

(第5号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	Saranta Sawettanun
審査委員	主査 小川 雅廣 副査 渡邊 彰 副査 森岡 克司 副査 岸田 太郎 副査 深田 和宏

論文名 Effect of D-allulose on fermentation of bread dough, and physicochemical, and organoleptic properties of bread (パン生地の発酵およびパンの物理化学的性質と官能特性に及ぼすD-アルロースの影響)

審査結果の要旨

パンは、小麦粉、塩、酵母、水を基本材料とし、それらを混捏して形成させたパン生地を、発酵及び焼成によって膨化させた食品で、世界の多くの地域で主食として食されている。パンの種類によっては、品質や保存時の安定性を向上させるために、糖類、油脂、卵製品、乳製品などの副材料が加えられている。なかでも糖類は、パンに甘味を付与し、発酵工程での生地の膨張を促進させ、焼き色をよくするなど複数の特性をもつことから多用されている。しかし、それらの特性は使用する糖類の種類によって異なる。これは酵母の発酵や小麦粉のデンプンやグルテンに与える作用が糖の種類によって異なるためである。

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、化学的には果糖 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、Aluの結晶やAluを含有する液糖が大量生産され、数カ国で販売されている。Aluの結晶を求肥、クッキー、メレンゲにSucの代わりに使用すると、食感や風味が向上することが報告されている。しかし、酵母の発酵作用を利用した加工食品の材料にAluを使用したときの加工特性や品質への影響は明らかになっていない。

本研究において申請者は、パンの材料に頻繁に使用されるSucをAluに置き換えたときに、パン生地の発酵や焼成したパンの物理化学的性質、官能特性にどのような影響を及ぼすのかを調べた。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章では、Sucを100%Aluに置き換えたパン生地の発酵とパンの物性への影響を調べた。第3章ではSucの一部をAluに置き換えたパン、第4章ではAlu含有液糖レアシュガーシロップ (RSS) を使用したパンの物性及び官能特性を調べた。

第2章では、まず、Aluがパン酵母のアルコール発酵に利用されるか調べた。Aluは発酵過程で消費されずアルコール発酵に利用されなかった。Alu添加パン生地からアルコール発酵で発生するCO₂量とAlu添加パン生地の膨張率を調べたところ、CO₂発生量と膨張率のいずれも、Suc添加パン生地やGlc添加パ

ン生地より低かった。さらに、Alu 添加パン生地の CO₂ 発生量と膨張率は糖を加えていないパン生地の値よりも低かった。一方、生地のグルテンの物性は Alu 添加と Suc や Glc 添加のもので大きな違いはなかった。糖を加えていないパン生地よりも CO₂ 発生量と生地の膨張率が低かったことより、Alu は酵母のアルコール発酵を部分的に阻害し、その結果、パン生地の膨らみが抑制されてしまうことを明らかにした。焼成したパンのテクスチャー解析を行ったところ、Alu 添加パンは糖無添加パンや Suc 添加パンと比べて、かたくて崩れやすいことがわかった。Alu 添加パンの Alu 含量を調べたところ、パン生地に添加した Alu 量の 94%が焼成後もパンに残存していた。室温で3日間保存したときのパンの硬化率は、Alu 添加パンの方が糖無添加パンや Suc 添加パンよりも低かった。これは保存中に起こるパンからの水分蒸発が Alu によって抑制されたことによるものと示唆された。

第3章では、パンの材料として使う Suc の重量の 25、50、75、100%を Alu に置き換えて作製したパンの物理的、化学的、官能的特性を評価した。Suc を 100%Alu に置き換えたパンは、外観、高さ、体積、色調が、Alu を含まない 100%Suc パンと異なっていたが、25~75%を Alu に部分置換したパンは 100% Suc パンと有意差がなかった。パンのかたさも、Alu 部分置換パンは 100%Suc パンと同程度であった。Alu 置換パンの揮発性成分を GC-MS で分析したところ、25 種類の化合物（アルコール7種類、ケトン8種類、アルデヒド8種類、その他2種類）が検出された。検出された化合物は 100%Suc パンと同じであったが、各化合物の検出量は Alu 置換パンと 100%Suc パンとで違いがみられた。Alu 置換率の高いパンは、100%Suc パンに比べて、ロースト臭とキャラメル臭を有する揮発性化合物の量が多く、逆に発酵臭とアルコール臭を持つ揮発性化合物の量は少ない傾向にあった。官能評価では、100%Alu 置換パンは嗜好性が低かったが、25~75%Alu 部分置換パンは 100%Suc パンと同等の嗜好性であった。

第4章では、RSS を使用したパンの特性を、高果糖コーンシロップ（HFCS）及び Suc シロップ（SS）を使用したパンと比較した。パンの材料の Brix 値が 2%になるように RSS を添加したパンの場合、物理的特性と食感特性は HFCS パン及び SS パンと有意差がなかった。一方、Brix 値が 20%になるように RSS を添加した場合、同濃度の HFCS と SS を添加したパンよりも、パンの高さ、体積、水分含量及び水分活性が低く、生地膨らみも低かった。一方、パンのかたさとガム性は高かった。これより、Brix20%の RSS を使用すると、かたく崩れやすいパンになることがわかった。また、官能評価と GC-MS 分析の結果から、RSS パンは HFCS パンと比べてロースト臭が強く、発酵臭が少ないが、匂いの嗜好性には違いがなかった。Brix20%の RSS パンの総合的な嗜好性は Brix20%の HFCS パンと同等であった。

結論として、パンの材料の Suc を Alu で 100%置換すると、パンの物理化学的性質や食感が大きく変化し、消費者の嗜好性の低いパンになる。これは主にパン生地の発酵工程での酵母による CO₂ 生成を Alu が阻害するためである。一方、Suc の一部を Alu に置き換えた場合（25、50、75%）、発酵工程での CO₂ 生成は阻害されず、かたさなどの食感パラメータに関しても 100%Suc パンと大きな差はなかった。Alu の他に複数種類の単糖を含む RSS を使用したパンは、HFCS を使用したパンと嗜好性に違いは見られなかった。以上のことから、食感や風味がよく、嗜好性の高い Alu 添加パンを作製するには、Suc や Glc などの発酵性糖質を Alu と一緒にパン生地に加える必要があることがわかった。また、Alu は Suc や Glc と違い酵母によって資化されないため大部分が焼成したパンに残存することから、健康機能性や保存安定性（水分保持、硬化抑制）の面で使用するメリットは大きい。本研究の成果は、酵母の発酵を利用した膨化食品であるパンに Alu を応用し、その添加効果を科学的に解明した初めての研究であり、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5年2月5日に愛媛大学農学部で開催され、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。