

総説：DDGS 中のたん白質の価値に及ぼす製造工程での影響

Review: protein value of distillers dried grains with solubles (DDGS) in animal nutrition as affected by the ethanol production process

C. Böttger & K.-H. Südekum

Animal Feed Science and Technology, 244, pp. 11 - 17 (2018)

(はじめに)

DDGS は、様々な穀類を原料としてエタノール発酵を行う際に併産されるが、家畜用飼料のたん白質供給源として利用されている。当然のことながら、DDGS 中の粗たん白質 (CP) 含量、CP およびアミノ酸の利用性は、原料穀類に大きく依存しているが、この他にも製造工程における様々な要因によって影響を受ける。この総説では、DDGS のたん白質の価値に及ぼす製造工程での様々な影響について、これまでの公表文献をもとに論じることとする。

【乾燥と熱の影響】

製造時の乾燥温度、すなわち過熱による損傷は、たん白質の価値の影響する。過熱は潜在的にメイラード反応を誘発し、その結果、アミノ酸の利用性が低下する可能性だけでなく、アミノ酸自体の破壊も起こり得る。さらに、過熱は、窒素化合物の繊維への結合と、DDGS 中の酸性デタージェント繊維 (ADF)、リグニンおよび酸不溶性窒素 (ADIN) 含量などにも影響を与える。また、アミノ酸への過熱の影響は、アミノ酸個々によって異なっており、リジン (Lys) は過熱による損傷を特に受けやすいとされている。さらに、Mauron (1990) は、メイラード反応により CP とアミノ酸の消化率の低下だけでなく、メイラード反応によって発生する反応生成物が、消化酵素の阻害を通じて飼料全

体の消化性に影響を及ぼす可能性があるとして報告している。

同一の原料を用いて製造した未乾燥のウェット DGS (WDGS) と乾燥した DDGS の栄養価を比較した研究はほとんどないが、Pahm ら (2008) は、同一バッチの蒸留穀粒について、凍結乾燥とオープン乾燥を行い、乾燥時の加熱により全 Lys および可消化 Lys 含量が減少すること、乾燥温度の上昇にともなって熱損傷も増加することを示している。

しかし、乾燥時に加わる熱の影響は、単に温度だけでなく、乾燥方法や熱への暴露時間等も加わっている可能性もあり、単純ではない。

【過熱による影響の評価】

(色調)

乾燥中の過熱による影響は、製品となった DDGS の色調によって視覚的に判断できる可能性がある。米国では、明るく黄金色の DDGS は、市場で優れた飼料価値を有すると考えられており、色差計により明度、赤色度および黄色度が測定されている。Cromwell ら (1993) および Fastinger ら (2006) は、DDGS の色調は鶏の発育成績、飼料要求率だけでなく、アミノ酸の利用率とも関連していると報告しており、Cozannet ら (2010) は、DDGS の色調は豚における Lys の利用率とも関連があるとしているが、DDGS の

色調は、濃縮ソリュブルの添加量や、原料穀物の違い（例えば、トウモロコシと小麦の比率など）によっても影響を受けることに留意する必要がある。

（ADIN 含量）

DDGS 中の ADIN 含量は、単胃動物のたん白質の価値と関連している可能性があり、鶏ヒナの発育成績や豚における必須アミノ酸の SID（標準化された回腸末端消化率）と相関があることが報告されている。また、ADIN 含量が少ない場合（15%以下）には ADIN 自体の利用性には差がないが、ADIN 含量が高い場合には ADIN の利用性も低下することが報告されている。

（アミノ酸分析）

Kim ら（2012）は、DDGS 中の Lys 含量が前年より増加していたことから、エタノール産業における DDGS 製造時の処理方法が全般的に改善され、過熱による損傷が軽減されている可能性があるとして指摘している。DDGS の過熱による悪影響に関する検討は、主に制限アミノ酸となり得る Lys に焦点が当てられている。CP : 全 Lys 比は、SID 必須アミノ酸含量と関連していることから、CP : Lys 比のみで DDGS の価値を評価できるとする研究者も存在する。しかし、分析結果として得られる Lys 含量は、メイラード生成物に結合した不消化の Lys をも含んでいる（Erbersdobler & Somoza, 2007）ため、反応性 Lys（還元糖に結合していない Lys）含量の推定などの検討が待たれる。

【過熱以外の処理方法による影響】

（乾燥前の熱の影響）

一部の研究者は、エタノール発酵前の工程が、既に、反応性 Lys 含量に影響を及ぼしている可能性があることを指摘しており、糖化工程でプロテアーゼなどの酵素を加えることで、糖化工程における熱による影響の

リスクを軽減することが知られている。この手法は、一部のエタノール工場では既に実用化されている。

（濃縮ソリュブルの混合方法）

DDGS を製造する際には、乾燥前あるいは乾燥中に、濃縮ソリュブルが混合される。Kingsly ら（2010）によると、濃縮ソリュブルの割合は DDGS の組成に大きな影響を与える。また、濃縮ソリュブルを多量に加えると、DDGS 中の CP のルミナール分解性が高まること、反応性 Lys 含量が減少することが明らかになっており、これは、濃縮ソリュブルでは Lys 含量が低く、糖含量が高いことに起因するとされている（Pahm ら（2008）および Cozannet ら（2010））。

（原料穀類の粉碎粒度）

原料穀類の粉碎粒度は、DDGS の最終粒径を決めることになる。一般的に、飼料の粒径が小さいほど栄養素の消化率が高くなるが、Yáñezet ら（2011）は、DDGS を豚に給与する場合、粒度が小さいほど CP やアミノ酸の利用性が高まることを報告している。

【酵母の寄与】

これまでに述べたほかに、DDGS の CP 特性に影響を及ぼす要因として、エタノール発酵工程で用いられた酵母の残渣がある。DDGS 中に酵母の残渣が含まれていることで、アミノ酸組成が変化する（Belyea ら（2010）および Han & Liu（2010））。例えば、酵母は、穀類と比較して Lys 含量が相対的に高いことから、DDGS 中 CP の価値をより高めている可能性がある。DDGS に含まれている酵母の実際の寄与については、標準化された推定方法が存在しないためよく知られていないが、トウモロコシと DDGS におけるアミノ酸組成を考慮すると、酵母が残存していることにより、CP の増加などにある程度寄与していることが考えられる。