

## トウモロコシDDGSをめぐる最近の話題

アメリカ穀物協会 DDGSコンサルタント 米持 千里

(No.118号より続く)

### 3.DDGSの栄養評価

DDGSを飼料原料として適正に使用するためには、ME(代謝エネルギー)やNE(正味エネルギー)などの栄養価を正確に把握しておく必要があることは言うまでもない。一方で、前述のようにDDGSの粗脂肪含量には工場によってかなり幅があるため、多くの研究者が様々な化学分析値からMEやNEを推定するための重回帰式の作成を試みている。また、米国の畜産農家の多くは栄養士と契約し、自農場で使用する配合飼料の設計を任せている場合も多く、その際には大手企業が提供しているNIR(近赤外分光光度計)による推定栄養価を使用している例も多い。表2には、比較的最近公表されたDDGSの栄養価推定のために導かれた重回帰式を示したが、これらの重回帰式から得られた栄養価推定値を用いて設計した飼料を実際に家畜に給与した場合、その飼育成績は推定値を必ずしも正確に反映していない例も少なくないことが報告されている(Guneyら 2013, Purdumら 2014, Dozierら 2015, Wuら 2016)。これらの結果を受けて、Wuら(2016)は、粗脂肪含量がより低い製品については重回帰式の見直しを行う必要があることを提案しているが、筆者は製造方法がかなり異なる製品も含めた検討が行われていることも一因ではないかと考えている。すなわち、現在多くのエタノール工場では、原料のトウモロコシを粉碎し、水と再生スチレンジを加えて液状化した後、90~165℃に加熱して糖化させ、品温を32℃程度まで下げたのち発酵を開始している。また、最終的な乾燥段階では多くの場合比較的高温に晒されやすい回転式のドラムドライヤーを用いている(Masa'deh 2011)。一方、粗脂肪含量が4%程度の製品を製造している業者(表3中のG社)では、糖化工程での加熱をしておらず、原料トウモロコシの微粒化と、糖化工程の時間延長で対応している。さらに、乾燥段階でもさほど高温に晒されずに比較的短時間で乾燥が可能なリングドライヤーを用いているなど、従来の製品と栄養価が異なる可能性は否めず、このような製品を含めて同一のテーブル上で検討を行うことにはやや疑問がある。

一方、わが国では配合量が一定割合以上(おそらく1%以上)となる飼料原料を配合飼料に用いる場合、TDN(可消化養分総量)やME等の栄養価表示の関係から、その飼料原

料の栄養価が飼料の公定規格で示されている表中に収載されている必要がある。もし収載されていない飼料原料を使用する場合には、その飼料原料が著しく優れた栄養価を持っていたとしても、表示上はその原料由来の栄養価はない(=0)ものとして配合飼料の栄養価計算を行わなければならない(農林水産省 1976)。このため、配合飼料中に一定割合以上に

表2 化学成分値からのトウモロコシDDGSの栄養価の推定式

(鶏)	Rochell et al. (2011)	AME (kcal/kg) = 3517 + (46.02 × 粗脂肪, %) - (82.47 × 灰分, %) - (33.27 × ヘミセルロース, %)
		AME (kcal/kg) = (-30.19 × NDF, %) + (0.81 × GE, kcal/kg) - (12.26 × CP, %)
	Jie et al. (2013)	AME (kcal/kg) = 6.57111 + (0.51475 × GE, kcal/kg) - (0.10003 × NDF, %) + (0.13380 × ADF, %) + (0.07057 × 粗脂肪, %) - (0.57029 × 粗灰分, %) - (0.02437 × L*値)
		TME (kcal/kg) = 7.92283 + (0.51475 × GE, kcal/kg) - (0.10003 × NDF, %) + (0.13380 × ADF, %) + (0.07057 × 粗脂肪, %) - (0.57029 × 粗繊維, %) - (0.02437 × L*値)
	Meloche et al. (2013)	AME (kcal/kg) = -12282 + (2.60 × GE, kcal/kg) + (89.75 × CP, %) + (125.80 × デンプン, %) - (40.67 × TDF, %)
	(豚)	Kerr et al. (2013)
		ME (kcal/kg) = 4,558 + (52.26 × 粗脂肪, %) - (50.08 × TDF, %)
Anderson et al. (2011)		DE (kcal/kg) = -7,471 + (1.94 × GE, kcal/kg) - (50.91 × 粗脂肪, %) + (15.20 × デンプン, %) + (18.04 × OM消化率, %)
Li et al. (2015)		DE (kcal/kg) = 2064 - (38.51 × NDF, %) + (0.64 × GE, kcal/kg) - (39.70 × 粗灰分, %)
		ME (kcal/kg) = 1554 - (44.11 × NDF, %) + (0.77 × GE, kcal/kg) - (68.51 × 粗灰分, %)
		通常の脂肪含量のDDGS: DE (kcal/kg) = - (87.53 × 粗灰分, %) + (1.02 × GE, kcal/kg) - (22.99 × ヘミセルロース, %)
		ME (kcal/kg) = 7898 - (42.08 × NDF, %) - (136.17 × 粗灰分, %) + (101.19 × 粗脂肪, %) - (103.83 × CP, %)
		低脂肪DDGS: DE (kcal/kg) = 3491 - (40.25 × NDF, %) + (46.95 × CP, %)
		ME (kcal/kg) = 4066 - (46.30 × NDF, %) + (45.80 × CP, %) - (106.19 × 粗灰分, %)
Tanghe et al. (2015)		NE (kcal/kg) = 5.39 + (0.152 × b <sup>*</sup> )
		NE (kcal/kg) = 6.62 + (0.031 × 粗脂肪, %)
		NE (kcal/kg) = 8.59 + (0.028 × 粗脂肪, %) - (0.011 × ADF, %)

ADF : 酸性デタージェント繊維	AME : 窒素補正した見かけの代謝エネルギー
CP : 粗たん白質	DE : 可消化エネルギー
GE : 総エネルギー	NDF : 中性デタージェント繊維
TDF : 総食物性繊維	TME : 正味エネルギー

表3 米国で収集した様々なパンフレットから見たトウモロコシDDGSの成分保証値(原物値)

取扱業者	水分(%)	CP(%)	粗脂肪(%)	粗繊維(%)	粗灰分(%)
A社(通常品)	<12	>26	>10	<10	
B社	<10	>26	9(7~9)	<15	<5.5
C社		>26	>7(7~8)	<11	<6
D社			7		
E社			6~9		
F社			>6.5(7.0)		
G社	<12(10.37)	>27(28.78)	>4(5.23)	<9(7.47)	<8(4.86)

注) ( )内は、各業者のブース担当者から聴取した成分値の範囲または期待値

表4 わが国で公表されているトウモロコシDDGSの栄養価と一般成分値(農林水産省)

原料名等	一般成分(DM%)						栄養価		
	乾物	CP	粗脂肪	粗繊維	NFE	粗灰分	TDN(%)		ME(鶏)(kcal/kg)
							豚	牛	
とうもろこしジスチラスグレイソリュブル*	90.7	28.9	12.1	7.7	46.6	4.7	78.9	84.7	2,900
とうもろこしジスチラスグレイソリュブル**	89.1	32.5	10.2	6.6	45.8	4.9	72.8	78.4	2,490

注) \*: 燃料用アルコールの副産物を乾燥したものであること(2004年公表)

\*\* : 燃料用アルコールの副産物を乾燥したものであって、粗脂肪含量が7~11%となるようにシンスチレージから油分を除去したものであること(2014年追加公表)

配合する可能性がある新規飼料原料については、農林水産省に対して栄養価の暫定値申請が必須となるが、DDGSについても2004年に、粗トウモロコシ油の抽出を行っていない製品(前述したNRCの区分では「高脂肪」に相当)の栄養価が新しい飼料原料(燃料用アルコールの副産物を乾燥したものであること)として登録された。しかし、その後、前述のとおり粗トウモロコシ油の抽出を行った製品が増えたことから、2014年には「燃料用アルコールの副産物を乾燥したものであって、粗脂肪含量が7~11%となるようにシンスチレージから油分を除去したものであること」として脂肪含量が低い製品(前述したNRCの区分では「中脂肪」に相当)の栄養価が追加公表され、現在に至っている(表4)。しかし、2016年10月にデトロイト(米国ミシガン州)で開催された「Export Exchange 2016(主催:アメリカ穀物協会/再生可能燃料協会)」の会場において筆者が入手したDDGS取扱業者のパンフレットに記載されていた成分保証値および各業者のブース担当者から聴取した成分値の範囲や期待値の一覧表(表3)を見ると、粗脂肪含量の保証値を7%弱としている製品も多く、現在7%を保証値としている比較的製造量が多いとされるC社の担当者は、「収益性の問題から、近い将来、自社で取り扱うDDGSの粗脂肪含量を6%程度まで下げる方針である」と話していた。このことは、将来、粗脂肪含量が7%未満の製品が増えた場合には、その製品について新たな栄養価の暫定値申請を再度行わない限り、わが国では使用することが難しいことになる。また、暫定値申請を行わない場合にはわが国で使用できるDDGSの供給源が狭まることにもつながることから、DDGSの粗脂肪含量の変動動向については、今後も注意を払っておく必要がある。

#### 4.DDGSの機能性面での研究

これまで、DDGSに関する研究の多くは、栄養価を含めた各畜種への配合限度量等に関するものであったが、近年DDGSの機能性面の影響に関する検討が行われている。

表5に示したように、DDGS中のビタミンE、キサントフィル(ルテインやゼアキサンチン)および葉酸含量は原料となるトウモロコシに比べて2~3倍に濃縮されており(Shurson(2017))、 $\alpha$ -トコフェロール濃度とDDGS中の粗脂肪含量との間には有意な正の相関がある(Jungら(2013))ことも報告されている。ビタミンEやキサントフィルは抗酸化物質として知られており、近年ヒトの健康面でも注目されているが、DDGSに含まれるビタミンEやキサントフィルは用量依存的に鶏卵卵黄中に移行することが確認されている(Shinら(2016)、Trupiaら(2016))。また、DDGSを含む飼料を給与するとブロイラーの免疫応答が強化される可能性も指摘されている(Minら、2015)。

これまで、米国ではDDGSを豚用飼料原料として使用した場合、DDGSに含まれる不溶性の食物繊維の影響などで腸管の健康状態が改善される(下痢などが少なくなる)ことが経験的に知られていたが、Whitneyら(2006)によりそれを裏付ける報告がなされている。すなわち、豚に対してLawsonia intracellularisを暴露した場合に、DDGSを10%配合した飼料を給与している場合には、トウモロコシ・大豆粕主体飼料を給与している場合に比べて腸管の損傷度が小さかった。

DDGSを利用することによる環境面への影響もいくつか報告されている。そのうちの一つは、産卵鶏用飼料にDDGSを20%配合すると、アンモニアの排泄量が14%減少したとするLiら(2014)の報告である。肉牛や乳牛にDDGSを含む飼料を給与した場合にメタン(CH<sub>4</sub>)放出量が減少したとの報告もある(Hunerbergら(2012)、Masséra(2011))が、Hristovら(2013)はNH<sub>4</sub>の放出量は飼料中の脂質含量と相関する傾向があるとしていることから、低脂肪DDGSの利用はNH<sub>4</sub>放出

表5 トウモロコシDDGS中の抗酸化物質等(Shurson 2017)

	平均±標準偏差	最大値	最小値	トウモロコシ
総抗酸化能(トコフェロール等量 mmol/kg)	38.07±93.91	29.04	65.20	8.09
トコフェロールおよびトコトリエノール含量(mg/kg)				
$\alpha$ -トコフェロール	10.8±4.5	4.1	19.7	3.2
$\alpha$ -トコトリエノール	9.3±2.2	5.4	12.8	2.4
$\gamma$ -トコフェロール	69.0±8.6	52.7	81.4	32.7
$\gamma$ -トコトリエノール	14.0±2.9	7.6	17.5	8.6
$\delta$ -トコフェロール	18.2±3.6	10.0	24.3	10.1
総トコフェノール	121.3±16.9	90.8	141.2	57.0
キサントフィル含量( $\mu$ g/kg)				
ルテイン	627±218	447	1,343	385
ゼアキサンチン	95±50	ND	243	63
総キサントフィル	697±257	447	1,586	448
葉酸含量(mg/g)				
遊離量	0.042±0.016	0.018	0.087	0.011
総量	7.455±0.675	6.774	9.511	2.503

注1) 乾物換算値 2) ND:検出せず

量のさらなる減少につながる可能性もある。

最後に、豚で大きな問題となっている伝染性胃腸炎を引き起こすコロナウイルスの飼料原料中での生存日数に関するTrudeauら(2016)の報告を紹介する。この研究では、米国で一般的に利用されている血粉、ミートミール、ミート・ボーン・ミール、乾燥豚血漿、トウモロコシおよび大豆粕と粗脂肪含量が異なる3種類のDDGS(低脂肪、中脂肪および高脂肪)に3種類のコロナウイルス(TGEV: 豚伝染性胃腸炎ウイルス、PEDV: 豚流行性下痢ウイルスおよびPDCoV: 豚デルタコロナウイルス)を接種し、摂取後の生存日数を調査したのだが、各DDGS中でのコロナウイルスの生存日数はトウモロコシや大豆粕より短かった(図5)。

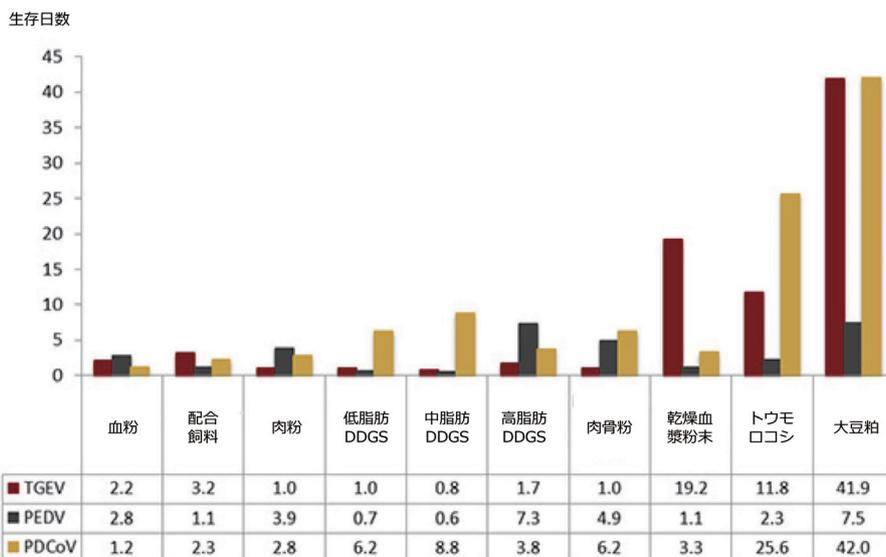


図5 様々な飼料原料中でのコロナウイルスの生存日数 (Trudeauら 2016)

※本記事は株式会社養賢堂刊「畜産の研究」第71巻第07号(2017年7月)に掲載された記事の再掲です。

【引用文献】

農林水産省: 飼料の公定規格、昭和51年7月24日、農林省告示第756号  
 農林水産省: 第3回農業資材審議会飼料分科会飼料栄養部会(家畜飼料) 配付資料、2013  
 Anderson P.V. et al.: J. Animal Sci., 90, 1242, 2011.  
 Davis K.: Corn milling, processing and generation of co-product, 62nd Minnesota Nutrition Conference & Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, 2001.  
 Dozier W.A. and J.B. Hess: Appl. Poult. Res., 24, 436, 2015.  
 Guney A.C. et al.: Poultry Sci., 92, 2070, 2013.  
 Han J. and K. Liu: J. Agri. Food Cem., 25, 3430, 2010.  
 Hristov A.N. et al.: J. Animal Sci., 91, 5045, 2013.  
 Hunerberg M. et al.: Can. J. Anim. Sci., 93, 373, 2013.  
 Jie YZ. et al.: J. Anim. Sci. Biotech., 4, 38, 2013.  
 Jung B. et al.: Appl. Poult. Res., 22, 71, 2013.  
 Kerr B.J. et al.: J. Animal Sci., 91, 3231, 2013.  
 Li P. et al.: J. Animal Sci. e, 93, 3458, 2015  
 Li W. et al.: Appl. Poult. Res., 23, 71, 2014.  
 Massé D.I. et al.: Animals 4, 82, 2014.

Masa'deh M.K.: Theses and Dissertations in Animal Science. Paper 35, 2011.  
 Meloche K.J. et al.: Poul. Sci., 92, 3176, 2013.  
 Min Y.N. et al.: Appl. Poult. Res., 24, 23, 2015.  
 NRC: Nutrient Requirements of Swine, 11th Revised Edition, 2012.  
 OECD-FAO: Agricultural Outlook, 2016.  
 Purdum S. et al.: Poul. Sci., 93, 2592, 2014.  
 Rochell S.J. et al.: Poul. Sci., 90, 1999, 2011.  
 Shurson G.C.: Annul Rev. Anim. Biosci., 5, 5.1, 2017.  
 Shin H.S. et al.: Poul. Sci., 95, 2366, 2016.  
 Tanghe S. et al.: Anim. Feed Sci. Tech., 210, 263, 2015.  
 Trudeau MP. et al.: National Hog Farmer, May2, 2016.  
 Trupia S. et al.: Poul. Sci., 95, 2952, 2016.  
 USDA/ERS: U.S. Bioenergy Statistics, 2016.  
 USDA/NASS: Grain Crushings and Co-Products Production 2015 Summary, 2016  
 Whitney M.H. et al.: Anim. Feed Sci. Tech., 213, 128, 2016.  
 Wu F. et al.: Anim. Feed Sci. Tech., 215, 105, 2016.  
 Wu F. et al.: J. Anim. Sci., 94, 144, 2016.

## 米国農務省「世界農業需給予測(WASDE)」による 飼料穀物(トウモロコシ、ソルガム、大麦)需給概要の抜粋

2017年8月10日米国農務省発表の世界農業需給予測の米国産飼料穀物に関する部分の抜粋の参考和訳を以下に掲載いたします。WASDE のフルレポートについては(<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>)よりご確認ください。また、数値や内容については、原文のレポートのものが優先いたします。各項目の詳細、注釈についても原文をご参照ください。

今月の2017/18年度の米国産粗粒穀物の供給の予測は、供給の減少、飼料そのほかへの利用及び輸出の減少と期末増加の下方修正となっています。トウモロコシの生産予測は、7月の予測より1億200万ブッシェル減の142億ブッシェルとなっ

ています。今年の生育期での、調査に基づく最初のトウモロコシの単収予測は169.5ブッシェル/エーカーと、先月のトレンドベースの予測より1.2ブッシェル低くなっています。今月の穀物生産報告では、サウスダコタ州、アイオワ州、ミネソタ州、イリノイ州で、昨年より低い単収予測が示されています。インディアナ州は昨年と同じ、また、ネブラスカ州とオハイオ州では昨年より高い予測となっています。ソルガムについては、先月の予測より2.6ブッシェル/エーカー高い単収予測により、生産量が1,300万ブッシェル高く予測されています。

2017/18年度の飼料そのほかへの利用は、生産量の減少により2,500万ブッシェル引き下げられています。輸出について

は、アルゼンチンとブラジルからの供給により競争が激しくなることと、新穀の予約販売が低調なことから、2,500万ブッシェル下方修正されています。利用より速いペースで供給量が減少するため、期末在庫は5,200万ブッシェル減少しています。トウモロコシの年間平均農家出荷価格は、先月から変更なく\$2.90から\$3.70と予測されています。

今月の米国外の2017/18年度の粗粒穀物予測は、先月に比べ実質的な変化はありません。EUのトウモロコシと大麦の生産量は引き下げられています。カナダのトウモロコシ生産量は収穫面積の下方修正により引き下げられています。ロシアのトウモロコシと大麦の生産量予測は、トウモロコシの生産面積の引き上げと大麦が良好な生育条件に恵まれていることから、ともに引き上げられています。ウクライナのトウモロコシ生産量は予測される単収減が生産面積増によって相殺されるため、変更ありません。2016/17年度については、ブラジルのトウモロコシ生産予測が、後作トウモロコシの現時点までの収穫を根拠に引き上げられています。

世界の2017/18年度の貿易の予測についての主要な変更としては、EU、セルビアとカナダからのトウモロコシ輸出量の下方修正となっています。それを相殺する以上に、ウクライナとロシアで増加しています。ブラジルからの2016/17年度のトウモロコシ輸出は、2017年3月に始まった現地の市場年度での記録的な出荷をもとに引き上げられています。2017/18年度のトウモロコシ輸入量は、主にEUとイランでの増大を反映し上方修正されています。米国外のトウモロコシ期末在庫は、先月より引き上げられています。過去のウクライナのトウモロコシ在庫予測について、政府から発表されたより正確な統計に基づいて変更が加えられています。

トウモロコシ	2015/16	2016/17推定	2017/18予測(7月)	2017/18予測(8月)
作付面積(百万エーカー)	88	94	90.9	90.9
収穫面積(百万エーカー)	80.8	86.7	83.5	83.5
単収(ブッシェル)	168.4	174.6	170.7	169.5
<b>期首在庫(百万ブッシェル)</b>	<b>1731</b>	<b>1737</b>	<b>2370</b>	<b>2370</b>
生産量(百万ブッシェル)	13602	15148	14255	14153
輸入量(百万ブッシェル)	68	55	50	50
<b>総供給量(百万ブッシェル)</b>	<b>15401</b>	<b>16940</b>	<b>16675</b>	<b>16573</b>
飼料そのほか(百万ブッシェル)	5113	5425	5475	5450
食品、種子、産業用(百万ブッシェル)	6650	6920	7000	7000
エタノールと併産物用(百万ブッシェル)	5224	5450	5500	5500
総国内消費量(百万ブッシェル)	11763	12345	12475	12450
輸出量(百万ブッシェル)	1901	2225	1875	1850
<b>総使用量(百万ブッシェル)</b>	<b>13664</b>	<b>14570</b>	<b>14350</b>	<b>14300</b>
<b>期末在庫(百万ブッシェル)</b>	<b>1737</b>	<b>2370</b>	<b>2325</b>	<b>2273</b>
平均農家出荷価格(ドル/ブッシェル)	3.61	3.30-3.40	2.90-3.70	2.90-3.70

ソルガム	2015/16	2016/17推定	2017/18予測(7月)	2017/18予測(8月)
作付面積(百万エーカー)	8.5	6.7	6.0	6
収穫面積(百万エーカー)	7.9	6.2	5.3	5.3
単収(ブッシェル)	76	77.9	67	69.6
<b>期首在庫(百万ブッシェル)</b>	<b>18</b>	<b>37</b>	<b>53</b>	<b>53</b>
生産量(百万ブッシェル)	597	480	356	369
輸入量(百万ブッシェル)	5	1	0	0
<b>総供給量(百万ブッシェル)</b>	<b>620</b>	<b>518</b>	<b>409</b>	<b>422</b>
飼料そのほか(百万ブッシェル)	107	130	60	60
食品、種子、産業用(百万ブッシェル)	137	110	100	100
総国内消費量(百万ブッシェル)	244	240	160	160
輸出量(百万ブッシェル)	340	225	200	210
<b>総使用量(百万ブッシェル)</b>	<b>583</b>	<b>465</b>	<b>360</b>	<b>370</b>
<b>期末在庫(百万ブッシェル)</b>	<b>37</b>	<b>53</b>	<b>49</b>	<b>52</b>
平均農家出荷価格(ドル/ブッシェル)	3.31	2.70-2.80	2.50-3.30	2.50-3.30

大麦	2015/16	2016/17推定	2017/18予測(7月)	2017/18予測(8月)
作付面積(百万エーカー)	3.6	3.1	2.4	2.4
収穫面積(百万エーカー)	3.2	2.6	1.9	1.9
単収(ブッシェル)	69.1	77.9	73.5	72.1
<b>期首在庫(百万ブッシェル)</b>	<b>79</b>	<b>102</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
生産量(百万ブッシェル)	218	199	143	140
輸入量(百万ブッシェル)	19	10	15	15
<b>総供給量(百万ブッシェル)</b>	<b>315</b>	<b>311</b>	<b>266</b>	<b>263</b>
飼料そのほか(百万ブッシェル)	50	46	35	35
食品、種子、産業用(百万ブッシェル)	153	153	153	153
総国内消費量(百万ブッシェル)	202	199	188	188
輸出量(百万ブッシェル)	11	4	5	5
<b>総使用量(百万ブッシェル)</b>	<b>213</b>	<b>203</b>	<b>193</b>	<b>193</b>
<b>期末在庫(百万ブッシェル)</b>	<b>102</b>	<b>108</b>	<b>73</b>	<b>70</b>
平均農家出荷価格(ドル/ブッシェル)	5.52	4.96	5.05-6.05	4.90-5.90

ネットワークに関するご意見、  
ご感想をお寄せ下さい。



**U.S. GRAINS COUNCIL** アメリカ穀物協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号  
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960  
E-mail: grainsjp@gol.com

本部ホームページ (英語) : <http://www.grains.org>  
日本事務所ホームページ (日本語) : <http://grainsjp.org/>