一般財団法人杉山産業化学研究所　2025年度研究助成　報告書

石川県立大学　生物資源環境学部　食品科学科
研究代表者：松本健司

研究助成題目：レジスタントスターチ高含有米の加工方法の違いによる粘膜 IgA 産生誘導メカニズムの比較

粘膜免疫は外部と接する粘膜における最前線で働くバリア機能であり、粘液中に恒常的に分泌されている免疫グロブリンA（IgA）や物理的バリアとして働くムチンが重要な働きを担っている。本研究では主食である「米」による粘膜免疫の強化を目指し、レジスタントスターチ（RS）高含有米（WE 米）に着目し、加工の違い（蒸し、焙煎）による腸管における IgA 産生誘導と、その誘導メカニズムについて昨年度から引き続き検討を行った。さらに、腸管におけるムチン産生についても、その誘導メカニズムとともに検討し、加工した RS 高含有米の腸管バリア機能への有効性について総合的に検討を行った。

1．動物実験

RS 含量が 2%となるように、AIN-93G 精製飼料に加工した WE 米を添加した（焙煎：8%、蒸し：16%）。コントロールおよび含有玄米量の調整には、RS を含まない蒸したもち米玄米を用いた。BALB/cAJcl マウス（8 週齢、雄）に各試験飼料を 8 週間摂取させた（Control 群、焙煎群、蒸し群、n=7）。本動物実験は、石川県立大学動物実験委員会の承認のもと実施した（承認番号 R6-14-11）。

2．腸管部位別の IgA 量

昨年度の研究において、加工 WE 米の摂取は腸管 IgA 産生を誘導し、その作用は蒸し加工よりも焙煎加工で強いことを明らかにした。そのメカニズムを検討するため、IgA 誘導因子である短鎖脂肪酸および腸内細菌数の解析を行った結果、加工 WE 米の摂取により腸内細菌数が増加し、蒸し加工よりも焙煎加工で腸内細菌数が増加することを昨年度報告した。今年度は、IgA 産生誘導のメカニズムをさらに検討するため、腸管部位別の IgA 量を測定し、IgA 産生が誘導される部位に違いがあるかを検討した。その結果、加工 WE 米の摂取による IgA 産生の誘導は主に盲腸で認められたが、加工方法による差は認められなかった。

また、昨年度実施した腸内細菌叢解析の結果について詳細に検討したところ、IgA 産生との関連が報告されている細菌に特徴的な変動は認められなかった。これらの結果と昨年度の研究結果を合わせて考察すると、両加工 WE 米による IgA 産生の増加には盲腸内短鎖脂肪酸の増加が関与し、さらに焙煎加工でより強い IgA 産生誘導が認められたことには、腸内細菌数の増加が関与している可能性が考えられた。

3．腸管ムチン産生

腸管のムチン産生量を調べるため、糞中ムチン含量を測定した。その結果、加工 WE 米の摂取によりムチン産生量は有意に増加した。一方、加工方法による違いを比較すると、ムチン産生量は焙煎加工よりも蒸し加工で多かった。つまり、腸管 IgA 産生については焙煎加工の方が高い誘導能を示したのに対し、ムチン産生については蒸し加工の方が高い誘導能を示し、両者で異なる結果が得られた。

4．腸管ムチン産生増加についての検討

腸管ムチン産生に関わる因子として、サンプルの結晶構造、腸内容物量、盲腸内酪酸量および腸内細菌について解析を行った。XRD による結晶構造の分析では、焙煎加工の方が蒸し加工よりも高い結晶性を示した。この結果は、焙煎加工した WE 米の RS 含量が蒸し加工した WE 米の約 2 倍であることと一致していた。

また、乾燥盲腸内容物重量は焙煎加工の方が蒸し加工よりも多かったのに対し、乾燥糞重量は蒸し加工の方が焙煎加工よりも多い傾向を示した。このことから、盲腸より後部の大腸では、焙煎加工よりも蒸し加工の方が、内容物量が多い傾向にあり、これが大腸粘膜への物理的刺激を増加させた可能性が考えられた。ポリスチレンの摂取によって腸管に物理的刺激を与えることでムチン産生が増加するとの報告があることから、蒸し加工では焙煎加工よりも大腸粘膜への物理的刺激が強かった可能性がある。

一方、ムチン誘導因子である酪酸は焙煎加工、蒸し加工の両群で同程度に増加しており、ムチン分解菌は両群で大幅に減少していた。以上のことから、焙煎加工と蒸し加工の両群でムチン産生量が増加したことには、盲腸内の酪酸産生の増加とムチン分解菌の減少が関与していると考えられた。一方、蒸し加工の方が焙煎加工よりもムチン産生を強く誘導した原因として、大腸内の内容物量の増加に伴う大腸粘膜への物理的刺激の増加が関与している可能性が考えられた。

5．まとめ

今回の研究から、加工した RS 高含有 WE 米の摂取は、腸管バリア機能において重要な役割を担う IgA およびムチンの産生促進に結びつくことが明らかとなった。また、その作用の程度は加工方法によって異なり、IgA 産生には焙煎加工が、ムチン産生には蒸し加工が高い効果を示すことが明らかとなった。その違いについて、IgA 産生の誘導には腸内細菌数の増加が、ムチン産生には大腸内容物量の増加に伴う物理的刺激が関係している可能性が示された。以上の結果から、RS 高含有米の摂取は腸管の免疫学的および物理的バリア機能の維持・向上に寄与する可能性が示された。

さらに、これらの知見は、同一の食品素材であっても加工方法によって腸管に対する生理作用が異なることを示すものであり、食品の健康機能を考える上で加工方法も重要な要因となることを示唆している。昨年度の研究助成の結果と合わせて内容をまとめ、論文として報告した（Matsumoto S, Noguchi A, Kitamura S, Matsumoto K. Differential effects of roasting and steaming of resistant starch-rich WE rice on murine intestinal immune and barrier functions. *Journal of Food Science*. 91(5), e71113）。