手した*Bifidobacterium longum* subsp. *longum* JCM1217、*Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* JCM1222、*Bifidobacterium adolescentis* JCM1275を使用した。

(2) キクイモの貯蔵方法

キクイモの塊茎は、乾燥防止のため土付きのまま湿らせた新聞紙で包み、20℃と5℃の定温暗室で貯蔵した。塊茎の乾燥は、組織の軟化や腐敗を引き起こす。このため湿らせた新聞紙は、7日ごとに交換した。収穫直後、30日、60日、90日貯蔵後に塊茎を水洗いし、皮を剥いて凍結乾燥して実験に用いた。

(3) イヌリンの抽出

イヌリンの抽出は、三崎の方法¹⁶⁾に従って行った。この方法ではイヌリンが特異的に抽出されるのではなく、水溶性糖類全てが抽出される。凍結乾燥粉末3

gに30mlの超純水を加え、60℃に設定した往復恒温振とう機PERSONAL-11(タイテック)により160rpmで60分間振とうした。振とう後、遠心分離機で10000×g、40分間遠心し上清を分取した。この抽出操作を3回繰り返す、約90mlの上清を得た。上清に液量が増えすぎないように適当濃度のCa(OH)₂水溶液をpH8.0になるまで加え清浄化した後、シュウ酸によりpHを7.0に調整し、過剰なカルシウムをシュウ酸カルシウムとして沈澱させ、濾紙で濾過した。濾液をローターリーエバポレーター(ビュッヒ)で減圧濃縮し、濃縮液を50mlに定容して抽出液として用いた。

(4) イヌリンの含量と分子量分布の測定

抽出液の全糖量を改良フェノール硫酸法¹⁷⁾により測定した。各試料の全糖濃度が同じになるように希釈後、その1mlをゲル濾過クロマトグラフィーに供した。ゲル濾過クロマトグラフィーの担体には、Bio-Gel P-2 Gel (BIO-RAD、分画分子量100~1800)を用い、カラムサイズは直径1.5cm、長さ44cmとし、溶離液は超純水を用い、流速0.33ml/分で1mlずつ60本分画した。それぞれの画分の全糖量を改良フェノール硫酸法で測定し、分子量分布を作成した。また、ミオグロビン(分子量17500)、スクロース、グルコースを分析することでそれぞれカラムの排除限界、二糖と単糖の溶出位置を求めた。

(5) イヌリン抽出物の*Bifidobacterium* 属菌に対する増殖効果

各菌をBIFIDOBACTERIUM MEDIUM(理化学研究所、JCM培地番号19)に接種し、40~48時間、37℃でアネロパック(三菱ガス化学)を用いて嫌気培養することで前培養液を得た。上記培地には炭素源としてグルコースが1%含まれている。そこで抽出液の全糖濃度を測定し、BIFIDOBACTERIUM MEDIUMに含まれるグルコースの代わりに抽出液を加え、121℃で20分間高圧蒸気滅菌することで炭素源として糖が1%含まれる培地を調製した。これに前培養液を接種し、37℃で嫌気培養した。経時的に培養液の600nmにおける吸光度を測定することで、菌の増殖を調べた。また、試験は3回以上行い、培養22時間後の培養液の濁度についてTukey-Kramerの多重検定により培地間で5%水準で有意な差があるか調べた。

2. 実験結果および考察

(1) 貯蔵中のイヌリン含量と分子量の変化

キクイモの塊茎を20℃と5℃で90日間貯蔵した。5℃貯蔵のキクイモは、90日間外観に変化はなく、瑞々しい状態を保っていた(図は示さず)。一方、20℃貯蔵のキクイモは、30日目頃に発芽したが、その後芽の伸長は見られず、90日目でも芽の大きさは5mm程度に留まった。また、それ以外外観に大きな変化はなかった。キクイモの塊茎のように自発休眠を行う植物は、一定期間低温に晒すことで休眠を打破し、生育適温下で萌芽させることができる。今回用いたキク

表 1 貯蔵中のキクイモ塊茎における全糖量の変化

貯蔵温度	20℃		5℃	
貯蔵日数 (日)	全糖量 (g/100g乾燥物)	減少率 (%)	全糖量 (g/100g乾燥物)	減少率 (%)
収穫直後	59.9±0.6 a	-	59.9±0.6 a	-
30	45.9±1.3 b	23.4	47.3±2.1 b	21.0
60	43.3±1.4 b	27.7	43.6±0.5 bc	27.2
90	37.5±1.3 c	37.4	41.3±1.5 c	31.1

全糖量は平均値と標準誤差 (n=3) , 減少率は収穫直後に対する%を示している。
表中の異なる英文字間には Tukey-Kramer の多重検定により 5%水準で有意差がある。

イモは2018年11月後半に収穫した塊茎であり、この年の新潟の11月の気温は5℃を下回る日が多かったことから、低温により休眠が打破され20℃での貯蔵中に発芽したと考えられる。幸いにもその後芽は伸長せず、実験に使用することができたが、これは低温に晒された期間が短く休眠の打破が十分でなかったことによるのかもしれない。キクイモを常温貯蔵する際には、発芽を抑える工夫が必要である。

貯蔵中のキクイモにおけるイヌリン含量の変化を調べた。Saengthongpinitら(2005)は、キクイモの塊茎に含まれる糖質の約90%はイヌリンであり、全糖質に占める単糖類と二糖類の割合は、収穫直後と低温貯蔵後では約10%で変わらないと報告している¹⁸⁾。そこでイヌリン含量は、改良フェノール硫酸法で簡便に測定できる全糖量で評価することとした。キクイモの全糖量は、20℃、5℃貯蔵ともに90日間通して減少した(表1)。最初の30日間で全糖量は、20℃、5℃貯蔵で各々23.4%、21.0%と大きく減少し、その後も緩やかに減少し続けた。松本ら(2021)は、キクイモを4℃で貯蔵すると、最初の1ヶ月でイヌリンが39%減少すると報告しており¹⁹⁾、貯蔵初期に大きく減少する点で一致していた。また、20℃と5℃貯蔵の減少率を比較すると、90日間通して20℃貯蔵の減少率の方がやや大きく、20℃での貯蔵によりイヌリンの分解を抑制することはできなかった。しかし、90日後の減少率は、20℃で37.4%、5℃で31.1%と6%しか差がなく、20℃で貯蔵することでイヌリンの分解が極端に進むこともなかった。

次に、貯蔵中どのようにイヌリンが分解されているのか、また20℃と5℃貯蔵で分解のされ方に違いがないか、イヌリンの抽出液をゲル濾過クロマトグラフィーで分析することにより調べた。図1に示す通り、20℃と5℃貯蔵のいずれにおいても貯蔵期間が長くなるにつれて高分子のイヌリンが次第に減少し、分解が進むことがわかった。しかし、分解の最終産物であるフルクトースとグルコースの溶出位置にピークは見られず、分解で生じた単糖類は速やかに消費されることが示唆された。20℃と5℃貯蔵を比較する

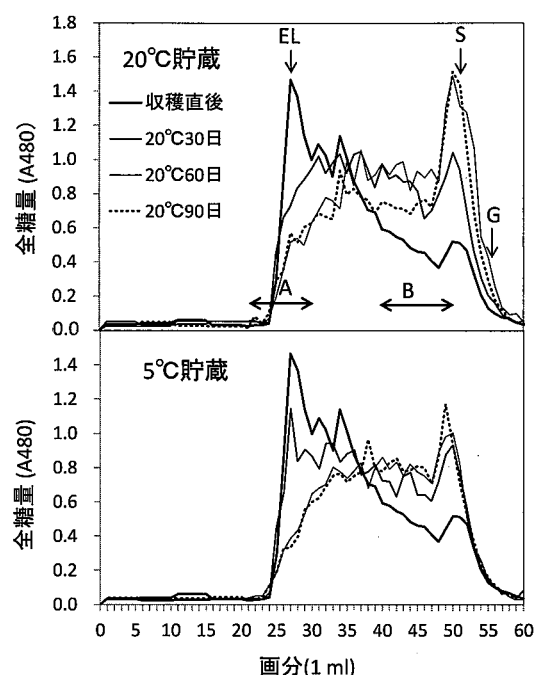


図 1 20℃と5℃で貯蔵したキクイモに含まれるイヌリンのゲル濾過クロマトグラフィーによる分析

同じ濃度に調整した抽出液1mlをBio-Gel P-2カラム(直径1.5 cm×長さ45 cm)で分離した。各画分の全糖量を改良フェノール硫酸法で測定し、480 nmの吸光度で示した。ELは排除限界、SとGはスクロースとグルコースの溶出位置を示している。また、AとBは*Bifidobacterium*属菌の増殖試験に用いた高分子画分と低分子画分の分画範囲をそれぞれ表している。

と貯蔵30日目における排除限界付近のピーク(画分26~29)の大きさに違いが見られ、20℃では貯蔵初期に高分子のイヌリンが急速に分解されていた。チコリの塊茎は、一定期間1℃で貯蔵した後16℃以上にすることで休眠が打破され発芽する¹⁹⁾。先述の通り、収穫前の新潟の気温は非常に低く、今回20℃貯蔵し

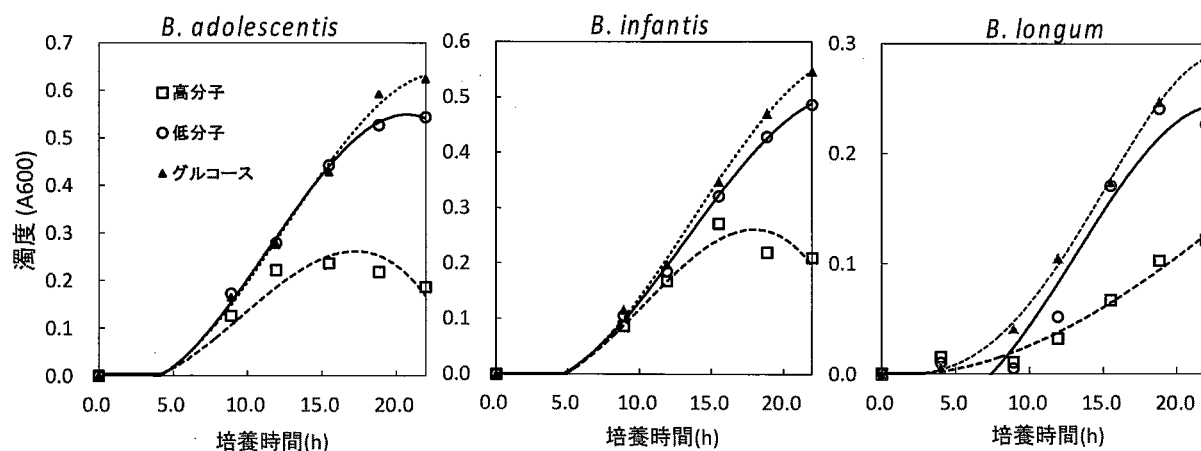


図2 イヌリンの分子量が *Bifidobacterium* 属菌の増殖に及ぼす影響

ゲル濾過クロマトグラフィーにより分離したキクイモのイヌリンの高分子画分と低分子画分及びグルコースを炭素源とした培地で3種の *Bifidobacterium* 属菌を培養した。菌の増殖は培養液の600 nmにおける濁度で評価した。3回以上試験を繰り返し、典型的な結果を図に示した。

たキクイモの塊茎は、貯蔵前に一旦低温に晒された後に20℃に移されたため、伸長はしなかったが貯蔵初期に発芽しており、発芽がイヌリンの分解に関係したことも考えられる。

また、20℃で60日及び90日貯蔵した時の画分47～53のピークが5℃に比べ顕著に大きかった。このピークにはスクロース及び鎖長3～4単位程度のフラクトオリゴ糖が含まれると推測される。20℃貯蔵において低分子の生成物が蓄積する理由として3つのことが考えられる。1つ目は、20℃貯蔵におけるインベルターゼ活性の低下である。細胞壁、細胞質、液胞に存在するインベルターゼは、スクロースを分解し、解糖系などに必要なグルコースやフルクトースを供給する¹²⁾。貯蔵温度がキクイモのインベルターゼ活性に及ぼす影響として、20℃における6週間の貯蔵はその活性を70%低下させるが、4℃における活性の低下は20%未満であると報告されている²⁰⁾。このことから、20℃で長期間貯蔵した結果、インベルターゼ活性が低下し、スクロースが蓄積したと考えられる。2つ目はスクロースによるイヌリン分解酵素FEHの活性阻害である。FEHは、イヌリンを加水分解しスクロースを生成するが、スクロースの分解活性は極めて低く¹⁹⁾、またFEHの一部は、生成物であるスクロースによって阻害されることが知られている^{21)～23)}。したがって、蓄積したスクロースによりFEH活性が阻害され、スクロース及び鎖長の短いフラクトオリゴ糖が次第に蓄積したと考えられる。3つ目は、インベルターゼがもつフルクタン合成酵素としての働きである。インベルターゼは、本来の加水分解の逆反応であるフルクタン合成活性を示すことが明らかにされており、スクロース濃度が高いとフルクトースを付加して1-kestoseを合成する¹²⁾。このため、スクロースの蓄

積により、合成反応が生じ、フラクトオリゴ糖(鎖長3単位)が増加したと考えられる。これら3つの理由により、20℃貯蔵のキクイモの塊茎には鎖長の短い生成物が5℃貯蔵のものより多く含まれると推測される。

(2) キクイモ中のイヌリンの *Bifidobacterium* 属菌に対する増殖効果

イヌリン抽出液のゲル濾過クロマトグラフィーによる分析により、20℃で貯蔵したキクイモの塊茎には、鎖長3～4単位程度のフラクトオリゴ糖が多く含まれていることがわかった。イヌリンの機能は鎖長により異なることが報告されており、例えば整腸作用は鎖長が長い方が効果が高く²⁴⁾、免疫力増強作用は鎖長が短い方が効果が高い²⁾。また、イヌリンには善玉菌を増やし、悪玉菌を減らす腸内環境改善効果があることが知られており²⁵⁾、腸内環境改善効果は鎖長により異なり多くの *Lactobacillus* 属菌と *Bifidobacterium* 属菌は鎖長3単位の1-kestoseに対し最も高い資化性を示すと報告されている^{26)～28)}。そこで、キクイモのイヌリン抽出液をゲル濾過クロマトグラフィーで分離し、鎖長により高分子画分と低分子画分に分け、それらを炭素源とした培地でヒトの腸由来の3種の *Bifidobacterium* 属菌を培養し、菌の増殖を比較した。なお、ゲル濾過の担体の分画分子量から高分子画分(図1のA:画分21～30)には鎖長9単位以上、低分子画分(図1のB:画分41～50)には鎖長3～6単位程度の物質が含まれると推定され、それぞれの調製にはそれらを豊富に含む収穫直後と20℃貯蔵60～90日のキクイモの抽出液を各々用いた。それらの培地で培養した結果、3種の菌全てが、低分子画分においてグルコースと有意な差がない良好な増殖を示した。しかし、高分子画分においては培養22時間後の

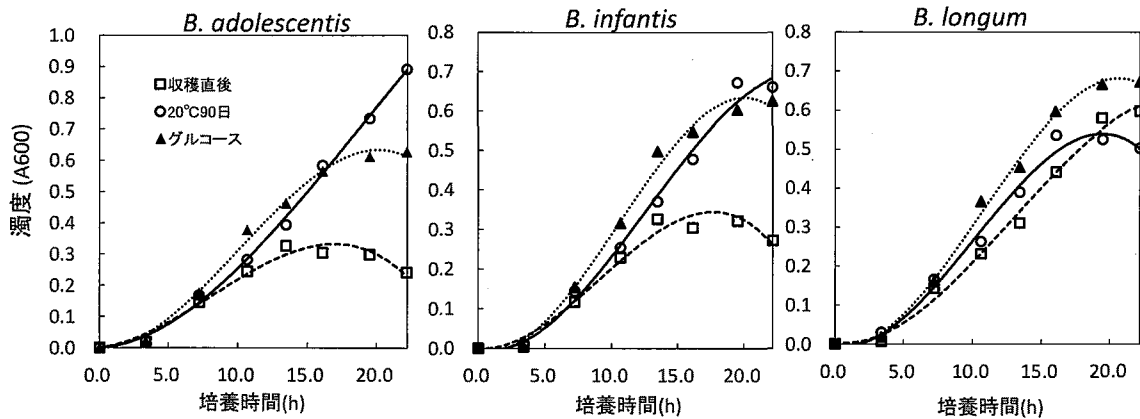


図 3 収穫直後と 20℃貯蔵のキクイモに含まれるイヌリンによる *Bifidobacterium* 属菌の増殖効果の比較
 収穫直後と 20℃で 90 日間貯蔵したキクイモのイヌリン抽出物及びグルコースを炭素源とした培地で 3 種の *Bifidobacterium* 属菌を培養した。菌の増殖は培養液の 600 nm における濁度で評価した。3 回以上試験を繰り返して、典型的な結果を図に示した。

培養液の濁度がグルコースの半分程度と有意に低く、高分子画分より低分子画分の方が *Bifidobacterium* 属菌に有意に資化されやすいことがわかった (図 2)。低分子画分には、多くの *Lactobacillus* 属菌や *Bifidobacterium* 属菌が高い資化性を示す 1-ケストースを含む鎖長の短いフラクトオリゴ糖が豊富に含まれることがその一因と考えられる。

20℃貯蔵のキクイモは、収穫直後や 5℃貯蔵のキクイモより鎖長の短いフラクトオリゴ糖を豊富に含むことから、優れたプレバイオティクス効果を持つ素材となる可能性がある。そこでこのことを確かめるために、次に 20℃で 90 日間貯蔵したキクイモと収穫直後のキクイモのイヌリン抽出物を炭素源とした培地でヒトの腸由来の 3 種の *Bifidobacterium* 属菌を培養し、菌の増殖を比較した。その結果、20℃で 90 日間貯蔵したキクイモのイヌリン抽出物は、3 種の菌全てをグルコースと有意な差がない程度にまで増殖させたが、収穫直後のキクイモのイヌリン抽出物は *B. adolescentis* と *B. infantis* の 2 種の菌に対し培養 22 時間でグルコースの半分程度と有意に低い濁度しか示さず、20℃貯蔵のキクイモの方が高いプレバイオティクス効果を持つことが明らかにされた (図 3)。なお、*B. longum* は、いずれのイヌリン抽出物に対してもグルコースと有意な差がない良好な生育を示した。イヌリンの高分子画分と低分子画分を含む培地における 3 種の菌の増殖を調べた図 2 の結果を改めて見ると、高分子画分での菌の増殖が *B. adolescentis* と *B. infantis* の 2 種の菌と *B. longum* とでは異なっており、*B. adolescentis* と *B. infantis* は培養 5 時間から急速に増殖し、それぞれ 12 時間と 15 時間で頭打ちになっているが、*B. longum* は緩やかではあるが培養 22 時間後でも増殖し続けていた。Rossi ら (2005) は、*Bifidobacterium* 属の 55 菌株を鎖長 25 単位以上の高分

子のイヌリンと鎖長 3~10 単位のフラクトオリゴ糖を炭素源とした培地で培養した結果、フラクトオリゴ糖は全ての菌に資化されたが、高分子のイヌリンは 8 菌株にしか資化されなかったと報告している¹⁵⁾。今回調製した高分子画分は収穫直後のキクイモから調製したため鎖長が 25 単位以上のイヌリンも含まれていると考えられ、培養途中で *B. adolescentis* と *B. infantis* の増殖が頭打ちになった理由は、これらの菌が鎖長 10 単位程度のイヌリンしか資化できず、長鎖のイヌリンを資化する能力を持たなかったためと考えた。一方、*B. longum* は、分解速度は遅いが長鎖のイヌリンを資化する能力を持ち、このことが収穫直後のキクイモのイヌリン抽出物でも良好な増殖を示した理由と推測される。

以上、キクイモを常温で貯蔵することによりイヌリンの分解を抑制することはできなかったが、貯蔵温度を変えることで腸内有用菌に対する資化性が高い短鎖のフラクトオリゴ糖を増加させ、キクイモの付加価値を高めることができることを明らかにした。しかし、20℃が必ずしも短鎖フラクトオリゴ糖の蓄積に最適な貯蔵温度というわけではなく、より適した貯蔵条件の検討が今後必要である。

3. 要 約

常温貯蔵がイヌリンの分解に及ぼす影響を明らかにするため、キクイモを 90 日間、20℃と 5℃で貯蔵し、貯蔵中のイヌリン含量と分子量の変化を調べた。その結果、90 日目の減少率は、20℃で 37.4%、5℃で 31.1%と 20℃の方がやや大きくなった。また、20℃で 60~90 日貯蔵することにより鎖長 3~4 単位のフラクトオリゴ糖が顕著に増加することを見出した。ゲル濾過クロマトグラフィーによりイヌリンを低分子と高分子に分け、*Bifidobacterium* 属菌に対する増殖効果を調べたところ、低分子のものが高い効果を示した。

また、低分子のフラクトオリゴ糖を豊富に含む 20 °C 貯蔵のキクイモ抽出物は、収穫直後のものより *Bifidobacterium* 属菌の増殖効果が高かった。以上、キクイモの貯蔵温度を変えることで、プレバイオティクス効果を向上させ、キクイモの付加価値を高めることができることを示した。

文 献

- 1) Roberfroid, M. (1993). Dietary fiber inulin and oligofructose: A review comparing their physiological effects. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **33**, 103–148.
- 2) Ito, H., Wada, T., Ohguchi, M., Sugayama, K., Kiriya, S., and Morita, T. (2008). The degree of polymerization of inulinlike fructans affects cecal mucin and immunoglobulin A in rats. *J. Food Sci.*, **73**, H36–H41.
- 3) Ishiguro, K. and Yokota, S. (2018). Alterations in polyphenol and inulin contents of roasted Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology (Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi)*, **65**, 7–14. (石黒浩二, 横田聡. 焙煎によるキクイモ中のポリフェノールおよびイヌリンへの影響. 日本食品科学工学会誌).
- 4) Yasuda, M., Saiki, M., and Kojima, Y. (2017). Effects of cultivar and harvest time on chemical components and antioxidant activity of Jerusalem artichoke. *Journal of Health and Nutrition Science in Nishikyushu University*, **3**, 1–8 (安田みどり, 斎木まどか, 児島百合子. 品種, 収穫時期の違いがキクイモの成分および抗酸化活性に及ぼす影響. 西九州大学健康栄養学部紀要).
- 5) Wada, T., Sugatani, J., Terada, E., Ohguchi, M., and Miwa, M. (2005). Physicochemical characterization and biological effects of inulin enzymatically synthesized from sucrose. *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 1246–1253.
- 6) Li, W., Zhang, J., Yu, C., Li, Q., Dong, F., Wang, G., Gu, G., and Guo, Z. (2015). Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydr. Polym.*, **121**, 315–319.
- 7) Johansson, E., Prade, T., Angelidaki, I., Svensson, S.-E., Newson, W. R., Gunnarsson, I. B., and Hovmalm, H. P. (2015). Economically viable components from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a biorefinery concept. *Int. J. Mol. Sci.*, **16**, 8997–9016.
- 8) Van Loo, J., Coussemment, P., De Leenheer, L., Hoebergs, H., and Smits, G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **35**, 525–552.
- 9) Shoaib, M., Shehzad, A., Omar, M., Rakha, A., Raza, H., Sharif, H. R., Shakeel, A., Ansari, A., and Niazi, S. (2016). Inulin : Properties, health benefits and food applications. *Carbohydr. Polym.*, **147**, 444–454.
- 10) Matsumoto, Y., Maruta, S., Komaba, A., Tsuge, K., and Watanabe, K. (2021). Effect of harvest time and storage at low temperature on inulin and potassium content in tubers of Jerusalem artichoke. *The Horticultural journal*, **20**, 217–223 (松本雄一, 丸田沙織, 駒場あすか, 柘植圭介, 渡邊啓一. 収穫時期の違いおよび低温貯蔵がキクイモ塊茎中のイヌリンおよびカリウム含量に及ぼす影響. 園芸学研究).
- 11) Edelman, J. and Jeeord, T. G. (1968). The mechanism of fructan metabolism in higher plants as exemplified in *Helianthus tuberosus*. *New Phytol.*, **67**, 517–531.
- 12) 吉田みどり, 上野敬司, 川上颯, 塩見徳夫 (2003). 植物フラクタン研究とその代謝遺伝子利用. 化学と生物, **41**, 787–795.
- 13) Danilčenko, H., Jariene, E., and Aleknaviciene, P. (2008). Quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to storage conditions. *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, **36**, 23–27.
- 14) Van den Ende, W. and Van Laere, A. (2002). Induction of 1-FEH in mature chicory roots appears to be related to low temperatures rather than to leaf damage. *Sci. World J.*, **2**, 1750–1761.
- 15) Rossi, M., Corradini, C., Amaretti, A., Nicolini, M., Pompei, A., Zanoni, S., and Matteuzzi, D. (2005). Fermentation of fructooligosaccharides and inulin by bifidobacteria: a comparative study of pure and fecal cultures. *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 6150–6158.
- 16) 江上不二夫監修, 鈴木旺, 松村剛, 山科郁男編 (1969). 「多糖生化学 化学編 1」, 共立出版, 東京.
- 17) Takeuchi, K., Iguma, K., Takahashi, Y., Sagisaka, K., and Takasawa, T. (2001). High sensitive phenol-sulfuric acid colorimetric method. *Research Bulletin of Obihiro University Natural Science*, **22**, 103–107 (竹内 宏治, 井熊 武志, 高橋 裕司, 匂坂 慶子, 高澤 俊英, 高感度フェノール硫酸法. 帯広畜産大学学術研究報告自然科学).
- 18) Saengthongpinit, W. and Sajjaanantakul, T. (2005). Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biol. Technol.*, **37**, 93–100.
- 19) Gupta, A. K. and Kaur, N. (2000). Fructan metabolism in Jerusalem artichoke and chicory. *Dev. Crop Sci.*, **26**, 223–248.
- 20) Bradshaw, M. J., Chapman, J. M., Edelman, J., and Moore, P. L. (1968). A storage temperature effect and its subsequent reversal by gibberellic Acid. *J. Exp. Bot.*, **20**, 84–86.
- 21) Marx, S.P., Nösberger, J., and Frehner, M. (1997). Seasonal variation of fructan- β -fructosidase (FEH) activity and characterization of a β -(2-1)-linkage specific FEH from tubers of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*). *New Phytol.*, **135**, 267–277.
- 22) De Roover, J., De Winter, M., Van Laere, A., Timmermans, J.W., and Van den Ende, W. (1999). Purification and properties of a second fructan exohydrolase from the roots of *Cichorium intybus*. *Physiol. Plant.*, **106**, 28–34.
- 23) Asega, A.F., Nascimento, J.R., Schroeven, L., Van den Ende, W., and Carvalho, M.A. (2008). Cloning characterization and functional analysis of a 1-FEH cDNA from *Vernonia herbacea* (Vell.) Rusby. *Plant Cell Physiol.*, **49**, 1185–1195.

- 24) Poulsen, M., Mølck, A.M., and Jacobsen, B.L. (2002). Different effects of short- and long-chained fructans on large intestinal physiology and carcinogen-induced aberrant crypt foci in rats. *Nutr. Cancer.*, **42**, 194–205.
- 25) Meyer, D. and Stasse-Wolthuis, M. (2009). The bifidogenic effect of inulin and oligofructose and its consequences for gut health. *Eur. J. Clin. Nutr.*, **63**, 1277–1289.
- 26) Endo, A., Nakamura, S., Konishi, K., Nakagawa, J., and Tochio, T. (2016). Variations in prebiotic oligosaccharide fermentation by intestinal lactic acid bacteria. *Int. J. food Sci. Nutr.*, **67**, 125–132.
- 27) Ose, R., Hirano, K., Maeno, S., Nakagawa, J., Salminen, S., Tochio, T., and Endo, A. (2018). The ability of human intestinal anaerobes to metabolize different oligosaccharides: Novel means microbiota modulation? *Anaerobe*, **51**, 110–119.
- 28) 門田吉弘, 北浦靖之, 遠藤明仁, 栃尾巧 (2020). ケストースが持つ多様な生理機能の解明と実用化に向けた取り組み. 日本栄養・食糧学会誌, **73**, 123–131.

引用 URL

- i) http://www.naro.affrc.go.jp/archive/nics/mihonen/crops/ka_gyou/015016.html (2021.11.23)
(令和3年12月7日受付, 令和4年1月17日受理)