

学位論文審査の結果の要旨

氏名	Kwakyе Alexandra Obenewaa
審査委員	主査 小川 雅廣 副査 深田 和宏 副査 岸田 太郎 副査 足立 亨介 副査 石井 統也

論文名

The effects of rare sugar D-allulose on the gelatinization and retrogradation properties of different plant starches (希少糖 D-アルロースが各種植物澱粉の糊化および老化特性に及ぼす影響)

審査結果の要旨

澱粉は D-グルコース (Glc) が直鎖状に結合したアミロースと枝分かれ構造をもったアミロペクチンからなる糖質で、食品素材として広く利用されている。植物の種子、根、あるいは地下茎に多く含まれるが、アミロースとアミロペクチンの含有比率や Glc の重合度は植物の種類によって大きく異なる。そのような多様な構造特性をもつ澱粉であるが、いずれの植物澱粉も食品に利用するときは水を加えて加熱操作を行う。加熱により澱粉の粒子は水中に分散して粘性の高い糊液となるが(糊化)、冷却すると離水を引き起こし、粘性の低下とともに白濁する(老化)。さらに澱粉の濃度が 10%以上の条件下では、加熱すると粘性の高いゾルとなり、それを冷却するとゲルとなる。加熱や冷却によるこうした物性変化は、麺類や菓子類など特徴的な食感をもつ食品の調理・加工に活かされている。

D-アルロース (Alu) は自然界に微量にしか存在しない単糖で、化学的には D-フルクトース (Fru) の炭素第3位のエピマーである。ヒトが食べたときのエネルギーは、スクロース (Suc) の約 10 分の 1 と低いこと、抗肥満や抗糖尿病など疾病予防効果があることから、日本や米国では菓子などの食品に利用されている。澱粉懸濁液に Suc や Glc などの糖を加えると糊化温度は上昇するが、Alu をもち米澱粉に加えたときの糊化温度の上昇率は Suc を加えたときと比べると小さい。また、もち米澱粉ゲルの老化速度も Alu は Suc 添加時と比べて有意に小さいことが報じられている。これらの結果はもち米澱粉の加工性や保存性において、Alu は糖のなかでも顕著な違いをもたらす糖であることを示唆している。しかし、もち米以外の澱粉の加工性や保存性に対して Alu が他の糖と比べてどのような特性をもつのかは明らかになっていない。

本研究において申請者は、Alu を様々な植物由来の澱粉に加えたときの加工性と保存性に対する影響を明らかにすることを目的とした。研究結果は学位論文の第2章から第4章までの3章で構成される。第2章は加工性について、6種類の植物由来澱粉の糊化温度やゲルの水分活性 (A_w) への Alu 添加時の影響を、第3章と第4章では、保存性について、それぞれ糊化澱粉糊液の老化抑制と澱粉ゲルの硬化抑制に対する Alu の添加効果を調べた。

第2章では、ジャガイモ (P)、小麦 (W)、タピオカ (T)、トウモロコシ (C)、うるち米 (NR)、もち米 (GR) の6種類の澱粉の糊化温度が Alu 添加によってどの程度上昇するのか調べた。Alu による糊化温度の上昇率は、6種類すべての澱粉において、Glc、Fru、Suc と比べて有意に小さかった。このことは、Alu が澱粉の種類に関わらず糊化温度の上昇を抑える糖であることを示している。その要因として、Alu は澱粉共存下では水分子との相互作用が弱い糖であると推測された。また、澱粉ゲルの A_w 値を測定したところ、P 澱粉を除く5種類の澱粉において、Alu 添加ゲルは、Suc 添加ゲルより低いものの、Glc 添加ゲルとほぼ同じ A_w 値であった。このことは、Alu を添加したゲルにおける自由水の量が Glc 添加ゲルと同程度であることを示している。糊化温度の結果から Alu は澱粉共存下での水分子との相互作用が Glc よりも弱いと示唆されたが、自由水の量は Alu 添加ゲルと Glc 添加ゲルでほぼ同じであったことから、Alu は自由水ではなく、澱粉と相互作用する結合水あるいは準結合水の状態に他の糖とは異なる影響を及ぼすものと推測された。

第3章では、糊化させた希薄澱粉液を 4℃に放置したときの濁度の上昇速度（再結晶化速度）から、澱粉の老化への Alu の影響を調べた。Alu を添加した澱粉糊液の再結晶化速度は、6種類の澱粉で異なっていたが、NR 及び GR 澱粉においては Fru、Glc、Suc を添加したときよりも小さく、老化が起こりにくいことがわかった。NR と GR 澱粉は他の4種類の澱粉よりもアミロペクチン含有比率の高い澱粉であることから、Alu はアミロペクチンの再結晶化を抑制する効果が、Fru、Glc、Suc よりも大きいと示唆された。

アミロペクチンの再結晶化すなわち老化に対して Alu の抑制効果が優れていることが示されたことから、第4章では老化現象が関係するゲルの硬化に対して Alu の抑制効果がどの程度であるか調べた。アミロペクチン含有比率の低い C 澱粉のゲルに対する Alu の硬化抑制効果は Suc と同程度であったが、アミロペクチン含有比率の高い GR 澱粉のゲルおよび C 澱粉からアミロースを除去した精製アミロペクチン (CAP) ゲルに対する Alu の硬化抑制効果は、Suc のそれよりも大きかった。GR 澱粉ゲルと CAP ゲル（凍結乾燥物）の水素結合を FTIR スペクトルで解析したところ、GR と CAP とともに、Suc 添加ゲルよりも Alu 添加ゲルの方が分子間水素結合の比率が低く、緩やかな水素結合の比率が高かった。一方、C 澱粉ゲルの水素結合にはそのような傾向は見られなかった。このことから、Alu が Suc よりも大きい硬化抑制効果を発揮するのは、アミロペクチンの再結晶化に関与する分子間水素結合を Alu が弱くさせ、逆に緩やかな水素結合を強めたためと考えられた。以上により、Alu はアミロペクチン含有比率の高い澱粉ゲルの硬化に対して大きな抑制効果を発揮するものと推測された。

結論として、澱粉の糊化温度の上昇や澱粉ゲルの硬化抑制に対して、希少糖 Alu は天然に多量に存在する Suc や Fru とは異なる特性を示すことがわかった。糊化温度については、いずれの澱粉に対しても Alu は他の糖よりも温度上昇を低く抑えることができる。糖類を加えると澱粉の糊化阻害が起きることは古くから知られているが、Alu は Suc などの既存の糖と比べて糊化阻害を起こしにくいことから、澱粉を糊化させてつくる菓子などの製造において扱いやすい糖であることが明らかとなった。澱粉ゲルの硬化抑制については、アミロペクチン含有比率の高い澱粉に対して、Alu はゲル内の水素結合の形成の仕方が、Suc 添加時とは異なることで、優れた硬化抑制効果を発揮することが明らかとなった。本研究の成果は、様々な澱粉を用いた加工食品に Alu を応用するときに極めて有用な情報であり、博士論文として高く評価できる。

本学位論文に関する公開審査会は、令和6年8月3日に高知大学農林海洋科学部で開催され、論文発表と質疑応答が行われた。引き続き行われた学位論文審査委員会で、本論文の内容を慎重に審査した結果、審査委員全員一致して博士（農学）の学位を授与するものと判定した。