



飼料学 84 : 5 発酵工業副産物

メタデータ	言語: jpn 出版者: 養賢堂 公開日: 2012-05-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 藤田, 創, 木村, 信熙, 入江, 正和, 石橋, 晃, Fujita, Hajime, Kimura, Nobuhiro, Irie, Masakazu, Ishibashi, Teru メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/3697

飼料学(84)

—V 発酵工業副産物—

藤田 創*・木村信熙**・入江正和***・石橋 晃****

4 バイオエタノール副産物

近年日本でも石油の代替燃料としてのエタノールの自動車用燃料用途に注目が集まっている。アルコールは自動車の登場期にすでに燃料として使われていた。米国では1920年代に有鉛ガソリンを推進するようになったため、以降ほとんど使われなくなったが、鉛による環境問題からオクタン価向上のためにアルコールの混合が見直されている。フランスでは1920年代から始まり、1950年代頃には砂糖大根で作ったエタノールをガソリンに混ぜて使っていた。石油が安価に手に入るようになりほとんどの国ではエタノールを使わなくなった。しかし、ブラジルでは1973年の石油ショックによる原油価格の高騰に対処するため、政府が1975年から自国で豊富にとれるサトウキビから生産できるエタノールをガソリン代替にすることを進めてきた。既にブラジルでは年間に販売される新車の半数以上がエタノール燃料に対応した車となっている。2003年よりガソリンに対するエタノール混合率は25%となっている。

米国でも1970年代から中西部のトウモロコシ生産地帯ではエタノール混合率10%のガソリン gasohole が販売されてきた。1990年代には clean air act (大気浄化法) に基づき、エタノール混合に優遇措置がなされ、2000年代になり、10%混合ガソリン (E10) が広く販売されるようになっていく。

日本ではもし十分検証しないまま実用化されて、技術的事実として原因がバイオエタノールにあるトラブルが発生した場合、企業(石油会社や自動車メーカー)は「それはバイオエタノールを加えたからで、うちの責任ではありません」といっても消費者は納得しない(理解する能力がない、あるいは理解

できてもメーカーに不当な責任を押し付ける)という危惧があったためと思われる。

1) バイオエタノールを取り巻くわが国の事情

(1) 工学的, 技術的観点 腐食性 アルコールは若干ながら腐食性を持っているので自動車部品の耐久性に問題が発生する。エンジン関連のアルミ製品, 燃料ホース, オイルシール(エンジンの外側部品の合わせ面のパッキン)などの樹脂製部品が影響を受ける。特に, 樹脂製部品は短期間で深刻なダメージを受けかねない。

また, ガソリンスタンドでも, 設備に腐食の問題が発生する可能性がある。現在の日本における「3%質量比」というのは「この程度であれば腐食ダメージは無視できる」ということと思える。上述の樹脂製部品は一種の「消耗品」として一定期間, 走行距離毎の定期整備で交換する。

(2) 燃焼条件の設定 いうまでもなく, 現行の自動車エンジンは, ガソリンが可能な限り「理想燃焼」するように設定されているので, アルコールの「理想燃焼」とは設定が異なるが, この点からも「3%程度の含有量であればほとんど影響なし」と考えられる。

(3) 燃費の問題 ガソリンとアルコールでは単位当たり質量から得られる熱量は異なる。あまり含有量が多いと燃費が現状では2倍弱程度悪くなる。ただし, 燃費悪化を除けば「アルコール使用を前提に設計, 製造された」自動車であれば, もっと高い含有量, あるいは100%アルコールも利用可能である。このことは, 技術的には困難ではなく, 一定量の含有率までなら全くの新型を開発しなくても, マイナーチェンジ(一種の仕様変更)で充分対応可能である。また, ユーザーさえ費用を受け入れれば, 今使っている自動車の一部部品交換などより高いアルコール含有が実現可能である。

(4) 技術的観点 大手石油元売ではバイオガソリンが売られている。ただし, これはアルコールを混ぜる

*エフアンドエムアソシエイツ(Hajime Fujita)

**日本獣医生命科学大学応用生命科学部 (Nobuhiro Kimura)

***宮崎大学農学部(Masakazu Irie)

****(社)日本科学飼料協会(Teru Ishibashi)

のではなくて、ガソリン生成で一部植物由来の原料を使っているものである。現在のガソリンは「原油を精製する」というより「原油を原料として、合成する」に近い製法をとっている。

2) 法律、規制上での観点

(1) **JIS 規格** 自動車用ガソリンには、当然ながら JIS 規格が存在し、その中で成分及びその比率に規定がある。杓子定規に言えば、アルコールを加えるということは「不純物」となってしまうので、その点で新たな規格を設定するまでは「許容範囲」でないと「ガソリン」として販売できない。

なお、現時点では、温暖化対策推進の観点から、E3(エタノール3%混合ガソリン)及び上述の技術的観点での参考情報にある「バイオガソリン」には、バイオエタノール分相当について非課税とする暫定処置が取られている。

(2) **揮発油税** ガソリン、軽油、灯油などには「揮発油税」が課せられている。その税率は対象となる揮発油の種類によって異なるが、当該関連法律が制定された時点ではアルコールを想定していないから、この点でもあまり含有量が多いと、法改正が必要になる。

(3) **引火性** ガソリンも極めて引火性が高いからアルコール自体の高い引火性自体は問題にはならないが、高純度の燃料用アルコールは燃焼するとき「炎を出さず、目視しにくい」という性質があるので、消防法などの関連で、一定量以上の保管や輸送に問題がある。

3) 供給体制

アルコールは主に穀物を原料とするので枯渇の心配がなく、また「カーボンオフセット」として温暖化に対応できるとされている。ただし、本格的供給体制の確立にはまだ道程が長い。

(1) **原料調達** アルコール原料はトウモロコシ、コムギ、サトウキビなどが主流である。この国内調達が困難なので、自ら供給可能量に限度がある。現在その他のバイオマスによるアルコール発酵法が研究されている。

(2) **コスト** 原料調達コストに加えて、アルコール製造設備に対する投資も必要で、これらにより、現在アルコール添加のガソリンは割高である。もっともこれは原油価格の動向次第で変わってくる。

(3) **食料との競合** アルコールが燃料として注目され、実用化が進展している中、食料供給に影響が見られ、

特にアフリカを中心とした発展途上国が食糧難に直面し、問題となっている。穀物などが食料以外の燃料としての需要が出てきたため、市場価格が高騰し始めているからである。また、主に北米、オーストラリア、ブラジルなどで穀物生産者の一部が燃料用穀物の作付面積を増やし、その分食料向け生産が相対的に減るといった現象も見られる。燃料生産企業が量、価格共に安定的に買い上げ、また食用にあまり適さない品種、品質でもアルコールの収量さえ保持できればよいという考え方もある。

なお、トウモロコシは元来食用に開発された様々な品種(品種の上の分類として、主に家畜用飼料やコーンスターチ、バイオエタノールの原料として使用される馬齒種(デントコーン)、糖分の多い甘味種(スイートコーン)、食用、家畜用飼料、工業用原料に主に使用される硬粒種(フリントコーンなど)があり、近年は遺伝子組み換え品種やハイブリッド種が普及している。

4) 諸外国の例

(1) **ブラジル** ブラジルは自動車用アルコール燃料大国である。1970年代から国策としてアルコール燃料を推進し、長らく自動車用アルコール燃料が当たり前になっている。現在、主なガソリンには25%のアルコールが含まれている。もちろん、そのために同国で販売される自動車の過半数は腐食対策がなされている。理由としては、1970年代の石油ショック対策であり、また同国が穀物生産大国であることであり、ある意味では先見性があった政策ともいえる。一方、最近では需要が増え、砂糖価格との兼ね合いからアルコールが生産調整されるため、エタノールが足りず、米国から多く輸入するという事態さえ生じている。

(2) **EU 及び米国** EU では5%位の含有量のものがあり、最高では15%のものも流通している。15%のものを使うには、自動車自体が専用に対策されている必要があり、一部にその対策が施された自動車が販売されている。

米国では、クリントン政権が自動車用燃料へのバイオエタノール利用を温暖化対策の政策の一つと掲げ、普及促進を図った結果、現在ほとんどの州においてE10(エタノール10%混合)が販売されており、米国内で消費されるガソリン車用燃料の約10%がE10であると言われている。また、2010年には

EPA(米国環境省)が独自の試験結果に基づいて「2007年以降に製造された自動車であれば、E15(エタノール15%混合)が問題なく使える」としてE15利用を推進する旨の発表を行った。ただし、このEPAの方針には、「さらなる穀物価格の高騰を招く」という批判や、「E15の利用によりエンジンなどに不具合が発生するリスクがあり、EPAの試験結果に根拠がない」との自動車メーカーの反発が強く、E15への動向は不透明である。なお、米国の自動車レースの「インディシリーズ」と呼ばれる競技では伝統的に100%アルコール燃料を使用している。この競技向けの自動車は完全な同競技専用のもので、一般消費者向けではない。

5) バイオエタノール蒸留粕(dried distiller's grain DDG)

アルコール発酵にはデンプンが用いられ、DDGにはタンパク質、脂肪、ビタミン、ミネラルなどの栄養成分が残っているため、古くから配合飼料原料として使用されていた。初期のDDGの場合には主にウィスキー醸造粕を指し、またアルコールの醸造工程によってその飼料価値が異なることから、使用上注意を要する原料であった。しかし、現在特に注目されているDDGS(dried distiller's grain with soluble)とはトウモロコシからバイオエタノールを作った際の副産物(併産物とも呼ばれている)を指しており、近年非常に重要な原料としてその地位を高めてきている。原料や製造工程によりその組成は多岐にわたっている。飼料として利用できるものは多く、様々な家畜に対する給与の影響も検討されている。

5)-1 トウモロコシ蒸留粕(cDDGS)

(1) 歴史 米国における大規模なエタノール生産工場の建設は1970年代からであり、それに伴ってDDGSの生産が増加し始めた。当初のDDGS利用に関する研究は乳牛用と肉牛肥育用の飼料に始まり、80年代には育成用、豚、鶏用の研究に進んだ。その頃の研究の焦点はDDGSにおいて不足しやすいリジンの添加にあった。また、90年代にはDDGSを生産する際に利用する加熱プロセスが、飼料の栄養的品質に影響することも明らかにされた。最近の家畜への研究も、様々な栄養特性や肥育や肉質への影響など多岐にわたるようになっている。

cDDGSは近年では比較的安定した品質のものが供給できるようになってきている。この背景には、米国政府の国策としての優遇策によるコストメリットがあったことが大きな要因ではあるが、2006年頃からの穀物相場の上昇による配合飼料価格の高騰があり、代替原料の探索と濃厚飼料の安定供給が急務であったこと、エコフィードや飼料米などの利用に代表される、近年の自給可能な国産飼料の生産や利用拡大への機運の高まりによるわが国の努力が大きく影響していると考えられる。

DDGSは飼料安全法に基づく、日本標準飼料成分表への栄養価表記もなされ、配合飼料原料として飼料工場での使用が容易になった。特に生産量の多い米国からの日本へのDDGSの輸入は2006年前後から開始され、その後も継続して輸入量は増加を続けており、2005年には0.5万t余りであったものが、2009年には25万t近くまで増加している。

(2) 製法 米国のバイオエタノールを例にとると、DDGSはドライミリング方式によりトウモロコシを粉砕、発酵処理して得られる。まず、トウモロコシ澱粉の大部分は燃料用エタノールへと転換されるが、この残渣(ジスチラーズ・グレインDG)はさらに乾燥され(ドライド・ジスチラーズ、グレインDDG)、最後に水分を蒸発させた際に得られるタンパク質を含んだシロップをDDGに添加してDDGSとなる。現状では、1ブッシェル(25kg強)の原料から約8kgのDDGSが得られる。

DDGSの飼料成分(表1)は当然ながら製造工場間でも差異があり、注意が必要である。全体として、DDGSは澱粉部分が発酵により失われているため、高タンパク質、高脂肪となり、有効なエネルギー源として利用可能である。ただし、タンパク質中のリジン、メチオニン、トリプトファンは、原料に由来して相対的に低い。また、一方で、アルコール発酵過程でフィチン態リンが分解され、さらにリンも濃縮されるため、ブタやニワトリでは有効なリンの供給源となる。

表1 DDGSの一般成分(乾物中%)

	DM	粗蛋白質	粗脂肪	粗繊維	ADF	NDF	粗灰分
DDGS(日本)	90.7	28.9	12.2	7.7	15.3	41.9	4.7
DDGS(米国)	90	28	11	8	15	39	5

日本標準飼料成分表(2009), R.L. Preston 2009.

(3) 製品の評価 DDGS は外観上、やや褐色を帯びた黄色であり、ビール臭あるいは食パンの耳のような独特の匂いを持つ。色はウェットの DDGS を加熱する際の条件により異なる。一般に乾燥温度が高くその処理時間が長いほど色が濃くなる。これはメイラード反応によるタンパク質の変性によるもので溶解性が低下する。その場合は幼動物や単胃動物でタンパク質の消化率が低下するが、成牛ではパイバスタンパク源となり、高泌乳牛への使用が注目される。またこの色合いは、乾燥時に添加するソリュブル(濃縮発酵液)の添加量によっても変動する。ソリュブルには糖、脂肪や水溶性のリン含量が高い。DDGS の色合いの変動は栄養価値の変動を意味することになるが、このように色が濃いからといって栄養価値が低いとは決め付けられない。

DDGS は一般の飼料原料と同様の保存条件では、色、匂い、油脂性状の変化はきわめて小さい。40℃での1週間保存では、匂いの上でやや変化がある(異臭がする)が、色と油脂性状の計測値に変化はない。60℃加湿条件では肉眼的に褐変化の進行が確認でき、異臭が強まる。このような過激な保存条件でも油脂性状(POV, AV)の変化はきわめて小さい。これは DDGS に含まれている α -トコフェロール(ビタミンE)の抗酸化作用によるものと考えられている。

DDGS は一般の穀物に比べて流動性(さらさら性)が低い。そのためタンクに貯蔵したときにブリッジの形成による難排出が問題となることがある。これは貯蔵スペースの問題につながり解決すべき課題とされている。輸入ふすまのようにペレットに加工することで、嵩の縮小、輸送容量の低下による輸送コストダウンと同時に難排出の解決が試みられている。

DDGS はデンプンや糖類が発酵した副生物として、脂肪やタンパク質の含量が元のトウモロコシよりも高くなっているが、理論上農薬やカビ毒が濃縮される可能性があり、一般飼料穀物と同様に検査されている。また、アルコール発酵の工程上、雑菌処理として抗生物質が使用される可能性があり、この点での検査もなされている。農薬、抗生物質の残留は認められていないが、カビ毒はトウモロコシと同様にデオキシニバレノール、ゼアラレノン、T-2トキシンなどが検出されることがあり、トウモロコシ栽培地帯の環境などがカビ毒の含有量に影響しているものと考えられている。

(4) 生産量 世界におけるバイオエタノールの生産(単位:億ガロン, 1ガロンは約3.78L)は、2010年で北米137, 南米71, ヨーロッパ12, アジア8, その他は1以下となっている。米国におけるバイオエタノールの生産は1980年には2弱であったものが、1990年には9, 2000年には16, 2010年には132になっている。米国で主流のドライミル法では、100kgのトウモロコシから34.4kgのエタノールと31.6kgのDDGSが生産されることから、エタノール生産量に近いDDGSが産出されていることになる。なお、2008年における米国のプラント数は165であり、2010年では200を超えている。DDGSの生産量は3000万t以上にのぼるとされる。

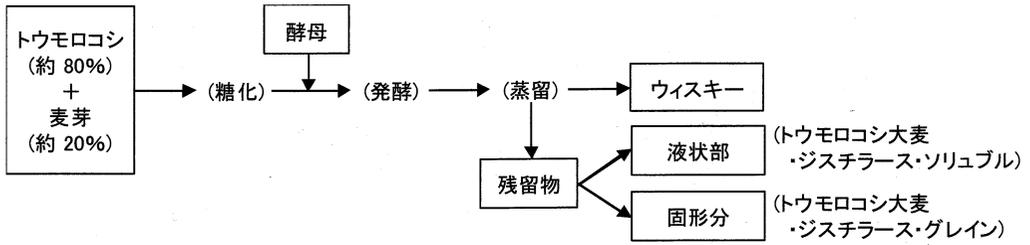
(5) 飼料価値 ①反芻動物 ウシに対しては第一胃内非分解性タンパク質(RUP)の良い供給源として注目されており、トウモロコシと比較しても多い。他のトウモロコシ副産物と同様にリジンが第一制限アミノ酸であり、産乳量増加のためにはルーメンプロテクトリジンを補助すると良いとされる。また、脂肪やリン、エネルギーの供給源としても有用である。

肉牛では10%程度は給餌可能であり、配合飼料中に15%のDDGSを添加すると脂肪が厚くなるなどの事例も見られるため、注意が必要である。ただし、米国穀物協会によると、仕上げ期では乾物で15~20%のDDGS給与でトウモロコシに比べて成長率や飼料効率が改善されるとされている。

②ブタ ブタでは発酵による甘い香りがあり、嗜好性は良い。しかし、メーカーにより粉碎粒度が異なり、プラントによって栄養成分のばらつきが大きいことから、使用する際は注意が必要である。また、油脂分が多く、リノール酸含量が高いので、多給すると軟脂を発生させる要因となる。このため、肉豚用飼料に用いる場合は一般的に10%以下が推奨される。また、最近の報告では授乳豚に対し、30%まで添加できるとの報告もなされている。

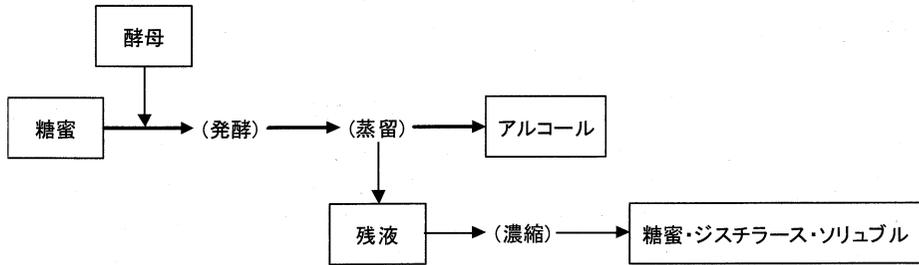
③採卵鶏 採卵鶏飼料では20%まで使用しても産卵成績に悪影響はないと考えられている。しかし、DDGSを20%配合した場合にアミノ酸欠乏のために卵重が低下したとの報告もあることから、DDGSを使用する場合には低い割合から使用を開始し、徐々に配合割合を増加させることが提案されている。一方、DDGSの配合割合を最大で40%使用しても、生産成績に及ぼす影響が小さいとの報告もある。

①



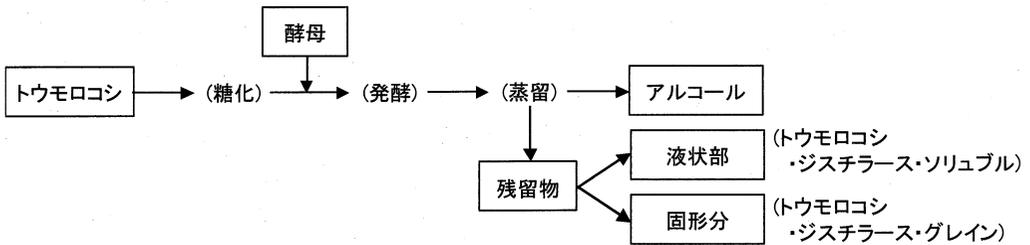
グレインウイスキーの製造工程
トウモロコシ大麦・ジステラース・グレインなどの生産フローシート

②



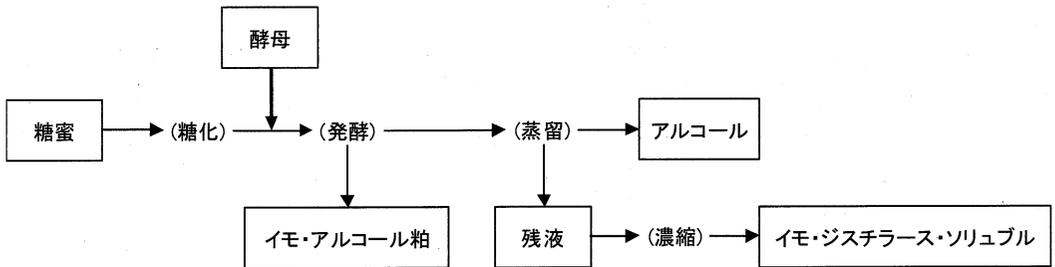
糖蜜・ジステラース・ソリュブルの生産フローシート

③



トウモロコシ・ジステラース・グレインなどの生産フローシート

④



イモ・ジステラース・ソリュブルの生産フローシート

図1 DDGSの生産フローシート

また、DDGS を 40% 使用した場合に産卵成績と卵質には DDGS 無添加飼料と比べて明確な差のないとの成績が得られている。わが国では卵黄色の強化効果が報告されている。ただし、DDGS はエタノール生産工程の違いにより品質が大きく異なるため、使用する場合にはその品質に十分に注意する必要がある。

④ **ブロイラー** ブロイラー飼料では DDGS は繊維含量が高く、また蛋白質の消化率が低いため、孵化後 2 週間は DDGS を多量に配合した飼料の給与は控えるべきであると考えられている。また、DDGS の使用により肉中のリノール酸と不飽和脂肪酸の割合が増加するため、肉中の脂肪酸化が促進されやすくなる。DDGS は 15% までの使用であれば、飼育成績と肉質に悪影響を及ぼすことなく、トウモロコシと大豆粕の一部を代替することによって飼料コストを低下させることができる。ただし、前述のとおり、DDGS を使用する場合にはその品質に十分に注意する必要がある。

⑤ **魚類** 養魚飼料としての利用はコストを考慮すると DP では問題になるが、EP ではある程度利用が見込める。なお、米国穀物協会では、ナマズ、サケ、マスなどの魚種に対する、合成リジン無添加時の DDGS の最大給餌割合(%)をそれぞれ 30、10、15 と紹介している。

5) -2 ソルガム DDGS

ソルガム DDGS を肥育豚に給与する場合、30% 以下なら発育に問題が生じないことが複数の研究によって明らかにされている。しかし、大量の給与はブタの増体日量を減少させることが報告されており、40% 以上だと飼料効率を低下させる可能性もある。また、飼料摂取量は 30% 以下なら悪影響はないが、大量に給与すると飼料摂取量が低下することが報告されている。

5) -3 小麦 DDGS

肥育中期のブタ(52~85kg)への小麦 DDGS の 25% の利用は増体日量や飼料効率に悪影響を与えなかったとする報告がある一方で、育成豚(20~51kg)に対しては 5~25% の小麦 DDGS 添加で飼料摂取量や発育を直線的に減少させるという報告がある。ただし、その場合でも、飼料効率には影響がなかったとしている。試験結果に差が出るのは、小麦 DDGS が時折、低消化性のリジンを含むことによるためと考えられている。

5) -4 サトウキビ DDGS

ブラジルでは多くのバイオエタノールを生産しているが、その原料の主体はサトウキビである。トウモロコシのバイオエタノール生産では、穀実を破碎しデンプンを取り出す必要があり、その分コストがかかるが、サトウキビからのエタノール生産は、搾汁(粉碎)だけなので、よりコストが低くて済む。なお、その製造工程では、通常、2 回搾汁し、1 回目は砂糖生産に、2 回目をエタノール発酵に利用する。飼料化コストは DDGS に比べ高めになるが、搾汁粕はバガスとして通常の飼料として利用される。

参考文献

- 木村信照, 高橋奈緒子 DDGS の飼料原料としての特性と栄養価. 栄養生理研究会報 51: 2007.
唐澤哲也, 郷達也. 米国における家畜飼料の利用状況とエタノール副産物の活用について. 農畜産振興事業団. 2007.
高橋奈緒子ら, 日本畜産学会報. 79: 2008
中央畜産会. 新たな飼料資源 DDGS の一般成分及び有害物質の分析結果について. 中央畜産会, 2008.
Stein, H. H. and G. C. Shurson. J. Anim. Sci., 87: 2009.
Ganesana V. et al. Biosystem engineering, 101: 2008.
Klopfenstein T J. et al.. Use of distillers byproducts in the beef cattle feeding industry. J. Anim. Sci. <http://jas.fass.org/content/early/2007/12/21/jas.2007-0550>. citation 2007.