

DDGS のリンの含量 および雛における相対的生体内利用率

C. Martinez Amezcua,* C. M. Parsons*¹ and S. L. Noll[†]

*University of Illinois, Animal Sciences, Urbana, Illinois 61801; and [†]University of Minnesota, Animal Sciences, St. Paul, Minnesota 55108

要約 DDGS の 20 サンプルについて全リン分析を実施し、リジン消化率と熱処理（オートクレーブ処理）が異なる DDGS サンプルのリンの生体内利用率を測定するために 3 つの実験を行った。リンの相対的生体内利用率は、 KH_2PO_4 により 0.05 もしくは 0.10% のリンを補給、または 2 種のレベルで試験 DDGS を補給（7~25%）したリン欠乏トウモロコシ-大豆ミール飼料を雛に給与した後、勾配比法を用いて脛骨灰分から評価した。20 サンプルの DDGS の平均全リン値は $0.73 \pm 0.04\%$ （SD）で、平均乾物値は $88 \pm 0.8\%$ （SD）であった。実験 1 で KH_2PO_4 と比較したランダム DDGS サンプルのリンの生体内利用率は 69% であった。実験 2 で測定した低消化性リジンの DDGS 1、低消化性リジンの DDGS 2、および高消化性リジンの DDGS 3 におけるリンの相対的生体内利用率は、それぞれ 102、82 および 75% であった（ $P < 0.05$ ）。実験 3 でオートクレーブ処理していない淡色 DDGS と同じ DDGS を 121、124 pKa でオートクレーブ処理したものについて測定したリンの生体内利用率は、それぞれ 75 および 87% であった（ $P < 0.05$ ）。今回の結果における DDGS の全リン含量は、0.72% という NRC 発表値（1994）と同様のものではあったが、リンの相対的生体内利用率は、全リンおよび非フィチンリンの表示値に基づいて NRC が概算した数値（1994）よりも高くなっている。今回の結果はまた、DDGS サンプルによってリンの生体内利用率がかなり異なることを示しており、熱処理が増大すると DDGS のリンの生体内利用率が増大することを示唆している。

2004 Poultry Science 83:971-976

序文

DDGS は、トウモロコシから乾式製粉エタノール製造の過程で *Sacharomices cereviceae* 酵母による発酵後に得られるトウモロコシ連産物（corn coproduct）である（Olentine, 1986; Davis, 2001）。穀物由来のエタノールは比較的クリーンな再生可能なエネルギー源であり、1970 年の石油危機以来、石油の消費を減らすこの燃料に関心が寄せられ、エタノール生産設備に多大な投資が行われてきている。さらに、再生可能燃料使用基準が最近可決されたことにより、今後 10 年でエタノールと DDGS の生産量が大きく増加することが見込まれる。従来、DDGS は、線維含量が高く、リジンを含むいくつかの栄養素の含量と生体内利用率のばらつきが大きいことから、主として反芻動物に給与されていた（Cromwell ら, 1993; Shurson, 2003）。しかし、今後 10 年で DDGS の生産量が大きく増加することが予想されるため、家禽と豚に今より多くの DDGS を給与する必要性が生じてくると考えられる。以前の研究により、家禽への DDGS 給与が成功し得ることが示されている（Parsons ら, 1983; Olentine, 1986; Noll ら, 2001）。また、エタノールテクノロジーに新たな資本が投下されており、新型施設によるさらに良質な DDGS の供給も見込まれる（Whitney ら, 1999; Noll ら, 2001; Shurson, 2002）。そこで、家禽飼料の代替成分として DDGS を再評価する必要性が生じてきた。

特に評価の必要性が高い栄養素にリンがある。DDGS には、かなりの量（0.72%）の全リンが含まれている（NRC, 1994）。また、最近のデータは、新しいエタノールプラントで生産される一部の DDGS の全リン含量は 0.72% を上回っていることを示唆している（Shurson, 2003）。さらに、エタノール生産に関係する発酵過程により、DDGS に含まれるリンの生体内利用率は典型的な植物成分よりも高いことが予想される（Singsen ら, 1972; Mahgoub および El Hag, 1997; El Hag ら, 2002）。しかし、家禽に関する DDGS の全リンの生体内利用率については、ごくわずかな情報しか存在しない。実際、これについて学術雑誌に発表されているデータは皆無なようである。NRC（1994）は、DDGS の全リンの約 54% が非フィチンリンであると報告している。Singsen ら（1972）は、雛における DDGS のリンの利用率は 100% であると報告した。豚の研究では、Whitney ら（2001）が豚におけるリンの利用率は 87.5~92.2% であると報告しており、こ

これは Shurson (2003) が報告した 90% という数値と同様である。そこで、いくつかの DDGS サンプルの全リン含量と雛における相対的生体内利用率を測定することを目的として、今回の試験を実施した。

材料および方法

全リン分析

家禽用飼料を供給している飼料工場から、20 サンプルの DDGS を入手した。このサンプルは全て、ミネソタ州にある異なるエタノールプラントで生産されたものであった。AOAC (1995) 手順を用いて乾物分析を実施し、湿式灰化 (HNO_3 と H_2O_2 によるマイクロ波分解) で全リン分析、誘導結合プラズマ-原子発光分光法² で元素分析を実施した。

リンの生体内利用率に関する雛の実験

リンの生体内利用率を測定するために、雛を用いて 3 つの実験を実施した。動物の飼養条件、取り扱い、および安楽死手順は全て、動物のケアと使用に関する施設内委員会の承認を受けた。いずれの実験でも、ニューハンプシャー×コロンビアン種の雄の雛を使用した。雛は、常時点灯の環境調節室内に設置した、ワイヤーの床が一段高くなったサーモスタット管理の幼雛用連立ケージに収容した。孵化後 1~8 日目には、CP が 23%、1 kg あたりの ME が 3,100 kcal の完全栄養のトウモロコシ・大豆ミール幼雛用飼料 (NRC, 1994) を給与した。孵化後 8 日目に、飼料を一晩取り除いた後、雛の体重を計測して翼帯を装着し、群間で初期体重が同様になるように処置群への割り付けを行った。8~21 日齢の期間、5 羽ずつの四重群に実験飼料を給与した。飼料と水は自由摂取とした。実験終了時に全ての雛を CO_2 ガスで安楽死させて右脛骨を採取し、オートクレーブ処理、洗浄、乾燥、計量、および 600 °C での乾式灰化により骨灰分を測定した。

実験 1 では 5 つの処置を行った。飼料 1 は、計算上の非フィチンリンが 0.1% のリン欠乏基本飼料であった (表 1)。飼料 2 および 3 は、基本飼料と同じものに KH_2PO_4 でそれぞれ 0.05 および 0.1% のリンを補給したものであった。飼料 4 および 5 は、基本飼料と同じものにランダムに選択した DDGS (表 2 の UMA 7) をそれぞれ 12.5 および 25% 補給したものであった。 KH_2PO_4 と DDGS の添加は、コーンスターチとデキストロースの代わりとして行った。増体量、飼料摂取量、飼料効率、および脛骨灰分を、雛 1 羽あたりのミリグラム単位およびパーセンテージで測定した。

表 1. リン欠乏基本飼料の組成¹

成分	量 (%)
コーンスターチ/デキストロース (2:1 比)	100 に
大豆ミール	47.37
大豆油	5.00
石灰石	1.20
塩	0.40
ビタミンミックス ²	0.20
ミネラルミックス ³	0.15
塩化コリン、60%	0.10
DL-メチオニン	0.25
バシトラシン-MD プレミックス ⁴	0.025

¹CP が 23%、TME_n が 3,200 kcal/kg、利用可能リンが 0.10%、Ca が 0.58% となるように計算。

²飼料 1 kg あたりの供給量：レチニル酢酸、4,400 IU；コレカルシフェロール、25 µg；DL- α -酢酸トコフェロール、11 IU；ビタミン B₁₂、0.01 mg；リボフラビン、4.41 mg；D-パントテン酸、10 mg；ナイアシン、22 mg；メナジオン重亜硫酸ナトリウム、2.33 mg。

³飼料 1 kg あたりのミリグラム単位の供給量：マンガン、 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ から 75；鉄、 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ から 75；亜鉛、ZnO から 75；銅、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ から 5；ヨウ素、エチレンジアミンジヒドロヨウ素から 0.75；セレン、 Na_2SeO_3 から 0.91。

⁴バシトラシンメチレンジサリチレート 13.75 mg/kg (5.5%) に相当。

実験 2 では、あらかじめリジン消化率が異なることが判明している別の DDGS の 3 サンプルを評価した。この目的は、リンの生体内利用率がリジン消化率と相関するかどうかを判定することであった。リジンの消化率は、盲腸を切除し、飼料を正確に給与した雄鶏で以前に測定されている (Douglas ら, 1997)。実験デザインは、9 種の飼料処置で構成した。飼料 1 から 3 は実験 1 と同一とした。飼料 4 から 9 では、リジン消化率が異なる DDGS の 3 サンプルのいずれかを、コーンスターチとデキストロースの代わりに 8 および 16% のレベルで基本飼料に添加した。すなわち、飼料 4 および 5 には低消化性リジンの DDGS 1 (リジン消化率 64%)、飼料 6 および 7 には低消化性リジンの DDGS 2 (リジン消化率 61%)、飼料 8 および 9 には高消化性リジンの DDGS 3 (リジン消化率 79%) を添加した。そして、実験 1 と同様に成長成績と骨灰分を測定した。

実験 3 は、DDGS 中のリンの相対的生体内利用率に対する付加的熱処理の影響を判定するために実施した。民間業者から淡い黄金色の DDGS (軽い熱処理が示唆される) を入手し、そのサンプルの一部を、色が濃く (褐色に) なるまで 121、124 kPa で 75 分間、オートクレーブ処理した。ここでは 7 種の飼料処置を評価した。飼料 1 から 3 は実験 1 と同一とした。飼料 4 および 5 にはオートクレーブ処理していない DDGS をそれぞれ 7 および 14% 含め、飼料 6 および 7 にはオートクレーブ処理した DDGS をそれぞれ 7 および 14% 含めた。この場合も、コーンスターチとデキストロースの代わりに DDGS を添加し、成長成績と脛骨灰分を測定した。

表 2. 20 種の DDGS サンプルの乾物量および全リン含量

サンプル	乾物 (%)	全リン (%)
UMA1	87.1	0.76
UMA2	86.9	0.77
UMA3	88.0	0.75
UMA4	87.7	0.74
UMA5	87.8	0.77
UMA6	88.2	0.74
UMA7	87.5	0.72
UMA8	87.3	0.75
UMB1	87.7	0.76
UMB2	87.4	0.77
UMB3	89.0	0.74
UMB4	87.5	0.74
UMC1	87.8	0.73
UMC2	88.4	0.74
UMC3	88.9	0.73
UMC4	87.9	0.73
UMD1	86.9	0.67
UMD2	88.3	0.67
UMD3	85.3	0.62
UMD4	87.6	0.69
平均	87.7	0.73
SD (標準偏差)	0.80	0.04

統計学的解析

全ての雛実験から得られたデータを、まず SAS ソフトウェア (SAS Institute, 1990) の ANOVA 手順を用いて、完全ランダム化法で解析した。個々の処置間の統計学的有意差は、最小有意差検定を用いて評価した (Carmer および Walker, 1985)。いずれの雛実験においても、 KH_2PO_4 または DDGS サンプルによって

増加したリン摂取量 (g/羽) に脛骨灰分 (mg/羽) を回帰させる多重線形回帰を用いてデータを解析した。そして、標準としての KH_2PO_4 に対する DDGS 中のリンの相対的生体内利用率を、勾配比法を用いて評価した (Finney, 1978)。

結果および考察

DDGS サンプルの全リン含量

20 種の DDGS サンプルの平均リン含量は、風乾物 (乾物 88%) で 0.73% であり、範囲は 0.62 ~ 0.77% であった (表 2)。平均全リン値は一般に、NRC (1994) が報告した 0.72% (93% 乾物として) という全リン値とよく一致していた。これらの全リン値は、乾物での平均全リン含量を 0.89% とした Shurson (2003) の報告よりもわずかに低くなっていた。DDGS サンプル間の全リン含量のばらつきは、おそらくトウモロコシ原料のリンレベルが異なっていたことと、エタノール生産中のデンプン発酵の効率および程度に影響する要因の相異が最終的 DDGS のデンプン残存量と他の栄養素の濃度に影響したことによるものと考えられる (Spiehs ら, 2002)。事実、液化処理の温度 (82 ~ 91 の幅がある) などの処理条件、発酵段階の発酵時間 (40 ~ 60 時間) およびバッチ間の粒子サイズのばらつきは、デンプンの発酵効率と DDGS の残存デンプン量に影響し得る (Davis, 2001)。また、Wu (1994) は、一部の DDGS サンプルではほぼ 8% がグリセロールで、12% がグルコースであることを見出した (乾物中)。

DDGS サンプル中のリンの相対的生体内利用率

3 つの実験のいずれにおいても、 KH_2PO_4 または DDGS の添加によるリンレベルの上昇に伴い、増体量 (mg/羽) と脛骨灰分 (%) が直線的に増大した (表 3 ~ 5)。実験 3 では、最高レベルの DDGS に対する脛骨灰分の反応が KH_2PO_4 の標準曲線を上回っていた。しかし、統計学的検定 (Finney, 1978) では非直線性や一般的交差効果の欠如は認められず、多重回帰に DDGS 処置の最高レベルを含めることが妥当であることが示唆された。私たちの研究室で得られた以前の結果により、今回の研究と同一日齢の雛における、ここで使用した基本飼料へのリン補給に対する脛骨灰分の反応が、0.2% のリン補給まで直線的であることが示されていたため、上記の結果は予想されていたものであった (Augspurger ら, 2003; Augspurger および Baker, 2004)。

実験 1 および 2 では、リンの推定生体内利用率 (KH_2PO_4 と比較して) が DDGS サンプルによって大きく異なり、実験 1 の UMA 7 サンプルでの 69% から、実験 2 における低消化性リジンの DDGS 1 での 102% までの幅があった (表 3 および 4)。DDGS サンプル間のリン生体内利用率のばらつきにかかわらず、今回の結果は、DDGS 中のリンの相対的生体内利用率が、NRC (1994) の表の数値から外挿したものよりもいくぶん高めであることを示している。NRC が発表したリストでは DDGS の全リンが 0.72%、非フィチンリンが 0.39% とされており、これはリンの生体内利用率が 54% であることを示唆している。実験 1 および 2 で評価した 4 サンプルのリンの平均相対的生体内利用率は 82% であった (実験 2 における低消化性リジンの DDGS 1 を除外すると 75%)。

表 3. 雛の 8 ~ 21 日齢の成長成績および 12 日目における脛骨灰分、実験 1¹

飼料処置	増体量	飼料摂取量	増体：飼料比	脛骨灰分	
	(g)	(g)	(g/kg)	(mg/chick) ⁴	(%)
1. 基本飼料 (B)	272 ^c	377 ^d	725	317 ^d	31.5 ^d
2. B+0.05% リン ²	310 ^b	425 ^c	728	416 ^c	35.8 ^c
3. B+0.10% リン ²	330 ^a	449 ^{ab}	735	482 ^b	38.0 ^b
4. B+12.5% DDGS ³	319 ^{ab}	440 ^{bc}	725	439 ^c	36.5 ^c
5. B+25% DDGS ³	331 ^a	462 ^a	718	524 ^a	39.7 ^a
プーリング SEM (標準誤差)	5	7	10	12	0.4

^{a-d} 同一列内で共通の上付文字のない平均値は有意に異なっている ($P < 0.05$)。

¹ 1 つの処置の平均値は、5 羽ずつの 4 つの囲いから求めたものである；平均初期体重は 103.8 g であった。

² KH_2PO_4 由来。

³ DDGS = 乾燥ジスチラス・グレイン・ソリュブル。サンプルは UMA 7 であった (表 2)。

⁴ 脛骨灰分 (Y; mg) の KH_2PO_4 (X_1) または DDGS (X_2) 補給によるリン摂取量 (g) への多重回帰により、次の等式が得られた: $Y = 329 + 353 \pm 36.2X_1 + 242 \pm 19.6X_2$, ($R^2 = 0.91$)

DDGS のサンプル間または原料間のリンの相対的生体内利用率のばらつきの原因は不明であるが、フィチンリンとして存在していた全リン量が DDGS サンプル間で異なっていたことが、ばらつきの一部または全部の原因となっていた可能性がある。ただし、フィチンリンの分析は実施しなかったため、これの真偽は定かではない。また、ばらつきの少なくとも一部は、エタノール生産過程の発酵時間と温度のいずれか又は両方の相異など、処理条件が原因で生じたことが考えられる。大麦と小麦に関する以前の研究では、浸漬中の発酵時間および温度が天然フィターゼの活性に直接影響することが示されている (Carlson および Poulsen, 2003)。したがって、これらの要因が、エタノール生産過程で利用される *Sacharomices cereviceae* 酵母が供給するフィターゼの活性に影響する可能性もある。リンの生体内利用率に影響し得るもう 1 つの要因として、DDGS 産生の乾燥過程の温度と時間のばらつきによるフィチン酸分解の程度も考えられる。Mahgoub と Elhag (1997) は、ソルガムのフィチン酸含量がソルガムと水の混合 (4:5 重量/容積) および 95 での調理により 28% 減少することを報告し、Duhan ら (2002) は、キマメのフィチン酸が 1.5 kg/cm^2 での加圧調理によって 12% 減少することを報告した。リンの生体内利用率が最高値であった DDGS サンプルが、強度の熱処理を示唆する暗褐色の低消化性リジンの DDGS 1 であったことは興味深い。

表 4. 雛の 8~21 日齢の成長成績および 12 日目における脛骨灰分、実験 2¹

飼料処置	増体量 (g)	飼料摂取量 (g)	増体: 飼料比 (g/kg)	脛骨灰分	
				(mg/chick) ⁴	(%)
1. 基本飼料 (B)	246 ^d	382 ^d	644	272 ^d	34.7 ^f
2. B+0.05% リン ²	272 ^{bc}	416 ^c	652	349 ^c	39.6 ^{bcd}
3. B+0.10% リン ²	280 ^{bc}	424 ^{abc}	672	397 ^b	41.7 ^a
4. B+8% DDGS 1 ³	273 ^{bc}	418 ^c	649	348 ^c	38.7 ^{cde}
5. B+16% DDGS 1 ³	293 ^a	442 ^a	670	434 ^a	41.9 ^a
6. B+8% DDGS 2 ³	277 ^{bc}	419 ^{bc}	664	355 ^c	38.3 ^{de}
7. B+16% DDGS 2 ³	282 ^{abc}	432 ^{abc}	645	389 ^b	41.2 ^{ab}
8. B+8% DDGS 3 ³	270 ^c	413 ^c	658	332 ^c	37.5 ^e
9. B+16% DDGS 3 ³	283 ^{ab}	439 ^{ab}	644	392 ^b	40.3 ^{abc}
プーリング SEM	4	7	5	10	0.6

^{a-d} 同一列内で共通の上付文字のない平均値は有意に異なっている ($P < 0.05$)。

¹ 1 つの処置の平均値は、5 羽ずつの 4 つの囲いから求めたものである; 平均初期体重は 93.3 g であった。

² KH_2PO_4 由来。

³ DDGS = 乾燥ジスチラス・グレイン・ソリュブル。3 種の DDGS サンプルはリジン消化率が異なっていた。盲腸を切除し、飼料を正確に給与した雄鶏のアッセイで測定された DDGS 1、2 および 3 のリジン消化率は、それぞれ 64.2、61.2 および 78.8% であった。

⁴ 脛骨灰分 (Y; mg) の KH_2PO_4 (X_1) または DDGS 1、2 および 3 (それぞれ $X_2 \sim X_4$) 補給によるリン摂取量 (g) への多重回帰により、次の等式が得られた: $Y = 281 + 282 \pm 29.9X_1 + 289 \pm 24.5X_2 + 231 \pm 25.3X_3 + 212 \pm 24.6X_4$, ($R^2 = 0.84$)

実験 3 では、熱処理の増大が DDGS 中のリンの生体内利用率を増大させる可能性をさらに評価した。この試験の結果は表 5 および 6 にまとめている。ここでも、飼料への KH_2PO_4 または非オートクレーブ処理もしくはオートクレーブ処理の DDGS の補給によってリンのレベルが上昇するに伴い、増体、飼料摂取量、および脛骨灰分が直線的に増大することが認められた (表 5)。オートクレーブ処理した DDGS サンプル中のリンの相対的生体内利用率 (KH_2PO_4 と比較して) は、オートクレーブ処理していない DDGS サンプルに比べて約 15% 高かった ($P < 0.05$)。非オートクレーブ処理またはオートクレーブ処理の DDGS サンプルの生体内利用率はそれぞれ 75 および 87%、利用可能なリンの含量はそれぞれ 0.57 および 0.67% であった。これらの結果は、強力または過剰な熱処理は通常、タンパク質の溶解性とアミノ酸の含量および消化性に悪影響を与えることがよく知られているにもかかわらず (Anderson-Hafermann ら, 1993) 熱処理が増大する

と DDGS 中のリンの生体内利用率が増大する可能性を示唆している。Mahgoub と Elhag (1997) および Duhan ら (2002) は、ソルガムおよびキマメ中のフィチン酸が、加熱または調理の増大によって部分的に破壊または減少し得ることを報告した。一方、Ologhobo と Fetuga (1984) は、オートクレーブ処理のみではいくつかのマメ科植物のフィチン酸含量がわずかに変化するに過ぎないことを報告した。これらの研究結果の相異は、少なくとも部分的には、評価した植物成分の種類によるものと考えられる。フィチン酸とフィターゼ酵素の存在部位は植物によって異なるため、加熱または調理に対するこれらの曝露程度と感受性も異なる可能性がある (Carlson および Poulsen, 2003)。リンの生体内利用率が実際に商業的条件下での熱処理の増大に影響されるかどうかを判定するためには、産業エタノールプラントで異なる程度の熱処理を受けた DDGS サンプルでのさらなる研究が必要である。

表 5. 雛の 8~21 日齢の成長成績および 12 日目における脛骨灰分、実験 3¹

飼料処置	増体量	飼料摂取量	増体：飼料比	脛骨灰分	
	(g)	(g)	(g/kg)	(mg/chick) ⁴	(%)
1. 基本飼料 (B)	216 ^c	366 ^c	592 ^b	250 ^d	27.0 ^d
2. B+0.05% リン ²	299 ^b	445 ^b	671 ^a	329 ^c	31.9 ^c
3. B+0.10% リン ²	342 ^a	508 ^a	672 ^a	456 ^a	37.5 ^a
4. B+7% DDGS 1 ³	297 ^b	440 ^b	674 ^a	331 ^c	31.3 ^c
5. B+14% DDGS 1 ³	332 ^a	488 ^a	680 ^a	400 ^b	34.0 ^b
6. B+7% DDGS 2 ³	302 ^b	451 ^b	669 ^a	339 ^c	31.5 ^c
7. B+14% DDGS 2 ³	347 ^a	503 ^a	691 ^a	433 ^a	36.3 ^a
プーリング SEM	7	10	14	10	0.6

^{a-d} 同一列内で共通の上付文字のない平均値は有意に異なっている ($P < 0.05$)。

¹ つの処置の平均値は、5 羽ずつの 4 つの囲いから求めたものである；平均初期体重は 92 g であった。

² KH₂PO₄ 由来。

³ DDGS = 乾燥ジスチラス・グレイン・ソリュブル。DDGS 1 は淡い黄金色のサンプルで (全リン = 0.76%)、DDGS 2 サンプルは、DDGS 1 サンプルを 121、124 kPa で 75 分間、オートクレーブ処理して得られたものである。

⁴ 脛骨灰分 (Y; mg) の KH₂PO₄ (X₁) または DDGS 1 および 2 (それぞれ X₂ および X₃) 補給によるリン摂取量 (g) への多重回帰により、次の等式が得られた： $Y = 251 + 395 \pm 21.8X_1 + 297 \pm 21.3X_2 + 342 \pm 20.4X_3$ 、($R^2 = 0.95$)。

表 6. DDGS 中のリンの相対的生体内利用率、実験 1、2 および 3

実験	DDGS サンプル	生体内利用率 ¹ (%)	全リン含量 (%)	利用可能 リン含量 ² (%)
1	UMA 7	69	0.72	0.49
2	低消化性リジン 1	102 ^a	0.74	0.75 ^a
	低消化性リジン 2	82 ^b	0.72	0.59 ^b
	高消化性リジン 3	75 ^b	0.73	0.55 ^b
3	オートクレーブ処理していない DDGS	75 ^b	0.76	0.57 ^b
	オートクレーブ処理した DDGS	87 ^a	0.76	0.67 ^a

^{a-d} 同一列内および実験内で共通の上付文字のない平均値は有意に異なっている ($P < 0.05$)。

¹ KH₂PO₄ と比較した DDGS 中のリンの生体内利用率。表 3、4 および 5 の脚注にある多重回帰式を用いて、勾配比法により計算。

² 生体内利用率と DDGS 中の全リン含量を掛け合わせて計算。

(欄外)

¹To Whom Correspondence should be addressed: batal@uga.edu.

² ARL-3560、同時 ICP-AES、Thermal Electron Corp.、マサチューセッツ州ウォルサム。

参考文献

- Anderson-Hafermann, J.C., Y. Zhang, and C.M. Parsons. 1993. Effects of processing on the nutritional quality of canola meal. *Poult. Sci.* 72:326-333.
- Association of Official Analytical Chemists. 1995. *Official Methods of Analysis*. 6th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Auguspurger, N.R., and D.H. Baker. 2004. High dietary phytase levels maximize phytate-phosphorus utilization but do not affect protein utilization in chicks fed phosphorus- or amino acid-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 82:1100-1107.
- Auguspurger, N.R., D.M. Webel, X.G.Lei, and D.H. Baker. 2003. Efficacy of an *E. coli* phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 81:474-483.
- Carlson, D., and H.D. Poulsen. 2003. Phytate degradation in soaked and fermented liquid feed-effect of diet, time of soaking, heat treatment, phytase activity, pH and temperature. *Anim. Feed Sci. Technol.* 103:141-154.
- Carmer, S.G., and W.M.Walker. 1985. Pairwise multiple comparisons of treatment means in agronomic research. *J. Agron. Educ.* 14:19-26.
- Cromwell, G.L.,K.L. Herkelman, and T.S. Stahly. 1993. Physical, chemical, and nutritional characteristics of distillers dried grains with solubles for chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 71:679-686.
- Davis, K. 2001. Corn milling, processing and generation of coproducts. Pages 1-7 in 62nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, Bloomington, MN.
- Douglas, M.W., M. L. Johnson, and C.M. Parsons. 1997. Evaluation of protein and energy quality of rendered spent hen meals. *Poult. Sci.* 6:1387-1391.
- Duhan, A., N. Khetarpaul, and S. Bishnoi. 2002. Content of phytic acid and HCL-extractability of calcium, phosphorus and iron as affected by various domestic processing and cooking methods. *Food Chem.* 78:9-14.
- El Hag, M.E., H. El Tinay, and N.E. Yousif. 2002 Effect of fermentation and dehulling on starch, total polyphenols, phytic acid content and in vitro protein digestibility of pearl millet. *Food Chem.* 77:193-196.
- Finney, D.J. 1978. *Statistical Method in Biological Assay*. 3rd ed. Charles Griffin and Company, Ltd., High Wycombe, Buckinghamshire, UK.
- Mahgoub, S.E.O., and S.A.El Hag. 1997. Effect of milling, soaking, malting, heat-treatment and fermentation on phytate level of four Sudanese sorghum cultivar. *Food Chem.* 61:77-80.
- Noll, S., V. Stangeland, G. Speers, and J. Brannon. 2001. Distillers grains in poultry diets. 62nd Minnesota Nutrition Conference and Minnesota Corn Growers Association Technical Symposium, Bloomington, MN.
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Olentine, C.G. 1986. Ingredient profile: Distillers feeds. Pages 12-24 in *Proceedings of the Distillers Feed Conference*. Distillers Feed Research Council, Cincinnati, OH.
- Ologhobo, A.D., and B.L. Fetuga. 1984. Distribution of phosphorus and phytate in some Nigerian varieties of legumes and some effects of processing. *J. Food Sci.* 49:199-201.
- Parsons, C.M., D.H. Baker, and J.M. Harter-Dennis. 1983. Distillers dried grains with solubles as a protein source for the chick. *Poult. Sci.* 62:2445-2451.
- SAS Institute. 1990. *SAS Users Guide: Statistics*. Version 6, 4th ed. SAS institute Inc., Cary, NC.
- Shurson, G.C. 2002. The value and use of distiller's dried grains with solubles (DDGS) in swine diets. *Carolina Nutrition Conference*, Raleigh, NC.
- Shurson, J. 2003. DDGS suited for swine, may help ileitis resistance. *Feedstuffs* 26:11-13.
- Singsen, E., L. Matterson, and J. Tlustohowicz. 1972. The biological availability of phosphorus in distillers dried grains with solubles for poultry. Pages 46-49 in *Proceedings of the Distillers Feed Conference*. Distillers Feed Research Council, Cincinnati, OH.
- Spiehs, M.J., M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80:2639-2645.
- Whitney, M.H., M.J Spiehs, and G.C. Shurson. 1999. Use of Minnesota-South Dakota regional distillers dried grains with

solubles in swine diets. Pages 171-186 in 60th Minnesota Nutrition Conference and Zimpro Technical Symposium, Bloomington, MN.

Whitney, M.H., M.J. Spiels, and G.C. Shurson. 2001. Availability of Phosphorus in distiller's dried grains with solubles for growing swine. *J. Anim. Sci.* 79(suppl 1):108. (Abstr.)

Wu, Y. V. 1994. Determination of neutral sugars in corn distillers' dried grain, corn distiller' dried solubles, and corn distillers' dried grains with solubles *J. Agric. Food Chem.* 42:723-726.