

# ソルガム ガイドブック

2010





---

# ソルガム - 古くて新しい健康・環境指向の作物

## 目次

序 説.....	2
ソルガムの栄養貢献.....	2
ソルガムの栄養価値.....	2
微量栄養素：ソルガムに豊富に含まれる.....	3
食事およびソルガムに含まれる糖質の特殊な役割.....	5
ソルガムに含まれるタンパク質.....	5
大豆で強化したコモディティ・ソルガムのグリッツ（粗挽き穀物）.....	5
植物化学物質：ソルガムのもうひとつのメリット.....	8
タンニン：問題はない.....	8
主要栄養素および微量栄養素の失調.....	8
食糧支援におけるソルガムの役割.....	9
非常食、ソルガムの役割.....	9
農業生産.....	9
栄養摂取量.....	9
開発途上国の主食とコモディティ・ソルガムの比較.....	11
ソルガムと食糧支援で用いられるその他のコモディティ穀物の比較.....	12
コモディティ穀物の栄養比較.....	12
コモディティ穀物の物理/化学特性.....	12
マイコトキシンとコモディティ穀物アスペルギルス.....	12
フモニシンとトウモロコシ.....	13
ソルガムの価値.....	14
References.....	14

## 図表一覧

表 1: コモディティ・ソルガムと 1 才から 9 才の子供を対象とした WHO RNI との比較.....	4
表 2: ソルガム、大豆強化ソルガム・グリッツおよび大豆強化コーンミールの栄養比較.....	6
表 3: 大豆強化ソルガムと 1 才から 9 才の子供を対象とした WHO RNI との比較.....	7
表 4: コモディティ・ソルガム*とアフリカの主食である小麦**、トウモロコシ**、米** およびキャッサバ** との比較.....	10
表 5: チャド、エチオピアおよびスーダンの 2007 年の主食 1 日 1 人当たりのエネルギー摂取量（キロカロリー）.....	11
表 6: チャド、エチオピアおよびスーダンの 2007 年の 1 日 1 人当たりのエネルギー摂取量.....	11
表 7: コモディティ穀物（ソルガム*、小麦、トウモロコシおよび米）の栄養比較.....	12
表 8: ソルガムと小麦、米、トウモロコシおよび大麦との化学的性質の比較.....	13
図 1: サハラ砂漠以南のアフリカ諸国におけるマイコトキシンが含まれやすい 4 食品の 1 人当たりの消費量（1993 年）.....	14

## 序説

ソルガムはアフリカが寄与できる数少ないエリート穀物で、その供給量は世界の食糧エネルギーの約 85% となる。大半を人間が消費するソルガム以外の食糧は、米、小麦、トウモロコシ、ジャガイモのわずかに 4 種類しかない。ソルガムは半乾燥熱帯地域の 30 を超える国々で 5 億以上の人々の主食となっているため、世界でもっとも馴染み深い食糧のひとつと言える（国際開発のための科学技術委員会、1996 年）。ソルガムはまさしく古代からの穀物である。Dahlberg と Wasylikowa (1996) の報告によれば、西部砂漠にある南エジプトのナブタ・プラヤ遺跡でソルガムが現在でも発見され、その歴史は紀元前 8000 年までさかのぼる。

ソルガムはその穀粒、茎および葉に価値がある。ソルガムと言えば、米国では多くの人々が特定品種のソルガムの茎からとれる甘い汁を原材料とするシロップ、あるいはサイレージや牧草として使用するソルガムに慣れ親しんでいる。ソルガムは世界中の食品製造分野で広範囲に使用されている (Rooney と Waniska, 2000)。米国国際開発庁 (USAID) のコモディティ・レファレンスガイド (CRG) に掲載されているように、食糧支援プログラムではグレイソルガムが重視されており、とりわけ白色品種とハイブリッド品種に主眼が据えられている。

米国においては、色が白く味が淡泊な粉に容易に製粉することのできる、淡色の包穎を持つ「黄褐色」のソルガムからとれる白い穀粒が「食品グレードのソルガム」として奨励されている。世界の他の地域では、ありとあらゆる種類、色のソルガムが様々な種類の伝統的な食品や飲料に用いられている。発酵させないパンの中でもチャパティやロティなどはインドで一般的に食され、一方中央アメリカやメキシコではソルガムからトルティージャが作られている。キスラヤドーサといった発酵パンはアフリカ、スーダンおよびインドで見られ、一方インジェラはエチオピアで一般的に食されている。ウガリ、トゥヴォ、カロおよびマトと呼ばれる濃厚な粥はアフリカ、インドおよび中央アメリカでみられ、オギ、ココおよびアカサと呼ばれる薄い粥はナイジェリアやガーナで見られる。ソルガムから作られたクスクスは西アフリカ一帯で見られ、ソルガム全粒またはソルガム精白粒を茹でたものはアフリカ、インドおよびハイチで消費されている。世界中で原材料にソルガムを用いたスナック菓子が製造されており、日本市場にも存在する。あらゆる種類のアルコール飲料および酸味のあるビールや不透明なビールは世界中の市場に存在する。

アフリカの代表的な主食はキャッサバ (1 億 1,800 万トン)、トウモロコシ (5,300 万トン)、ヤムイモ (5,000 万トン)、ソルガム (2,500 万トン)、プランテインバナナ (2,400 万トン)、米 (2,300 万トン)、小麦 (2,100 万トン)、キビ (2,000 万トン)、サツマイモ (1,400 万トン) およびバナナ (1,200 万トン) である (FAOSTAT, 2008)。ソルガムは耐寒性のある作物であるため、こうした主食のなかでも特異な地位を占めている。ソルガムは温暖な地域でも乾燥した地域でも栽培することができるという点で極めてユニークである。C4 植物 (C4 炭素固定経路を用いる植物) であるため、効率的な光合成を行うことができ、すぐに成熟し、1 年に 1 回以上収穫できる場合もある (国際開発のための科学技術委員会、1996 年)。

ソルガムは干ばつ耐性および湛水耐性があり (Doggett, 1988)、様々な土壌条件で生育する (Dillon ら、2007)。こうした特性があるため、ソルガムは砂漠周縁部や半乾燥熱帯地域で食糧不足に見舞われている約 3 億人のアフリカの人々の大半に主食穀物を提供することができる。トウモロコシと同様に、ソルガムにも本当の意味での外皮あるいは殻はない (Taylor, 2003)。トウモロコシとの類似性があるため (粉状の固い胚乳および大きく脂質の豊富な胚芽)、ソルガムはトウモロコシに適用される乾式および湿式製粉の技術を用いて加工することができる (Taylor, 2003)。最新のゲノム配列の解明により、今後ソルガムの生産品質および栄養品質が向上していくことになる (ICRISAT, 2009)。

アフリカでソルガムがそれほどまでに広く知られており、受け入れられているなら、何故もっと普及させてアフリカ人の飢餓を軽減することができないのだろうか。この問題の一端は、主要都市部で消費される食品に組み入れるためのソルガムの開発が行われておらず、その結果として市場が不足していることにあると主張する研究者 (国際開発のための科学技術委員会、1996 年) である。アフリカでは未だソルガムの大半は小規模農家によって栽培されており、栽培された地域で消費されている。農家以外の人達やソルガム穀粒を粉にひく時間のない人達は、粉、パン、シリアル、およびその他のソルガム食品を商業的に利用することができないため、ソルガムの消費が制限される結果となっている。しかしながら、食品業界がソルガム製品の開発および販売を開始するようになり、都市部の市場では変化がみられるようになってきた。

ソルガムにはもともとグルテンフリーという付加的な利点があり、セリアック病患者にも安全であることが実証されている (Ciacci ら、2007)。従って、セリアック病患者や恐らくは他の胃腸疾患患者にとってもメリットがある。グルテン性腸症またはセリアック病は、腸が穀物の貯蔵タンパク質、すなわちグルテンに敏感に反応するために引き起こされる。グルテンは小麦に含まれる成分で、グルテン様のタンパク質はオーツ麦、大麦およびライ麦に含まれており、毒性を有するものでもある。70% の患者に、通常 1 日に 3 から 4 回まで下痢が起り (Connon, 1994)、栄養素および体液が失われる。セリアック病では結果的に栄養素の吸収不良が起こるため、多くの患者の体重が減少する。もともと栄養不良である場合には、セリアック病は非常に深刻な状況をもたらす可能性がある。セリアック病患者の治療では、グルテンを含む食品をすべて排除する (Thompson, 2000)。

## ソルガムの栄養貢献

### ソルガムの栄養価値

USAID CRG および USDA のデータベースにはソルガムの栄養価値が多く抜け落ちている。また、現在利用できる栄養データがないという印象を正すための取り組みが行われている。本書の各種の表では USDA または USAID CRG の既存の栄養価を表示しているが、それぞれの表に付け加えた注釈に記載した出版文献からの得た追加のデータも使用している。問題のひとつは、ソルガムの USAID CRG の PDF ダウンロード版には不正確な栄養データが含まれているということである。もうひとつの問題は、ソルガム - 大豆強化品についての USAID CRG の栄養データに誤りがあるということである。ソルガム - 大豆強化品には、

強化栄養素に付加したソルガムおよび大豆本来の栄養価が含まれていない(私信、USAID、S. Moody、2010)。食事計画の立案を目的として使用する場合には、こうしたUSAID CRGのソルガムに関する誤りを知っておく必要がある。

国民に十分な食糧が行き渡っていない多くの国々の人々は、すでにソルガムの使用方法を知っており、すぐにソルガムを食事に取り入れることができる。ソルガムはエネルギー源として優れており、エネルギーは主として複合糖質として存在する。複合糖質(繊維、デンプン)は通常ゆっくりと消化され、したがって満腹感を与え、空腹感を遅らせる。グレイソルガムの脂質は小麦、米およびキャッサバよりも多く含まれ、タンパク質は他の穀物と同程度である。表1は9才までの子供を3種類の年齢段階に分け、コモディティ・ソルガム100g(USAID CRG、2010)がどの程度世界保健機構(WHO)の推奨栄養摂取量(RNI)を満たしているかを示したものである(FAO/WHO 1998、2001、2007)。表1は1日に最低100gまたは約3オンスのグレイソルガムを摂取することを前提としたものである。

#### 微量栄養素：ソルガムに豊富に含まれる

表1に記載されたコモディティ・ソルガムに含まれる栄養成分の中で、WHO RNIまたはUS RDA(2001)の値を満たし、良または優カテゴリーの栄養供給源と見なされる11種類の栄養成分は緑色で強調表示されているが、このうちの1種類を除きすべての栄養成分が、すべての年齢段階で優カテゴリーの栄養供給源として分類されている。いずれの年齢カテゴリーでも、11種類の重要栄養成分はWHO RNIまたはUS RDAの16%(表1)から245%(脚注、表1)までの量で含まれており、そのうちの9種類は微量栄養素である。

WHOはマンガンおよび銅のRNI量を示していないが、全米科学アカデミーの食品栄養委員会(2001)では4才から8才の子供のマンガンおよび銅の推奨栄養所要量(RDA)をそれぞれ1.5 mgと440 µgとしている。このマンガン1.5 mgおよび銅440 µgというUS RDAの推奨値を用いると、4才から8才の子供のRDAに対する割合はマンガン(ソルガム=1.63 mg/100g)が92%で、銅(ソルガム=1080 µg/100g)が245%となる。鉄の適正な代謝には食事から適切な量の銅を摂取することが必須であり、食事の鉄および銅は開発途上国で深刻な問題となっている貧血を予防する上で重要な役割を果たす。

鉄および亜鉛は、微量栄養素欠乏委員会(1998)が開発途上国で不足している微量栄養素(鉄、亜鉛、ヨウ素およびビタミンA)として特定している4種類の微量栄養素のうち2つである。鉄の生体利用率を10%とし、亜鉛は中程度の生体利用率を用いて計算した場合でも、ソルガムは鉄および亜鉛のいずれにおいても優れた栄養供給源である。

ソルガムには複合ビタミンBが豊富に含まれている。複合ビタミンBはエネルギー代謝において主要な役割を果たしている。ソルガムに含まれるエネルギー値は高く、同時に複合ビタミンBを供給することができるので、エネルギー利用という観点から完璧な組み合わせとなっている。ソルガムにはチアミン、リボフラビン、ナイアシン、パントテン酸およびビタミンB-6が豊富に含まれている。1才から9才の子供では、チアミンはWHO RNI推奨値の47から26%を、リボフラビンは28から16%、ナイアシン

は49から24%、パントテン酸は63から31%、ビタミンB-6は118から59%を供給することができる。表1で強調表示された値をみると、ソルガムにはいかに必須栄養素が豊富に含まれているかが分かる。ソルガムは良または優カテゴリーの栄養供給源に分類される11種類の必須栄養素が含まれており、そのうち9種類は微量栄養素である。

生体利用率を見極める場合、摂取状態で食品を評価することが最も信頼性の高い方法である。Mohammedら(2010)は、ソルガム粉の状態および発酵パン(インジェラ)に含まれる鉄、亜鉛および銅の含有量、抽出性の鉄、亜鉛および銅の割合を摂取状態で求めた。彼らの報告によれば、ソルガム粉に含まれる鉄、亜鉛および銅は、それぞれ、2.24 mg/100 g、0.75 mg/100 gおよび0.61 mg/100 gで、抽出性の鉄、亜鉛および銅の割合は、それぞれ、34%、52%および34%であった。発酵パンであるインジェラに含まれる乾物ベースでの鉄、亜鉛および銅の含有量は、それぞれ、3.95 mg/100 g、0.64 mg/100 gおよび0.61 mg/100 gで、抽出性の鉄、亜鉛および銅の割合はそれぞれ34%、62%および38%であった。これらのデータはソルガムのTabat品種特有の値である(Mohammedら、2010)。他の品種では、品種の違い、地理的条件や栽培条件、その他加工方法の違いにより、異なるミネラル値および生体利用率を示す可能性がある。ただし、Mohammedら(2010)らが見いだした発酵によるミネラル生体利用率の増加は、発酵食品が広く用いられている国々での有効利用につながる。

#### 食事およびソルガムに含まれる糖質の特殊な役割

2002年に入って初めて、米国医学研究所(IOM)の食品と栄養委員会(2002)がすべての主要栄養素の推奨値を発表した。糖質、タンパク質および脂質の許容主要栄養素分布範囲(AMDR)が、体重維持に必要な総エネルギー(キロカロリー)に対する割合を用いて定められた。糖質のAMDRは1才から70才未満の場合には、総エネルギーの45から65%と定められた。これにより、糖質含有率が75%のソルガムはとりわけ適しているということになる。主として脳の働きのためのグルコース産生に必要な量を考慮して、子供と成人双方の糖質量は1日最低130グラム(520キロカロリー)が推奨値となった。食糧と栄養委員会(2002)は、少なくとも糖質の50%は複合糖質源から摂取すべきであり、25%を超えて付加的な糖分から糖質を摂取すべきでないと主張した。糖質推奨値については、アメリカ人のための食事ガイドラインに関する食事ガイドライン諮問委員会の最近の報告書(2010)でも再確認された。2010年食事ガイドラインでは、糖質のAMDR推奨値全般を維持する一方で、糖質の推奨値の範囲内でより多くの全粒穀物を摂取することを勧めている。

身体が何よりも第一に必要なものがエネルギーであることを考えると、糖質の重要性がわかる。食事から適切なカロリーを摂ることができない場合は、比較的少量の推奨値のタンパク質[5 - 35% = タンパク質のAMDR(2002)]がエネルギーのために使用され、タンパク質のアミノ酸が成長、修復および維持に使用されないようにしている。

#### ソルガムに含まれるタンパク質

異なる方法を用いると異なるタンパク質消化率が得られるため、タンパク質所要量のうちソルガムが提供することのできる割合については疑問が残る。Henleyら(2010)の報告にあるように、湿式加熱を用いた場合のソルガムのタンパク質消化率は36.4から74%の範囲である。ペプシン

## ソルガム - 古くて新しい健康・環境指向の作物

表1: コモディティ・ソルガムと1才から9才の子供を対象としたWHO RNIとの比較

栄養成分	単位	ソルガム 100g	RNI1-3 才	%RNI1-3 才	RNI4-6 才	%RNI4-6 才	RNI7-9 才	%RNI7-9 才
エネルギー	kcal	339.0	997	34	1301	26	1629	21
タンパク質	g	11.3	12.25	92	16.65	68	26.05	43
総脂質	g	3.3						
糖質	g	74.6						
繊維 <sup>o</sup>	g	2.7						
カルシウム	mg	28	500	6	600	5	700	4
鉄 <sup>*</sup>	mg	4.4	5.8	73	6.3	70	8.9	49
マグネシウム <sup>o</sup>	mg	0.19	60	<1	76	<1	100	<1
リン	mg	287						
カリウム	mg	350						
ナトリウム	mg	6						
亜鉛 <sup>*o</sup>	mg	1.54	4.1	38	4.8	32	5.6	28
銅 <sup>o</sup>	mg	1.08		**		**		**
マンガン <sup>o</sup>	mg	1.63		**		**		**
ヨウ素	ug	n/a	90		90		120	
セレン <sup>∞</sup>	μg	微量	17	<1	22	<1	21	<1
ビタミン C <sup>o</sup>	mg	2	30	<1	30	<1	36	<1
チアミン	mg	0.237	0.5	47	0.6	40	0.9	26
リボフラビン	mg	0.142	0.5	28	0.6	24	0.9	16
ナイアシン	mg	2.927	6.0	49	8.0	37	12.0	24
パントテン酸塩 <sup>o</sup>	mg	1.25	2.0	63	3.0	42	4.0	31
ビタミン B-6 <sup>o</sup>	mg	0.59	0.5	118	0.6	98	1.0	59
総葉酸 <sup>o</sup>	μg	0.02	150	<1	200	<1	300	<1
ビタミン B-12	μg	0	0.9	0	1.2	0	1.8	0
ビオチン	ug	n/a	8.0		12.0		20.0	
ビタミン A <sup>o</sup>	IU	16	1333	1	1500	<1	1666	<1
ビタミン D	ug	n/a	5		5		5	
ビタミン E a-TE <sup>o</sup>	mg	1.2	5	<1	5	<1	7	<1
ビタミン K	μg	n/a	15		20		25	

FAO/WHO ヒトのビタミンおよびミネラル所要量に関する専門家協議 1998 年

FAO/WHO/UNU ヒトのエネルギー所要量に関する共同専門家協議報告書 2001 年

WHO/FAO/UNU ヒトのタンパク質およびアミノ酸所要量 2007 年

コモディティ・レファレンスガイドから抜粋した栄養データに、注釈に示したソルガム公表データを追加使用

<sup>o</sup> Waniska と Rooney (2000)

<sup>∞</sup> Neucere と Sumrell (1980)

<sup>o</sup> Barrow-Agee Laboratories, LLC, Memphis, TN (2010)

<sup>\*</sup> 鉄の RNI は生体利用率 10% の場合、亜鉛の RNI は中程度の生体利用率とした場合

n/a 該当なしまたはデータなし

「良」の栄養供給源 RNI の 10 - 19%、「優」の栄養供給源⇒ RNI の 20% 超

\*\* マンガン 440 μg および銅 1.5 mg という US RDA の推奨値を使用、4 才から 8 才の子供を対象とした場合の RDA の割合はマンガン (1.63 mg/100g) が 92%、銅 (1080 μg/100g) が 245%。

消化モデルを使用する方が好ましいとする Mertz ら (1984) の報告では、除皮・押出処理ソルガム (品種 954062) の消化率は 79% まで上昇している。人間を対象としてソルガムを評価する場合に、ラットモデルを用いることは適切ではないと主張する研究者もいるため、ソルガムのタンパク質消化率を見極める上で最もふさわしい方法について、研究者間で一致した見解がない。タンパク質に関する食品表示については、米国食品医薬品局 (FDA) はタンパク質消化吸収率補正アミノ酸スコア (PDCAAS) を用いてタンパク質品質を見極めるため、ラットを使用した真の消化率試験の実施を求めている (Henley と Kuster、1994)。

品種改良および加工の分野では、**すべての穀物に共通の制限アミノ酸**であり、PDCAAS を決定する穀物中のアミノ酸でもあるリジンの生体利用率を改善するための試験が現在進められている。アフリカ諸国の多くで発酵食品が広く用いられていることから、Mohammed ら (2010) は一般的な発酵パンであるインジェラをソルガム粉で作った場合の栄養効果を評価した。Mohammed ら (2010) はイン

ジェラ作成中にアミノ酸を分析し、in vitro (ペプシン) タンパク質消化率試験を実施して、発酵により両方が向上することを見出した。穀物主体の食事に各種の豆を加えるといったような食事のバリエーション (および適切なカロリー値) によって、適切量のタンパク質が確保される。糖質・高エネルギー値および高複合ビタミン B 値を有するソルガムは、ソルガム固有のタンパク質とその他の食事に含まれるタンパク質を残しておいて、タンパク質を必要とする機能のためにこれを用いることができるよう手助けする。

## 大豆で強化したコモディティ・ソルガムのグリッツ (粗挽き穀物)

食糧支援の専門家は、タンパク質と微量栄養素のいずれもが不足する危機に見舞われている人々のための緊急プログラムでは「大豆強化コモディティ・ソルガムのグリッツ」を指定することがある。微量栄養素が豊富に含まれる大豆強化ソルガムは85%がグレイソルガムのグリッツで、15%が大豆(粗挽き、脱脂、焙煎)である。大豆強化コモディティ・ソルガムのグリッツ100g中のタンパク質含有率は、コモディティ・ソルガムが11.3%であるのに対し、17.3%となっている。表2はコモディティ・ソルガム、大豆強化ソルガムおよび別のコモディティ穀物であるコーンミールを大豆強化したものの栄養成分を示したものである。表3は、1才から9才の子供を3種類の年齢段階に分け、それぞれの段階の子供に必要なタンパク質量を大豆強化ソルガムがどの程度満たしているかを示したものである(FAO/WHO 1998, 2001, 2007)。大豆強化ソルガム・グリッツのタンパク質はAMRDの範囲内にあり、タンパク質源としてふさわしい食品である。

USAID CRGは追加的に高めた栄養価の値と85%ソルガム・15%大豆製品の本来の栄養価とを合計した値ではなく、追加して高めた微量栄養素の値だけを示しているため、表2に示された大豆強化ソルガム・グリッツおよび

表3に示された大豆強化ソルガム・グリッツの微量栄養素の値は過小報告されたものである(私信、USAID、S. Moody, 2010)。表3では、良または優カテゴリーの栄養供給源として適している栄養成分は緑で強調表示されている。真の栄養価(本来の値プラス追加分)を用いて栄養所要量と比較すれば、パーセントで表示したこれらの値はさらに大きくなる。

表1の子供の食事に対するソルガム栄養成分の貢献度(%)と、表3の子供の食事に対するソルガム・大豆栄養成分の貢献度(%)を比較すると、食事計画には85%ソルガム・グリッド+15%大豆フレークの本来の栄養価を含める必要のあることが分かる。

表2: ソルガム、大豆強化ソルガム・グリッツおよび大豆強化コーンミールの栄養比較

栄養成分	単位	ソルガム *100g	ソルガム **100g	大豆強化ソルガム・グリッツ 85/15 100g	大豆強化コーンミール 85/15 100g
エネルギー	kcal	339.0	339.0	337.2	360.2
タンパク質	g	11.3	11.3	17.3	14.9
総脂質	g	3.3	3.3	3	1.6
糖質	g	74.6	74.6	68.5	71.1
繊維 <sup>o</sup>	g	n/a	2.7	n/a	8.92
カルシウム	mg	28	28	110	110
鉄	mg	4.4	4.4	2.9	2.9
マグネシウム <sup>o</sup>	mg	n/a	0.19	n/a	77.50
リン	mg	287	287	345	173
カリウム	mg	350	350	655	495
ナトリウム	mg	6	6	8.1	5.6
亜鉛 <sup>o</sup>	mg	n/a	1.54	n/a	1.0
銅 <sup>o</sup>	mg	n/a	1.08	n/a	0.7
マンガン <sup>o</sup>	mg	n/a	1.63	n/a	0.5
ヨウ素	ug	n/a	n/a	n/a	n/a
セレン <sup>∞</sup>	ug	n/a	微量	n/a	7
ビタミンC <sup>o</sup>	mg	0	2	0	0
チアミン	mg	0.237	0.237	0.44	0.44
リボフラビン	mg	0.142	0.142	0.26	0.26
ナイアシン	mg	2.927	2.927	3.53	3.53
パントテン酸塩 <sup>o</sup>	mg	n/a	1.25	n/a	0.6
ビタミンB-6 <sup>o</sup>	mg	n/a	0.59	n/a	0.3
総葉酸 <sup>o</sup>	ug		0.02	150	150
ビタミンB-12	ug	0	0	0	0
ビタミンA <sup>o</sup>	IU	0	16	2205	2205
ビタミンD	ug	n/a	n/a	n/a	n/a
ビタミンE	mg-ATE	0	1.2	0	0.3

\* コモディティ・レファレンスガイド最新版2006年から抜粋した栄養データ

\*\* コモディティ・レファレンスガイドから抜粋した栄養データに、注釈に示したソルガム公表データを追加使用

<sup>o</sup> WaniskaとRooney(2000)

<sup>∞</sup> NeucereとSumrell(1980)

<sup>o</sup> Barrow-Agee Laboratories, LLC, Memphis, TN(2010)

ソルガム/大豆ブレンドの微量栄養素データの過小報告; USAIDはソルガム+大豆製品の本来の微量栄養素を無視している。

表3: 大豆強化ソルガムと1才から9才の子供を対象としたWHO RNIとの比較

栄養成分	単位	大豆強化 ソルガム 100g	RNI1-3 才	%RNI1-3 才	RNI4-6 才	%RNI4-6 才	RNI7-9 才	%RNI7-9 才
エネルギー	kcal	337.2	997	34	1301	26	1629	21
タンパク質	g	17.3	12.25	141	16.65	104	26.05	66
総脂質	g	3.0						
糖質	g	68.5						
繊維	g	n/a						
カルシウム	mg	110	500	22	600	18	700	16
鉄**	mg	2.90	5.8	58	6.3	46	8.9	33
マグネシウム	mg	n/a	60		76		100	
リン	mg	345						
カリウム	mg	350						
ナトリウム	mg	8.1						
亜鉛**	mg	n/a	4.1		4.8		5.6	
銅	mg	n/a						
マンガン	mg	n/a						
ヨウ素	ug	n/a	90		90		120	
セレン	ug	n/a	17		22		21	
ビタミン C	mg	0	30	0	30	0	36	0
チアミン	mg	0.44	0.5	88	0.6	73	0.9	49
リボフラビン	mg	0.26	0.5	52	0.6	43	0.9	29
ナイアシン	mg	3.53	6.0	59	8.0	44	12.0	29
パントテン酸	mg	n/a	2.0		3.0		4.0	
ビタミン B-6	mg	n/a	0.5		0.6		1.0	
総葉酸	ug	150	150	100	200	75	300	50
ビタミン B-12	ug	0	0.9	0	1.2	0	1.8	0
ビオチン	ug	n/a	8.0		12.0		20.0	
ビタミン A	IU	2205	1333	165	1500	147	1666	132
ビタミン D	ug	n/a	5		5		5	
ビタミン E a-TE	mg	0	5	0	5	0	7	0
ビタミン K	ug	n/a	15		20		25	

FAO/WHO ヒトのビタミンおよびミネラル所要量に関する専門家協議 1998

FAO/WHO/UNU ヒトのエネルギー所要量に関する共同専門家協議報告書 2001

WHO/FAO/UNU ヒトのタンパク質およびアミノ酸所要量 2007

\* USAID コモディティ・レファレンスガイドから抜粋した栄養データ；USAID が大豆強化ソルガム・グリッツ本来の微量栄養素を無視し、付加した微量栄養素の値のみを示しているため、微量栄養素データおよび%値は過小報告されている。

\*\* 鉄 RNI は生体利用率 10% の場合、亜鉛 RNI は中程度の生体利用率とした場合

n/a 適用外またはデータなし

「良」の栄養供給源 = RNI の 10 - 19%、「優」の栄養供給源⇒ RNI の 20% 超

### 植物化学物質：ソルガムのもうひとつのメリット

昨今よくみられるように、植物食品に含まれる栄養成分のみが検討対象になると、植物食品によって提供される植物化学物質関連のメリットが無視されることになる。植物化学物質が健康にもたらす効果を調べる研究は、この 15 年間の研究の中でも最も興味を惹きつけるもののひとつである。ソルガムは、これらの特殊な化合物の強力な供給源である。品種によって異なるものの、ソルガムは「良」から「優」の範囲にあるフェノール酸、アントシアニン、ポリコサノールといった植物化学物質を供給する。ステロールやスタノール（心臓の健康）関連の健康強調表示が使用されるようになり、またアントシアニン（色素性ベリー・ブルーベリー、イチゴ、その他）の酸化特性関連の報道が行われるようになった結果、一般の人達もこうした化合物に馴染みを持つようになってきた。Awika と Rooney (2004) はソルガムに含まれる植物化学物質が持つ健康にプラスとなる可能性のある要素について優れたレビューを実施した。

### タンニン：問題はない

食品に加工される米国のソルガムの色は赤か白であるが、濃縮タンニンは含まれていない。穀粒の色はタンニン含有程度を示す正確な指標ではない。穀粒の色というのは果皮（厚い外皮）の色であるが、これは濃縮タンニンの存在を示す遺伝子とは無関係の遺伝子によって決定付けられている (Hahn と Rooney, 1986)。更に言えば、穀粒の色がいかなるものであれ、米国のソルガム品種およびその他の地域で栽培されるソルガムの大半はタンニンを含んでいない (Awika と Rooney, 2004)。タンニン・ソルガムにまつわる俗説の多くに検討が加えられており、全米ソルガム・チェックオフ・プログラムのウェブサイトの詳細な説明を読むことができる。(http://www.sorghumcheckoff.com/resources)

ソルガムはフェノール酸、フラボノイド、3-デオキシアントシアニンおよび濃縮タンニンをはじめとする広範なフェノール化合物を含んでいる。米国グレードのソルガムおよび白色ソルガムには濃縮タンニンは含まれていない。ソルガムの色は白から黄色、赤、茶色まで様々である。米

国ではタンニンを含むソルガムは栽培されているとしてもごく僅かであり、市場で取引されるソルガムに含まれるタンニン穀粒は2%未満に制限されている。タンニン・ソルガムには穀粒の外皮のすぐ下に色素含有層があるため、タンニンを含まない赤色ソルガムの穀粒を漂白することによって、濃縮タンニンを含むソルガムと容易に区別することができる。繰り返しになるが、ソルガムの色はタンニン含有を表す正確な指標ではない。なぜなら、白色ソルガムの中にも果皮の下の色素含有層にタンニンが存在するものがあるからである。

タンニン・ソルガムにはブルーベリーに匹敵するほど高いレベルの抗酸化物質が含まれており、多くはふすまの部分に存在する。こうしたソルガムの中には強力な抗炎症作用および大腸癌抑制活性を持つものがあることを示すエビデンスが増えてきた。特殊なソルガムは独特の色安定性を有し、健康分野での応用可能性を持つ稀な3-デオキシアントシアニンを大量に含んでいることが明らかになってきた (Dykes と Rooney, 2006)。

## 主要栄養素および微量栄養素の失調

幼児や子供、妊娠中および授乳中の女性、高齢者といった特定の人々には豊かな先進国でも栄養リスクがあるが、食糧不足、HIV/AIDS、マラリア、腸内寄生虫等の病気、貧困、内乱、干ばつがある場合には、栄養リスクはよりいっそう大きくなる。こうした状態にある人々は主要栄養素(タンパク質、脂質、糖質)と微量栄養素(ビタミン類、ミネラル類)双方のリスクにさらされている。清潔な水が十分に得られないこともこの問題をより深刻にしている。

国家が飢餓にさらされている場合、その第一徴候として子供の栄養失調が現れる。子供は食事について他者に依存しており、食糧不足を最も早く感じ取るため、飢餓および栄養失調の徴候を見極める場合に最初に調査するグループとなる。世界の子供達の栄養失調は減少傾向にあるが、アフリカにおける子供達の栄養失調は減少傾向にはない。

De Onis ら (2004) は 1990 年から 2005 年までの間の世界の栄養失調傾向および発現率についての報告を発表した。De Onis らのグループは国レベルで分けしたうえ傾向を予測するために、WHO が開発した方法を用いて低体重データおよび成長阻害データを検討した。彼らは成長阻害の発現率が 34% から 27% に、低体重の発現率が 27% から 22% に減少していることを見いだした。ところが、アフリカの状況は改善されていない。成長阻害および低体重の子供の数はそれぞれ 4,000 万人から 4,500 万人、2,500 万人から 3,100 万人に増加している。アフリカおよびサブサハラ地域では 5 才未満の子供達の間で広範なタンパク質 - エネルギー栄養失調 (PEM) が発生している (FAO, 2008, 2009)。FAO2009 の食糧保障統計によれば、アフリカ西部、東部および南部の代表的な国であるブルキナファソ、ケニアおよび南アフリカでは、低体重カテゴリーでの中度栄養失調および重度栄養失調の子供の割合はそれぞれ 32%、25%、15% である。成長阻害のカテゴリーでは、中度および重度の栄養失調である子供を合計した割合はそれぞれ 36%、50%、39% で、衰弱のカテゴリーでは、中度および重度の栄養失調である子供を合計した割合はそれぞれ 19%、7%、7% である。成長が阻害されるだけでなく、栄養失調の子供には感染症、下痢および精神発達の低下というリスクが伴う。

De Onis ら (2004) は、アフリカでの改善がみられない理由のひとつとして、AIDS に結びつくヒト免疫不全ウイルス (HIV) の影響を示唆している。サハラ砂漠以南のアフリカ地域では、1999 年に HIV 感染で 5 才以下の子供が推定 333,000 人死亡し、推定 1,100 万人の子供が AIDS のために孤児となっている。国連国際緊急児童基金 (UNICEF, 2009) の報告によれば、サハラ砂漠以南のアフリカ地域では 2007 年に 5 才未満の子供達が 4,480,000 人死亡し、出生時平均余命はわずか 50 年であった。5 才未満児の死亡に関しては、寿命の低下、成長阻害、低体重など多くの原因があるが、中でも重要な原因が不適切、不十分な食事である。最近になって、Williams ら (2010) が HIV による死亡とウイルスの伝播に寄与している要素として、トウモロコシのマイコトキシンおよびフモニシンについての報告している。

## 食糧支援におけるソルガムの役割

年齢、健康状態、環境に関わらず、生命を維持するためにはどのような人間にも栄養および適切なカロリーが必要である。離乳期の幼児、急成長期の子供、高齢者、HIV/AIDS、胃腸疾患、マラリア、寄生虫病の患者、妊娠中・授乳中の女性といったリスクを抱える人々には特殊なニーズがある。

例：

- 乳児および幼児には急激な成長を支えるための高エネルギー密度食品、高栄養密度食品、および口当たりの良い食品が必要である。糖質含有量が多く、味に馴染みのあるソルガムは離乳食および幼児食の基本材料としてふさわしい。必要に応じて大豆強化ソルガム粉・食品を使用することも可能である。
- 妊婦には妊娠期全体を通じて 1 日当たり 300 キロカロリーが余分に必要であり、その他にも妊娠していない女性と比較してタンパク質、ビタミン、ミネラルおよび水分を余分に必要とする (食品と栄養委員会、2002)。1 日 100g の微量栄養素を高めた大豆強化ソルガムを追加的に摂取すると、妊婦が余分に必要とするエネルギー、タンパク質および微量栄養素を満たすための助けとなる。
- 授乳中の女性には平均で 1 日当たり 500 キロカロリーが余分に必要であり、その他にも授乳中でない女性と比較してタンパク質、ビタミン、ミネラルおよび水分を余分に必要とする (食品と栄養委員会、2002)。微量栄養素を高めた大豆強化ソルガムを摂取すると、授乳中の女性が余分に必要とするエネルギー、タンパク質および微量栄養素を満たすための手助けとなる。
- HIV/AIDS 患者は、投薬プロトコル、年齢、妊娠期・授乳期の別、および併存疾患に応じて追加すべきエネルギー、タンパク質および微量栄養素の 1 日当たりの量が異なり、このための適切な栄養支援が必要である (ファミリー・ヘルス・インターナショナル、2007; 米国栄養協会、2010)。この分野での栄養支援についての研究が現在進められており、投薬プロトコルおよび状況に合わせた最適な栄養支援が明らかになるに従って、推奨事項が変化してきている。個々の特殊ニーズに応じて、グルテンフリー・ソルガムを用いた強化製品または非強化製品を摂取することは、HIV/AIDS 患者に適切な選択肢のひとつである。HIV/AIDS 患者の多くは食欲の問題を抱えており、馴染みのある好みに合った栄養食品が必要である。

## ソルガム - 古くて新しい健康・環境指向の作物

• 胃腸 (GI) 障害または下痢の患者は栄養失調および脱水症の危険性がある。体内に蓄えられる水分量が少ない乳児、子供および高齢者は脱水症のリスクが高く、急激に死亡に至る可能性がある。グルテンフリーのソルガム食品 (粥、スープ) は GI 障害患者のニーズを満たす手助けとなる。回復を促すために安全な水分と付加的な電解質 (ナトリウム、カリウム) を供給することのできる粥およびスープを使用することも可能である。

### 非常食、ソルガムの役割

IOM の高エネルギー非常食技術仕様小委員会 (2002) は、非常時対策用の食品の栄養成分および食品仕様についての推奨事項を発表した。この小委員会の目的は、多様な人種、地域の人々が最長 14 日間、単一の栄養源として用いることのできる単一食品の仕様を提言することにあった。食品とともに用いる持ち運び可能な水についても指定された。食品の推奨事項は栄養およびカロリー密度の原則に基づいて作成された。

タンパク質を除き、(1 日最低 2100 キロカロリー摂取することを基本として) 1000 キロカロリー当たりの推奨栄養分量は、IOM の食品と栄養委員会 (2002) が示した適切な摂取量、推奨摂取量および許容上限摂取レベルを調査した上で決定された。タンパク質については FAO/WHO (2007) の推奨値に準拠した。全年齢および男女を対象とした各栄養成分試験を経て、特定の人々 (栄養不足を考慮) にとって最も価値の高いものを選択し、その後全ての年齢および男女の許容上限摂取レベルと比較して、どのような人種、地域の人々にとっても害のないことを確認した。1000 キロカロリー当たりの推奨特定栄養成分については、IMO が発行した「高エネルギー高栄養非常食 (2002)」にまとめられている。

例えば、233 キロカロリーの 50 g のバーには 23 から 35 g の糖質、9 から 12 g の脂質および 7.9 g のタンパク質といった主要栄養素が含まれている。2100 カロリーを摂取するためには、このバーが 9 個必要で、その場合には糖質は合計 207 g から 315 g となる (828 から 1260 キロカロリー)。ソルガム自体はグルテンフリーであるため、ソルガム粉は非常食用バーの原材料として優れた選択肢となる。

表4: コモディティ・ソルガム\*とアフリカの主食である小麦\*\*、トウモロコシ\*\*、米\*\*およびキャッサバ\*\*との比較

栄養成分	単位	コモディティ・ソルガム 100g	小麦 100g #20074	トウモロコシ 100g #20014	米 100g #20450	キャッサバ 100g #11134
エネルギー	Kcal	339.0	342	365	360	160
タンパク質	g	11.3	11.31	9.42	6.61	1.36
総脂質	g	3.3	1.71	4.74	0.58	0.28
糖質	g	74.6	75.90	74.26	79.34	38.06
繊維 <sup>o</sup>	g	2.7	12.2	7.3	n/a	1.8
カルシウム	mg	28	32	7	9	16
鉄	mg	4.4	4.56	2.71	0.81	0.27
マグネシウム <sup>o</sup>	mg	0.19	93	127	35	21
リン	mg	287	355	210	108	27
カリウム	mg	350	432	287	86	271
ナトリウム	mg	6	2	35	2	14
亜鉛 <sup>o</sup>	mg	1.54	3.33	2.21	1.16	0.34
銅 <sup>o</sup>	mg	1.08	0.363	0.314	0.110	0.100
マンガン <sup>o</sup>	mg	1.63	3.821	0.485	1.100	0.384
ヨウ素	ug	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
セレン <sup>∞</sup>	μg	微量	n/a	15.5	n/a	0.7
ビタミン C <sup>o</sup>	mg	2	0.0	0.0	0.0	20.6
チアミン	mg	0.237	0.387	0.385	0.070	0.087
リボフラビン	mg	0.142	0.108	0.201	0.048	0.048
ナイアシン	mg	2.927	4.381	3.627	1.600	0.854
パントテン酸塩 <sup>o</sup>	mg	1.25	0.954	0.424	1.342	0.107
ビタミン B-6 <sup>o</sup>	mg	0.59	0.368	0.622	0.145	0.088
総葉酸 <sup>o</sup>	μg	0.02	38	19	9	27
ビタミン B-12	μg	0	0.0	0.0	0.0	0.0
ビタミン A <sup>o</sup>	IU	16	9	214	n/a	13
ビタミン D	ug	n/a	0.0	0.0	0.0	0.0
ビタミン E <sup>o</sup>	mg-ATE	1.2	1.01	0.49	n/a	0.19

\* USAID コモディティ・レファレンスガイドから抜粋した栄養データに、注釈に示したソルガム公表データを追加使用

\*\* USDA 栄養データベースから抜粋

<sup>o</sup> Waniska と Rooney (2000)

<sup>∞</sup> Neucere と Sumrell (1980)

<sup>o</sup> Barrow-Agee Laboratories, LLC, Memphis, TN (2010)

## チャド、エチオピアおよびスーダンの食事内容

### 農業生産

チャド、エチオピアおよびスーダンは世界でトップ 20 位までに入るソルガムの生産国である。FAOSTAT(2007a)によれば、これらの国の 2007 年の世界ランキングと生産量は以下のとおりである。

チャド \_\_\_\_\_ 17 位、685,430 MT

エチオピア \_\_\_\_\_ 8 位、2,316,041 MT

スーダン \_\_\_\_\_ 2 位、3,869,000 MT

チャド、エチオピアおよびスーダンの 2007 年の重量単位でのトップ 4 農産物 (FAOSTAT, 20007b) を降順で示すと以下のようになる。

チャド \_\_\_\_\_ サヤ付き落花生、穀物、キビ、ソルガム

エチオピア \_\_\_\_\_ 根菜・イモ類、牛乳、トウモロコシ、チリ・ペッパー

スーダン \_\_\_\_\_ 牛乳、ソルガム、山羊の乳、サヤ付き落花生

### 栄養摂取量

チャド、エチオピアおよびスーダンの主食 1 日 1 人当たりのエネルギー (キロカロリー) 貢献度を分析したものを表 5 に示した。表 6 はチャド、エチオピアおよびスーダンの主食 1 日 1 人当たりのエネルギーおよび栄養 (タンパク質、脂質、糖質) 摂取量を示したものである (FAOSTAT, 2007c)。糖質量 (グラム) およびエネルギーは表 5 および表 6 のデータを用いて算出した。すべての値は四捨五入した。

チャドおよびエチオピアの摂取カロリーの大半が野菜由来である。スーダンでは 2007 年のトップ 4 農産物の中に乳牛および山羊の乳が入っていることから当然とも思えることであるが、この国では 1 日 1 人当たり 509 キロカロリーが野菜以外の食物由来である。スーダンではソルガムを摂取し (612 kcal/日)、1 日 1 人当たりの総キロカロリーの約 27% を占める。また、家畜飼料として酪農業界でもソルガムが使用されていると考えられる。チャドでは 1 日エネルギーの約 19% がソルガム由来で、エチオピアでは約 13% である。チャドおよびエチオピアでは、スーダンよりも表 5 に記載した作物以外からカロリーを摂取している割合が高い。エチオピアでは他の作物から摂取している割合は約 13% で、チャドでは約 15% であるが、スーダンでは表 5 に記載した作物以外からはほとんどカロリーを摂取していない。

広く食されている発酵パンの一種であるインジェラ (エチオピアの国民食と考えられる) は、ソルガム、トウモロコシ、テフ、シコクビエまたは大麦から作ることができる。エチオピアでは、テフはインジェラを作るときにソルガムとともに用いられる主要穀物で、インジェラの原材料としては 2 番目に好まれている (Kebede と Menkir, 1984)。テフはアフリカ全土に広く分布しているわけではないので、エチオピア以外では一般に他の穀物が用いられている。食事の栄養評価を行うためには摂取される状態で食物を調べる必要がある。ソルガムはアフリカおよびアジアの何百万という人々の食事において、タンパク質、エネルギーおよびミネラル類の主要供給源として貢献しており、

インジェラの原材料として用いられることが多いので、Mohammed ら (2010) はインジェラの加工段階でのソルガムの栄養効果を研究した。

他の分析に加え、Mohammed ら (2010) はソルガム (Tabat 品種)、発酵前後の粉の試料およびインジェラの試料を用いて、アミノ酸、栄養補給食品としての要素、総ミネラル、抽出可能ミネラル (%), in vitro タンパク質消化率を分析した。Mohammed ら (2010) は、タンパク質含有率は乾物比でソルガム粉の 12.25% がインジェラに加工された時には 11.55% に減少し、脂質含有率はソルガム粉の 4.24% が 2.4% に減少することを見いだした。栄養補給食品としての要素 (タンニン、フィチン酸、ポリフェノール) は発酵させたインジェラでは減少し、抽出可能ミネラルである鉄、亜鉛および銅はそれぞれ 34%、38%、62% に増加した。

2004 年から 2006 年までの間、チャド、エチオピアおよびスーダンの栄養不良者の割合はそれぞれ 38%、44%、20% で、栄養不良者の 1 日 1 人当たりの不足エネルギー量はそれぞれ 290、310、240 キロカロリーであった (FAOSTAT, 2009)。グレイソルガムは微量栄養素の優れた供給源として貢献するだけでなく、間違いなく、これらの不足分のカロリー必要量を満たす役割を果たすことができる。

### 開発途上国の主食とコモディティ・ソルガムの比較

小麦、トウモロコシおよび米とともに、ソルガムは世界中の食品エネルギーの大半を提供するエリート穀物のひとつである。ただし、アフリカでは、重量ベースではあるがキャッサバが 1 位で、2 位の主食であるトウモロコシの 2 倍以上になっている (キャッサバには大量の水分が含まれるため重量比較に影響)。アフリカではキャッサバの消費量が多いため、表 4 ではコモディティ・ソルガム、小麦、トウモロコシおよび米だけでなく、キャッサバも比較に加えた。すべての栄養データは USDA の栄養データベースから抜粋した。キャッサバは穀物ではないため、表 4 の穀物と直接比較することは不可能である。しかしながら、穀物や豆類を摂取せず、キャッサバが主食として主に摂取されている地域では、子供にタンパク質栄養失調のリスクが存在する (Stephenson ら、2010)。Stephenson ら (2010) は、キャッサバが主食として摂取されているケニアおよびナイジェリアの 2 才から 5 才の子供を対象として、キャッサバの摂取量について調査した。ナイジェリアの 656 人の子供のうちタンパク質摂取量が不十分であったのは 13% で、ケニアの 449 人の子供では 53% であった。彼らはキャッサバの摂取量が増加するとタンパク質の摂取量が減少し、幼児におけるタンパク質栄養失調のリスクにつながることを明らかにした。次のセクションではチャド、エチオピア、スーダンでの食事内容を分析するが、これら諸国の主食はキャッサバではない。

## ソルガム - 古くて新しい健康・環境指向の作物

表5: チャド、エチオピアおよびスーダンの2007年の主食1日1人当たりのエネルギー摂取量（キロカロリー）

主食	チャド	エチオピア	スーダン
ソルガム	389	251	612
キビ	312	34	154
小麦	71	252	351
トウモロコシ	103	387	21
キャッサバ	64	データなし	1
穀物、その他	305	262	<1
落花生、サヤつき	178	6	37
ヤムイモ	67	8	8
イモ類、根菜－乾燥	158	264	21
米	60	7	18
アルコール、すべての原材料	6	16	20
植物源合計	1930	1884	1773
キロカロリー合計	2056	1980	2282
非植物源、算定値	126	96	509

FAOSTAT (2007) 値は四捨五入。

表6: チャド、エチオピアおよびスーダンの2007年の1日1人当たりのエネルギー摂取量

項目	チャド	エチオピア	スーダン
キロカロリー合計	2056	1980	2282
タンパク質、グラム	61	57	73
タンパク質、キロカロリー	244	228	292
脂質、グラム	49	21	66
脂質、キロカロリー	441	189	594
アルコール、キロカロリー、すべての原材料	6	16	20
糖質、グラム、算定値	341	387	344
糖質、キロカロリー	1365	1547	1376

FAOSTAT(2007) 値は四捨五入。

## ソルガムと食糧支援で用いられるその他のコモディティ穀物の比較

### コモディティ穀物の栄養比較

ソルガムに加え、食糧支援では小麦、トウモロコシおよび米が使用されている。これら4種類の穀物の栄養成分の比較（注釈を付すもの以外は USAID CRG から抜粋したデータ）を表7に示した。ソルガムは総カロリーでは他の穀物と同程度で、タンパク質含有量は小麦と同程度であるが、トウモロコシおよび米より多く含まれている。ソル

ガムの脂質含有量の合計は小麦および米よりも多いが、トウモロコシより少ない。

ソルガムの鉄分含有量は小麦と同程度であるが、トウモロコシおよび米よりも鉄は多い。ソルガムの亜鉛含有量は小麦およびトウモロコシと同程度であるが、米より多い。マンガンはトウモロコシおよび米より多く、小麦よりも少ない。ソルガムの銅およびパントテン酸塩は他のすべての穀物よりも多く含まれている。

表7: コモディティ穀物（ソルガム\*、小麦、トウモロコシおよび米）の栄養比較

栄養成分	単位	ソルガム 100g	小麦 100g	トウモロコシ 100g	米 100g
エネルギー	kcal	339.0	333.5	365	365
タンパク質	g	11.3	11.7	9.4	7.1
総脂質	g	3.3	1.8	4.7	0.7
糖質	g	74.6	73.3	74.3	80.0
繊維 <sup>o</sup>	g	2.7	12.45	n/a	1.3
カルシウム	mg	28	32	7	28
鉄	mg	4.4	4.28	2.71	0.8
マグネシウム <sup>o</sup>	mg	0.19	108	127	25
リン	mg	287	345	210	115
カリウム	mg	350	399	287	115
ナトリウム	mg	6	2	35	5
亜鉛 <sup>o</sup>	mg	2.3*	3.1	2.2	1.1
銅 <sup>o</sup>	mg	1.08	0.4	0.3	0.2
マンガン <sup>o</sup>	mg	1.63	3.7	0.5	1.1
ヨウ素	ug	n/a	n/a	n/a	n/a
セレン <sup>∞</sup>	ug	微量	35	16	15.1
ビタミン C <sup>o</sup>	mg	2	0.0	0.0	0.0
チアミン	mg	0.237	0.40	0.39	0.07
リボフラビン	mg	0.142	0.11	0.20	0.05
ナイアシン	mg	2.927	5.12	3.63	1.60
パントテン酸塩 <sup>o</sup>	mg	1.25	0.9	0.4	1.0
ビタミン B-6 <sup>o</sup>	mg	0.59	0.3	0.6	0.2
総葉酸 <sup>o</sup>	ug	0.02	39	19	17.0
ビタミン B-12	ug	0	0.0	0.	0.0
ビタミン A <sup>o</sup>	IU	16	0	469	n/a
ビタミン D	ug	n/a	n/a	n/a	n/a
ビタミン E <sup>o</sup>	mg-ATE	1.2	1.01	0.8	n/a

\* USAID コモディティ・レファレンスガイドから抜粋した栄養データに、注釈に示したソルガム公表データを追加使用

<sup>o</sup> Waniska と Rooney (2000)

<sup>∞</sup> Neucere と Sumrell (1980)

<sup>o</sup> Barrow-Agee Laboratories, LLC, Memphis, TN (2010)

### コモディティ穀物の物理 / 化学特性

消費者および食品業界で穀物を最適に使用するためには、それぞれ独自の化学特性を理解することが必要である。Taylor(2003) はアフリカにおけるソルガムの重要性についてレビューを実施し、複数種の穀物の化学的性質についての情報を提供した。表8はソルガムと他の穀物の化学的性質の比較を示したものである。

穀物は独自の物理的および化学的特性、その他の特性を有しており、それによって最終製品での使われ方が決まってくる。例えば、小麦に含まれるグルテンは生地をまとめる助けになる（生地の粘弾性）。ソルガム、トウモロコシ、米および大麦の胚乳タンパク質は不活性気味であり、粘弾性のある生地にはならないため、小麦粉と混ぜて使用されたり、生地のまとまりについては他の材料が担当するイン

ジェラのような製品に用いられたりしている。一方、小麦にはタンパク質の一種でこれに耐性のない人もいるグルテンが含まれるため、こうした人達のために小麦を使用しない食品を開発しなければならない。

### マイコトキシンとコモディティ穀物 アスペルギルス

研究者ら (Brandyopadhyay ら、2007、Williams ら、2010) はアフラトキシンの内容と健康に及ぼす影響に関連して、アフリカでトウモロコシ消費量を拡大させようとする見識に疑問を呈した。Williams ら (2004) は穀物のアフラトキシン汚染に関する毒物検査、曝露、潜在的な健康への影響についてのレビューを実施した。アスペルギルスから産生されるアフラトキシンは癌、肝臓疾患、免疫抑制、成長障

表8: ソルガムと小麦、米、トウモロコシおよび大麦との化学的性質の比較

ソルガム	その他穀物
品種によっては濃縮タンニンを含むものがある。(米国の品種はタンニンを含まない。)*	小麦、米およびトウモロコシには含まれないが、恐らく大麦には非常に低量ではあると思われるがタンニンが含まれる。
多かれ少なかれ、すべての品種にポリフェノールが含まれる。	小麦、米、トウモロコシおよび大麦に含まれるが、一般にその量は少ない。
多くの品種は濃い有色である。(米国では白色の食品用ソルガムが栽培されている。)*	品種によっては小麦、米、トウモロコシおよび大麦にも濃い色がついているものがある。
デンプン糊化温度が高い。	米のデンプン糊化は同じ温度。トウモロコシの糊化温度はわずかに低く、小麦および大麦の糊化温度は大幅に低い。
胚乳非デンプン多糖類の大部分は不溶性である。	米およびトウモロコシも同様である。大麦には水溶性非デンプン多糖類が豊富に含まれる。小麦には不溶性、水溶性いずれのタイプも含まれている。
胚乳のタンパク質はやや不活性である。	トウモロコシのタンパク質も同様である。米および大麦のタンパク質の不活性度はソルガムよりやや低い。小麦のタンパク質の性質によって、生地が粘弾性をおびる。
タンパク質の品質は低く、リジンが不足している。	トウモロコシ、大麦および小麦は同様である。米のタンパク質の品質はソルガムよりも高い。
湿式加熱によりタンパク質の消化率が低下する。	米も同様?小麦、トウモロコシおよび大麦のタンパク質の消化率も低下するが、ソルガムほどではない。
脂質の含有量はかなり多い。	トウモロコシではさらに多い。小麦および大麦は少ない。米は非常に少ない。
モルトにはβアミラーゼが多少含まれている。	トウモロコシも同様である。米はソルガムよりも多い。小麦および大麦は多い。

Taylor (2003) から抜粋した表  
\*表に追加

害および発達遅延や死亡に関与し、これらを引き起こす可能性がある。アフラトキシンのレベルはEU (4 ppb)、米国 (20 ppb) およびナイジェリアを含む開発途上国 (20 ppb) で規制されている (FAO 2004)。しかしながら、多くの諸国で規制がないため、あるいは食糧が乏しいという理由から、汚染食品が供給品に紛れ込む可能性がある。

Bandyopadhyay ら (2007) はアフリカの自給自足農家が互いに隣接して同時に栽培しているトウモロコシ、ソルガムおよびトウジンビエのアスペルギルス汚染とアフラトキシンのレベルを比較した。この結果、トウモロコシ粒のアスペルギルス汚染の可能性は、比較対象のソルガムおよびトウジンビエの試料よりもそれぞれ4倍および9倍高いことが分かった。

### フモニシンとトウモロコシ

Williams ら (2004) はアフリカにおける HIV の蔓延がマイコトキシン曝露によって増長されている可能性があるが、依然としてこの仮説が実証されていないと指摘した。慢性のアフラトキシン中毒症は免疫抑制を伴うため、マイコトキシン汚染物質が HIV 感染に及ぼす影響のひとつの可能性として、免疫系の障害をあげることができる (Jiang ら、2005)。最近になって、Williams ら (2010) は、アフリカでは HIV 感染頻度とトウモロコシ消費量とは密接な関係があることを見いだした。この研究はアフリカにおける癌と食品との関係がトウモロコシのアフラトキシン汚染ではなく、むしろフモニシン汚染によって説明できる可能性を示唆している。フモニシンはトウモロコシの主要汚染物質 (Kpodo と Bankole、2008) で、モロコシマダラメイガ (*Busseola fusca*) 等の害虫による損傷を受けるとカビ (*Fusarium verticillioides*) を発生し、このカビによって産生される。Williams のグループ (2010) はサハラ砂漠以南のアフリカで 1993 年に摂取された食品の中で、マイコトキシンが含まれやすい4種類の食品 (トウモロコシ、ピー

ナッツ、米、キャッサバ) に注目した。アフリカでは HIV に感染してから死亡に至るまでの平均期間は 11 年であるため、1993 年にさかのぼった食品を検討する上で、2004 年の死亡データを使用した。

Williams ら (2010) のデータから抜粋した図 1 は、アフリカの特定の国でマイコトキシンが含まれやすい4種類の主食品、すなわちトウモロコシ、ピーナッツ、米およびキャッサバが 1993 年の一年間に消費された量を示している。男性の割礼 (本測定のためにイスラム教徒特定に使用) および社会経済活動の状況を測るものさしとして使用した国内総生産を含め、HIV 感染との関連性が考えられる他の要因も評価した。キャッサバは大半が生で摂取されるため、彼らの研究モデルのフモニシン・リスク食品から除外された。

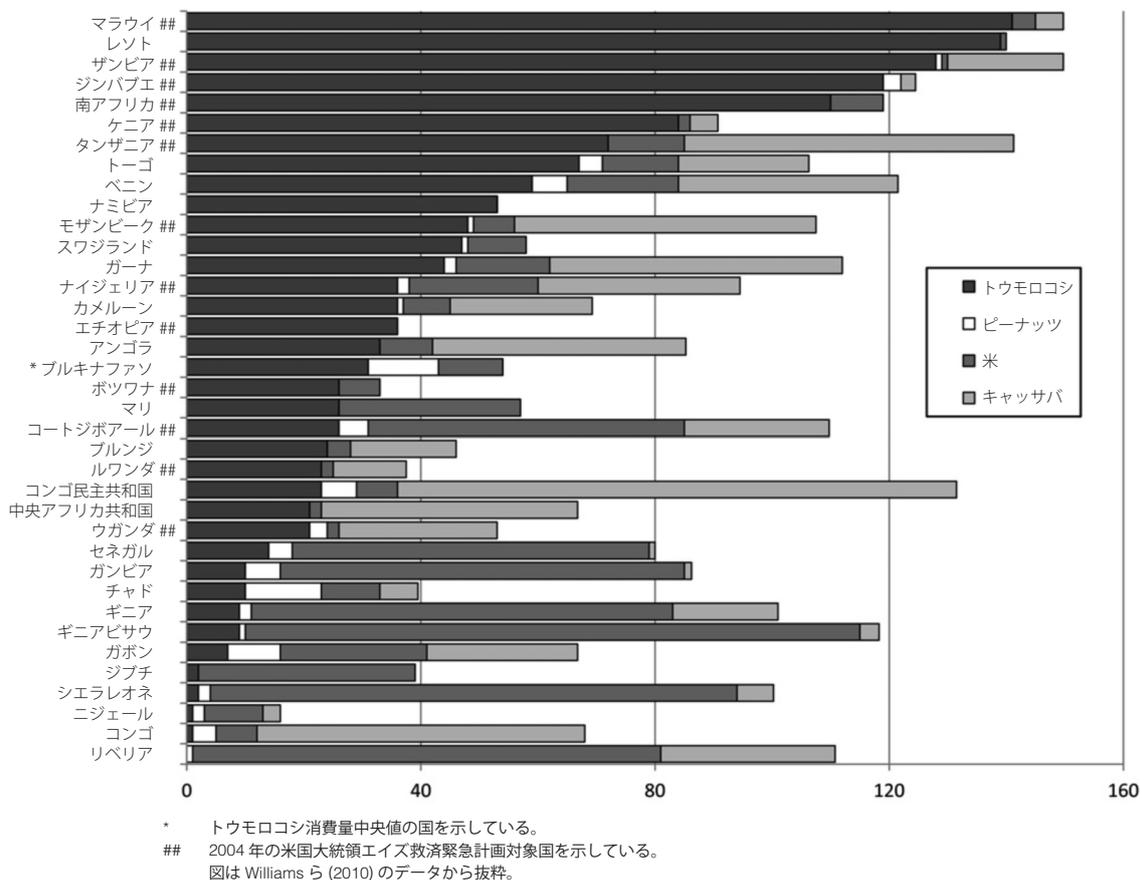
比較的イスラム教徒人口が多く (HIV 感染率が低いこととの関連)、トウモロコシ消費量が多い国では、HIV 感染率は 100,000 人に対して 291 人であった。一方、イスラム教徒は多いが 1 人当たりのトウモロコシ消費量が少ない国では、100,000 人当たりの割合は 7.4 であった。Williams ら (2010) は、トウモロコシ消費量の多さが食道癌の発症率の高さに関係していると発表した。これはフモニシンについて過去に報告された所見 (Marasas、2001) であり、人々が実際にフモニシンに曝露されていることを示す Williams ら (2010) による指標である。研究者ら (Williams ら、2010) の結論では、トウモロコシ要因 (フモニシン) については更に研究する必要がある、トウモロコシの使用中止または使用量の低減 (すなわち代替食品の使用) によって年間最大 1,000,000 人の HIV 感染者を減らし、感染率を 58% 低減させられる可能性があるとしている。トウモロコシ等の作物を導入するのではなく、むしろソルガムやキビをはじめとするアフリカの伝統的な作物に焦点をあてることをもっと考慮すべきである。

## ソルガムの価値

ソルガムは食糧支援で用いられる他の穀物と比較して価格競争力がある。一般に、ソルガムの価格はトウモロコシ、小麦または米よりも低い。スーダン、エチオピアおよびチャドのようなソルガム栽培の歴史を有する国では、食品

としてのソルガムの使用を引き続き推奨すべきであり、図1に示すトウモロコシ依存度の高い国では穀物の多様性を高めるよう奨励し、また多様な穀物が普及するようにならなければならない。

図1: サハラ砂漠以南のアフリカ諸国におけるマイコトキシンが含まれやすい4食品の1人当たりの消費量 (1993年)



## References

American Dietetic Association. (2010). Position of the American Dietetic Association: Nutrition intervention and human immunodeficiency virus infection. *J Am Diet Assoc.* 110:1105-1119.

Awika, J. M. and Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 65 1199-1221.

Bandyopadhyay, R., Kumar, M., and Leslie, J. F. (2007). Relative severity of aflatoxin contamination of cereal crops in West Africa. *Food Additives and Contaminants.* 24 1109-1114.

Barrow-Agee Laboratories, LLC. (2010). Certificate of Analysis, Levelland Sorghum Grain. Memphis, TN.

Board on Science and Technology for International Development, Office of International Affairs, National Research Council. (1996). *Lost Crops of Africa: Vol 1: Grains.* The National Academy Press, Washington, DC. <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309049903&page=127> Accessed June 2010

Ciacci, C., Maiuri, L., Caporaso, N., Bucci, C., Giudice, L. D., Massardo, D. R., Pontieri, P., Fonzo, N. D., Bean, S. R., Ioerger, B., and Londei, M. (2007). Celiac disease: in vitro and in vivo safety and palatability of wheat-free sorghum food products. *Clinical Nutrition.* 26:799-805.

Committee on Micronutrient Deficiencies, (1998). *Prevention of Micronutrient Deficiencies: Tools for Policymakers and Public*

*Health Workers.* (C.P. Howson, E. T. Kennedy and A. Horwitz, Eds), National Academy Press. Washington, DC.

Connon, J. J., Celiac disease. (1994). In *Modern Nutrition in Health and Disease*, Eds, M. Shils, J. A. Olson & M. Shike. 8th edition, Lea & Febiger, Philadelphia, pp 1060-1065.

Dahlberg, J. A. and K. Wasylkowa. (1996). Image and statistical analyses of early sorghum remains (8000 B. P.) from the Nabta Playa archaeological site in the Western Desert, southern Egypt. *Vegetation History and Archaeobotany*, 5:293-299.

De Onis, M., Blossner, B., Borghi, E., Morris, R., and Frongillo, E. A. (2004). Methodology for estimating regional and global trends of child malnutrition. *Int. J. Epidemiol.* 33 1260-1270.

Dillon, S. L., Shapter, F. M., Henry R.J., Cordeiro, G., Izquierdo, L., and Lee, L. S. (2007). Domestication to Crop Improvement: Genetic Resources for Sorghum and Saccharum (Andropogoneae). *Annals of Botany* 100(5):975-989 doi:10.1093/aob/mcm192.

Doggett, H. (1988). *Sorghum*, 2nd ed. Longman Scientific and Technical, London, PP 1-3.

Dykes, L. and Rooney, Lloyd W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Science* 44:236-251.

Family Health International, (2007). *A clinicians Guide to Food Support and Nutrition Interventions for People Living with HIV* <http://www.fhi.org/NR/rdonlyres/ee664prpqshwqhfx3u2x75bzfl6d6jngph365xsfyqzbnvw762qy6zoe2zeo3y3xems66lkn746j/HIVNutritionFoodPracticalGuideHV.pdf> Accessed June 2010.

- FAO (2004). *Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003*. FAO Food and Nutrition Paper, 81. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. P 1-180.
- FAO (2008). *Food Security Statistics, Food Consumption, Dietary Energy, Proteins, Fat*. [www.fao.org/economic/ess/foodsecurity-statistics/en/](http://www.fao.org/economic/ess/foodsecurity-statistics/en/) Accessed January 2010.
- FAO (2009). *Food Security Statistics. Child Nutrition Status*. [www.fao.org/economics/ess/foodsecurity-statistics/en](http://www.fao.org/economics/ess/foodsecurity-statistics/en) Accessed January 2010.
- FAOSTAT (2007a). *Sorghum production 2007* <http://faostat.fao.org/site/609/DesktopDefault.aspx?PageID=609#ancor> Accessed July 2010
- FAOSTAT (2007b). *Top 2007 4 crops/Chad, Ethiopia and Sudan* <http://faostat.fao.org/site/339/default.asp> Accessed July 2010
- FAOSTAT (2007c). *Food statistics for energy, protein and fat* <http://faostat.fao.org/site/609/DesktopDefault.aspx?PageID=609#ancor> Accessed July, 2010
- FAOSTAT (2008). *FAOSTAT-Agriculture, Production, Crops*. <http://faostat.fao.org/> Accessed June 2010.
- FAOSTAT (2009). *FAOSTAT-Food Security Statistics. Food Deprivation*. <http://www.fao.org/economic/ess/food-security-statistics/en/> Accessed July 2010.
- FAO/WHO (1998). *Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements*. [www.who.int/publications/2004/9241546123.pdf](http://www.who.int/publications/2004/9241546123.pdf) Accessed June 2010
- FAO/WHO/UNU (2001). *Report of a Joint Expert Consultation on Human Energy Requirements*. <http://www.fao.org/docrep/007/y5686e/y5686e00.htm> Accessed June 2010
- FAO/WHO/UNU Expert Consultation (2007). *Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition*. World Health Organization, Geneva. Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. World Health Organization Technical Report No. 935 [http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO\\_TRS\\_935\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_935_eng.pdf) Accessed June 2010
- Food and Nutrition Board (2001). *Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc*. National Academy Press, Washington, D.C. [www.nap.edu](http://www.nap.edu)
- Food and Nutrition Board (2002). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. National Academy Press. Washington, DC. [www.nap.edu](http://www.nap.edu)
- Hahn, D.H. and Rooney, L.W. (1986). *Effect of genotype on tannins and phenols of sorghum*. *Cereal Chem.* 63: 4-8.
- Henley, E. C. and Kuster, J. M., *Protein quality evaluation by protein digestibility corrected amino acid scoring*. (1994). *Food Technology*. 48 74-77.
- Henley, E. C., Taylor, J. R. N., and Obukosia, S., (2010). *The importance of dietary protein in human health: Combating protein deficiency in Sub-Saharan Africa through transgenic biofortified sorghum*. *Adv in Food and Nutr Res.* 60 21-52.
- ICRISAT (2009). *Sorghum*. <http://test1.icrisat.org/New&Events/Genome.htm> Accessed June 2010.
- Jiang Y, Jolly P., E, Ellis W., O, Wang J-S, Phillips T., D, Williams J., H. (2005). *Aflatoxin B1 albumin adduct levels and cellular immune status in Ghanaians*. *Int Immunol* 17:807-14.
- Kebede, Y., Menkir A. (1984). *Research activities of the Ethiopian sorghum improvement program*. In *Proceeding of the Third Workshop on Sorghum and Millet Improvement in Eastern Africa, Morogoro, Tanzania*, pp 73-97.
- Kpodo K., A, Bankole S., A. (2008). *Mycotoxin contamination in foods in West and Central Africa*. In: Leslie J., F., Bandyopadhyay R., Visconti A., Eds. *Mycotoxins: detection methods, management, public health and agricultural trade*. Wallingford, United Kingdom: CAB International, pp. 103-16.
- Marasas WFO. (2001). *Discovery and occurrence of the fumonisins: a historical perspective*. *Environ Health Perspect.* 109(suppl):239-43.
- Mertz, E. T., Hassen, M.M., Cairns-Whitern, C., Kirleis, L., T., and Axtell, J. D. (1984). *Pepsin digestibility of protein in sorghum and other major cereals*. *Proc Natl Acad Sci USA.* 81 1-2.
- Mohammed, N., A., Ahmed, I., A., M., and Babiker, E., E. *Nutritional evaluation of sorghum flour (Sorghum bicolor L. Moench) during processing of injera*. (2010). *Intl J Bio & Life Sci.* 6 1:35-39.
- Neucere, N., J., and Sumerell, G. (1980). *Chemical composition of different varieties of grain sorghum*. *J Agric Food Chem.* 28:19-21.
- Report of the Dietary Guidelines Advisory Committee on the Dietary Guidelines for Americans (2010)*. USDA. <http://www.cnpp.usda.gov/DGAs2010-DGACReport.htm> Accessed June 2010.
- Rooney, L., W., and Waniska, R. D. (2000). *Sorghum food and industrial utilization*. Pages 689-750 in: *Sorghum: Origin, History, Technology, and Production*. C. W. Smith and R. A. Frederiksen, Eds. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Subcommittee on Technical Specifications for a High-Energy Emergency Relief Ration and Committee on Military Nutrition Research (2002)*. Institute of Medicine, National Academy Press, Washington. DC. <http://www.nap.edu>
- Stephenson, K., Amthor, R., Mallowa, S., Nungo, R., Maziya-Dixon, B., Gichuki, S., Ada Mbanaso, A., and Manary, M. (2010). *Consuming cassava as a staple food places children 2-5 years old at risk for inadequate protein intake, an observational study in Kenya and Nigeria*. *Nutrition Journal* . 9:9doi:10.1186/1475-2891-9-9.
- Taylor, J., K., N., (2003). *Overview: Importance of sorghum in Africa*. In: *Afripro: Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and Function Properties for Africa*. Eds. P.S. Belton and J. R. N. Taylor. Pretoria, 204 April, 2003, Paper, 01. [www.africipro.org.uk](http://www.africipro.org.uk)
- Thompson T. (2000). *Questionable foods and the gluten-free diet: Survey of current recommendations*. *J. Am. Diet. Assoc.* 100 463-465.
- UNICEF (2009). *The State of the World's Children*. [www.unicef.org](http://www.unicef.org) Accessed May 2009.
- Waniska, R., D. and Rooney, L., W. (2000). *Structure and chemistry of the sorghum caryopsis*. In: *Sorghum: Origin, History, Technology and Production*. Ed. C. W. Smith, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Williams, J. H., Phillips, T. D., Jolly P. E., Stiles, J. K., Jolly, C. M., and Aggarwal, D. (2004). *Human aflatoxicosis in developing countries: A review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions*. *Am J Clin Nutr.* 80 1106-1122.
- Williams, J. H., Grugg, J. A., Davis, J. W., Wang, J., Jolly, P. E., Ankrah, N., Ellis, W.O., Afriyie-Gyawu, E., Johnson, N. M., Robinson, A. G., and Phillips, T. D. (2010). *HIV and hepatocellular and esophageal carcinomas related to consumption of mycotoxin-prone foods in sub-Saharan Africa*. *Am J Clin Nutr.* 92 154-160.





---

## 肉牛へのソルガム給餌ガイド

マイケル・J. ブルーク博士

カンザス州立大学  
動物科学・産業学部

Presented to United Sorghum Checkoff Program

Dr. Micheal J. Brouk

Department of Animal Sciences and Industry  
Kansas State University

134 Call Hall  
Manhattan, KS 66506-1600  
mbrouk@ksu.edu

## 序文

穀粒としても飼葉としても、ソルガムは重要な家畜飼料原材料である。一般に、ソルガムは、降水量が少ないためにソルガムのほぼ2倍の水分を必要とするトウモロコシやその他の作物を経済的に生産することが困難なカンザス州西部のような地域で栽培されている。過去10年にわたり、米国の穀粒用ソルガムの平均収穫面積はほぼ700万エーカーで、年間ソルガム穀粒生産量は3億5000万ブッシェルを超える。これに加えて、サイレージ用のソルガム収穫面積はちょうど35万エーカーである。ソルガム穀粒は肉牛用飼料のトウモロコシを代替する飼料原材料として用いることができる。ソルガム穀粒が仕上期肉牛用飼料で用いられるトウモロコシに匹敵することは試験によって明らかになっているが、市場ではソルガムはトウモロコシよりも低い評価を受けることが多い。過去10年の間、ソルガムの1ブッシェル当たりの価格はトウモロコシの価格を約0.12ドル下回り、ソルガム生産者は毎年平均4,200万ドルに相当する差損を被る結果となっている。2008年にはトウモロコシとソルガムの価格差は1ブッシェル当たり0.70ドルにまで増大し、ソルガムの価値が3億3000万ドル以上も減少した。ソルガムの価値が低く評価されることは数多くの試験結果と矛盾するにもかかわらず、家畜生産者および市場は肉牛用飼料原材料としてのソルガムの価値を過小評価し続けている。

米国の中西部、高地平原地域および南西部の42名のコンサルタント栄養管理者調査から明らかになったように、肉牛肥育場でのソルガムの使用は限定的である(VasconcelosとGalyean, 2007)。この栄養管理者らのうち29名が調査を完了しており、毎年自己報告される取扱い動物頭数に基づく、このグループが対象とした動物は2007年に肥育された全動物の約69%を占めている。調査を完了したすべての栄養管理者が、仕上期飼料として最も多用されているのはトウモロコシであると報告している。31%がソルガム穀粒は補助的に用いられている穀物であると報告している。以前の研究によれば(GalyeanとGleghorn, 2001)、栄養管理者の10%が仕上期飼料の原材料穀物としてトウモロコシとソルガムを配合したものを最も多く用い、31.5%がソルガムを補助的穀物として用いていた。このデータから、肉牛肥育場飼料として最も多用される穀物源がソルガムからトウモロコシへと僅かに移行している可能性が伺える。このことは、肥育場飼料としてソルガムを用いる場合のメリットに主眼を据えた更なる情報および試験が必要であることを示している。

ソルガム穀粒、ソルガム飼葉およびソルガム・ジスチラーズ・グレインを育成期の畜牛、仕上期の畜牛、繁殖用雌牛および未経産牛に給与した場合の成績に関する発表済み文献を包括的にレビューして、肉牛生産業界におけるソルガムの真の価値について家畜生産者およびその他の専門家達を啓蒙するための一助とすることが求められている。ソルガムの肉牛への給与に関する現時点での文献レビュー結果を以下に報告する。

## トウモロコシ、大麦および小麦と比較した場合のソルガム穀粒の栄養成分

大麦、トウモロコシ、ソルガムおよび小麦はいずれも肉用畜のエネルギー源として用いることが可能である。地域の気候条件によって、ある穀物が他の穀物より好まれる度合いが変化することがある。一般に好まれるエネルギー源はトウモロコシである。しかしながら、気候条件

によってはトウモロコシの生産性が制限を受けたり損なわれたりすることがある。ソルガム、トウモロコシ、大麦および小麦の栄養価の平均値を表1に示した。数値の出所は米国学術研究会議(NRC)の出版物2点(NRC, 1996と2001)およびニューヨーク所在のデアリ・ワン粗飼料研究所(Dairy One Forage Laboratory)である。NRCから得た数値は発行日以前に発表されたものに基づいている。デアリ・ワンのデータは2000年5月から2010年4月30日までの間に分析されたすべてのサンプルについて発表された数値の平均値である。デアリ・ワンが分析したサンプルから得られた粗タンパク質の含有率はいずれの穀物でもNRCの値を下回っている。これは恐らく、過去数十年にわたり子実収量が増加しているためにデンプン含有率が増加していることが原因と考えられる。ソルガムはトウモロコシよりも多くの粗タンパク質を含むが、大麦および小麦より少ない。現在では、ソルガムの粗タンパク質含有率はトウモロコシよりも約14%多いと期待してもよい。NRC出版物に記載される要約データでは、23~28%上回るとされるが、おそらく植物遺伝学上の変化によってデンプン収量が増加する結果となり、そのため粗タンパク質量の割合が希釈されることになっていると考えられる。酸性デタージェント繊維(ADF)で測定した繊維値はトウモロコシおよび小麦で低く、ソルガムおよび大麦で高い。ソルガムおよび大麦の値にはばらつきがあるが、トウモロコシおよび小麦と比較して胚乳および胚芽に対する種皮の比率が増加していることを反映した結果と考えられる。これはソルガムおよび大麦における全体的なADFレベルの上昇にも影響している可能性がある。ただし、差は存在するものの小さく、従って反芻動物の消化に重大な悪影響を及ぼすことはない。エネルギー価は維持(NEm)および増体(NEg)のための正味エネルギー価を用いて表す。こうした値によって動物がどれほど効率的に飼料から得たエネルギーを利用しているかを知ることができる。NRCの値とデアリ・ワン粗飼料研究所のより新しい値とを比較すると、こうした値が増加してきていることが分かる。恐らく以前よりもデンプン含有率が増加する植物遺伝学上の変化および作物栽培慣行上の変化に起因していると考えられる。エネルギーという点では、ソルガムとトウモロコシは非常に似通っている。表を見るとわずかにトウモロコシの値がソルガムの値を上回っているが、その差は比較的小さい。表から分かるような僅かな差は動物試験では検出されないことがある。気候、栽培慣行および遺伝学的要素の影響を受けるため、この表に示された値を用いるのではなく、飼料に用いる穀物を分析し、分析によって得られた栄養組成を用いて動物用飼料の調製を行うべきである。

## 肉牛用飼料としてのソルガム穀粒の使用

家畜飼料の最も一般的なエネルギー源は穀物で、その割合は肥育場動物の全飼料の95%にまで及ぶと考えられる。米国で最も一般的に使用されている穀物はトウモロコシ、マイロ、大麦、小麦およびオーツ麦である。肉牛栄養スペシャリストを対象とした調査によれば(GalyeanとGleghorn, 2001; VasconcelosとGalyean, 2007)、最も好まれている穀物はトウモロコシで、その他の穀物は補助的なエネルギー源とみなされている。これは他の穀物がトウモロコシよりも劣るということではなく、単に栄養管理者および肥育場運営者が第一番目のエネルギー源としてトウモロコシを好んで用いているに過ぎない。動物成績を向上させるためには第一胃でのデンプン利用が最も重要である。そのため、高レベルの飼料効率を達成し、1日平均増体率を向上させるための取り組みにおいては、様々な穀物の第一胃発酵パターンを見極め、理解することが重要である。

乾物、粗タンパク質およびデンプンの第一胃発酵パターンは穀物によって異なる。図 1、2 および 3 は 5 種類の穀物の発酵速度の違いを観察して示したものである。いずれの場合でも、ソルガムの発酵速度はソルガム以外の穀物の値を下回る。ただし、トウモロコシでもソルガムでも、粗タンパク質、デンプンおよび乾物の計算上の消化速度は同程度である (Herrera-Saldana, 1990)。第一胃に入ってから 48 時間後には、すべての飼料は同様のエンドポイントに到達する。場合によっては、1 種類の穀物よりも複数種類の穀物を混合した方がより適切な第一胃発酵パターンが得られることがある。例えば、TMR(完全混合飼料)に少量(1~2 ポンド)の小麦、大麦またはオーツ麦を加えると、給与後直ちに利用可能なデンプン量が増加する。トウモロコシまたはソルガムと組み合わせると、次の給与時までの中、より多量の第一胃で利用可能なデンプンがより安定的に供給される。Huck と同僚ら (1998) の報告によれば、蒸気フレーク処理したソルガムとトウモロコシを 2 対 1 の割合で配合したものを給与すると、それぞれを単独で給与するよりも 1 日平均体重増加率および飼料効率が上回った。ソルガムとトウモロコシとの組み合わせでは飼料効率が 5% 改善した。

Owen ら (1997) は 5 種類の穀物を対象とした 605 件の様々な加工処理方法の比較について精査し、肥育場動物に給与した場合にはソルガムによる 1 日平均体重増加率はトウモロコシの値とほぼ同じになると結論を得た (表 2)。報告中で比較対象としたのは、加工処理の影響を考慮せず 1 種類の穀物を給与した場合の反応平均であった。この他に様々な種類の加工処理方法についても比較が行われ、追加的な結論を得るに至った。水分を多く含むトウモロコシおよびソルガムを給与した場合の増体量は他の加工処理を施したトウモロコシおよびソルガムを給与した場合の値を下回る結果となった (表 3)。ソルガムを給与した場合には、処理程度が増加するに従って乾物摂取量が低下し (表 4)、飼料効率は上昇した (表 5)。蒸気圧ぺん処理したソルガムの飼料効率は乾式圧ぺん処理したソルガムの値を 15% 上回った。ソルガムを給与する場合、およびトウモロコシとソルガム穀粒の飼料効率を比較する場合には、加工処理方法、特に熱処理に焦点を当てて検討すべきである。

### 熱処理が動物成績に及ぼす影響

熱処理はこれまで何十年にもわたって飼育場業界で用いられてきた。処理した穀物には通常蒸気フレーク、還元、早期収穫サイロ貯蔵 (高水分)、膨脹、破裂、焙焼、微粉末化等が施された穀物が含まれ、非処理穀物には全粒グレイン、またはクラッキング、粉碎、乾式圧ぺん、生等の最小限の処理が施されたものが含まれる (Theurer, 1986)。デンプン粒の周りに存在するタンパク質基質および構造の乱れたデンプン粒を分解するためには、ソルガム穀粒に粉碎、圧ぺん、蒸気圧ぺんまたは蒸気フレーク処理を施す必要がある。蒸気フレーク処理は他の処理方法よりもタンパク質基質およびデンプン粒を分解させる能力が高い。これは一貫性のあるプロセスにおいて水分、圧力および熱と結びつくことで、第一胃の微生物が利用することのできるデンプンの割合が高まるためである。表 6 に示したデータはトウモロコシでもソルガムでも、蒸気フレーク処理した場合の飼料要求率が乾式圧ぺん処理した場合の値を上回ることを示している (Theurer, 1986)。データから分かるように、加工処理による平均増体量の増加はない。処理を施したトウモロコシおよびソルガムでは飼料要求率も増体量も同程度である。最小限の処理を施した場合 (乾式圧ぺん)、ソルガムよりもトウモロコシの方が優位である。

飼料効率の上昇はデンプン消化の部位の変化と関係がある。泌乳期の乳牛でも同様の比較が行われ、同様の結果となっている (Theurer ら、1999)。

他の処理方法と比較した場合、蒸気フレーク処理したトウモロコシのデンプンの総消化管消化率は 91% から 99% に上昇する。蒸気フレーク処理したソルガムでは 91% から 98% に上昇する。他の処理方法と比較した場合、蒸気フレーク処理したトウモロコシの第一胃デンプン消化率は 70% から 86% に上昇し、ソルガムでは 57% から 76% に上昇する。これはトウモロコシでは第一胃デンプン消化率が約 23%、ソルガムでは約 33% 増加したことを意味する。デンプンの総消化管消化率はトウモロコシもソルガムも同程度であるが、このデータは蒸気フレーク処理することによってソルガムの第一胃デンプン消化率の増加がトウモロコシの同値の増加を上回るといふ、ソルガムの付加価値の増加に焦点を当てている。蒸気フレーク処理によって第一胃デンプン消化の部位が変わるだけでなく、第一胃微生物合成の量も増加し、小腸での第一胃微生物タンパク質の利用率も上昇する (Rahnema ら、1987)。動物成績を向上させるには、微生物タンパク質の供給量およびその消化率を増加させることが重要である。ソルガムを給与する場合には、蒸気フレーク処理は他の処理方法よりも優れており、最も好ましい処理方法とみなされるべきである。

フレーク密度も動物成績に影響を及ぼすと考えられる。Swingle と同僚ら (1999) は 4 種類の濃度 (1 ブッシェル当たり 32、28、24 および 20 ポンド) になるようソルガムを蒸気フレーク処理し、2 件の試験を実施した。彼らはフレーク密度が減少 (処理の増加) すると、*in vitro* デンプン利用率および総消化管デンプン利用率が増加することを見いだした。しかしながら最大の増加は、1 ブッシェル当たり 32 ポンドから 28 ポンドへの減少に伴って認められた。給与期間中、フレーク密度が減少すると日増体量が一次減少を示した。フレーク密度が減少するに従って、電気代に一次増加が見られた。動物反応およびエネルギー消費量に基づいて、彼らは最も適したフレーク密度は 1 ブッシェル当たり 28 ポンドであると結論付けた。Theurer と同僚ら (1999) は 1 ブッシェル当たり 32、28 および 22 ポンドになるよう蒸気フレーク処理したソルガムを比較し、デンプン利用率が同様の結果となることを見いだした。これらの試験のいずれでも、第一胃デンプン消化率は総デンプン摂取量の 81% に増加し、総消化管デンプン消化率が上昇したが、その一方小腸で消化されるデンプン量が減少した。これらの試験結果は、Reinhardt ら (1997) によって先に報告されていた結果とほぼ同じである。

### ソルガムハイブリッド種が動物成績に及ぼす影響

ソルガムハイブリッド間の違いについては複数の試験で調査が行われている (Larrain ら、2009; McCollough ら、1972; Maxson ら、1973; Goldy ら、1987; Streeter ら、1990 および Pederson ら、2000)。タンニンを含むソルガム穀粒を 65% 以上配合した飼料は動物成績を低下させることが明らかになっている (Larrain ら、2009; Maxson ら、1973)。しかしながら、高タンニンソルガムとトウモロコシ穀粒を組み合わせると動物成績が向上する結果となることが分かっている (Larrain ら、2009)。いずれにせよ、現在栽培されているソルガムの大半がタンニン含有量の少ないものであり、従ってもはやこれは問題とはならない。Streeter ら (1990) は 4 種類の異なるソルガムハイブリッド (黄色、クリーム色、黄色異色および赤) を評価した。トウモロコシと比較した場合には、クリーム色のハイブリッドの総デンプン消化管消

## 肉牛へのソルガム給餌ガイド

化率および算定飼料要求率は他のタイプのソルガムの値と同程度となり、値は低下した。このデータによって、異なるソルガムハイブリッドを給与すると動物成績に差が生まれることが裏付けられた。加えて、育成期の環境条件がこうした違いに更なる影響を及ぼす可能性がある。Pedersonら(2000)はハイブリッド穀物の消化パラメータの変化を評価するために使用できると思われる新たな12時間 *in vitro* 評価法について報告した。様々なハイブリッドソルガムまたは異なる環境で栽培されたソルガムの飼料価値を予測する上で非常に役立つ可能性がある。

### 加工処理によりソルガム穀粒に付加される価値

加工処理法により畜産業界でソルガムの価値が高まるということが動物試験で実証されている。最近の試験に基づくと、蒸気フレーク処理を介した熱処理はソルガムの消化効率を引き上げるための最良の解決策になると思われる。フレーク処理によって第一胃および総消化管におけるデンプンの消化率が高まるため、ソルガムの飼料価値は乾式圧ぺん処理した場合よりも12~15%向上する。この処理はソルガムに含まれる粗タンパク質の消化率向上にもつながる。理想的なフレーク密度は1ブッシェル当たり28ポンドであると報告されている。フレーク密度がこのレベルを下回ると、エネルギー消費量はかなり大きくなる。Swingleら(1999)の報告によれば、フレーク密度が1ブッシェル当たり32ポンドから20ポンドに低下すると、電気消費量は50%増加したが、1ブッシェル当たり32ポンドから28ポンドへの低下ではわずか8%増加したに過ぎない。Reinhardtと同僚らは、フレーク密度を1ブッシェル当たり28ポンドから22ポンドに引き下げると、電気代が67%増加したと報告している。動物成績データに関しては、Swingleら(1999)は1ブッシェル当たり32ポンドから28ポンドに低下したときに動物成績が最も優れると報告しているが、一方Reinhardtと同僚ら(1997)はフレーク密度の低下にしたがって動物成績が悪化すると報告している。従って、ソルガム穀粒については費用効率が最も高い密度は1ブッシェル当たり28ポンドと研究者らは結論付けている。

### ソルガム穀粒を原材料としたジスチラーズ・グレインの使用

最近になって、ジスチラーズ副産物の肉牛用飼料としての使用についてレビューが行われ(Klopfensteinら、2008)、トウモロコシ穀粒を原材料としたジスチラーズ・グレインとソルガム穀粒を原材料としたジスチラーズ・グレインとの比較で動物成績に有意差のないことが分かった。それにもかかわらず、この筆者らは数値的にレビューした4件の試験のすべてがソルガムよりもトウモロコシの方が優れていることを示唆していると釘をさしている。こうした試験で問題となる事柄のひとつが、同一工場内、同一条件下で製造された製品を入手することが困難であるということである。トウモロコシ・ジスチラーズ・グレインとソルガム・ジスチラーズ・グレインとを比較する場合に、プラント設計および工程が異なると、結果として得られる製品の飼料価値に影響を与える可能性がある。報告された試験のうち、同一プラントから入手したジスチラーズ・グレインを用いた試験はわずか1件だけであった(AI-suwaieghら、2002)。乾燥、湿潤を問わず、トウモロコシまたはソルガムを原材料としたジスチラーズ・グレインを15%配合した場合には、摂取量、日増体量、飼料効率には穀物の違いによる有意差は認められなかった。トウモロコシよりもソルガムの粗タンパク質含有率が高いため、一般に、ソ

ルガムを原材料としたジスチラーズ・グレインでも粗タンパク質含有率はトウモロコシを原材料としたジスチラーズ・グレインの値を上回る。この問題を完全な形で取り扱うためには、ソルガム・ジスチラーズ・グレインの更なる評価が必要とされる。考慮すべき要素には蒸留方法、プラント設計および飼料組成が含まれる。

### 結論

米国ではほとんどの場合、ソルガムの飼料価値はトウモロコシとの比較で計られる。肥育場の栄養管理者調査では、ほとんどの管理者がトウモロコシを肥育場動物のための主要材料穀物とみなし、約30%が補助的穀物としてソルガムを使用していることが分かった。これは動物成績ではなく、地元での入手可能性が反映されていると考えられる。ソルガムに含まれるタンパク質-デンプン基質のため、ソルガムの飼料価値を高めるための穀物加工処理方法に注目が集まっている。ソルガムのかさ密度を引き下げるための水分、熱および圧力利用によって、デンプン-タンパク質基質およびデンプン基質が分解され、結果として飼料要求率が改善される。中でも蒸気フレーク処理が最も効果的である。望ましいフレーク密度は1ブッシェル当たり28ポンドである。この密度にフレーク化すると、飼料効率は乾式圧ぺん処理の場合の値を12~15%上回る。蒸気フレーク処理をしたソルガムを給与した場合の動物成績はトウモロコシを給与した場合の値と同程度になっている。しかしながら、他の加工処理方法を用いるとトウモロコシの方が優位となる可能性がある。トウモロコシを置換してソルガム穀粒を給与すると、粗タンパク質を添加する必要性が低減される。一般に、ソルガム穀粒の粗タンパク質値はトウモロコシの値を約10%上回る。肥育場での全生産コストの約70~80%は飼料コスト関連である。ソルガムの最大のメリットは降水量や灌漑の乏しい地域で採用できるという点であろうかと思われる。恐らくこうした地域では、費用効果の高いトウモロコシ代替品としてソルガムを地元で栽培することが可能である。ソルガムを適切に処理した場合には、ソルガムによる動物成績はトウモロコシの場合と同程度になることが複数の試験で明らかにされている。1ブッシェル当たり28ポンドのフレーク密度になるよう処理すれば飼料効率が上がり、結果としてトウモロコシと同様の飼料価値が得られることになる。一般に、処理を施したソルガム穀粒またはソルガムから作られた副産物を給与した場合には、トウモロコシと同程度の動物成績が得られると考えられている。

表 1: 三つの栄養価データの比較

項目	穀物	肉牛 NRC <sup>1</sup>	乳牛 NRC <sup>2</sup>	デアリ・ワン <sup>3</sup>
粗タンパク質、%	ソルガム	12.60	11.60	10.53
	トウモロコシ	9.80	9.40	9.20
	大麦	13.20	12.40	12.22
	小麦	14.20	14.20	13.67
酸性デタージェント繊維、%	ソルガム	6.38	5.90	7.90
	トウモロコシ	3.30	3.40	3.63
	大麦	5.77	7.20	7.62
	小麦	4.17	4.40	4.72
NE <sub>m</sub> <sup>4</sup> 、Mcal/lb	ソルガム	0.91	0.88	0.96
	トウモロコシ	1.02	0.93	1.00
	大麦	0.93	0.92	0.89
	小麦	0.99	0.98	0.93
NE <sub>g</sub> <sup>5</sup> 、Mcal/lb	ソルガム	0.61	0.59	0.65
	トウモロコシ	0.70	0.63	0.69
	大麦	0.63	0.62	0.60
	小麦	0.68	0.67	0.63
灰分、%	ソルガム	1.87	2.00	1.92
	トウモロコシ	1.46	1.50	1.55
	大麦	2.40	2.90	2.93
	小麦	2.01	2.00	1.97

<sup>1</sup> 肉牛の栄養要求率、1996

<sup>2</sup> 乳牛の栄養要求率、2001

<sup>3</sup> デアリ・ワン粗飼料研究所、2010

<sup>4</sup> 維持正味エネルギー

<sup>5</sup> 増体正味エネルギー

<sup>6</sup> 泌乳正味エネルギー

表 2: 肥育場飼料の 5 種類の穀物の動物成績比較

項目	大麦	トウモロコシ	ソルガム	オーツ麦	小麦
1 日平均体重増加率、lb	3.13	3.15	3.06	3.31	3.04
乾物摂取量、lb	19.34 <sup>b</sup>	19.69 <sup>b</sup>	20.79 <sup>a</sup>	20.18 <sup>ab</sup>	19.07 <sup>b</sup>
飼料要求率	6.24 <sup>b</sup>	6.32 <sup>b</sup>	6.88 <sup>a</sup>	6.12 <sup>ab</sup>	6.34 <sup>b</sup>

<sup>ab</sup> 同一横列の異なる上付文字は有意差のあることを示す (P<0.05)。Owen ら、1997 に基づく。

表 3: 肥育場飼料に用いる 5 種類の穀物の処理別増体量 (ポンド/日) 比較

項目	大麦	トウモロコシ	ソルガム	オーツ麦	小麦
乾式圧ぺん	3.20	3.20 <sup>a</sup>	3.15 <sup>a</sup>	3.38	3.04
高水分	-----	3.02 <sup>b</sup>	2.84 <sup>b</sup>	-----	-----
蒸気圧ぺん	2.93	3.15 <sup>a</sup>	3.09 <sup>ab</sup>	3.26	3.04
全粒	3.04	3.20 <sup>a</sup>	-----	-----	-----
還元	-----	-----	2.89 <sup>ab</sup>	-----	-----

<sup>ab</sup> 同一横列の異なる上付文字は有意差のあることを示す (P<0.05)。Owen ら、1997 に基づく。

表 4: 肥育場飼料に用いる 5 種類の穀物の処理別乾物摂取量 (ポンド/日) 比較

項目	大麦	トウモロコシ	ソルガム	オーツ麦	小麦
乾式圧ぺん	19.76	20.84 <sup>a</sup>	23.09 <sup>a</sup>	20.29	19.78
高水分	-----	19.23 <sup>b</sup>	20.18 <sup>b</sup>	-----	-----
蒸気圧ぺん	18.19	18.41 <sup>c</sup>	19.14 <sup>c</sup>	20.11	17.86
全粒	20.51	18.87 <sup>bc</sup>	-----	-----	-----
還元	-----	-----	19.38 <sup>bc</sup>	-----	-----

<sup>ab</sup> 同一横列の異なる上付文字は有意差のあることを示す (P<0.05)。Owen ら、1997 に基づく。

# 肉牛へのソルガム給餌ガイド

表 5: 肥育場飼料に用いる 5 種類の穀物の処理別飼料効率（飼料量／増体量）比較

項目	大麦	トウモロコシ	ソルガム	オーツ麦	小麦
乾式圧ぺん	6.25	6.57 <sup>a</sup>	7.43 <sup>a</sup>	6.01	6.59 <sup>a</sup>
高水分	-----	6.43 <sup>a</sup>	7.12 <sup>ab</sup>	-----	-----
蒸気圧ぺん	6.19	5.87 <sup>b</sup>	6.33 <sup>c</sup>	6.18	5.92 <sup>b</sup>
全粒	6.66	5.95 <sup>b</sup>	-----	-----	-----
還元	-----	-----	6.75 <sup>bc</sup>	-----	-----

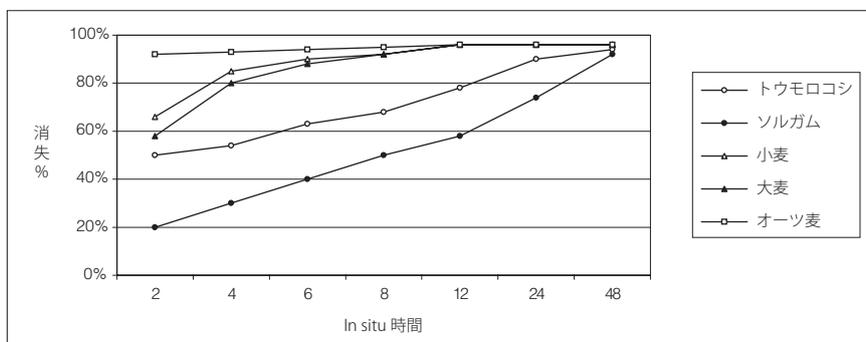
<sup>ab</sup> 同一横列の異なる上付文字は有意差のあることを示す (P<0.05)。Owen ら、1997 に基づく。

表 6: 肉牛仕上期試験におけるトウモロコシおよびソルガム処理の飼料要求率および 1 日平均体重増加率への影響比較

処理方法	飼料 / ポンド増体量		日増体量 (ポンド)	
	トウモロコシ	ソルガム	トウモロコシ	ソルガム
乾式圧ぺん	6.9	7.3	2.65	2.65
フレーク	6.3	6.5	2.65	2.65
還元	6.4	6.3	2.87	2.65
微粉末化、破裂、膨脹	----	6.5	-----	2.65

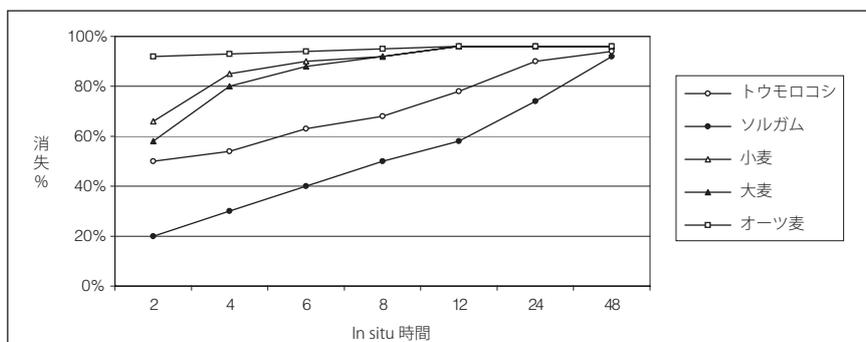
Theurer、1986 に基づく。

図 1: 5 種類の穀物の In situ 乾物消失



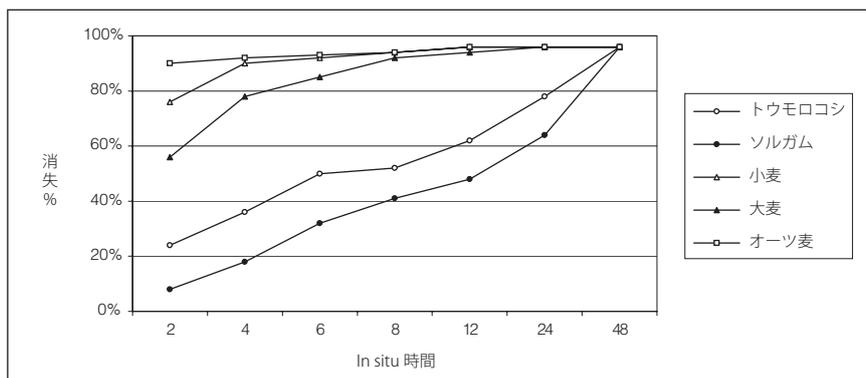
Herrera-Saldana ら、1990 に基づく。

図 2: 5 種類の穀物の In situ 粗タンパク質消失



Herrera-Saldana ら、1990 に基づく。

図 3: 5 種類の穀物の In situ デンプン消失



Herrera-Saldana ら、1990 に基づく。

---

## REFERENCES

- Abdelgadir, I. E. O., and J. L. Morrill. 1995. Effect of processing sorghum grain on dairy calf performance. *J. Dairy Sci.* 78:2040-2046.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1105-1111.
- Dairy One Forage Laboratory Feed Sample Data Base. <http://www.dairyone.com/Forage/FeedComp/mainlibrary.asp> Accessed May 1, 2010.
- Galyean, M. L., and J. F. Gleghorn. 2001. Summary of the 2000 Texas Tech University Consulting Nutritionist Survey. Texas Tech University Department of Anim. And Food Sci. Burnett Center Internet Progress Report no. 12. [http://www.asft.ttu.edu/burnett\\_center/progress\\_reports/bc12.pdf](http://www.asft.ttu.edu/burnett_center/progress_reports/bc12.pdf) Accessed May 13, 2010.
- Huck, G. L., K. K. Kreikemeier, G. L. Kuhl, T. P. Eck and K. K. Bolsen. 1998. Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled corn on the growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2984-2990.
- Herrera-Saldana, R. E., J. T. Huber, and M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393.
- Klopfenstein, T. J., G. E. Erickson, and V. R. Bremer. 2008. Board-Invited Review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223-1231.
- Larrain, R. E., D. M. Schaefer, S. C. Arp, J. R. Claus, and J. D. Reed. 2009. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum, or a mix of both: Feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 87:2089-2095.
- Maxson, W. E., R. L. Shirley, J. E. Bertrand, and A. Z. Palmer. 1973. Energy values of corn, bird-resistant and non-bird-resistant sorghum grain in rations fed to steers. *J. Anim. Sci.* 37:1451-1457.
- McCullough, R. L., and B. E. Brent. 1972. Digestibility of eight hybrid sorghum grains and three hybrid corns. *Kansas Agric. Exp. Sta. Prog. Rep. Bull* 557:27.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill and D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 75:868-879.
- Rahnema, S. H., B. Theurer, J. A. Garcia, W. H. Hale and M. C. Young. 1987. Site of protein digestion in steers fed sorghum grain diets. II. Effect of grain processing methods. *J. Anim. Sci.* 64:1541-1547.
- Reinhardt, C. D., R. T. Brandt, Jr, K. C. Behnke, A. S. Freeman, and T. P. Eck. 1997. Effect of steam-flaked sorghum grain density on milk performance, milk production rate, and subacute acidosis in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 75:2852-2857.
- Richards, C. J., and B. Hicks. 2007. Processing of corn and sorghum for feedlot cattle. *Vet. Clin. Food Anim.* 23:207-221.
- Swingle, R. S., T. P. Eck, C. B. Theurer, M. De la Llata, M. H. Poore, and J. A. Moore. 1999. Flake density of steam-processed sorghum grain alters performance and sites of digestibility by growing-finishing steers. *J. Anim. Sci.* 77:1055-1065.
- Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Theurer, C. B., O. Lozano, A. Alio, A. Delgado-Elorduy, M. Sadik, J. T. Huber and R. A. Zinn. 1999. Steam-processed corn and sorghum grain flaked to different densities alter ruminal, small intestinal and total tract digestibility of starch by steers. *J. Anim. Sci.* 77:2824-2831.
- Vasconcelos, J. T., and M. L. Galyean. 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. *J. Anim. Sci.* 85:2772-2781.



---

## 乳牛へのソルガム給餌ガイド

マイケル・J. ブルック博士

カンザス州立大学  
動物科学・産業学部

Presented to United Sorghum Checkoff Program

Dr. Micheal J. Brouk

Department of Animal Sciences and Industry  
Kansas State University

134 Call Hall  
Manhattan, KS 66506-1600  
mbrouk@ksu.edu

## 序文

穀粒としても粗飼料としても、ソルガムは重要な家畜飼料原材料である。一般に、ソルガムは、ソルガムのほぼ2倍の水分を必要とするトウモロコシやその他の作物を、降水量が少ないために経済的に生産することが困難なカンザス州西部のような地域で栽培されている。過去10年にわたり、米国の穀粒用ソルガムの平均収穫面積はほぼ700万エーカーで、年間ソルガム穀粒生産量は3億5000万ブッシェルを超える。これに加えて、サイレージ用のソルガム収穫面積は35万エーカーである。ソルガム穀粒は乳牛用飼料のトウモロコシを代替する飼料原材料として用いることができる。ソルガム穀粒が泌乳期乳牛用飼料で用いられるトウモロコシに匹敵することが試験によって明らかになっているが、市場ではソルガムはトウモロコシよりも低い評価を受けることが多い。過去10年の間、ソルガムの1ブッシェル当たりの価格はトウモロコシの価格を約0.12ドル下回り、ソルガム生産者は毎年平均4,200万ドルに相当する差損を被る結果となっている。2008年にはトウモロコシとソルガムの価格差は1ブッシェル当たり0.70ドルにまで増大し、ソルガムの価値が3億3000万ドル以上も減少した。ソルガムの価値が低く評価されることは数多くの試験結果と矛盾するにもかかわらず、家畜生産者および市場は乳牛用飼料原材料としてのソルガムの価値を過小評価し続けている。ソルガム穀粒、ソルガム飼葉およびソルガム・ジスチラズ・グレインを泌乳期乳牛および未経産牛に給与した場合の成績について調べた試験の発表済み文献を包括的にレビューして、酪農におけるソルガムの真の価値について畜産業者およびその他の専門家達を啓蒙するための一助とすることが求められている。特に過去15年間に発表された試験に主眼をすえて、乳畜用飼料としてのソルガム穀粒およびソルガム飼葉の使用に関する試験をレビューし、以下にまとめた。

## トウモロコシ、大麦および小麦と比較した場合のソルガム穀粒の栄養組成

大麦、トウモロコシ、ソルガムおよび小麦はいずれも乳畜のエネルギー源として用いることが可能である。各地の気象条件次第で、ある穀物が他の穀物より好まれる度合いが変化することがある。一般に好まれるエネルギー源はトウモロコシである。しかしながら、気候条件によってはトウモロコシの生産性が制限を受けたり損なわれたりすることがある。ソルガム、トウモロコシ、大麦および小麦の栄養価の平均値を表1に示した。数値の出所は米国学術研究会議(NRC)の出版物2点(NRC、1996と2001)およびニューヨーク所在のデアリ・ワン粗飼料研究所(Dairy One Forage Laboratory)である。NRCから得た数値は発行日以前に発表されたものに基づいている。デアリ・ワンのデータは2000年5月から2010年4月30日までの間に分析されたすべてのサンプルについて発表された数値の平均値である。デアリ・ワンが分析したサンプルから得られた粗タンパク質の含有率はいずれの穀物でもNRCの値を下回っている。これは恐らく、過去数十年にわたり穀物収量が増加したことに伴うデンプン含有率の上昇が原因と考えられる。ソルガムはトウモロコシよりも多くの粗タンパク質を含むが、大麦および小麦よりは少ない。酸性デタージェント繊維(ADF)で測定した繊維値はトウモロコシおよび小麦で低く、ソルガムおよび大麦で高い。ソルガムおよび大麦の値にはばらつきがあるが、トウモロコシおよび小麦と比較して胚乳および胚芽に対する種皮の比率の上昇が反映しているためと

考えられる。これはソルガムおよび大麦における全体的なADF(1日平均飼料摂取量)レベルの上昇にも影響している可能性がある。差は存在するものの小さく、従って反芻胃動物の消化に重大な悪影響を及ぼすことはない。エネルギー価は維持(NEm)、増体(NEg)および泌乳(NEI)のための正味エネルギー価を用いて表す。こうした値によって動物がどのように飼料から得たエネルギーを利用しているかを知ることができる。NRCの値とデアリ・ワン・粗飼料研究所のより新しい値とを比較すると、こうした値が増加してきていることが分かる。恐らく以前よりもデンプン含有率が増加する植物遺伝学上の変化および農業慣行上の変化に起因していると考えられる。エネルギーという点では、ソルガムとトウモロコシは非常に似通っている。表を見るとわずかにトウモロコシの値がソルガムを上回っているが、その差は比較的小さい。表から分かる僅かな差は動物試験では検出されないことがある。気象、農業慣行および遺伝学的要素の影響を受けるため、表に示された値を用いるのではなく、飼料に用いる穀物を分析し、分析によって得られた栄養組成を用いて動物用飼料の設計調製を行うべきである。

## 泌乳期乳牛用飼料としてのソルガム穀粒の使用

ソルガム穀粒は乳牛にとって効果的なデンプン供給源となり得る。産乳量を引き上げる目的で飼料給与をする場合には、デンプンは乳牛用飼料の第一エネルギー源となる。産乳量および生産効率を改善するために最も考慮すべきことは第一胃でのデンプン利用である。すなわち、乳産量を引き上げ、高い生産効率の達成を図るには、飼料に用いる様々な穀物の第一胃発酵パターンを見極め、理解することが重要である。

乾物、粗タンパク質およびデンプンの第一胃発酵パターンは穀物によって異なる。図1、2および3は5種類の穀物の発酵速度の違いを観察して示したものである。いずれの場合でも、ソルガムの発酵速度はソルガム以外の穀物の値を下回る。第一胃に入ってから48時間後にはほぼ同じポイントに到達する。すなわち、このポイントに到着するまでの第一胃での滞留時間が長いということである。場合によっては、1種類の穀物よりも複数種類の穀物を混合した方がより適切な第一胃発酵パターンが得られることがある。例えば、TMR(完全混合飼料)に少量(1から2ポンド)の小麦、大麦またはオーツ麦を加えると、給与後直ちに利用可能なデンプン量が増加する。トウモロコシまたはソルガムと組み合わせると、次の給与時までの間中、より多量の第一胃で利用可能なデンプンがより安定的に供給される。これが産乳量および生産効率に役立つことが多い。

このようにソルガム穀粒独自の第一胃発酵が異なるのは、トウモロコシまたはその他の穀物よりも水分および酵素浸透に対する抵抗力に優れるデンプン-タンパク質基質に由来する(Herrera-Saldanaら、1990およびTheurer、1986)。ソルガムを乾式圧べん処理または粉碎処理した場合には消化率が低下するため、長年にわたってトウモロコシよりも価値が劣ると考えられてきた。しかしながら、圧べん処理または粉碎処理した穀物を給与した試験では、この消化率の低下が必ずしも常に大幅な産乳量の減少に結びつくことはなかった(Mitznerら、1994)。産乳量および成績を低下させることなく、泌乳期の乳牛用飼料のトウモロコシをソルガムで置換可能であることを裏付けるデータは豊富に存在する(Mitznerら、1994およびTheurerら、1999)。Mitznerと同僚ら(1999)は圧べん処理および微細粉碎処理したトウモロコシおよびソルガムを給与し、穀物

が異なっても乾物摂取量、産乳量、乳脂肪率および体重に差のないことを見いだした。この試験結果およびその他の結果に基づき、泌乳期の乳牛用飼料に用いる場合にはトウモロコシとソルガムは置き換え可能であると結論付けることができるが、その処理方法に留意する必要がある。これについては本書の後半で取り上げる。

#### 乾乳期乳牛用飼料としてのソルガムの使用

対象を乾乳期乳牛に限定してソルガム穀粒を給与した場合の参考文献は見あたらない。しかしながら、ソルガム穀粒を泌乳期の乳牛に給与した場合に得られた結果を乾乳期乳牛に適用することは可能と考えられる。トウモロコシを代替してソルガム穀粒を乾乳期の乳牛用飼料として用いることに不都合はなく、いかなる悪影響も及ぼさないと考えられる。ただし、体重減少または過度な体重増加を防ぐため、この期間のエネルギー摂取量を管理する目的で、広く認められた飼料バランス・ガイドラインを適用することが重要である。

#### 子牛および未経産牛用飼料としてのソルガムの使用

子牛へのソルガム穀粒給与については複数の試験で評価が行われている。こうした試験の主眼は子牛の育成に及ぼす穀粒加工処理法の影響に置かれている。Abdelgadir と Morrill(1995) はソルガム穀粒の生、ローストしたもの、集塊状にしたものを給与した。彼らの報告によれば、子牛成績については穀粒加工法の違いによる差は見られなかった。Khan と同僚ら (2007、2008) は粉碎トウモロコシ、粉碎大麦、粉碎小麦および押しオーツ麦を子牛の離乳食に乾物比 25% の割合で配合した。彼らの観察によれば、トウモロコシを給与した子牛の増体量および総乾物摂取量は他の飼料給与群の値を上回った。この他に、トウモロコシまたは小麦を給与した場合の飼料効率は大麦またはオーツ麦給与群の値を上回ることも見いだした。ソルガムはこの試験対象に含まれていなかったが、図 1 から 3 の発酵カーブに基づき、ソルガム穀粒もトウモロコシと同様の結果を示すと推測することができる。最近の試験では生後 1 年間の子牛の育成が重要視されている。この生産領域におけるソルガムの使用について完全な評価を行うためには、ソルガムの子牛成績への影響について更なる試験が求められる。

発表済み試験の中には、育成期の未経産乳牛へのソルガム給与を評価したものは見あたらない。しかしながら、育成期の肉牛用飼料としてのソルガムの使用については複数の試験で評価が行われている。タンニンを多く含むソルガム穀粒を 65% 超配合した飼料は動物成績を低下させることが明らかになっている (Larrain ら、2009; Maxson ら、1973)。しかしながら、現在栽培されているソルガムの大半がタンニン含有量の少ないものであり、従ってこれは問題とはならない。一方、加工処理法は第一胃でのバクテリアによるタンパク質生成に重要な影響を及ぼす。Rahnema ら (1987) の報告によれば、蒸気フレーク処理したソルガムを給与した場合のバクテリアによる第一胃タンパク質生成は、蒸気圧ぺん処理したソルガムを給与した場合の値を上回った。第一胃でのソルガムデンブンの利用にとって加工処理法は重要である。処理したソルガムは育成期用飼料中のトウモロコシを置換することできると考えられる。

#### 粒径が動物成績に及ぼす影響

反芻胃動物用飼料にソルガムを用いることに関わる要素の中で、最も多く研究対象となっているのは加工処理である。一般的な処理法は乾式圧ぺん、粉碎、蒸気圧ぺん、蒸気フレーク化およびペレット化である。Mitzner ら (1994) は、トウモロコシおよびソルガムを乾式圧ぺん処理したものと微細に粉碎したものとで比較した場合に、穀粒の種類の違いによる差が存在しないことを見いだした。しかし、Bush ら (1972) の報告では、粗く粉碎したソルガムを給与した場合の産乳量は細かく粉碎したソルガムを給与した場合の値を下回った。これとは別の Titgemeyer と Shirley (1997) の報告によれば、ペレット状にしたものの栄養価が乾式圧ぺん処理したソルガム穀粒を上回った。ソルガム穀粒を有効利用するためには、粒径や追加の加工処理が必要と思われる。熱処理がソルガムの利用性に及ぼす影響を考えると、この点がより明確になる。

#### 熱処理が動物成績に及ぼす影響

Theurer と同僚ら (1999) はトウモロコシおよびソルガムの熱処理による効果、ならびに産乳量に及ぼす影響に関する研究についての文献レビューを実施した。19 件の泌乳期試験をとりまとめた結果、彼らは蒸気フレーク処理したトウモロコシおよびソルガムの泌乳正味エネルギーが乾式圧ぺん処理した場合の値を 20% 上回ることを見いだした。また、蒸気フレーク処理したトウモロコシとソルガムの飼料価値はほぼ同じであると結論付けた。蒸気フレーク処理したトウモロコシと蒸気圧ぺん処理したトウモロコシとを比較した 6 件の試験をとりまとめた結果、蒸気フレーク処理したトウモロコシを給与した場合に産乳量、乳タンパク質量および乳脂肪率が増加することが明らかになった (表 2)。摂取量および生産効率は処理の影響を受けず、デンブンの総消化管消化率は増加した。ソルガムを用いて同じ比較を行った試験は 24 件あり (表 3)、蒸気フレーク処理した場合には摂取量、産乳量、乳タンパク質率・量および乳脂肪率が改善した。デンブンの総消化管消化率も 17 パーセント増加した。このグループは次にトウモロコシとソルガムの直接比較を実施し (表 4)、摂取量および泌乳成績では蒸気フレーク処理したトウモロコシもソルガムも同様の結果となることを見いだした。従ってデータから分かるように、泌乳期の乳牛用飼料のデンブン源としてはトウモロコシもソルガムも同程度に効果的であると言える。

研究者ら (Theurer ら、1999) は更にデンブン消化の部位および範囲について調べた。蒸気フレーク処理と乾式圧ぺん処理を比較した場合、トウモロコシでもソルガムでも第一胃のデンブン消化率が上昇することが分かった。第一胃での微生物によるタンパク質生成が増加し、乳生産に利用することのできるタンパク質の増加につながるため、第一胃でのデンブン消化率の上昇は重要である。

熱処理の主要なメリットは第一胃でのデンブン消化率が上昇すること、その結果泌乳正味エネルギーの増加に結びつくことである。乾式圧ぺん処理したソルガムと比較すると、正味エネルギー価は 13~20% 増加すると推定される (Theurer ら、1999)。

## 乳牛へのソルガム給餌ガイド

### 加工処理によりソルガム穀粒に付加される価値

デンプン粒および不規則なデンプン粒の回りに存在するタンパク質基質を分解するためには、ソルガム穀粒に粉碎、圧ぺん、蒸気圧ぺんまたは蒸気フレーク処理を施す必要がある。蒸気フレーク処理は他の処理方法よりもタンパク質基質およびデンプン粒を分解させる能力が高い。これは一貫性のあるプロセスにおいて水分、圧力および熱と結びつくことで、第一胃の微生物が利用することのできるデンプンの割合が高まるためである。蒸気フレーク処理を施すと、ソルガムのエネルギー価は20%も上昇する可能性がある。こうして増加したエネルギーによって乳生産が向上し、泌乳後期の牛の場合は飼料に必要な穀物量の低減につながる。酪農における追加的な穀物処理の価値を見極める場合には、地元で入手できる穀物、輸送、加工処理コスト、設備等をはじめとして、数多くの経済的要素を考慮しなければならない。肉牛の飼育場が近くにある酪農場では、飼育場に穀物の蒸気フレーク処理を依頼することも可能である。多くの場合、飼育場にはフレーク処理能力に余裕があり、積極的に酪農生産者のために穀物のフレーク処理を行ってくれると思われる。

### 酪農飼料として用いる場合のソルガム穀粒の栄養メリット

ソルガムにはトウモロコシよりも多くの粗タンパク質が含まれている。報告されている値に基づく、1ポンドのソルガムにはトウモロコシよりも0.013ポンド多い粗タンパク質が含まれている。1日に12ポンドの穀物を給与するとすれば、粗タンパク質の量は約0.15ポンドとなり、この量で大豆粕約0.3ポンドを代替することができる。大豆粕が1トン350ドルであれば、この量は1日1頭につき約0.05ドルに相当する。ソルガムのタンパク質の大半は第一胃で微生物タンパク質に変換されることになるので、反芻胃動物にとってアミノ酸の質はさほど重要ではない。ソルガムの灰分はトウモロコシの値をわずかに上回るが、酪農飼料のミネラル添加にはごくわずかな影響を及ぼすに過ぎない。このように、トウモロコシの代わりにソルガムを用いた場合の主たるメリットは、飼料に添加する粗タンパク質の割合を減らせる可能性があるということである。

### ソルガム飼葉

ソルガムは粗飼料用の作物としても栽培されており、穀物として収穫した後に残された茎葉部を利用する。ソルガムはトウモロコシよりも栽培期間が短く、バイオマスの収率が高く、必要とする農薬量が少ない優れた地被植物であり、複数回収穫ができるという長所がある。Bolsenら(1977)の報告によれば、茎葉部のサイレージは育成期の未経産牛および子羊用の飼料として効果的に使用することができる。粗飼料として用いることを目的としたソルガムの栽培およびその使用に注目が集まっている。F. G. Owen(1967)は栽培、収穫、保管、給与のいずれもがソルガム飼葉の栄養価に影響を与えることを示唆した。ハイブリッド、肥料、用水および生育条件の選択次第で作物の栄養価は大きく変化する可能性がある。しかしながら、収穫の遅れ、不適切な保管や不適切な給与管理によってもさらなる損失が発生したり、飼葉の品質低下を招いたりする。特定の年の特定の生産者の結果が上述の条件に重大な影響を及ぼす。栄養価に及ぶ最も重大な影響のひとつは飼葉に含まれる穀粒の量である。飼葉用のソルガムでも穀粒を産出する。WardとSmith(1968)の報告によれば、種実の

ないソルガム飼葉を給与した場合の産乳量および生育は穀粒が含まれた飼葉を給与した場合の値を下回った。

過去20年間、通常の遺伝子型よりも中性デタージェント繊維の消化率が高い、褐色中肋遺伝子型に対する注目が高まっている。通常ソルガム・サイレージよりもトウモロコシ・サイレージの方が含まれる可消化栄養成分の量が多いため、これは重要である。褐色中肋遺伝子型を取り入れることでこの差を解消できると考えられる。最近の複数の試験で、褐色中肋ソルガム・サイレージを給与した場合にトウモロコシ・サイレージと同程度の産乳量を得られることが報告されている(Aydinら、1999; Oliverら、2004)。Dannら(2007)の報告によれば、褐色中肋ソルガム/スーダングラスのサイレージを給与した場合の固形物補正乳は、トウモロコシ・サイレージを給与した場合と同程度であった。ただし、彼らは褐色中肋ソルガム/スーダングラスを給与した場合の乾物摂取量がトウモロコシ・サイレージを給与した場合の値を下回ったとも報告している。乳牛および未経産牛用飼料に褐色中肋ソルガム飼葉を用いた場合の飼料価値を完全に見極めるためには、更なる試験が必要とされる。

### 酪農飼料としてのソルガム飼葉の使用

泌乳期の飼料に用いられているトウモロコシ・サイレージの全量をソルガム飼葉で置換することは可能である。複数の試験で、ソルガム/スーダングラスを用いた場合に産乳量が減少することが報告されている。しかしながら、褐色中肋ハイブリッドを用いた最近の試験ではほぼ同じレベルの乳産量となっている。この問題は栽培から飼料給与に至るまでの気候、生育条件および管理方法から受ける影響と絡みあっているため、特定の一試験の結果、あるいは酪農場での1年間の結果だけでは、最終的な決定を下すための十分な情報となり得ない。この領域での更なる試験が求められる。

多くの商業酪農場で乾乳牛および育成期未経産牛用飼料としてソルガム・サイレージを用いている。ソルガムハイブリッドからはトウモロコシ・サイレージとほぼ同じ量のバイオマスが得られる。しかしながら、ソルガム・サイレージに含まれるエネルギーは少なく、従ってトウモロコシ・サイレージとは異なり、このサイレージは乾乳期および育成期の動物の栄養要求を満たすために用いる方がふさわしい。灌漑が行われていない地域、または灌漑に制限のある地域では、動物成績に悪影響を及ぼすことなくソルガム飼葉をトウモロコシ・サイレージの代替として使用することができる。

### 酪農飼料としてソルガム飼葉を用いる場合の栄養メリット

酪農飼料としてソルガム飼葉を用いる場合の主たるメリットは、栽培に必要なとされる用水量が少ないこと、および栽培期間が短いことである。このため生産者は限られた水の量でより多くのバイオマスを生産することができ、あるいは初夏に穀粒を少量収穫した後に二毛作を行うことができる。トウモロコシ・サイレージの栽培に必要なとされる資源が限られている地域では、他の地域から粗飼料を輸送する場合と比較すると、ソルガム飼葉を使用した方が飼料コストが低減されるというメリットがある。育成期および乾乳期の牛ではソルガム飼葉の方が増体量の管理が容易であるという利点もある。

## 酪農飼料におけるソルガム・ジスチラーズ・グレインの価値

ジスチラーズ・グレインは泌乳期の乳牛にとっての良好なタンパク質源およびエネルギー源である (Schingoethe ら、2009)。多くの泌乳期乳牛が毎日 3~5 ポンドのジスチラーズ・グレインを摂取する。ジスチラーズ・グレインは子牛や未経産牛の飼料としても用いられている。ジスチラーズ・グレインの大半はトウモロコシを原材料としているが、中西部および南西部では、ソルガムが入手しやすく、トウモロコシより費用効率が高い地域もある。ソルガムとトウモロコシでは種皮の色およびタンパク質含有率が違うため飼料製品の色が異なる結果となることを除くと、ソルガムを原材料としたジスチラーズ・グレインはトウモロコシを原材料としたものと非常に似通っている。ソルガム穀粒の粗タンパク質含有率はトウモロコシの値を僅かに上回るため、ソルガムから作られたジスチラーズ・グレインの粗タンパク質はトウモロコシから作られたジスチラーズ・グレインの値を約 3 パーセント上回ることがある。ある発表報告によると、ソルガム・ジスチラーズ・グレインを給与した場合の乳産量および消化率はトウモロコシ・ジスチラーズ・グレインを給与した場合の値をわずかに下回る (Al-Suwaiegh ら、2002)。プラント間に加工処理方法の違いがあるため、ジスチラーズ・グレインの栄養価にはばらつきがでる可能性がある。トウモロコシとソルガムとの比較は、その両方が同じプラントで同様の加工方法を用いて処理された場合に限り有効である。ただし、特定の発酵プロセスや個々のプロセス関連条件で処理されたトウモロコシとソルガムの栄養組成のばらつきは、結果として得られる製品の栄養価に影響を及ぼす可能性がある。酪農飼料に用いられるソルガム・ジスチラーズ・グレインの価値を完全に確定するためには、この分野でも更なる試験が求められる。

## 酪農飼料としてソルガムを用いる場合の経済的メリット

酪農飼料としてソルガム穀粒またはソルガム飼葉を用いた結果として得られる主要な経済的メリットは、トウモロコシを用いた場合よりも生産コストを低く抑えられるという点になるだろう。このコスト低減の大半は、水分制限およびトウモロコシよりも少ない用水量でソルガムを栽培する可能性によるものと考えられる。飼葉または穀物を自ら栽培している酪農生産者にとって、こうしたことが他者から飼料を購入することと比べて相当な節約になる。飼料を購入している生産者にとってはこの問題はもう少し複雑になる。降水量が少ない地域または灌漑用水に乏しい地域では、地元で栽培された飼料原材料を用いた場合には輸送コストを削減できるというメリットがある。正しく処理することによって、ソルガムは泌乳期乳牛用飼料としてトウモロコシと同等となることが試験で明らかになっている。従って、地元で栽培されたものであろうと、他の地域から輸送されたものであろうと、ソルガム穀粒の価値は同一地域ではトウモロコシの価値と等しいと考えることができる。ところが、生産者の知識が欠如していたり、場合によっては研究データが利用できなかったりするために、酪農飼料としてのソルガム穀粒およびソルガム飼葉は過小に評価され続けている。

## まとめ

泌乳期の乳牛用飼料としてソルガム穀粒を用いることで、トウモロコシと同程度の産乳量を得ることができる。これは数多くの研究試験で証明されている。加工処理法はソルガムを最大限に利用する上で非常に重要である。蒸気フレーク処理を施すことでソルガムのエネルギー価は 13~20% 増加し、第一胃において微生物タンパク質を産生するためのソルガム利用性が向上する。これは蒸気フレーク処理の水分、熱および圧力によって、デンプン基質およびデンプンの周りのタンパク質基質が分解されるためである。結果として、乾式圧ぺん処理の場合よりも産乳量が増加する。蒸気フレーク処理を施したソルガムの産乳量は同様の処理を施したトウモロコシの値とほぼ同じである。

ソルガム飼葉も酪農飼料として効果的に用いることができる。褐色中肋ハイブリッドは繊維の消化率が高いため、泌乳期の乳牛に給与した場合に最も有利性を発揮する。2、3 の最近の研究結果によれば、褐色中肋ハイブリッドとトウモロコシ・サイレージの産乳量はほぼ同じであった。こうした飼葉を泌乳期乳牛用飼料としてどのように用いるかについて完全な検証を行うため、この分野での更なる試験が必要とされる。乾乳期乳牛および育成期未経産牛の飼料として、トウモロコシ・サイレージをソルガム飼葉またはソルガム / スーダングラス・サイレージで容易く代替することができる。増体量管理の必要性という点を考慮すると、ソルガム・サイレージを飼料に使用することはトウモロコシ・サイレージよりもメリットがある。トウモロコシ・サイレージには過剰なエネルギーが含まれていることが多く、エネルギーという点ではトウモロコシ・サイレージの使用は制限される。通常ソルガム・サイレージにはこうした問題は伴わない。

# 乳牛へのソルガム給餌ガイド

表 1: 三つの栄養価データの比較

項目	穀物	肉牛 NRC <sup>1</sup>	乳牛 NRC <sup>2</sup>	デアリ・ワン <sup>3</sup>
粗タンパク質、%	ソルガム	12.60	11.60	10.53
	トウモロコシ	9.80	9.40	9.20
	大麦	13.20	12.40	12.22
	小麦	14.20	14.20	13.67
酸性デタージェント繊維、%	ソルガム	6.38	5.90	7.90
	トウモロコシ	3.30	3.40	3.63
	大麦	5.77	7.20	7.62
	小麦	4.17	4.40	4.72
NE <sub>m</sub> <sup>4</sup> 、Mcal/lb	ソルガム	0.91	0.88	0.96
	トウモロコシ	1.02	0.93	1.00
	大麦	0.93	0.92	0.89
	小麦	0.99	0.98	0.93
NE <sub>g</sub> <sup>5</sup> 、Mcal/lb	ソルガム	0.61	0.59	0.65
	トウモロコシ	0.70	0.63	0.69
	大麦	0.63	0.62	0.60
	小麦	0.68	0.67	0.63
NE <sub>i</sub> <sup>6</sup> 、Mcal/lb	ソルガム	-----	0.82	0.91
	トウモロコシ	-----	0.87	0.94
	大麦	-----	0.84	0.85
	小麦	-----	0.90	0.88
灰分、%	ソルガム	1.87	2.00	1.92
	トウモロコシ	1.46	1.50	1.55
	大麦	2.40	2.90	2.93
	小麦	2.01	2.00	1.97

<sup>1</sup> 肉牛の栄養要求率、1996

<sup>2</sup> 乳牛の栄養要求率、2001

<sup>3</sup> デアリ・ワン粗飼料研究所、2010

<sup>4</sup> 維持正味エネルギー

<sup>5</sup> 増体正味エネルギー

<sup>6</sup> 泌乳正味エネルギー

表 2: 泌乳期乳牛用飼料の蒸気フレーク処理トウモロコシと蒸気圧ぺん処理トウモロコシの比較

項目	SR <sup>1</sup>	SF <sup>2</sup>	P ≤
乾物摂取量、ポンド/日	58.4	58.4	0.93
乳産量、ポンド/日	78.9	83.8	0.02
タンパク質、%	2.99	3.06	0.11
タンパク質、kg	2.36	2.56	0.01
脂肪、%	3.11	2.98	0.02
脂肪、kg	2.47	2.49	0.44
総消化管デンプン消化率、%	87.4	95.7	0.05

<sup>1</sup> 蒸気圧ぺん処理後濃度 38 ポンド/ブッシェル

<sup>2</sup> 蒸気フレーク処理後濃度 28 ポンド/ブッシェル Threurer ら、1999 に基づく。

表 3: 泌乳期乳牛用飼料の蒸気フレーク処理ソルガムと蒸気圧ぺん処理ソルガムの比較

項目	SR <sup>1</sup>	SF <sup>2</sup>	P ≤
乾物摂取量、ポンド/日	56.4	55.3	0.23
乳産量、ポンド/日	78.5	82.5	0.01
タンパク質、%	2.95	3.02	0.01
タンパク質、kg	2.34	2.51	0.01
脂肪、%	3.20	3.03	0.01
脂肪、kg	2.51	2.51	0.90
総消化管デンプン消化率、%	83.7	97.1	0.01

<sup>1</sup> 蒸気圧ぺん処理後濃度 38 ポンド/ブッシェル

<sup>2</sup> 蒸気フレーク処理後濃度 28 ポンド/ブッシェル Threurer ら、1999 に基づく。

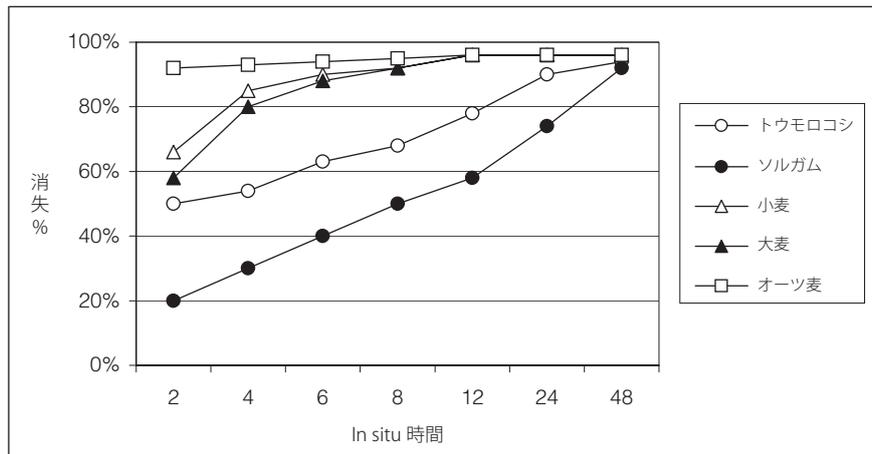
表 4: 泌乳期乳牛用飼料の蒸気フレーク処理トウモロコシ穀粒とソルガム穀粒の比較

項目	SFS <sup>1</sup>	SFC <sup>2</sup>	P ≤
乾物摂取量、ポンド/日	57.1	57.6	0.82
乳産量、ポンド/日	80.5	81.4	0.84
タンパク質、%	2.96	3.00	0.58
タンパク質、kg	2.38	2.43	0.71
脂肪、%	3.19	3.11	0.45
脂肪、kg	2.56	2.51	0.81
総消化管デンプン消化率、%	98.6	97.9	0.86

<sup>1</sup> 蒸気圧べん処理後濃度 28 ポンド/ブッシェル

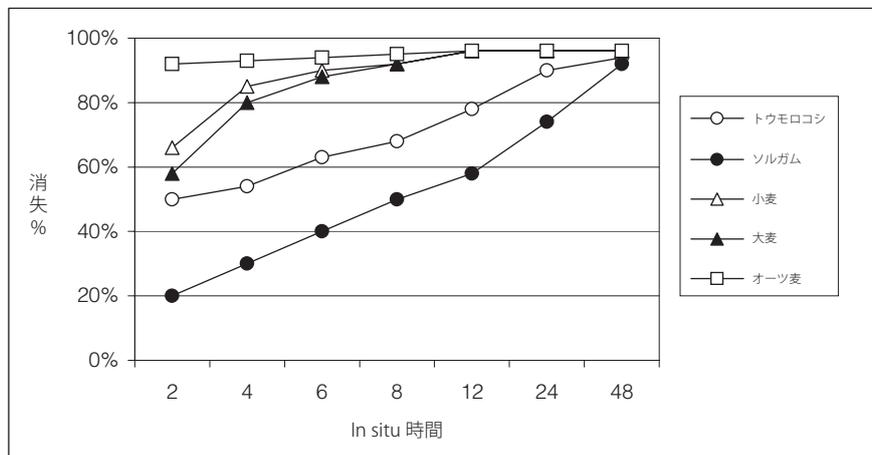
<sup>2</sup> 蒸気フレーク処理後濃度 28 ポンド/ブッシェル Threurer ら、1999 に基づく。

図 1: 5 種類の穀物の In situ 乾物消失



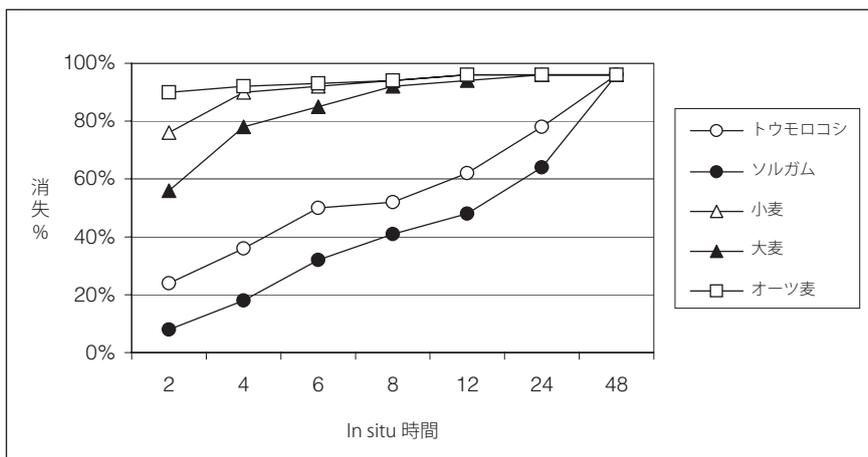
Herrera-Saldana ら、1990 に基づく。

図 2: 5 種類の穀物の In situ 粗タンパク質消失



Herrera-Saldana ら、1990 に基づく。

図 3: 5 種類の穀物の In situ デンプン消失



Herrera-Saldana ら、1990 に基づく。

飼料例

泌乳期乳牛用飼料の例

項目	トウモロコシ主体		ソルガム主体	
	乳牛 1 頭当たりのポンド/乾物量		乳牛 1 頭当たりのポンド/乾物量	
アルファルファ乾草	10.0		10.0	
アルファルファ低水分サイレージ	5.0		5.0	
トウモロコシ・サイレージ	16.0		0	
ソルガム・サイレージ	0		15.0	
トウモロコシ穀粒	10.0		0	
ソルガム穀粒	0		10.0	
ジスチラーズ・グレイン	3.0		3.0	
大豆粕	6.5		5.5	
全粒綿実	4.0		4.0	
ミネラルとビタミン	1.5		1.5	
予測産乳量、ポンド	85		85	

乾乳期乳牛用飼料の例

項目	トウモロコシ主体		ソルガム主体	
	乳牛 1 頭当たりのポンド/乾物量		乳牛 1 頭当たりのポンド/乾物量	
小麦わら	15.0		15.0	
トウモロコシ・サイレージ	5.0		0	
ソルガム・サイレージ	0		5.0	
トウモロコシ穀粒	1.0		0	
ソルガム穀粒	0		1.0	
ジスチラーズ・グレイン	4.0		4.0	
ミネラルとビタミン	1.0		1.0	

---

## REFERENCES

- Abdelgadir, I. E. O., and J. L. Morrill. 1995. Effect of processing sorghum grain on dairy calf performance. *J. Dairy Sci.* 78:2040-2046.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1105-1111.
- Aydin, G. R., R. J. Grant, and J. O'Rear. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2127-2135.
- Bolsen, K. K., C. Grimes, and J. G. Riley. 1977. Milo stover in rations for growing heifers and lambs. *J. Anim. Sci.* 45:377-384.
- Bush, L. J., B. J. Steevens, K. E. Rauch, and R. M. Alexander. 1972. Methods of processing sorghum grain for lactating cows. *MP 87:146 Anim. Sci. Res. Rep., Oklahoma Agric. Exp. Stn. Stillwater.*
- Chen, K. H., J. T. Huber, C. B. Theurer, R. S. Swingle, J. Simas, S. C. Chan, Z. Wu, and J. L. Sullivan. 1994. Effect of steam flaking of corn and sorghum grain on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77:1038-1043.
- Dairy One Forage Laboratory Feed Sample Data Base. <http://www.dairyone.com/Forage/FeedComp/mainlibrary.asp> Accessed May 1, 2010.
- Dann, H. M., R. J. Grant, K. W. Cotanch, E. D. Thomas, C. S. Ballard, and R. Rice. 2007. Comparison of brown midrib sorghum-sudangrass with corn silage on lactational performance and nutrient digestibility of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:663-672.
- Herrera-Saldana, R. E., J. T. Huber, and M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73:2386-2393.
- Khan, M. A., H. J. Lee, W. S. Lee, H. S. Kim, S. B. Kim, S. B. Park, K. S. Baek, J. K. Ha, and Y. J. Choi. 2007. Starch source evaluation in calf starter: I. Feed consumption, body weight gain, structural growth, and blood metabolites in Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 90:5259-5268.
- Khan, M. A., H. J. Lee, W. S. Lee, H. S. Kim, S. B. Kim, S. B. Park, K. S. Baek, J. K. Ha, and Y. J. Choi. 2008. Starch source evaluation in calf starters: II. Ruminant parameters, rumen development, nutrient digestibilities, and nitrogen utilization in Holstein calves. *J. Dairy Sci.* 91:1140-1149.
- Larrain, R. E., D. M. Schaefer, S. C. Arp, J. R. Claus, and J. D. Reed. 2009. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum, or a mix of both: Feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 87:2089-2095.
- Maxson, W. E., R. L. Shirley, J. E. Bertrand, and A. Z. Palmer. 1973. Energy values of corn, bird-resistant, and non-bird-resistant sorghum grain in rations fed to steer. *J. Anim. Sci.* 37:1451-1457.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Klopfenstein, T., and F. G. Owen. 1981. Value and potential use of crop residues and by-products in dairy rations. *J. Dairy Sci.* 64:1250-1268.
- Mitzner, K. C., F. G. Owen, and R. J. Grant. 1994. Comparison of sorghum and corn grains in early and midlactation diets for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:1044-1051.
- Oliver, A. L., R. J. Grant, J. F. Pederson, and J. O'Rear. 2004. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:637-644.
- Owen, F. G. 1967. Factors affecting nutritive value of corn and sorghum silage. *J. Dairy Sci.* 50:404-416.
- Rahnema, S. H., B. Theurer, J. A. Garcia, W. H. Hale and M. C. Young. 1987. Site of protein digestion in steers fed sorghum grain diets. II. Effect of grain processing methods. *J. Anim. Sci.* 64:1541-1547.
- Schingoethe, D. J., K. F. Kalscheur, A. R. Hippen, and A. D. Garcia. 2009. The use of distillers products in dairy cattle diets. *J. Dairy Sci.* 92:5802-5813.
- Theurer, C. B., 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Theurer, C. B., J. T. Huber, A. Delgado-Elorduy, and R. Wanderley. 1999. Summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1950-1959.
- Titgemeyer, E. C. and J. E. Shirley. 1997. Effect of processed grain sorghum and expeller soybean meal on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80:714-721.
- Ward, G. and E. F. Smith. 1968. Nutritive value of sorghum silage as influenced by grain content. *J. Dairy Sci.* 51:1471-1473.



報告先： 全米ソルガム・チェックオフ・プログラム

筆者： スコット・ベイヤー博士  
家禽スペシャリスト  
カンサス州立大学 動物科学・産業学部

Dr. Scott Beyer  
Department of Animal Sciences and Industry  
Kansas State University

130 Call Hall  
Manhattan, KS 66506-1600, 785-532-1201, sbeyer@ksu.edu

プログラム表題： グレイン・ソルガムの家禽用飼料への使用：ブロイラー、産卵鶏および七面鳥に給与した場合の飼料設計戦略、加工処理要件および栄養価

概要：

本プロジェクトの全体目標を達成するために必要となる科学文献は、多くの分野で非常に不足している。家禽の栄養要求量が最終更新されたのは1994年だが、その前から、夥しい量のデータがあるにもかかわらず、ソルガム関連で十分な単純反復試験を実施した研究プロジェクトが発表されることはなかった。1994年より前のデータが使用されていたら、または過去の品種のソルガムを使用した他の国のデータが含まれていたなら、本報告書の最終データは単にそれら既存のデータを新たにレビューしたものにすぎなくなり、読者に誤解を与えてしまうであろう。筆者らが本書で目指したのは、ソルガムの潜在的ユーザーに最新情報を提供し、彼らが他の穀粒との比較においてソルガムの評価を十分に行い、ソルガムを見直すことで有利な価格決定機会を得られるようにすることである。

1. このレビューは旧データや旧品種を使用したデータを含まず、最近発表された有意義なデータに限定して説明している。
2. タンニンを多く含有するソルガムを生産する国の新たな試験についての記載はない。
3. 驚くべきことに、米国にはソルガムに関する研究データがほとんど見当たらない。これは米国で家禽用飼料としてソルガムが大量に使用されていないため当然ではある。しかし、米国はソルガムの最大生産国であり輸出国でもあることから、ソルガムに注目する価値は十分にあると思われる。
4. ソルガム DDGS がブロイラーやその他の家禽類用飼料として試験された例はほとんどない。
5. 産卵鶏、ブロイラーおよび七面鳥について別途発表をしようとしても、その発表を何らかの形で完成するための十分な産卵鶏や七面鳥の情報がない。嘆かわしいことではあるが、七面鳥の情報は不足しており、最近の米国のデータはほとんどない。他のソルガム生産国では七面鳥の生産が盛んではないため、多くの試験が必要ではない。
6. 本書は、生きた資料、すなわち新たなデータが発表されることに更新され、不十分な分野が補足されるものと考えべきである。例えば、家禽に給与した場合のソルガムのエネルギー価やアミノ酸生物学利用能、リン等、重要ミネラルの生物学的利用能の最新データを記載した表が家禽には必要であるが、何らかの意味のある内容を示すに足る信頼性のあるデータは存在しない。

### 序文

すべて家禽類には、飼料に穀物を高い割合で配合してタンパク質やエネルギーを給与することが求められる。全世界で家禽用飼料に配合されている主要穀物には、トウモロコシ、小麦、大麦、米およびソルガムなどがある。米国でのグレイン・ソルガムの生産量はトウモロコシよりもはるかに少なく、ソルガムを生産する地域では家禽が飼育されていないこともあり、動物用飼料としての使用量も少ない。しかしながら、米国のソルガムとトウモロコシの両方を栽培している地域では、ソルガムはブロイラー、七面鳥および産卵鶏の生産業者によって二番目によく使用される穀物である。

グレイン・ソルガムの新品種は、ブロイラー、産卵鶏、七面鳥およびカモ類にとって優れたタンパク質およびエネルギーの供給源である。ソルガムは水資源が限られている地域で栽培されることが多く、ソルガムの生産に必要とされる環境資源は少なくすむことから、より大量の水や肥料の供給を必要とする穀物に比べると環境への負荷が少ないと考えてグレイン・ソルガムを利用しているユーザーがいる。価格を見合えば、グレイン・ソルガムは、トウモロコシの代わりに、ブロイラーや産卵鶏用の飼料に70%まで、七面鳥用の飼料には55%まで配合することができる。

ソルガムの栄養組成は、家禽用飼料に配合されている一般的なタンパク質源と同等であり、そのような配合をした場合はトウモロコシと非常によく似たものになる。アミノ酸消化率について言えば、現在米国で生産されているソルガム品種は、特に最近のものであればほとんどのトウモロコシに匹敵するようになる。家禽に給与した場合の、グレイン・ソルガムの脂肪含有率、即ち、エネルギー価は、トウモロコシよりもわずかに下回るが、動物性副産物ミールや油脂など他の飼料エネルギー源によってこの差は容易に調整できる。卵黄の着色およびブロイラーの皮膚の着色に必要な黄色系キサントフィルについては、グレイン・ソルガムに含まれる量はトウモロコシを下回る。薄い色の食肉製品が顧客に好まれる場合は、販促上有利になるよう枝肉の色素を減少させるため、ソルガムを利用できる可能性がある。濃い着色を必要とする卵黄など、色要件のある製品の場合、マリーゴールドオイル、酵母製品、合成化合物他の多様な色素源を使用することが可能で、さらにはトウモロコシを原料とするDDGSも広く供給されており、飼料に加えることも可能である。DDGSについては、多くの場合は最低コスト原料でもある。

飼料製造の過程でグレイン・ソルガムを処理する場合、新たな試験によって示されることは、トウモロコシと同様、ソルガムには加工処理条件があるということである。飼料の製造では、ソルガムの粒径が家禽による栄養摂取率より重要になってくる。グレイン・ソルガムを過剰に処理すると、化学的架橋を形成し栄養成分の利用性を減少させることがある。成績を損ねることなく、全粒ソルガムを家禽用飼料に配合できることを実証した試験さえある。

植物育種家によるソルガムの品種改良は続いている。米国で作付されているソルガムには、栄養成分の代謝と吸収を阻害するタンニンがほとんど含まれていない。ソルガムに含まれるタンニンを減少させてきたため、家禽の栄養成分消化率が格段に向上した。ソルガムの栄養価に関する旧データベースや基準表を精査し、タンニンを含有するソルガム品種に基づく試験およびソルガムを過小評価した飼料設計に記載されているユーザーリスクを削

除するべきである。実際、過去15年の間に、かつて「家禽用飼料に配合した場合のソルガムの栄養価はトウモロコシより10%下回る」という経験則は、もはや真実ではなくなってきている。現実には、他の飼料原材料を多少変更するだけで、家禽用飼料においてソルガムを完全にトウモロコシと代替して使用することも可能である。

### 過去のグレイン・ソルガム関連文献による栄養成分の価値

#### 一貫性のないデータに注意すること

数年前までは、グレイン・ソルガムの栄養価をトウモロコシや小麦よりも低くみる家禽栄養管理担当者が大勢を占めていた。ソルガムの栄養価はトウモロコシの総飼料価値の85~95%とされていた。このため、最低コストの飼料設計においてトウモロコシを代替するソルガムに関して言えば、飼料設計に加える前にトウモロコシを大幅に下回る価格でソルガムを売買しなくてはならなかった。現在のソルガム品種は最低コストの飼料設計においてその頃より有利にトウモロコシと競合している。

グレイン・ソルガムの旧品種には、タンニンと呼ばれる栄養阻害化合物が比較的高い率で含まれていた。家禽用飼料にタンニンが存在すると、いずれの家禽についても成長や成績が阻害されることがよく知られている(1)。タンニンがタンパク質に結合すると代謝への有効性が低下する。タンニンによってソルガム畑の鳥害は軽減されるが、家禽もまた鳥類であり、タンニンの栄養阻害特性の影響を受ける。

このデータは、様々なタンニン含有率のソルガム品種を使用した何十年にもわたる試験から得られたもので、ソルガムとトウモロコシを比較して飼料価値を示す表やその他の参考文献の作成に使用されてきた。残念なことに、ソルガムを扱った経験のない栄養管理担当者の多くは、比較的栄養成分の数値が高い新たな品種が実際に導入された場合でも、ソルガムがトウモロコシより劣った穀物という考えを変えることはない。現在でも大量のタンニンを含むグレイン・ソルガム品種を栽培する地域は多い(2)が、現在米国で動物飼料用に栽培されている品種のタンニン含有率は低く、99%タンニンフリーという品種もある。

#### ソルガム栄養成分関連参考文献

米国で家禽の栄養に関連して使用されてきた参考文献は「The Nutrient Requirements of Poultry (家禽の栄養要求量)(NRC: 米国学術研究会議)」で最新版は1994年に発行された(3)。NRCのこの資料の第4版では、8%と10%の2つの粗タンパク質レベルでグレイン・ソルガムの一般組成が記載されている(表1)。トウモロコシと比較したソルガムの近似分析では、ソルガムに含まれる脂肪が少なく非フィチン酸リンがわずかに多いというだけで、これら2種類の穀物がほぼ同等であることが示されている。脂肪が少ないため、家禽に給与した場合エネルギー価がやや低くなる(TME<sub>n</sub>: 窒素補正した真の代謝エネルギーにて測定)。しかしながら、本書の発行時点のソルガムの平均タンパク質含有率は、ソルガムがトウモロコシよりもタンパク質を多く含むことを示している。

表2では、NRC発表のソルガムおよびトウモロコシのアミノ酸(aa)組成が示されている(1)。ソルガムのaa組成はトウモロコシと同等で、世界的にタンパク質源として飼料によく使用される大豆粕のaaを補完する。グレイン・ソルガムのリジンやメチオニンの含有率はトウモロコシ

をわずかに下回るが、これらの合成アミノ酸を現行の有効率で最低コスト飼料に補給すれば、aa含有率のわずかな違いはさほど重大ではなくなる。

現在の大半の養鶏業者は消化率のデータを使用して飼料を調製している。NRCによる表3では、グレイン・ソルガムを家禽に給与した場合のアミノ酸有効率が示されている(3)。ソルガムに含まれる必須aaのリジンとメチオニンは、トウモロコシをわずかに下回る。しかしながら、こうしたデータはタンパク質含有率に応じて均一化するため、実際に成長に有効なaa量は、トウモロコシよりもソルガムの方が高くなる。

生産者が代替穀物の選択肢としてグレイン・ソルガムを評価する場合、飼料設計ソフトにおいてソルガムの栄養成分に割り当てられた栄養価に注意しなければならない。例えば、NRC(3)の表を作成する際に使用されたデータには、タンニンを含み栄養価に劣る品種を基準にしたものがあり、現在の基準では正確性や厳密性に欠ける可能性がある。データの多くは要約されたものなので、ソルガムを含めてどの穀物の新品種についても記載がある。現在米国から輸出されるグレイン・ソルガムの栄養素の質は数年前のものよりはるかに改善されている。米国以外の地域で得られたソルガムに含まれるタンニン含有率について懸念があれば、タンニンの有無を見極めるために簡単な試験を行うことができる(4、5)。

#### 現在の栄養成分データ

1990年代、世界の研究者は、タンニンを減らし栄養成分の消化率を向上させたグレイン・ソルガム品種の試験を開始した。タンニンを低減したソルガムをその時期から栽培している国でまとめられたデータでは、現在のソルガムの平均栄養価が過去の測定値より高くなる傾向がみられるようになってきた。実際、ソルガム飼料について豊富な経験がある米国とメキシコの養豚業者および養鶏業者は、関連する栄養価の比較において、グレイン・ソルガムをトウモロコシとほぼ同等に評価している。こうした業者は、経済的な事情により、飼料用穀物の一部または全部を代替する穀物としてグレイン・ソルガムを好んで選択することがよくある。

栄養管理担当者は、タンニンフリーのソルガムのみを基準にしてグレイン・ソルガム品種を評価しなければならない。現在輸出されているほとんど全てのソルガムはNo. 2グレイン・ソルガムであり、タンニンフリーで、1型ソルガムと称される。ソルガムの試験では、その供給源を表示すべきである。

#### 家禽に支給した場合の現在のグレイン・ソルガム飼料価値

新品種のグレイン・ソルガムの栄養価がほぼトウモロコシに匹敵することが研究により示されている。カンサス州立大学のKriegshauserらは、2006年(6)に近似分析で数品種のソルガムをトウモロコシと比較し、予想通りソルガムがタンパク質の値では上回るが、エネルギー価や脂肪含有率はトウモロコシをわずかに下回ることを見出した(表4)。トウモロコシの平均リジン含有率が0.30%であったのに対し試験対象ソルガムは0.26%であったが、ソルガムのアミノ酸組成はトウモロコシとほぼ同等であった(表5)。ブロイラーの雛を使用したアッセイ(6)では、栄養組成を改善したソルガム品種のME(代謝エネルギー)数値もまたトウモロコシと同様の試験結果となった。この試験

結果はソルガムの栄養価の多くがトウモロコシとほぼ同等であることを示している。

現在のグレイン・ソルガム品種と他の穀物とを個別に比較した消化率に関する試験はほとんどない。Huangらは、2006年に、ブロイラー、産卵鶏およびレグホン種成鶏雄を使用し、ソルガムとトウモロコシの見かけの回腸消化率を比較する独自の試験を実施した(7)(表6)。3種の鶏に給与した場合のソルガム対トウモロコシの粗タンパク質消化率はほぼ同じであるが、aaリジンおよびメチオニンについてはトウモロコシの方がわずかに消化率で上回った。タンパク質含有率および消化率は近年改善したかもしれないが、アミノ酸の消化率は依然違いがあることをこの試験は示している。ブロイラーによる回腸の消化率試験を使用した同様の研究では粗タンパク質の消化率はソルガムがトウモロコシを上回る(99%対81%)ことが分かった(8)。トウモロコシおよびソルガムの各アミノ酸の消化率は、必須アミノ酸についてはほぼ同じであった。

Lemmeらは、2004年にソルガムとその他の穀物の回腸消化率の比較試験を実施した(10)。粗タンパク質の消化率を比較すると、ソルガムは86%でトウモロコシは90%で、aa消化率については、ソルガムはトウモロコシをわずかに下回った。これ以降の試験は、ソルガムのaa消化率がトウモロコシの値の平均95%から97%と似通った結果を示すものが多く、それより前のデータの数値をはるかに上回る。

Nyannorらが実施した特定のソルガム品種の飼料価値を測定する最近の研究では、ブロイラーの成績の改善はグレイン・ソルガムを選択することで達成できることが示されている(9)。「ブロイラーの雛の生育成績はトウモロコシでもソルガムでも等しく維持できる。ソルガム・グレインは栄養の質という点でトウモロコシに全く引けを取らない。また、厳しい気候条件にも耐えるという付加価値があるため、経済的に非反芻胃動物の飼料に配合することが可能で、有利な価格設定をすれば、トウモロコシに対する需要圧力を軽減することができる」と筆者は結論付けている。

低タンニンまたはタンニンフリーの品種を使用することを条件にすれば、家禽に給与した場合のソルガムの栄養価はトウモロコシとほぼ同等であると世界の栄養管理担当者は共通に認識している。米国から調達したグレイン・ソルガム品種を懸念なく使用することができるのは、米国では動物飼料に配合するソルガムの価値を最大化するために低タンニン品種が栽培されているためである。

#### ソルガム主体飼料用酵素

穀物の多くは、酵素の添加によって、その栄養成分の有効性が高められ、栄養阻害要素の影響が軽減されるため、家禽になんらかの効果をもたらす。たとえば、グルカナゼ酵素を使用することで、小麦・大麦主体飼料の粘性の悪影響は軽減する。栄養阻害要素の存在する可能性がありタンパク質層の消化が困難なソルガムは、酵素によって飼料価値を向上できる可能性がある原材料のよい一例である。研究グループは、市販のペクチナーゼ、アグルカナゼおよびヘミセルラーゼの混合物をブロイラー用のソルガム-大豆飼料に添加しその効果を試験した。最低限の栄養成分組成の飼料に添加した場合、回腸aa消化率が3%向上し、また、ME値では6%以上の上昇を確認した(16)。この結果はソルガムから得る栄養成分を増加するために酵素を使用することが可能であることを示している。Cadoganらはフィターゼ酵素製剤を使用したソルガム主体飼料の

## グレイン・ソルガムの家禽用飼料への使用

試験を実施して、酵素によるブロイラーの増体量、アミノ酸消化率、デンプン消化率および成績の改善状況を調べた(17)。件数は少ないが試験により鶏の成績を改善するために酵素製剤を使用できる可能性があることが分かっているが、データベースの作成は、現在小麦、大麦およびトウモロコシに対する同様の試験に遅れを取っている。

### 家禽飼料用グレイン・ソルガムの加工処理法

熱や蒸気、水分や圧力、粉碎といった物理的および化学的な影響は、ソルガムなど飼料穀物の消化率に影響を及ぼすことが知られている。ブロイラーおよび七面鳥の飼料は、使用される穀物の種類を問わず増体量や飼料効率の改善をもたらすペレット状で給与されている。従って、米国の肉用家禽用の飼料は実質 100% ペレット状にされている。使用する処理方法によって、ソルガムの栄養成分の有効性を他の穀物を優に上回るまで高めることが可能であると示唆する研究者もいる。そこで粒径、加工処理時間、ペレット加工法等あらゆる要素がソルガムの飼料価値に影響を及ぼすことになる可能性がある。

グレイン・ソルガムをミリング加工して飼料を生産する影響を調べる研究は最近少ない。さらに、ペレット飼料に使用されるトウモロコシの量はソルガムを上回ることから、養鶏業界関連の飼料製造業者はソルガム処理よりもトウモロコシ処理の方が経験豊富である。

飼料製造業者は、栄養成分の変化だけでなく、特定の原材料を取扱い配合することに伴って必要となる変更点も含めて、関連する「コスト」を考慮しなければならない。保存または分別保存、粉碎条件およびミリング処理量は、1種類の新たな追加の穀物を取り扱う際に検討しなければならない要素の一部にすぎない。基礎栄養成分のコストを削減できても、その節約分をこのような製造プロセスで無にしている、賢明な決定をしたことにならない。

経験を積んだ飼料製造業者なら、ソルガム配合飼料のペレット化が困難であることに異論はないだろう。理由のひとつは、飼料に含まれるエネルギー価がわずかに低いことがあげられる。こうした飼料は脂肪を添加して調製を加えることがあり、そのためペレットの品質が低下することが知られている。必要なペレット品質を得るために保管期間、温度等の調整が必要になることがある。さらに、製造業者がグレイン・ソルガムの大規模な処理を行う場合には注意が必要である。Selleらは2010年(11)に他の研究者のデータをまとめ、ソルガムは湿熱に対して脆弱であり、カフィリン・タンパク質に望ましくない化学的架橋をもたらす栄養の質を低下させる可能性がある」と結論している。ソルガムに含まれる一部のタンパク質とデンプン間で生じる架橋に関する試験があるが、処理条件によってそれが影響を受けるかどうかはわかっていない(RooneyとPflugfelder, 1986)(12, 15)。膨脹(エキスパンション)等の方法を用いてソルガムのタンパク質の再構成を試みた試験では、ソルガム主体飼料の最終ペレット製品の品質は膨脹により著しく改善するが、ほかの多くの場合に見られるのとは異なり、ペレット品質を改善してもブロイラーの成績が改善しないことがわかった。架橋による低消化性に対する膨脹がもたらす軽減効果を、このような過剰な加工処理が相殺してしまったとも考えられるソルガム固有の加工処理要件を見極めるための試験が必要とされることである。

飼料の粒径が栄養成分の利用性に影響を及ぼすことがある。しかしながら、ブロイラー、産卵鶏および七面鳥は粉

砕した時点の粒径の大きさではなく完成飼料の粒子の大きさによって飼料を選ぶ。家禽は口内で咀嚼によって粒子を小さくするのではなく、砂嚢によって穀粒を最終的な大きさに減径し、その後小腸へと送り出す。従って、消化管が成熟している家禽は、大きな穀粒を大量に消化できるはずである。実際に、処理せず全粒のままのソルガムを給与すると家禽がよく成長することが試験によって示されている。ソルガムの価格が小麦やトウモロコシの一部を代替する飼料として見合う場合、穀物の少量配合を全粒の状態ですべて飼料に配合することにより行うことによって最もコスト効率を高くすることができる。

Rogersら(13)は全粒ソルガムをブロイラー用ペレット飼料に配合し、粉碎ソルガムのペレットと比較した場合、ペレット飼料と全粒ソルガムを給与したブロイラーは同等の成績となることを見出した。他の研究グループもまた生育に悪影響を及ぼすことなく家禽用飼料に全粒ソルガムを配合できることを試験結果で示した。BiggsとParsonsは2009年(14)全粒ソルガムを10%または20%配合した飼料を3週齢の家禽に給与し、粉碎ソルガムを給与した場合と同様の成績を得た。これらの試験は、飼料の一部として全粒グレインを給与するとMEN(窒素補正した代謝エネルギー)とaa有効率が向上することを共通して示している。しかしながら、全粒飼料を好む傾向がある家禽の成長速度には影響を及ぼす可能性があるため、ペレット飼料に全粒グレイン(13)を配合することが選り食いを防ぐために推奨される方法と思われる。

ソルガムを微細粒径にまで粉碎することで利用性が改善すると結論付けている試験結果がある。ブロイラーの雛については、Healyら(15)がソルガムを500~700 $\mu$ mにまで粉碎すると増体量が増加することを示した。増体効率も微粉碎ソルガムがトウモロコシを上回った。増体効率を向上させるのに最適な粒径は、硬性のソルガムで300 $\mu$ m、軟性のソルガムで500 $\mu$ mであった。重要な注意点として、トウモロコシとの比較において、粒径900 $\mu$ mのソルガムでは雛に給与した場合の飼料価値が硬性、軟性ともトウモロコシの92%であったが、それぞれの最適な粒径で給与した場合は、相対的飼料価値は軟性、硬性ともトウモロコシの99%となったことである。こうしたデータは、ブロイラーの雛にソルガムを最適な粒径まで粉碎して給与した場合、トウモロコシと同等の飼料価値を得ることができ、雛が成長するにつれ、最適な粒径が大きくなることを示唆している。つまり、全粒ソルガムも粉碎ソルガムも同等にブロイラーに給与できることを示す最近増えている新しいデータとは矛盾が生じるようになる。グレイン・ソルガムを家禽飼料として配合する場合、栄養成分を最適にするためには、ソルガム主体飼料の粒径要件を定めるさらなる試験が必要とされる。ソルガムをこうしたレベルまで減径するためのコストは得られる栄養成分の価値を上回ると考えられるため、細かく粉碎した家禽用飼料が採算に合うものになるとは思われない。飼料製造業者は、ソルガムの粉末を厳密に家禽に給与するためではなく、必要とされるペレットの品質に基づいて粒径を選択すべきであろう。

### ソルガム・ジスチラーズ・グレイン・ウイズ・ソリュブル(DDGS)

現在、米国ではグレイン・ソルガムの30%がエタノール製造に使用されている。エタノールは自動車や発電用の燃料として使用される主要バイオ燃料である。エタノールはソルガムなどの穀物を発酵して製造することができる

が、米国ではエタノールの大半はトウモロコシを原料として製造されている。エタノール生産量が増大すれば動物飼料として使用できる DDGS の産出量も増大することが予測される。

今までのところ、DDGS 関連で実施された試験の大半は、トウモロコシを原料とした DDGS を対象としたものである。ソルガムを原料とした DDGS を対象とした発表済みの試験の件数は非常に限られており、それらは全て DDGS を豚、肉牛および乳牛に給与した場合の飼料価値を調査したものである。基本的に、いずれの種類の家禽についてもソルガムを原材料とする DDGS を給与した場合の飼料価値を測定した、現時点で発表済みかつ信頼の置ける試験データは存在しない。

ソルガムを原材料とした DDGS を家禽に給与した場合の価値を測定した試験はほとんど存在しないが、それでも、ソルガムは、おそらくブロイラー、産卵鶏および七面鳥用の貴重な飼料原材料になると思われる。この 10 年でトウモロコシ原料の DDGS は養鶏業者により大量に使用されるようになり、ソルガムが同様に使用されるようになることも十分考えられる。グレイン・ソルガムは家禽によく給与されることから、ソルガム DDGS にも家禽の飼料設計上同様のメリットが当然あると考えられる。このことは、トウモロコシ穀粒およびトウモロコシ由来 DDGS についてもあてはまっている。グレイン・ソルガムを湿熱処理すると、栄養成分が架橋を形成し、家禽の代謝が困難になることを示す文献があることから、ソルガム DDGS を家禽用飼料に配合する前に、栄養成分の生物学的利用能を見極めることが重要となるであろう。

#### 家禽用飼料配合用グレイン・ソルガム・チェックリスト

1. 現時点のグレイン・ソルガム品種を対象とした最新の栄養組成表を使用しているか確認する。
2. ソルガム飼料は、全栄養成分の比率ではなく消化率に基づき設計調製する。
3. ため、熱、摩擦または水分でソルガムを過剰に加工処理することを避けて架橋や重要な栄養素の損失を減らす。
4. 家禽の要求性ではなく、製造において課せられる制約に基づき家禽に適した粒径を選ぶ。
5. 米国で栽培された低タンニンの品種が動物の成績に影響を及ぼすことはないという確信をもってソルガムを使用する。

#### References

1. C. M. Nyachoti, J. L. Atkinson and S. Leeson, 1996. Response of Broiler Chicks Fed a High-Tannin Sorghum Diet. *J Appl. Poult. Res.* 5:239-245
2. C. M. Nyachoti, J. L. Atkinson and S. Leeson, 1997. Sorghum tannins: a review. *World's Poult. Sci. J.* 53:5-21.
3. *The Nutrient Requirements of Poultry (1994), 9th Revised Ed.* National Research Council, NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C.
4. R. D. Waniska, L. F. Hugo, and L. W. Rooney, 1992. Practical methods to determine the presence of tannins in sorghum. *J. Appl. Poult. Res.* 1:122-128.
5. B. Boren, and R. D. Waniska, 1992. Sorghum seed color as an indicator of tannin content. *J. Appl. Poult. Res.* 1:117-121.
6. T. D. Kriegshauser, M. R. Tuinstra and J. D. Hancock, 2006. Variation in Nutritional Value of Sorghum Hybrids with Contrasting Seed Weight Characteristics and Comparisons with Maize in Broiler Chicks. *Crop Sci* 46:695-699.
7. KH Huang, X Li, V Ravindran, and WL Bryden, 2006. Comparison of apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients measured with broilers, layers, and roosters. *Poultry Sci.* 85: 625-634.
8. Ravindran, V.; Hew, L. I.; Ravindran, G.; Bryden, W. L., 2005. Apparent ileal digestibility of amino acids in dietary ingredients for broiler chickens. *An. Sci.* 81:85-87.
9. E. K. D. Nyannor, S. A. Adedokun, B. R. Hamaker, G. Ejeta and O. Adeola, 2007. Nutritional evaluation of high-digestible sorghum for pigs and broiler chicks. <http://jas.fass.org/cgi/content/full/85/1/196-FN1> *J. Anim. Sci.* 2007. 85:196-203
10. A. Lemme, V. Ravindran and W.L. Bryden, 2004. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World's Poultry Science Journal* 60:423-438
11. P. H. Selle, D. J. Cadogan, X. Li, and W. L. Bryden, 2010. Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. *An. Feed Sci., and Tech.* 156:57-74.
12. Rooney, L.W. and R.L. Pflugfelder. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *J. Anim. Sci.* 63:1607-1623.
13. N. Rodgers, L. L. Mikkelsen, B. Svihus, H. Hetland, and M. Choct, 2009. Effect of grain particle size and milling method on broiler performance and apparent metabolizable energy. *Proc. 20th Australian Poultry Science Symposium, Sydney, New South Wales, Australia*, pp 133-136.
14. P. Biggs and C. M. Parsons, 2009. The effects whole grains on nutrient digestibility, growth performance, and cecal short chained fatty acid concentrations in young chicks fed ground corn soybean meal diets. *Poultry Sci.* 88:1893-1905.
15. K. G. Duodu, J.R.N. Taylor, P. S. Belton, and B. R. Hamaker, 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *J. Cereal Sci.* 38:117-131.
16. A. D. Dominguez, A. C. Cuevas, B. F. Martinez, C. L. Coello, A. E. Gonzalez, 2009. Effect of supplementing an enzyme mixture in sorghum+soybean meal diets on apparent ileal amino acid and protein digestibility, metabolizable energy, and productivity in broilers. *Tecnica Pecuaria en Mexico* 47:15-29.
17. D. J. Cadogan, P. H. Selle, D. Creswell, and G. Partridge, 2005. Phytate limits broiler performance and nutrient digestibility in sorghum based diets. *Proc of the 17th Australian Poultry Science Symposium, Sydney, New South Wales, Australia*.
18. K.R. Cramer, K.J. Wilson, J.S. Moritz, and R. S. Beyer. 2003. Effect of Sorghum Based Diets Subjected to Various Manufacturing Procedures on Broiler Performance. *J. Appl. Poult. Res.* 12:404-410.

## グレイン・ソルガムの家禽用飼料への使用

表 1: 家禽用飼料のソルガムおよびトウモロコシの成分 (給餌時) (NRC, 1994)<sup>3</sup>

	ソルガム 8-10% タンパク質	ソルガム 10% 超のタンパク質	トウモロコシ
乾物 (%)	87	88	89
MEn (kcal/kg)	3288	3212	3350
TMEEn (kcal/kg)	3376	---	3470
タンパク質 (%)	8.8	11.0	8.5
エーテル抽出物 (%)	2.9	2.6	3.8
リノール酸 (%)	1.13	.82	2.20
粗繊維 (%)	2.3	2.3	2.2
総カルシウム (%)	.04	.04	.02
非フィチン酸リン (%)	.30	.32	.28
リン (%)	---	---	.08

表 2: ソルガムおよびトウモロコシのアミノ酸組成 (給餌時) (NRC, 1994)<sup>3</sup>

	ソルガム 8-10% タンパク質	ソルガム 10% 超のタンパク質	トウモロコシ
乾物 (%)	87.5	88.0	88.0
タンパク質 (%)	9.1	11.0	8.5
アルギニン (%)	.35	.35	.38
グリシン (%)	.31	.32	.33
セリン (%)	.40	.45	.37
ヒスチジン (%)	.22	.23	.23
イソロイシン (%)	.35	.43	.29
ロイシン (%)	1.14	1.37	1.00
リジン (%)	.21	.22	.26
メチオニン (%)	.16	.15	.18
シスチン (%)	.17	.11	.18
フェニルアラニン (%)	.47	.52	.38
チロシン (%)	.34	.17	.30
スレオニン (%)	.29	.33	.29
トリプトファン (%)	.08	.09	.06
バリン (%)	.44	.54	.40

表 3: ソルガムおよびトウモロコシに含まれる主なアミノ酸の真の消化率係数 (%) (NRC, 1994)<sup>3</sup>

	ソルガム穀粒 (8.8%)	トウモロコシ穀粒 (8.8%)
リジン	78	81
メチオニン	89	91
シスチン	83	85
アルジニン	74	89
スレオニン	82	84
バリン	87	88
イソロイシン	88	88
ロイシン	94	93
ヒスチジン	87	94
フェニルアラニン	91	91

表 4: トウモロコシおよびソルガム・ハイブリッド穀粒サンプル近似分析 (% 乾物ベース)<sup>6</sup>

	化学組成					
	タンパク質	脂肪	繊維	灰分	NFE	総エネルギー
			%			Mcal kg <sup>-1</sup>
トウモロコシ	10.2	3.8	2.2	1.4	73.8	4498
ソルガム (平均 8 品種)	12.7	3.5	2.2	1.5	72.0	4528

表 5: ソルガム品種の必須アミノ酸平均含有率 (% 乾物ベース)<sup>6</sup>

ハイブリッド	必須アミノ酸 (%)											
	ARG	GLY+SER	HIS	ILE	LEU	LYS	MET+CYS	PHY+TYR	THR	TRP	VAL	TOTAL
トウモロコシ	0.46	0.79	0.30	0.32	1.17	0.30	0.47	0.77	0.34	0.07	0.46	5.42
ソルガム	0.45	0.84	0.29	0.44	1.54	0.26	0.46	0.98	0.37	0.09	0.58	6.30

表 6: ブロイラー、産卵鶏、雄鶏に給与した場合の、ソルガムおよびトウモロコシに含まれる粗タンパク質およびアミノ酸の見かけの回腸消化率 (%) 係数

パラメータ	ブロイラー		産卵鶏		雄鶏	
	ソルガム	トウモロコシ	ソルガム	トウモロコシ	ソルガム	トウモロコシ
粗たんぱく質 (N x 6.25)	0.82	0.80	0.76	0.78	0.78	0.79
スレオニン	0.71	0.67	0.67	0.61	0.67	0.63
バリン	0.84	0.83	0.78	0.77	0.81	0.80
メチオニン	0.88	0.91	0.80	0.87	0.84	0.92
イソロイシン	0.87	0.85	0.80	0.81	0.83	0.83
ロイシン	0.91	0.91	0.84	0.88	0.88	0.90
フェニルアラニン	0.89	0.88	0.82	0.85	0.85	0.87
ヒスチジン	0.75	0.86	0.66	0.79	0.70	0.83
リジン	0.83	0.79	0.80	0.75	0.81	0.73
アルギニン	0.84	0.88	0.81	0.85	0.81	0.86
平均	0.84	0.84	0.77	0.80	0.80	0.82











**U.S. GRAINS**  
C O U N C I L

**アメリカ穀物協会**

〒107-0052 東京都港区赤坂1丁目6番19号 KY 溜池ビル4階

Tel: 03-3505-0601 Fax: 03-3505-0670

本書はソルガムチェックオフの了解を得てアメリカ穀物協会日本事務所が参考のために翻訳したものである