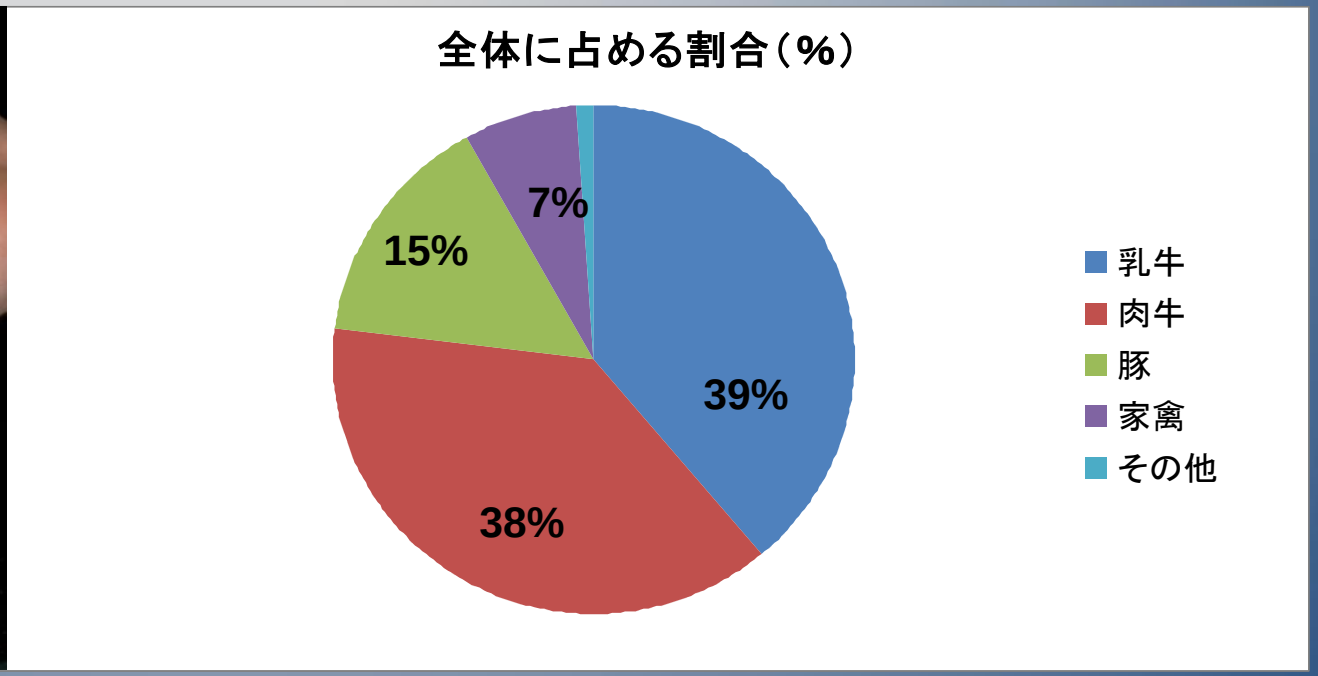
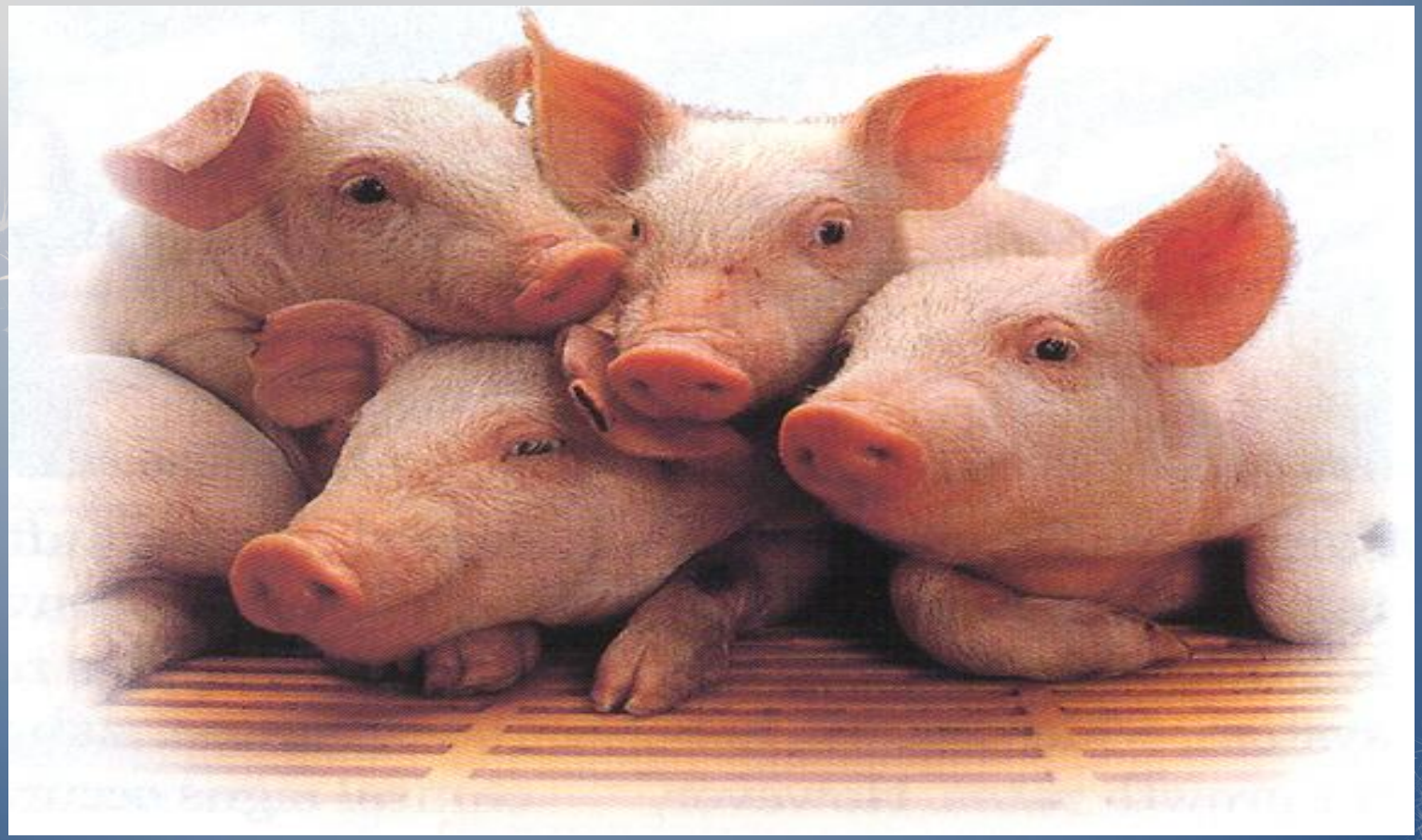
DDGSの動物飼料への使用に関する課題と解決策

ジェリー・シャーソン博士
ミネソタ大学畜産学教授

米国におけるDDGSの家畜飼料への使用割合



DDGSの豚用飼料への使用



DDGSの米国豚用飼料への最大配合率

- 幼豚 (> 7 kg)
  - 最大30%
- 生育期から仕上期の豚
  - 最大50%
- 妊娠中の豚
  - 最大50%
- 授乳中の豚
  - 最大30%

前提: マイコトキシンによる汚染がないこと
可消化アミノ酸および有効リンをベースに調整すること

雌雄の子豚用（63～82 kg）にDDGSを40%配合した
米国の一般的な市販豚用飼料

原材料	1メートルトン当たりの量
トウモロコシ	510.5
大豆粕 46%	66.5
トウモロコシDDGS	400.0
第一リン酸カルシウム 21%	--
石灰石	14.0
塩分	3.0
ビタミンTMプレミクス	1.8
L-リシン HCl	4.3
L-スレオニン	--
DI-メチオニン	--
フィターゼ	--
抗生物質	+
合計	1000.0

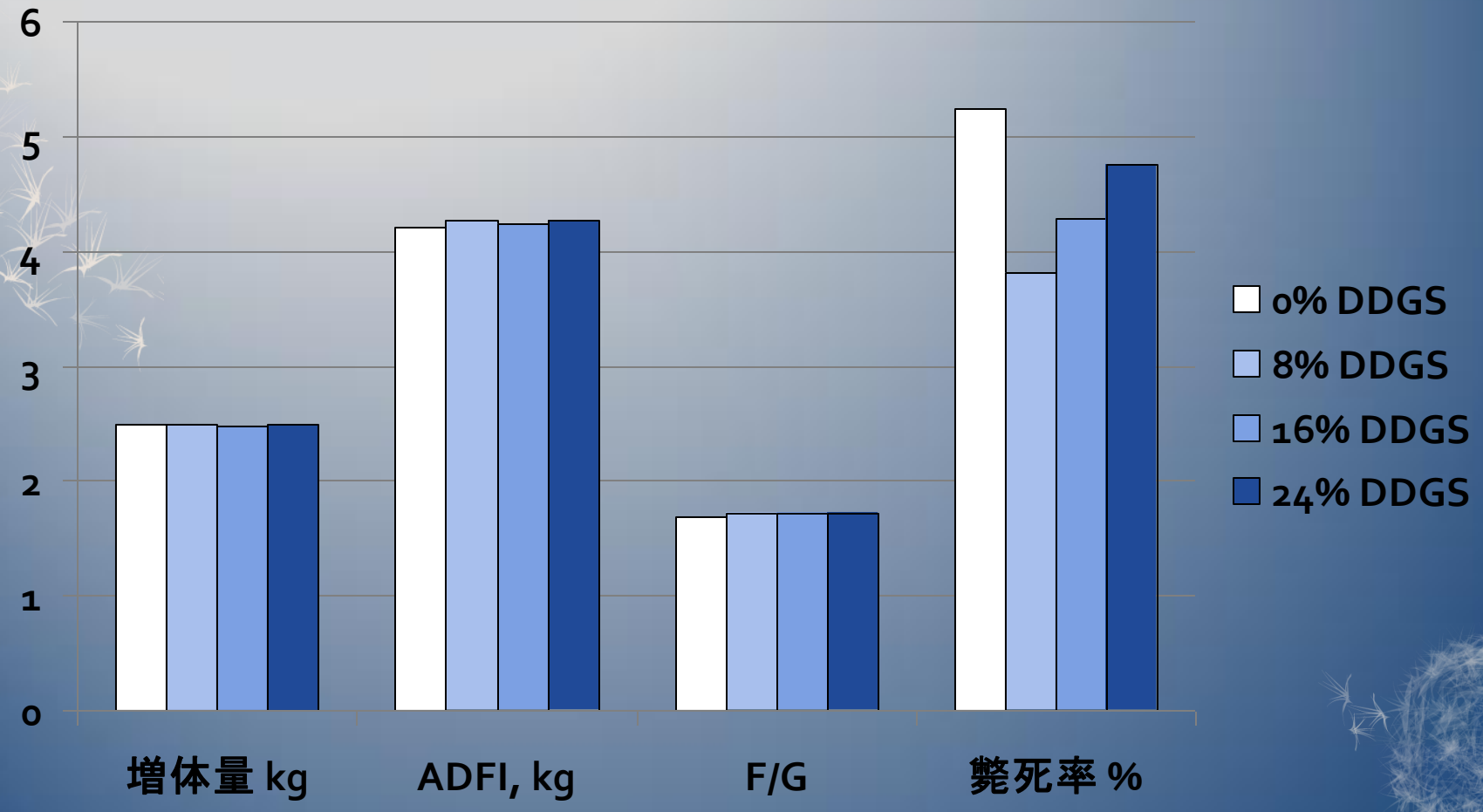
DDGSの配合を10%ごとに増加した場合の生育期-仕上期豚用飼料コストの増減

% DDGS	トウモロコシ $7.00/bu ($276/MT)	トウモロコシ $6.00/bu ($236/MT)
0	$ 0	$ 0
10	-$7.55	-$5.87
20	-$7.08	-$4.95
30	-$6.91	-$4.71
40	-$6.43	-$4.20
50	-$5.96	-$3.48

価格の前提:
大豆粕:$375/MT　DDGS:$221/MT

DDGSの家禽用飼料への使用

DDGSを 0、8、16、24%配合しても ブロイラーの生育成績には影響なし（0-42日）



Shimら (2011)
Cobb 500 ブロイラー
LリシンとLスレオニンで補給した飼料

DDGSを0、8、16、24%配合しても ブロイラーの枝肉特性に影響なし

- 脂肪パッド重量または %
- 冷屠体重量
- 胸肉重量および収量
- もも肉重量および収量
- 手羽先重量および収量

Shim ら (2011)
Cobb 500ブロイラー

DDGSを0、10、20% 配合した飼料を給与した21～26週齢の産卵鶏の成績

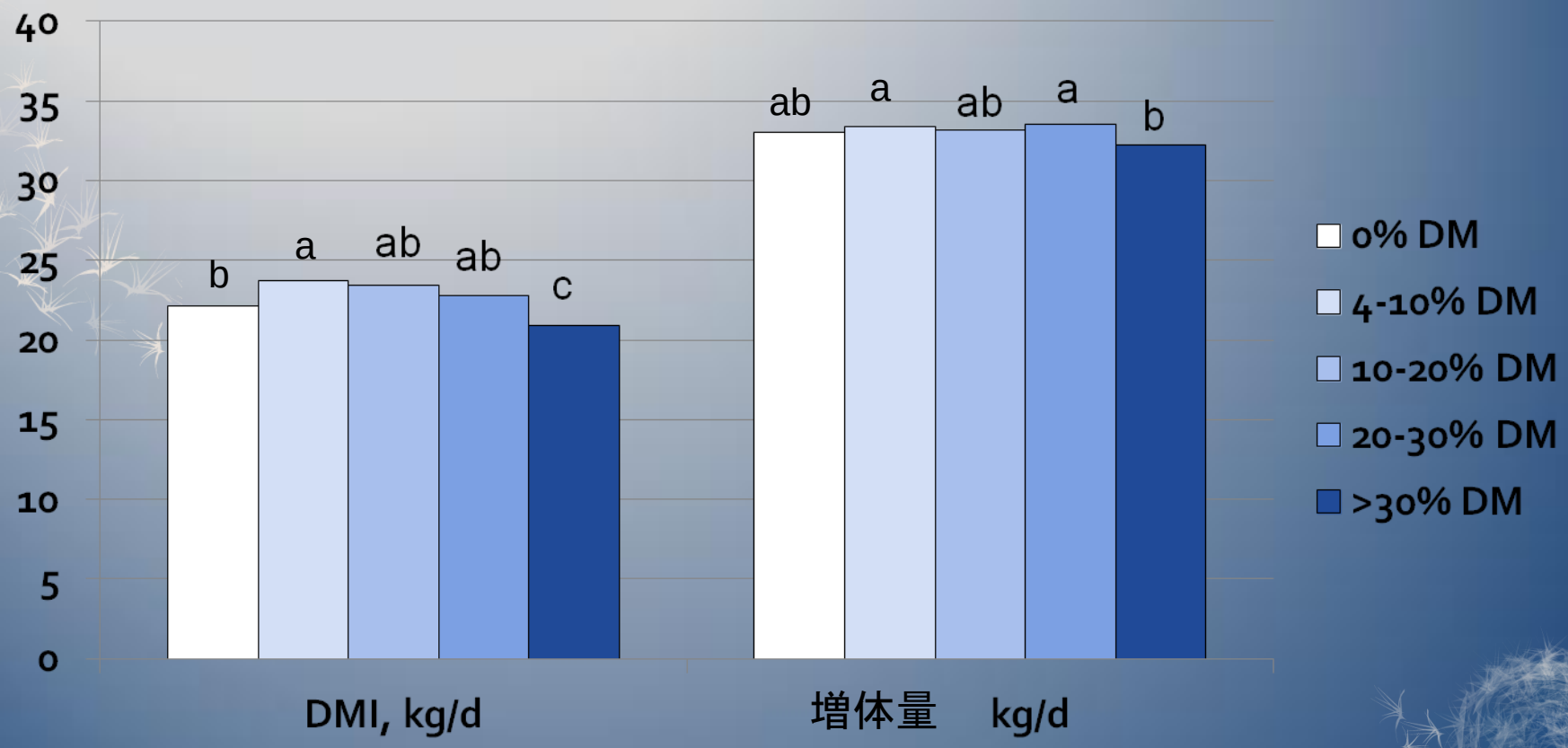
測定法	0 % DDGS	10 % DDGS	20 % DDGS
卵重 g	50.7	50.7	50.5
産卵率 %	85.0	85.1	84.8
飼料摂取量 g/鶏/日	87.7	88.0	88.1
総飼料摂取量　kg/鶏	219.6	214.8	215.9
体重変化 g/鶏	- 492.7	- 509.3	- 486.9

家禽用飼料への推奨されるDDGS配合率

- ブロイラーおよび産卵鶏
  - 配合率10%
    - エネルギー無調整
  - 産卵鶏は20%以下 、ブロイラーは24% 以下
    - リシン、メチオニン、スレオニン、トリプトファン、エネルギーを調整

DDGSの乳牛用飼料への使用

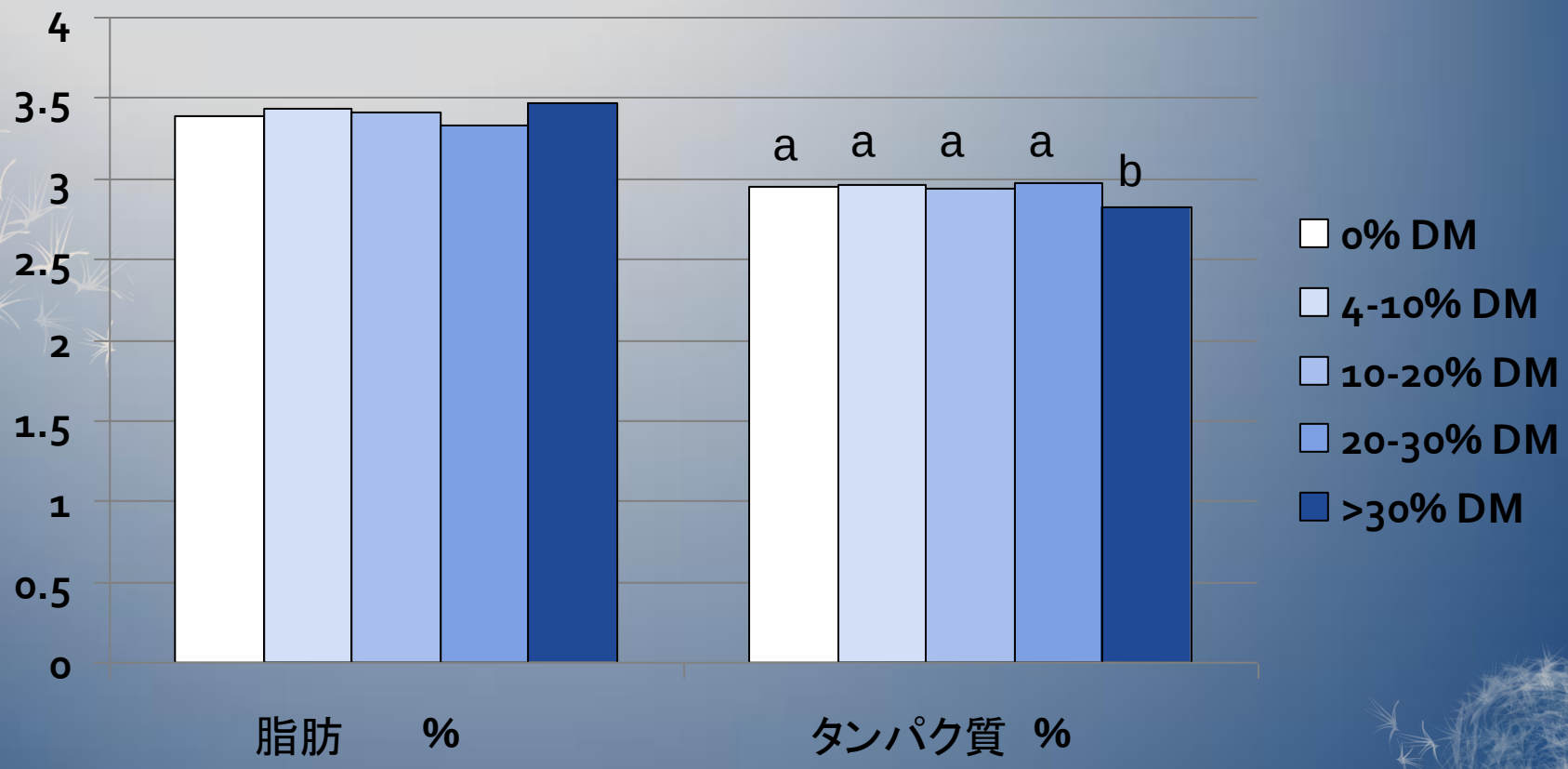
DDGS配合率別
乾物摂取量および乳産量



a, b, c 符号間の差 (P < 0.05)

出典: Schingoethe et al. (2009)
1982年～2005年に処理済100飼料を比較した24件の試験による

DDGS配合率別
乳脂肪率およびタンパク質含有率



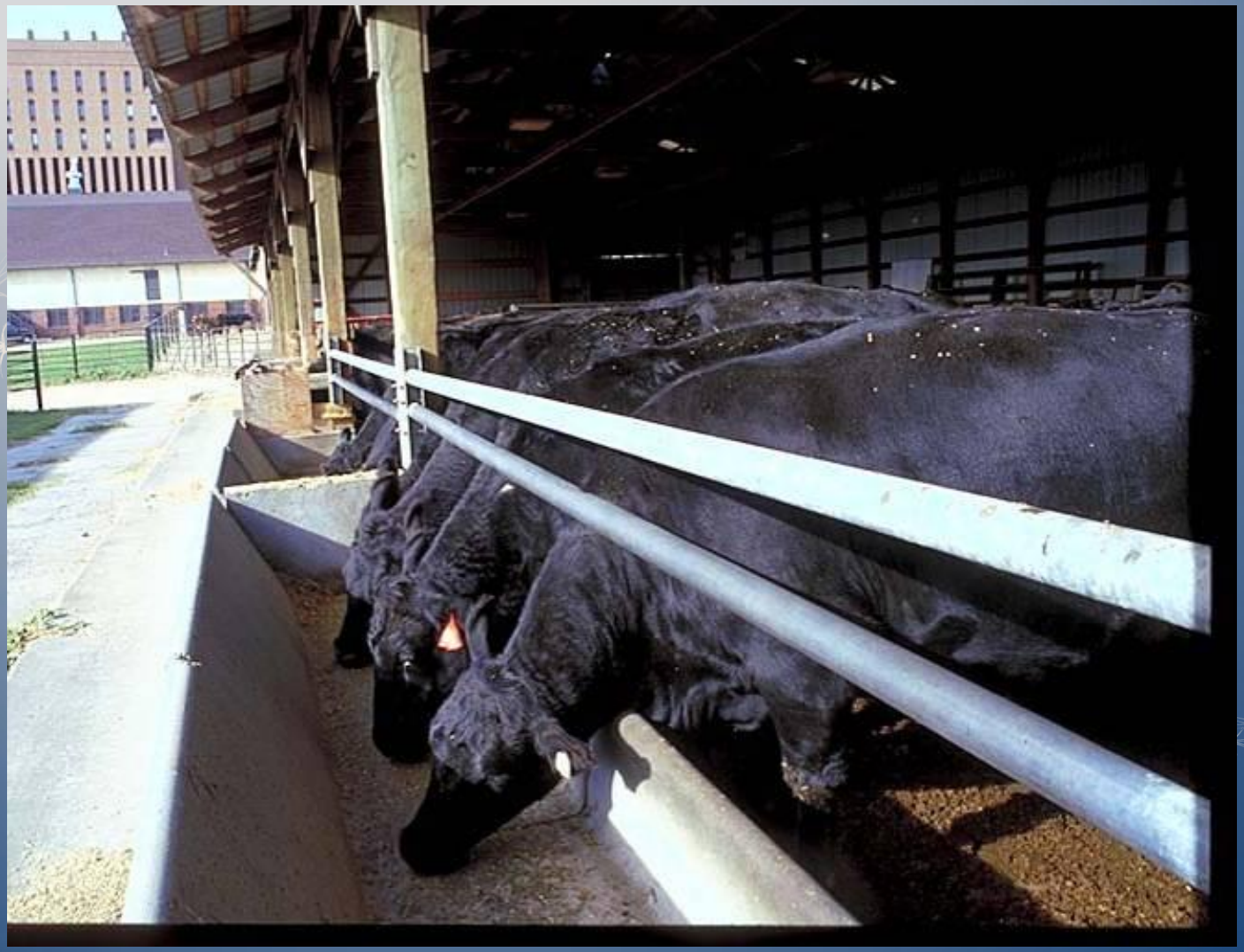
a, b, c符号間の差 (P < 0.05)

出典: Schingoethe et al. (2009)
1982年～2005年に処理済100飼料を比較した24件の試験による

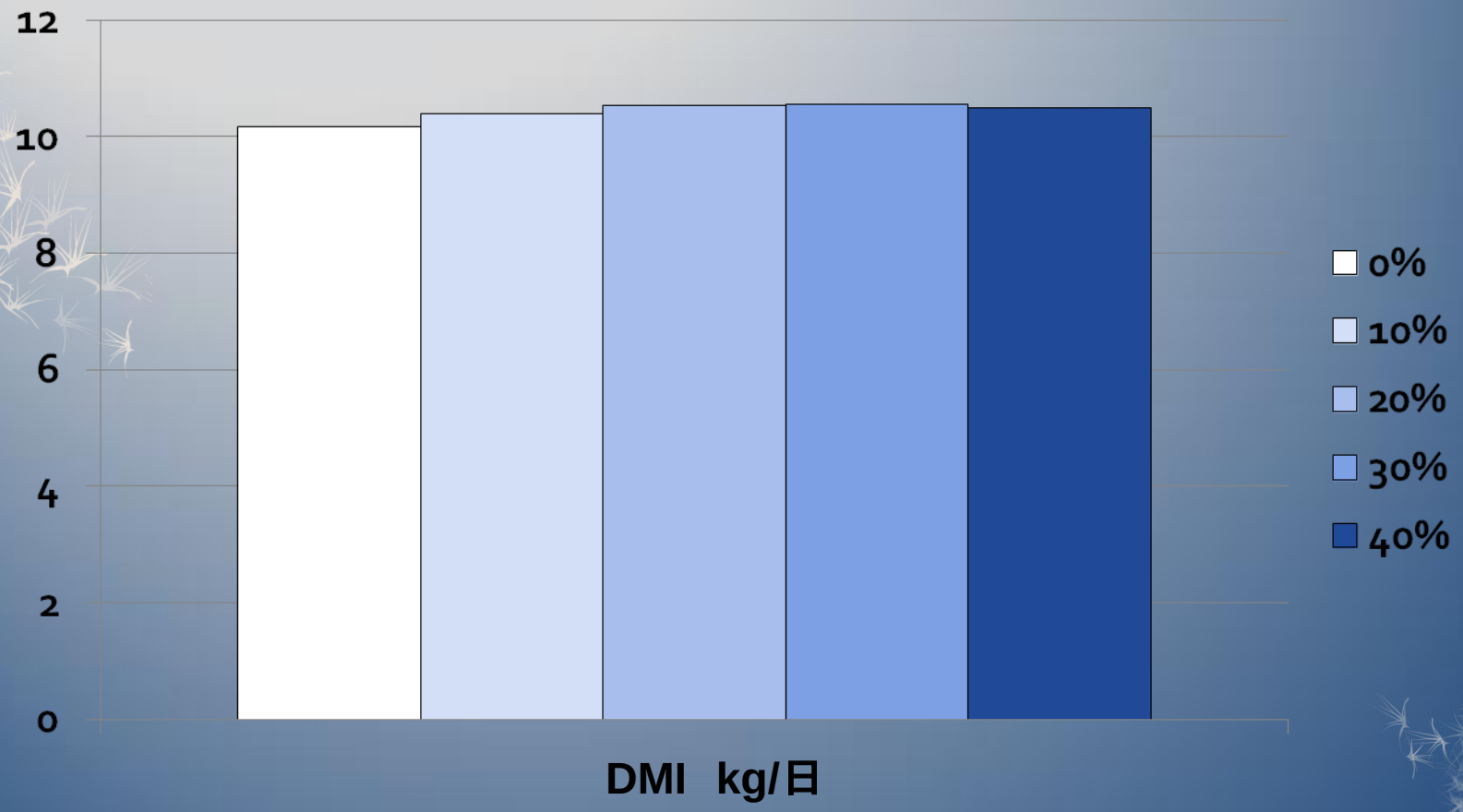
DDGSは泌乳牛用飼料に どれほど配合することが可能か？

- 推奨配合率は乾物ベースで最大20%
  - 4.5 – 6 kg/日 (DDGS)
- 嗜好性の問題はなし
- 乾物ベースで 30%配合した場合
  - 乾物摂取量が減少することがある
  - 乳産量が減少することがある
  - 乳タンパク質が減少することがある

DDGSの肉牛用飼料への使用

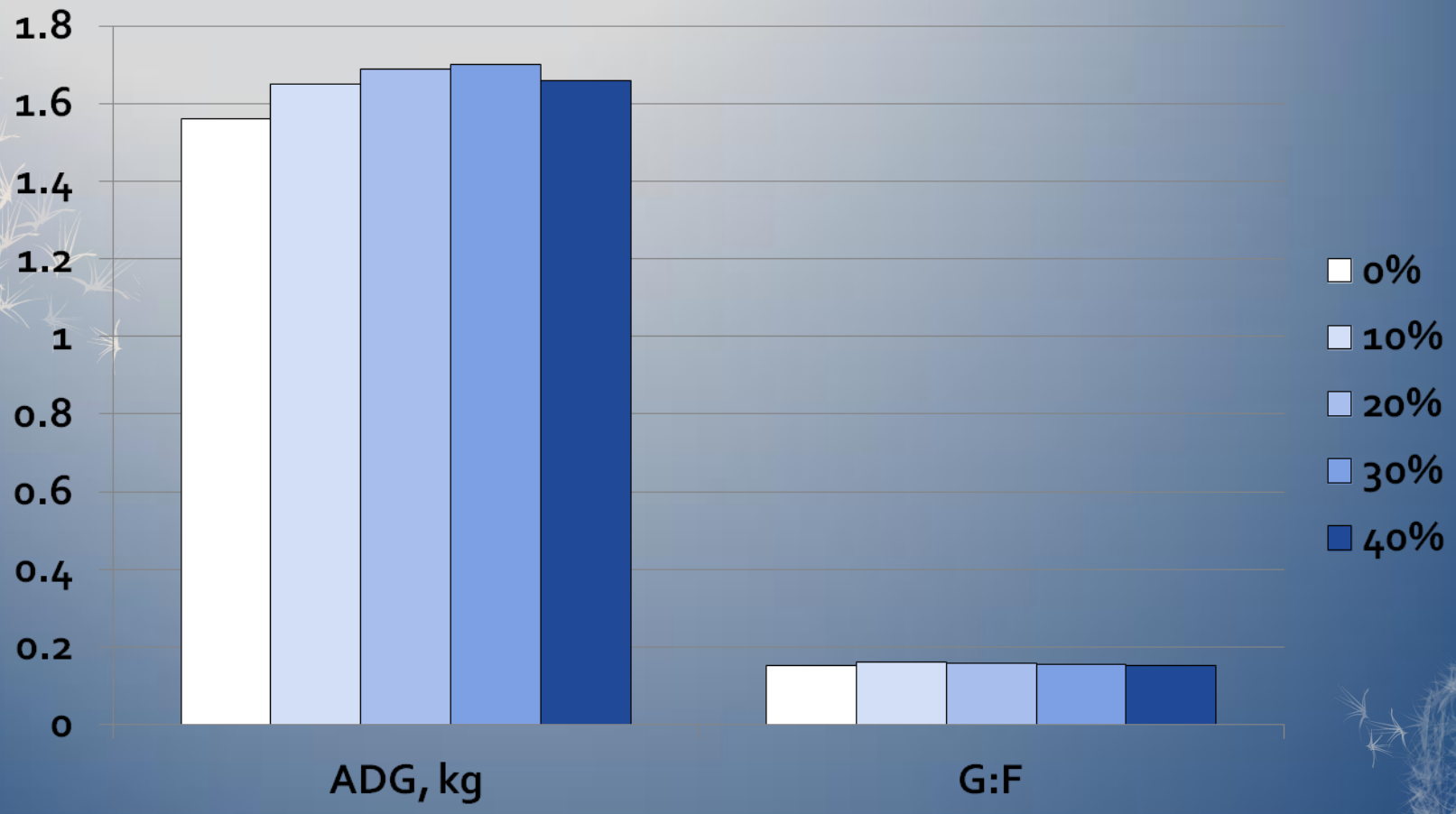


DDGSを40%まで配合した飼料を仕上期去勢牛に給与した場合の乾物摂取量



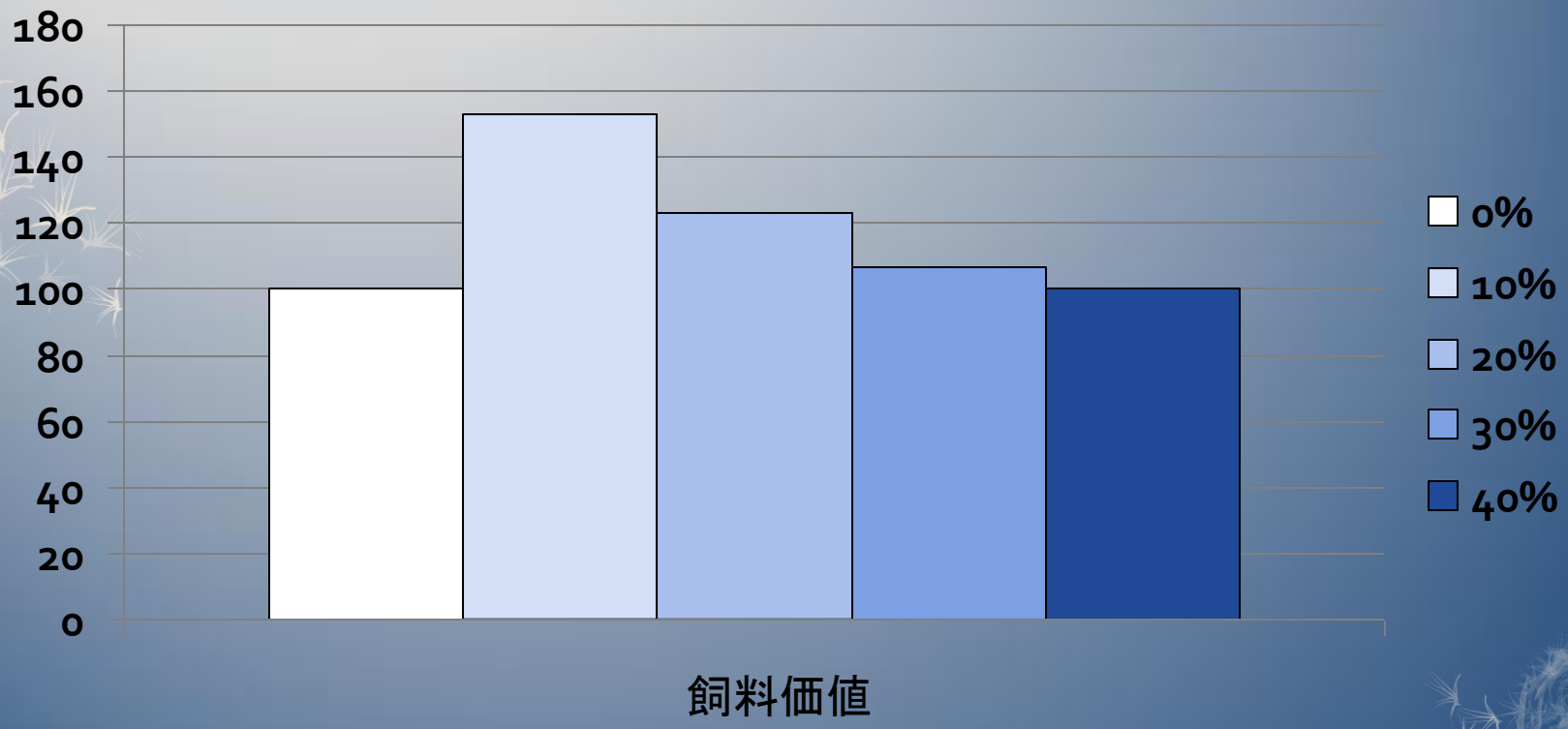
出典: Klopfenstein et al. (2008)
5件の試験のメタ分析
DDGS配合率の一次 (P < 0.01) および二次 (P < 0.08) 効果

DDGSを 40%まで配合した飼料を給与した場合の仕上期去勢牛の成長成績



Klopfenstein et al. (2008)
5件の試験のメタ分析
DDGS配合率の有意な一次･二次効果

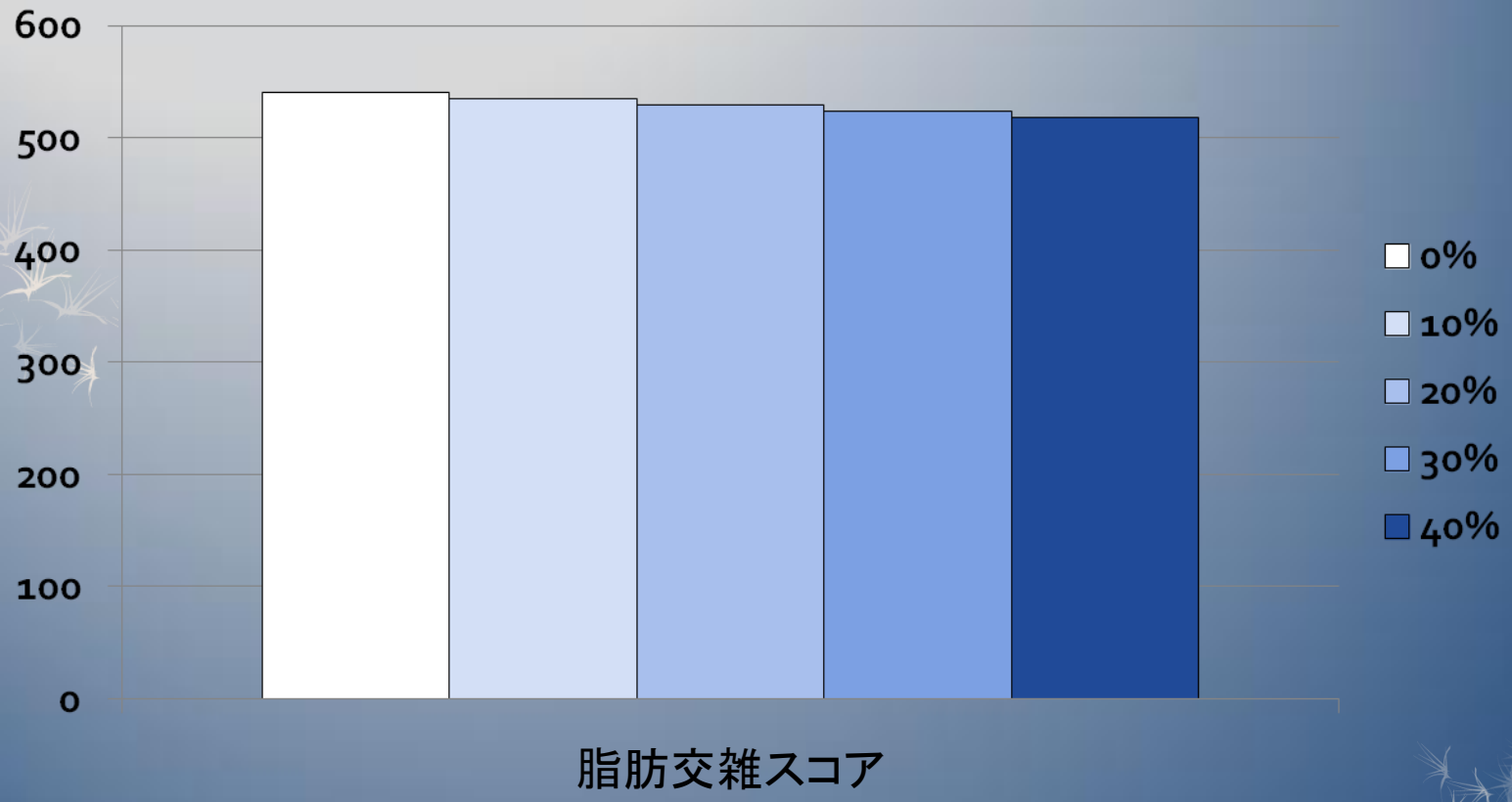
仕上期去勢牛用飼料へのDDGSの配合率を上げた場合の飼料価値(%)



出典: Klopfenstein et al. (2008)
5件の試験のメタ分析

トウモロコシと比較した場合の値。飼料効率の差異をDDGS配合率で除して計算

DDGSを40%まで配合した飼料を給与した場合の仕上期去勢牛のロース芯筋肉内の脂肪交雑スコア



Klopfenstein et al. (2008)
5件の試験のメタ分析
交雑スコア500= 小
DDGS配合の一次 効果(P < 0.07)

DDGS –「最新情報」

- 家畜･家禽用に低脂肪DDGSを給与した場合のエネルギー含量は？
- 生育期から仕上期の豚用にDDGSを高配合した場合、豚脂肪の質をどのように管理するか？
- DDGSの供給者は酸化した脂質を配合していないか？
  - DDGS中の酸化した油分は豚の健康や成績に影響を及ぼすか？
  - 飼料に抗酸化物質を補給する必要はあるか？

エタノール業者の油分抽出

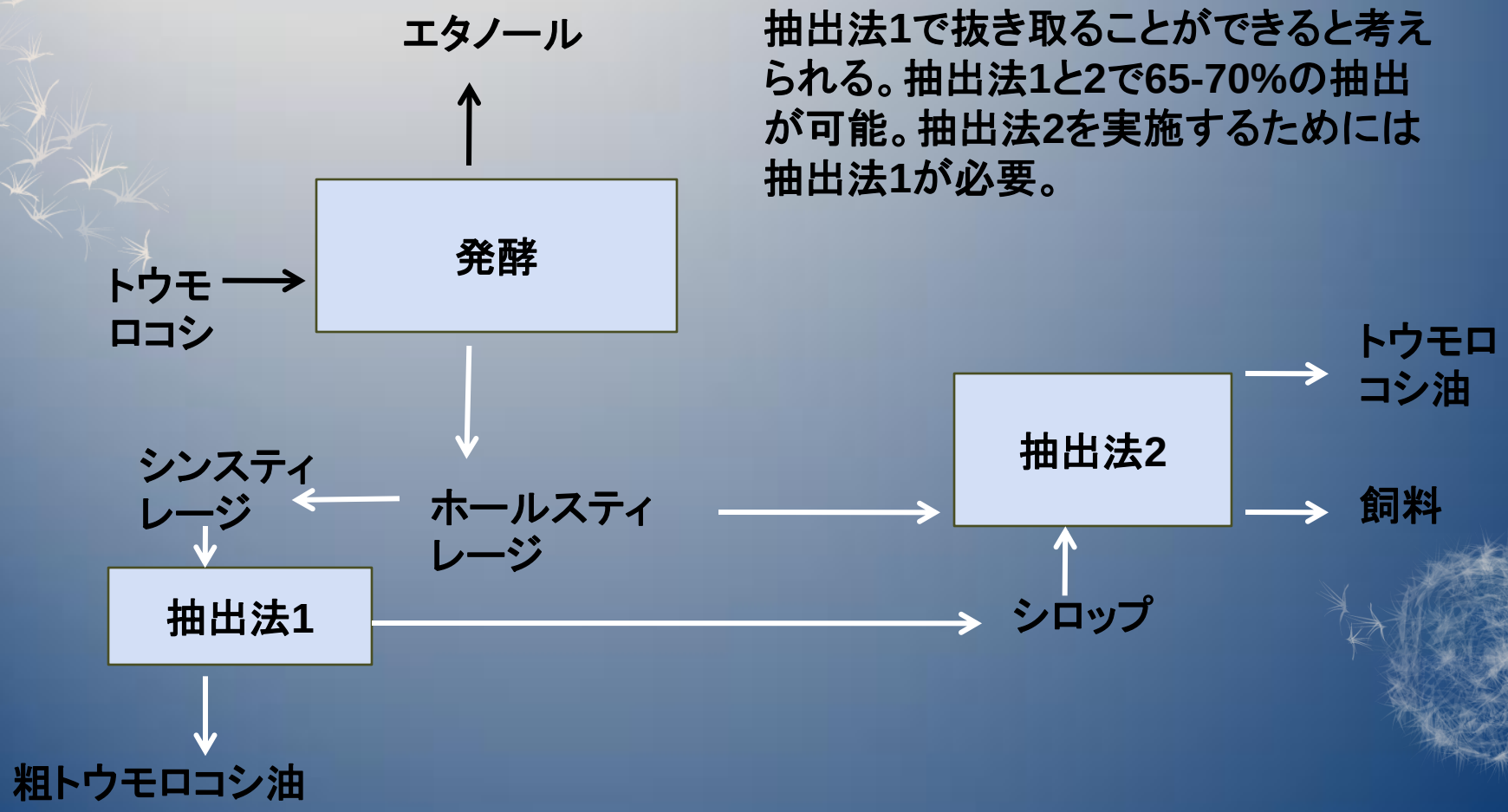
- 米国のエタノールプラントは207件
  - 生産 > 蒸留による併産物は年間3,500万メートルトン
    - 現在油分抽出を実施しているプラントは50%以下
    - 2012年末までには75%が油分を抽出する予定
- 油分抽出の経済的見返りは大きい
  - 粗トウモロコシ油の価格は1キロ当たり1ドル
- 約2-3 パーセントポイントの油分を抜き取る

エタノール業者の油分抽出

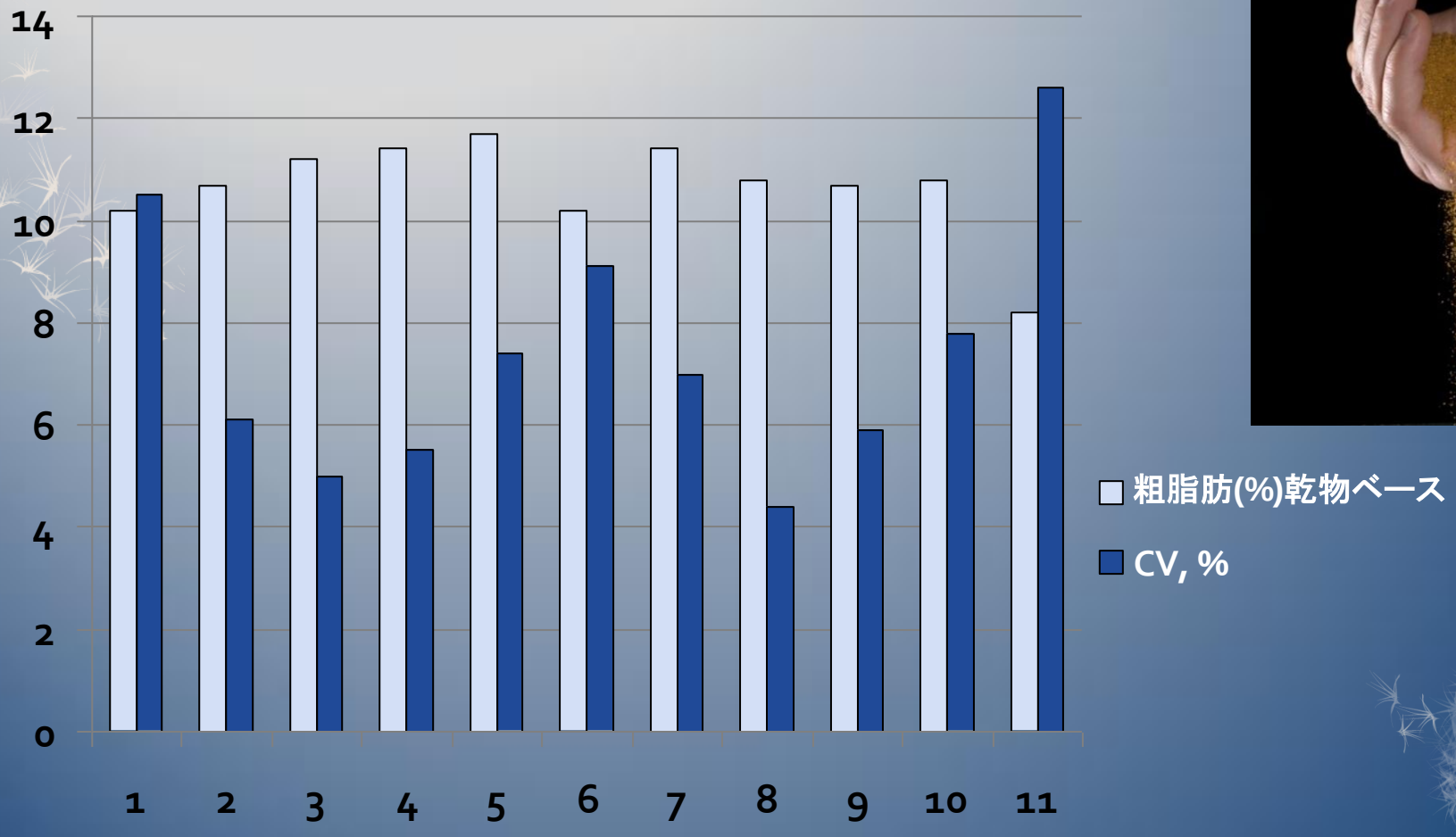
- 見返りの割に少ない設備投資額
  - 1億ガロン規模のプラント
  - 総投資額300万ドル
    - 2 台の遠心分離機、建屋、電設、配管等
  - 年間910万キロの油分を抽出する ($1.00/kg)
  - 収益 = 年間910万ドル
    - 大半のプラントの投資回収月数は3～4ヶ月
- DDGSの粗脂肪含有率は5～13%
  - ほとんどの低脂肪DDGSには8～9%の粗脂肪が含まれる

「バックエンド」油分抽出プロセス

抽出可能なトウモロコシ油の約30%を抽出法1で抜き取ることができると考えられる。抽出法1と2で65-70%の抽出が可能。抽出法2を実施するためには抽出法1が必要。



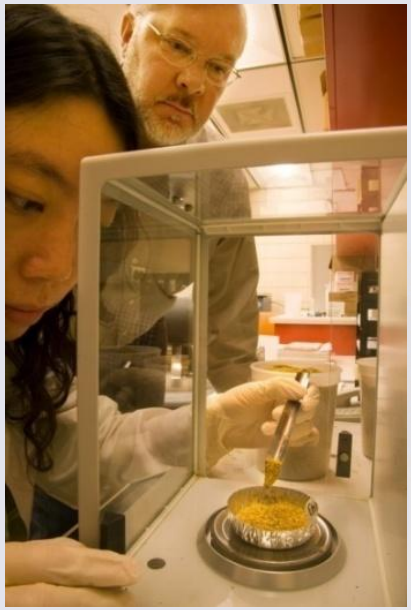
DDGSに含まれる粗脂肪は通常供給源間でばらつきがある



Spiehs et al. (2002)

DDGSに含まれるME含量にはなぜ大きなばらつきがあるのか？

- DDGS製造に使用されるプロセスが異なる
- 供給源間で脂肪含有量にばらつきがある
- 炭水化物の組成と消化率にばらつきがある
- 粒径に200～1200μ超までのばらつきがある
- 使用された試験・分析法



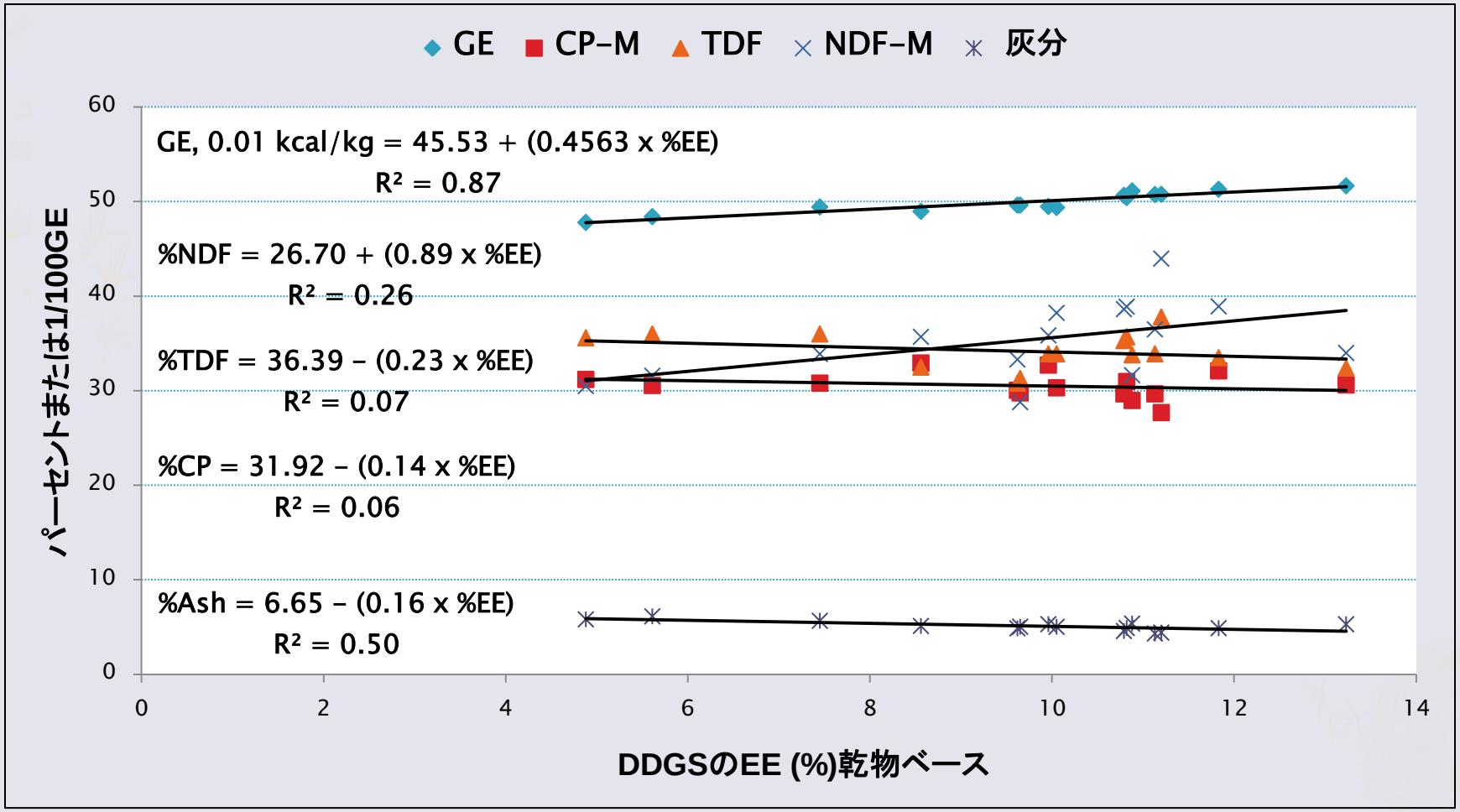
低脂肪DDGSを豚に給与した場合のDE含量およびME含量の測定

- 実験 1
  - 11 供給源のDDGSを評価 (+主体飼料)
  - 栄養組成の範囲 (DMベース)
    - 粗脂肪 - 8.6 ~ 13.2%
    - NDF - 28.8 ~ 44.0%
    - デンプン – 0.8 ~ 3.9%
    - 粗タンパク質 - 27.7 ~ 32.9%
    - 灰分 – 4.3 ~ 5.3%
  - 30% のDDGSをトウモロコシ主体飼料(トウモロコシ97.2%)に配合
  - 84 kg の未経産豚に1日あたり平均摂取量(ADFI)2.4 kg を給与

低脂肪DDGSを豚に給与した場合のDE含量およびME含量の測定

- 実験 2
  - 4 供給源のDDGSを評価（+主体飼料）
  - 栄養組成の範囲（DM ベース）
    - 粗脂肪 – 4.9 ～ 10.9%
    - NDF – 30.5 ～ 33.9%
    - デンプン – 2.5 ～3.3%
    - 粗タンパク質 – 29.0 ～ 31.2%
    - 灰分 – 5.4 ～ 6.1%
  - 106 kgの未経産豚に一日平均飼料摂取量 (ADFI) 2.7 kg を給与

低脂肪DDGSの組成と粗脂肪(EE)含有量との関係



供給源別DDGSのME含量順位と栄養成分(DMベース)-試験1

DDGS 供給源	ME kcal/kg	粗脂肪 %	NDF %	粗タンパク質 %	デンプン%	灰分 %
8	3,603	13.2	34.0	30.6	1.3	5.3
11	3,553	11.8	38.9	32.1	1.1	4.9
9	3,550	9.7	28.8	29.8	2.8	5.0
6	3,513	9.6	33.0	30.1	3.4	4.9
7	3,423	10.1	38.2	30.3	2.2	5.0
2	3,400	11.1	36.5	29.7	3.9	4.3
4	3,362	8.6	35.7	32.9	0.8	5.1
3	3,360	10.8	38.6	29.7	1.6	4.6
10	3,327	10.0	35.9	32.7	1.0	5.3
1	3,302	11.2	44.0	27.7	1.8	4.4
5	3,277	11.1	39.7	31.6	0.9	5.0

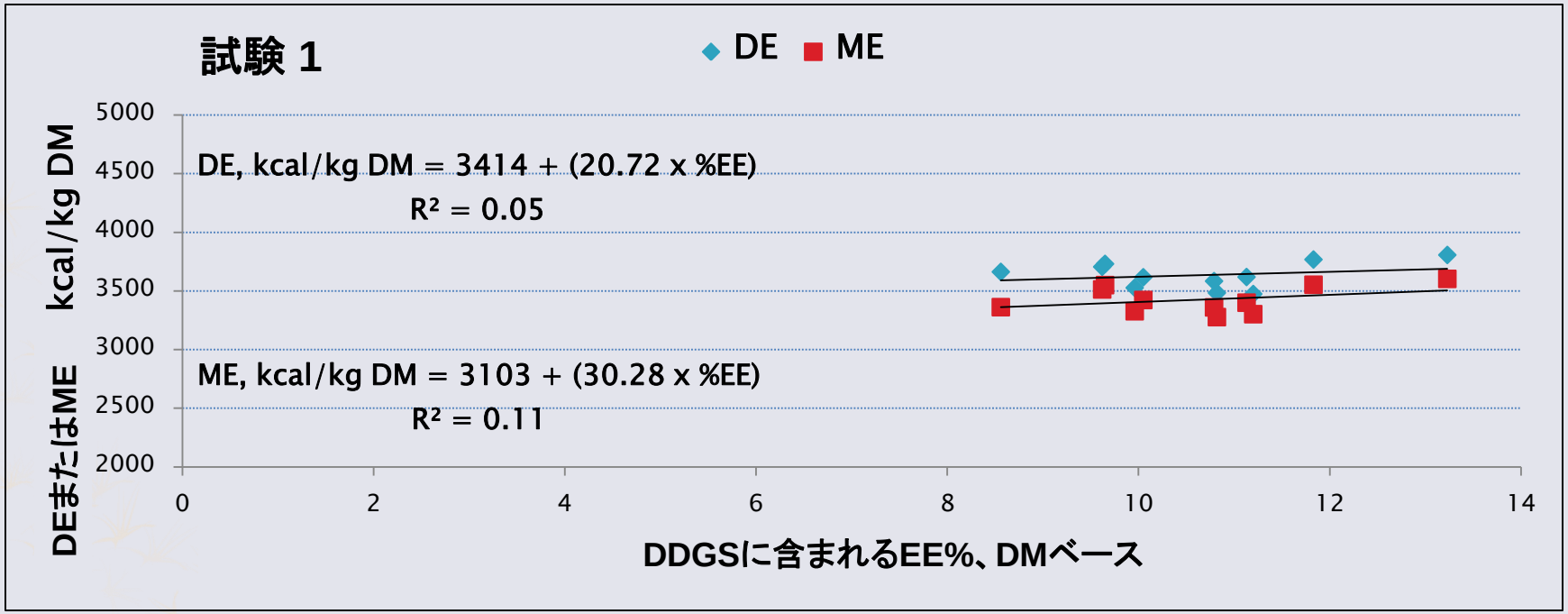
緑 = 最高値
赤 = 最低値

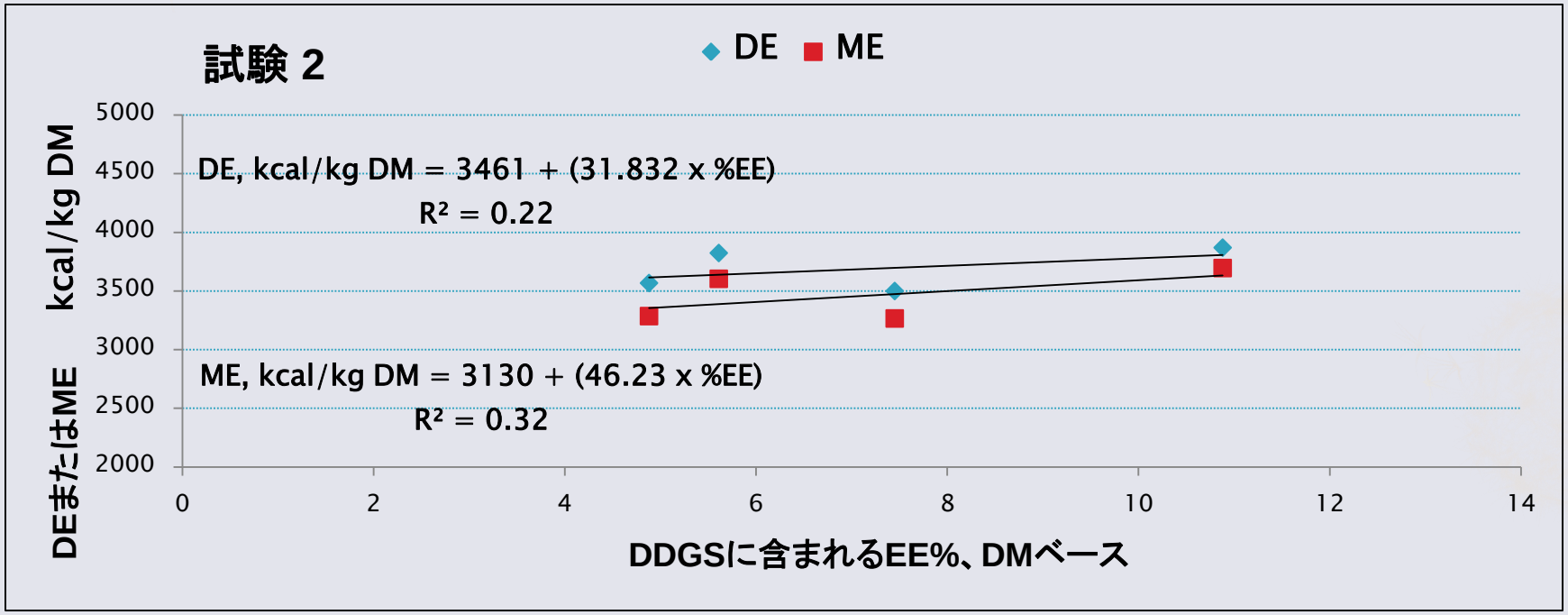
粗脂肪ではME含量を推定できない!!（試験1）

	DDGS 供給源 11	DDGS 供給源 9	DDGS 供給源 8	DDGS 供給源 5
ME kcal/kg	3,553	3,550	3,603	3,277
粗脂肪 %	11.8	9.7	13.2	11.1
デンプン %	1.1	2.8	1.3	0.9
NDF %	38.9	28.8	34.0	39.7
粗タンパク質 %	32.1	29.8	30.6	31.6
灰分 %	4.9	5.0	5.3	5.0

DDGS供給源間の比較 11 vs. 9:
粗脂肪が2.1パーセントポイント低くMEが3 kcal/kg少ない

DDGS供給源間の比較 8 vs. 5:
粗脂肪が2.1 パーセントポイント低くMEが326 kcal/kg 少ない


試験 1
DE
ME
DE, kcal/kg DM = 3414 + (20.72 x %EE)
R² = 0.05
ME, kcal/kg DM = 3103 + (30.28 x %EE)
R² = 0.11
DEまたはME kcal/kg DM
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
0
2
4
6
8
10
12
14
DDGSに含まれるEE%、DMベース


試験 2
DE
ME
DE, kcal/kg DM = 3461 + (31.832 x %EE)
R² = 0.22
ME, kcal/kg DM = 3130 + (46.23 x %EE)
R² = 0.32
DEまたはME kcal/kg DM
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
0
2
4
6
8
10
12
14
DDGSに含まれるEE%、DMベース

AndersonらによるDDGSのME予測式 (2012)

- 脱皮穀脱胚芽トウモロコシ
- 乾燥ソリュブル
- 油分
- デンプン
- ジャームミール (2)
- DDGS (7)
- グルテンミール
- HP-DDG (3)
- ふすま (2)
- グルテンフィード

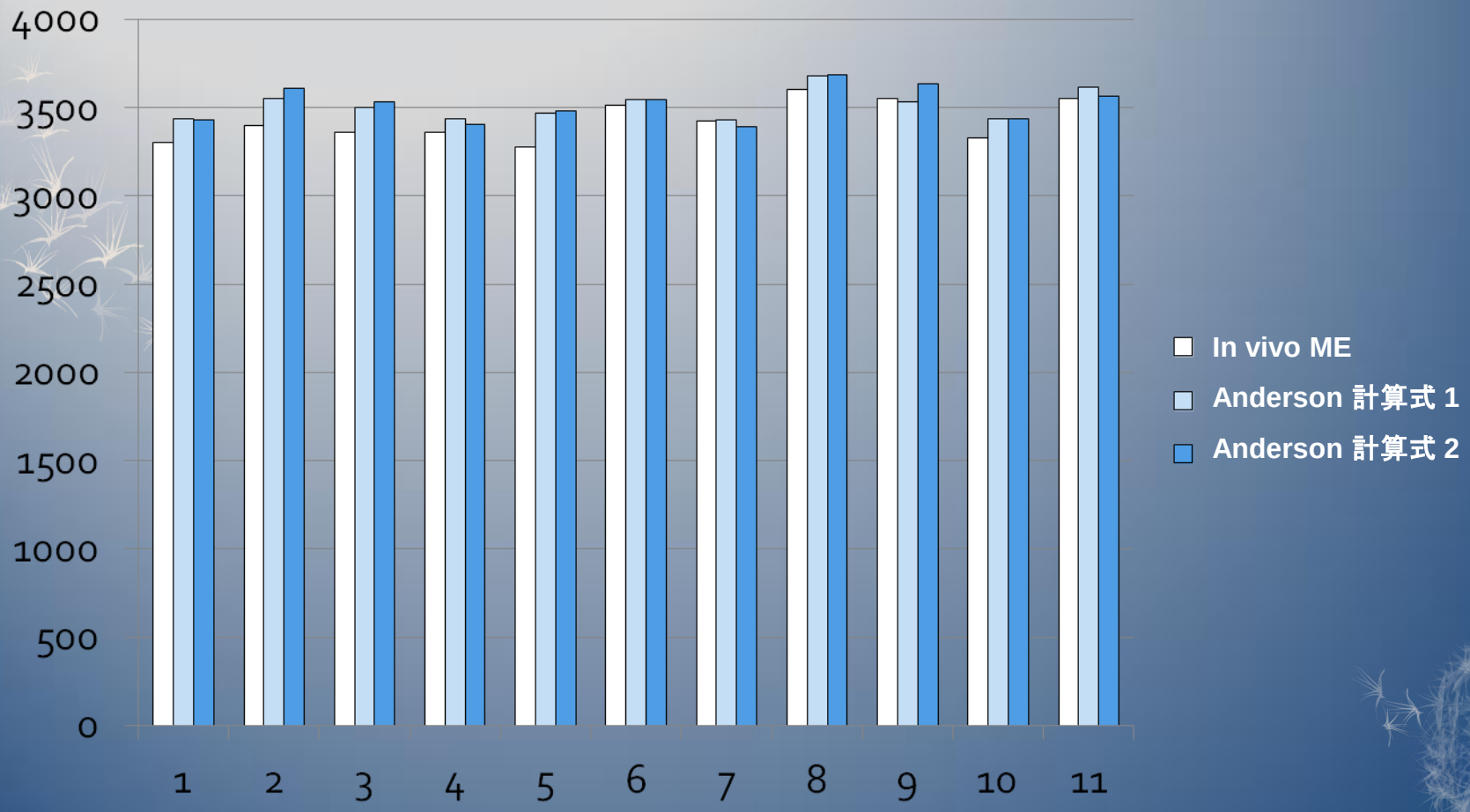
(1) ME kcal/kg DM = (0.90 × **GE**, kcal/kg) − (29.95 × % **TDF**)

r^2 = 0.72

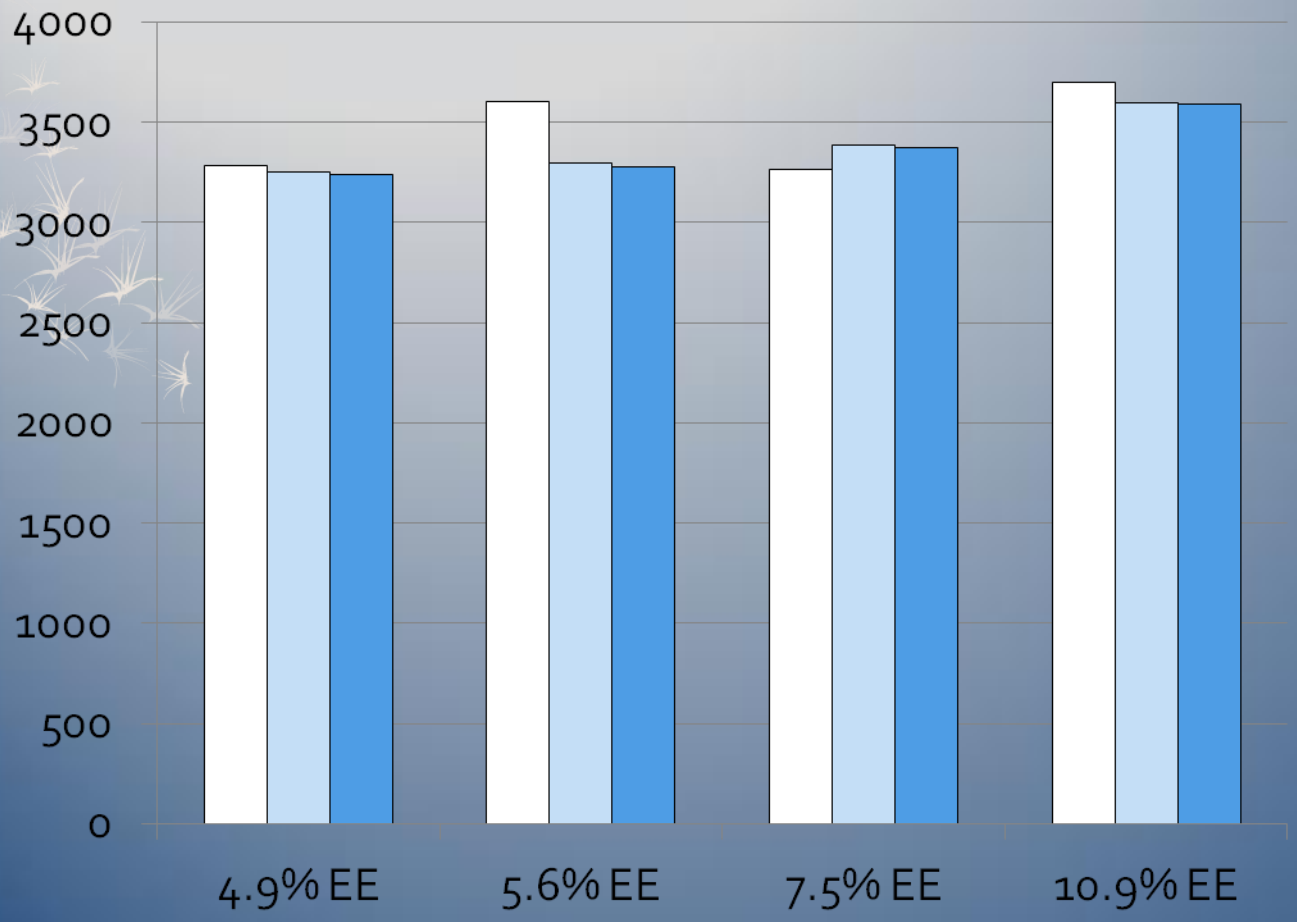
(2) ME kcal/kg DM = (0.94 × **GE**, kcal/kg) − (23.45 × % **NDF**) − (70.23 × % 灰分)

r^2 = 0.68

Andersonの計算式により豚に低脂肪DDGSを給与した場合の適切なME含量の予測が可能 (試験 1)

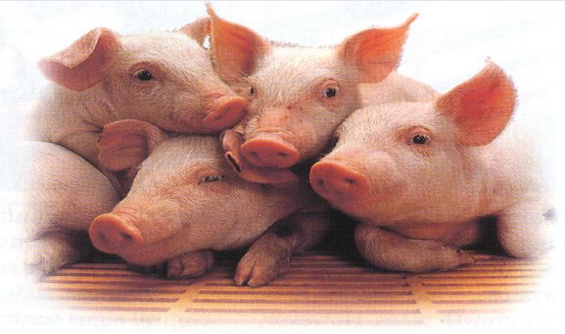


Andersonの計算式により豚に低脂肪DDGSを給与した場合の適切なME含量の予測が可能 (試験 2)



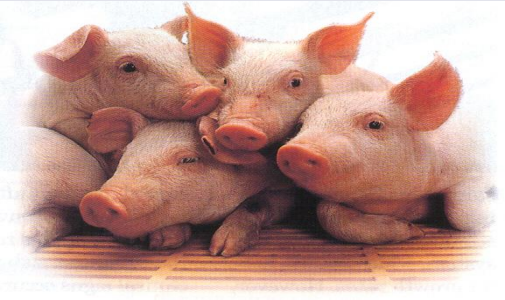
計算式1 r = 0.60
計算式2 r = 0.60

結論



- 粗脂肪を1パーセントポイント減らした場合低脂肪DDGSのDEやMEの変化を正確に推定することはできない
- DDGSの繊維含有率を正確に評価することは依然困難である
- 化学組成の測定にはラボごとに相当なばらつきがあり、MEの予測はその影響を受けている
- 豚についての推奨ME値の予測式:
  - ME kcal/kg DM = (0.90 × GE, kcal/kg) − (29.95 × % TDF)
  - ME kcal/kg DM = (0.94 × GE, kcal/kg) − (23.45 × % NDF) − (70.23 × % Ash)
  - ME kcal/kg DM = 4,548 – (49.7 x % TDF) + (52.1 x % EE)
  - ME kcal/kg DM = 3,711 – (21.9 x % NDF) + (48.7 x % EE)
  - ME kcal/kg DM = 4,132 – (57.0 x % ADF)

結論



- GEやTDFを含めた計算式が最も確実な予測式である
  - 商業ラボではGE値やTDF値の測定が困難である
- GE値を直接測定できない場合、次のGE値予測式を使用できる
  - GE kcal/kg DM = 4,195 + (21.26 × 粗タンパク質) + (48.27 × 粗脂肪)
  - GE kcal/kg DM = 4,597 + (64.45 × % 粗脂肪) – (52.65 × % 灰分)
  - GE kcal/kg DM = 4,529 + (54.21 × % 粗脂肪)

畜牛や家禽に低脂肪DDGSを給与した場合のエネルギー含量への影響

- 肉牛
  - NE_gは、DDGS（12.9%粗脂肪）の油分削減1パーセントポイント当たり1.3% 減少する(Gigaxら 2011)
- 乳牛
  - データはないが、Mjounら(2010) は、低脂肪DDGS (3.5%粗脂肪、乾物ベース) を 30%まで配合した飼料を泌乳期のホルスタイン牛に給与した結果を以下のように報告した
    - 乳産量または乾物摂取量に影響はなかった
    - 乳脂肪の割合および収量が増加した
- 家禽
  - AME_n (kcal/kg DM) = 3,517 – (33.27 x % ヘミセルロース) + (46.02 x % 粗脂肪) – (82.47 x % 灰分) Rochelleら (2011)
  - ヘミセルロース値は % NDF - % ADFで算出できる

DDGSと豚脂肪の品質

- 米国養豚業者は、2009年から2011年まで、生育期から仕上期の豚の飼料にDDGSを50%まで配合することで、飼料コストを豚1頭あたり10ドル削減している
- ただし、20%を超えてDDGSをトウモロコシ-大豆粕飼料に配合すると豚脂肪の硬度を低下させる
- 豚脂肪の組成は給与した飼料の脂肪酸の組成とほぼ同じになる
  - PUFA(多価不飽和脂肪酸)の含有率が高い飼料は豚脂肪を軟らかくする
  - トウモロコシ油を10%まで含む DDGSのPUFA含有率は高い
  - 赤身の多い豚への影響は脂肪の多い豚より大きい

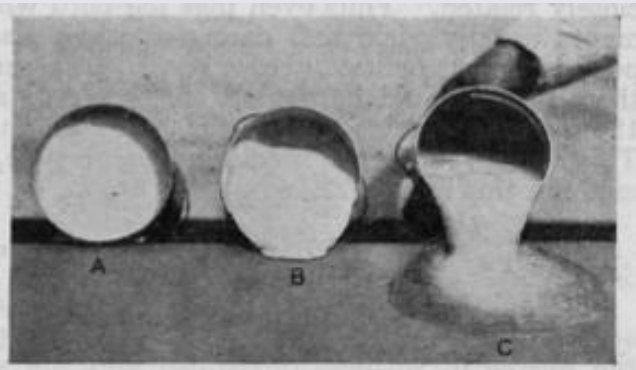


FIG. 116.—Lard from A, firm; B, soft; and C, oily carcasses

Hankins, 1928

DDGSと豚脂肪の品質

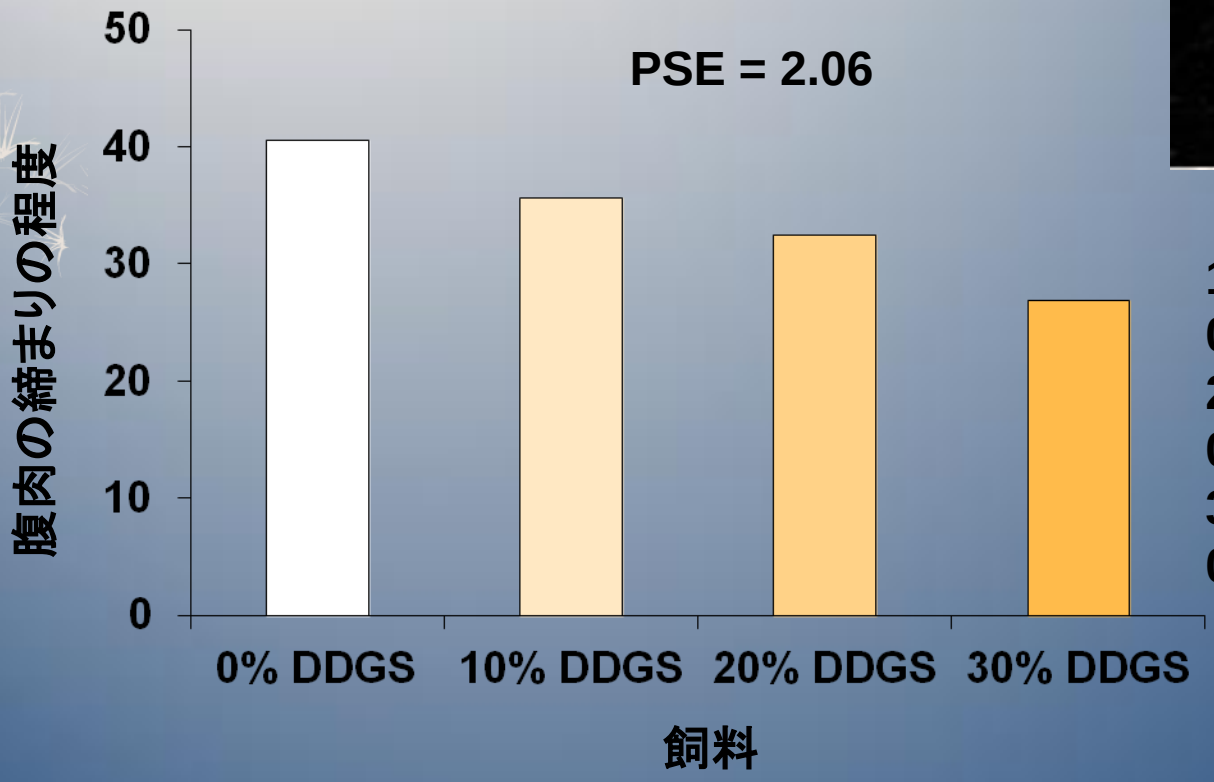
- 米国の豚肉加工業者の対応
  - 豚脂肪が品質基準値を超えた場合枝肉の価格を引き下げる
  - 生産者にDDGSの配合率を制限するよう求める

- 公的な品質基準は未確立
  - IV (ヨウ素価=不飽和脂肪酸／飽和脂肪酸)
    - 豚脂肪の脂肪酸組成の算出
    - IV72が最大値と示唆される

豚脂肪の受け入れ可能な品質とは?

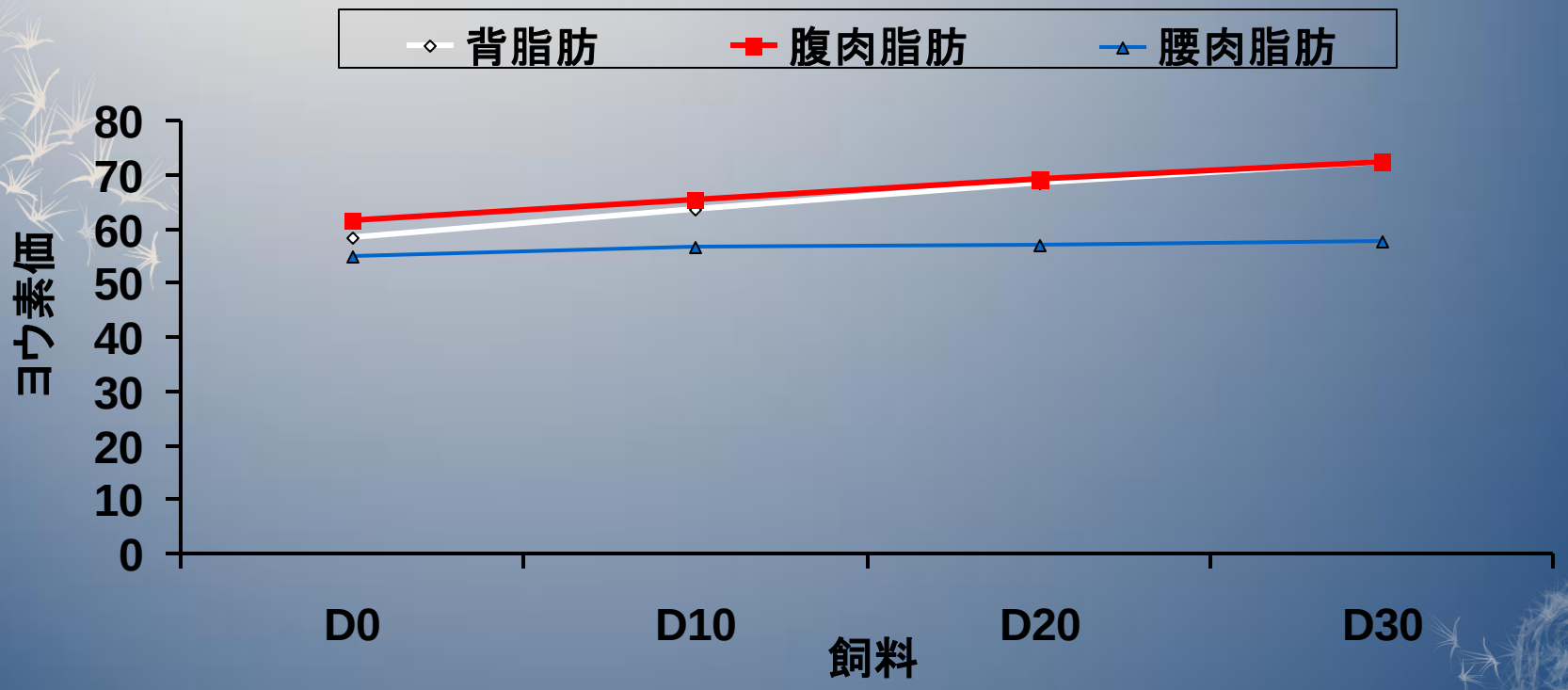
- 受け入れ可能な豚脂肪の硬さは以下の通りとされる
  - リノール酸含有率は12-15%
  - 飽和脂肪酸は 41% 超
- 通常はIVを基準とするが異なる場合もある
  - 70 – デンマーク食肉研究所
  - 70 – 全米豚肉生産者協会
  - 74 – Boydら (1997)
- IVは脂肪組織の部位によって異なる
  - 頬肉の脂肪 > 腹肉の脂肪> 背脂肪
- 米国豚肉業界は最大IV標準値を使用
  - Triumph Foods – 頬肉 IV = 73
  - Farmland Foods – 腹肉IV = 74

飼料のDDGS配合率が腹肉の締まりに及ぼす影響



10% < 0% (P < 0.05)
20% < 0% (P < 0.05)
30% < 0% (P < 0.05)

飼料のDDGS配合率が豚脂肪のヨウ素価に及ぼす影響



脂肪蓄積部位すべてに対するDDGS配合率の一次効果 ($P < 0.01$)
飼料 × 部位 ($P < 0.01$)

DDGS配合飼料を給与する場合の豚脂肪硬度管理を検討する

- ヨウ素価物 (IVP)ベースで飼料を調製する
  - 背脂肪の IV = 0.32 IVP + 52.4

    ここで IVP = 飼料中の油分のIV x 飼料中の油分% x .1
  - 確実ではないにしろ、豚枝肉を目標IVに近づけることができる
- DDGS の飼料配合率を20%未満に下げる
  - 生産者の収益性への悪影響
- DDGS「ステップアップ」「ステップダウン」給与プログラムを活用する
  - 飼料コストの削減は断念する
  - 実費が飼料費予算を超える可能性も

一般的に使用される飼料原材料のIVとIVP

原材料	ME kcal/kg	脂肪 %	IV	ヨウ素価物 IVP
トウモロコシ	3352	3.6	130	46.8
マイロ	3270	2.9	120	34.8
大麦	2867	1.9	120	22.8
小麦	3274	1.9	120	22.8
粗挽き小麦	2580	4.95	119.5	59.2
大豆粕	3149	1.3	135	17.6
DDGS	3230	11.1	112	124.3
DDGS	3371	10.0	112	112.0
高級ホワイトグリース	8004	98.5	68.5	675.7
獣脂	8004	99	47	465.3
大豆油	8400	100	135	1,350
イエローグリース	8004	98.5	80	788
大麦副産物	3308	7.0	115	80.5

出典: Wayne Cast – Value Added Science and Technology

DDGS配合飼料を給与する場合の豚脂肪硬度管理を検討する

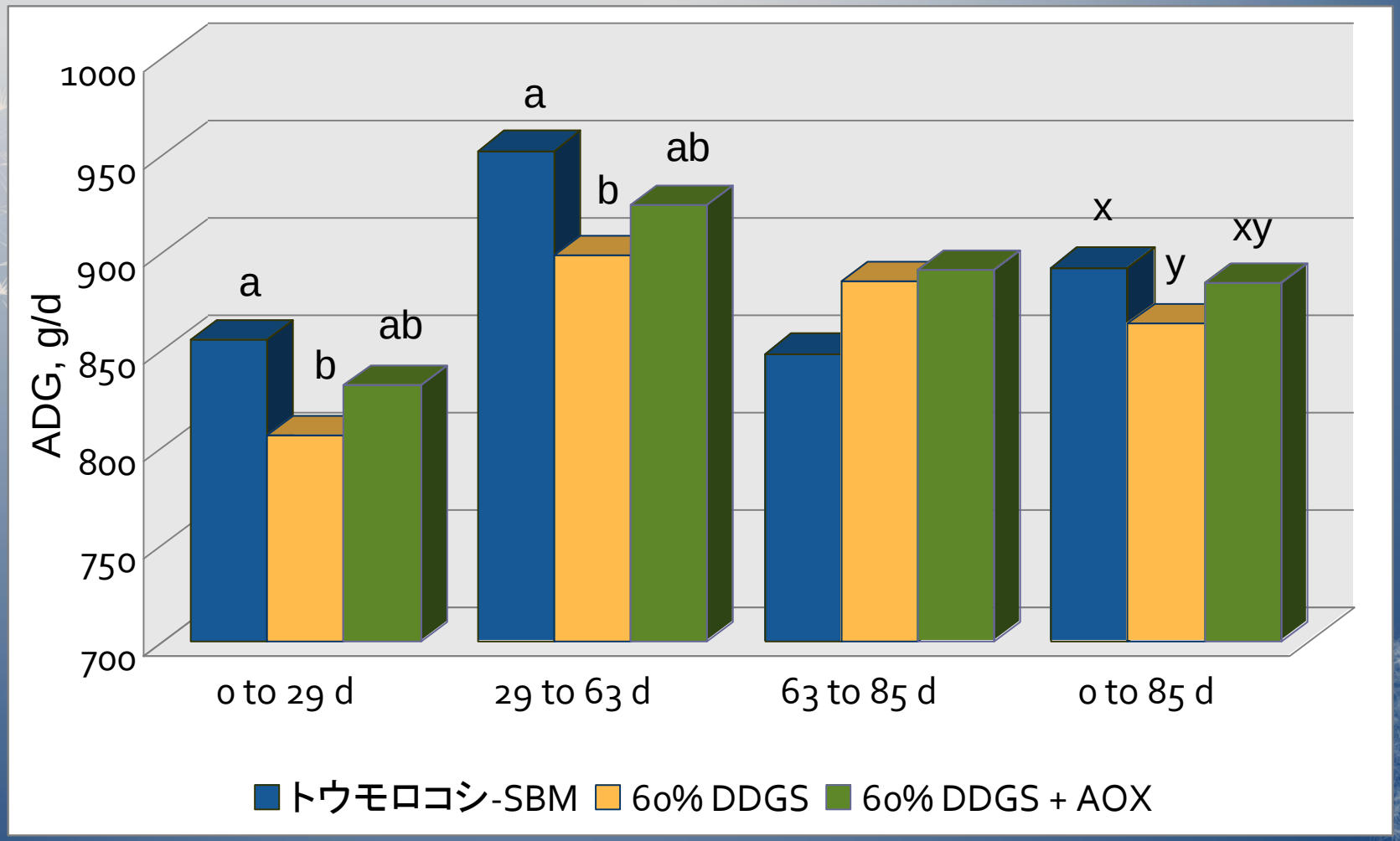
- 遅くとも出荷3週間前までに飼料へのDDGSの配合をやめる
  - 他の飼料の成分およびIV目標値による
- 低脂肪DDGS (粗脂肪7-8%)を給与する
  - 脂肪含有量が減ると飼料エネルギー含量も下がる
- 穀物源としてトウモロコシではなく小麦か大麦を給与する

DDGSに含まれる酸化した油分は問題となるか？

- なぜ問題となるのか？
  - トウモロコシ油は酸化しやすい多価不飽和脂肪酸の含有率が高い
  - 市販の抗酸化剤が豚用DDGS配合飼料の補給品として販売促進されている
  - 幼豚に発症するマルベリー心臓病(ビタミンE-セレン欠乏症）はDDGSが原因とされている

DDGSを給与された豚の成長成績を向上した抗酸化物質

Harrell et al, 2011



$^{a,b}P < 0.05$, $^{x,y}P < 0.10$

AOX: 抗酸化物質、AGRADO および Novus International

豚にDDGS配合飼料を給与するとマルベリー心臓病を発症させるのか?

- マルベリー心臓病 (MHD)
  - ビタミンEやセレンが欠乏することで発症する
  - 圃場の報告ではMHDの発症は増加している
  - 最も成長の早い豚が急死することが多い
  - DDGSとの因果関係が疑われている

PIG PROGRESS.NET
YOUR PORTAL ON GLOBAL PIG PRODUCTION

Simple steps can help combat MHD in swine

//13 Apr 2010

Incidence of Mulberry Heart Disease (MHD), a condition of the heart muscle that often leads to sudden death, has become a growing concern in the pig population. Linked to oxidative imbalance, many in the pig industry point to changes in pig rations – particularly the increased use of DDGS (Distiller's Dried Grains with Solubles) and the threat of more concentrated levels of mycotoxins – as adding fuel to this culprit's fire.

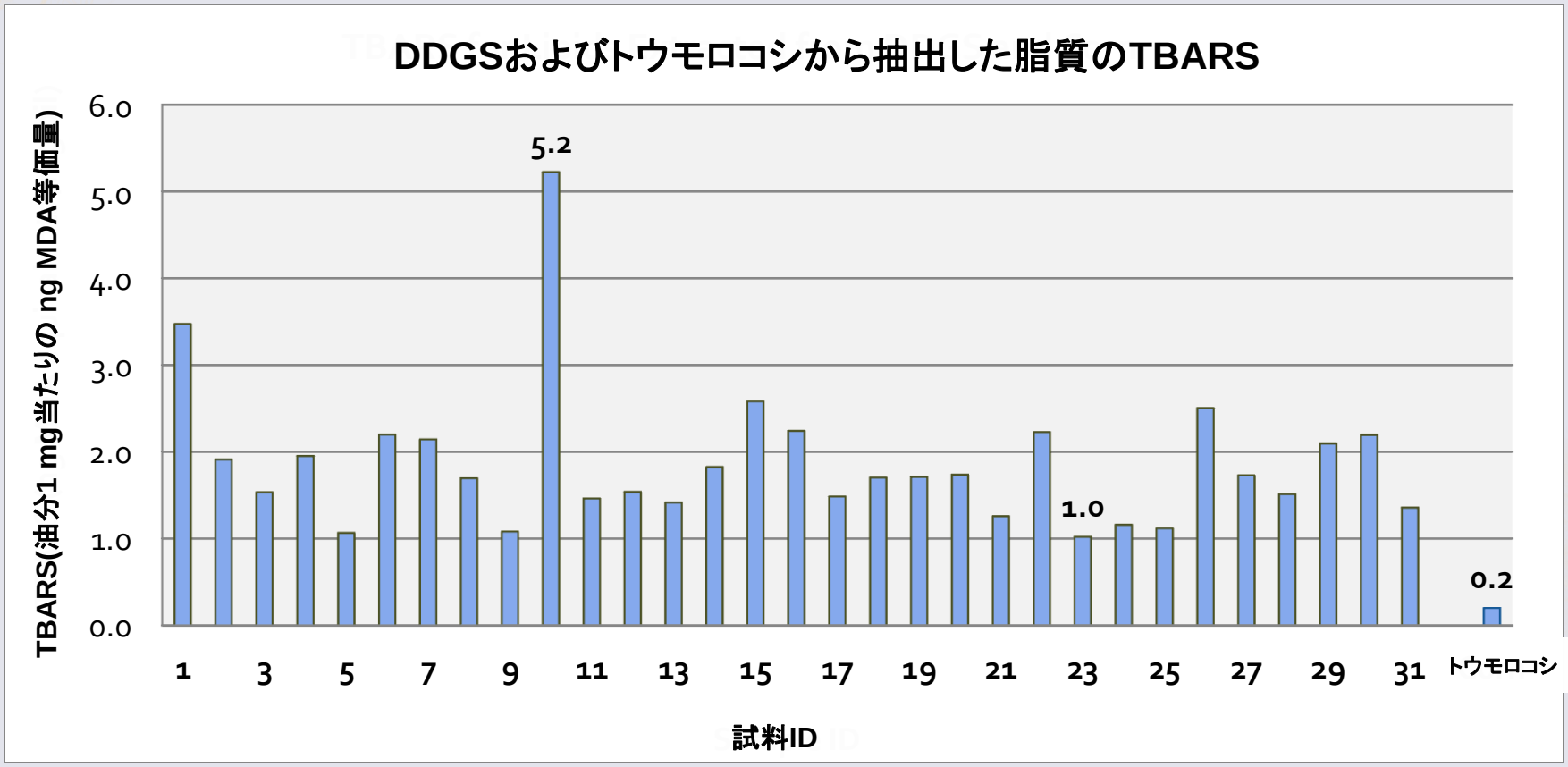
MHDとDDGSとの関係の可能性は?

- ビタミンEの要求量は、飼料中の多価不飽和脂肪酸(PUFA)の増加に伴い増加することがある
  - PUFA は非常に酸化しやすい
  - DDGS は高レベルの PUFA、特にリノール酸(60%まで)を含む
  - DDGSには高レベルの酸化油を含むものもある

- セレンの要求量は、飼料中の硫黄の増加に伴い増加することがある
  - 硫黄はセレンの吸収を阻害する
  - DDGSには高レベルの硫黄を含むものがある

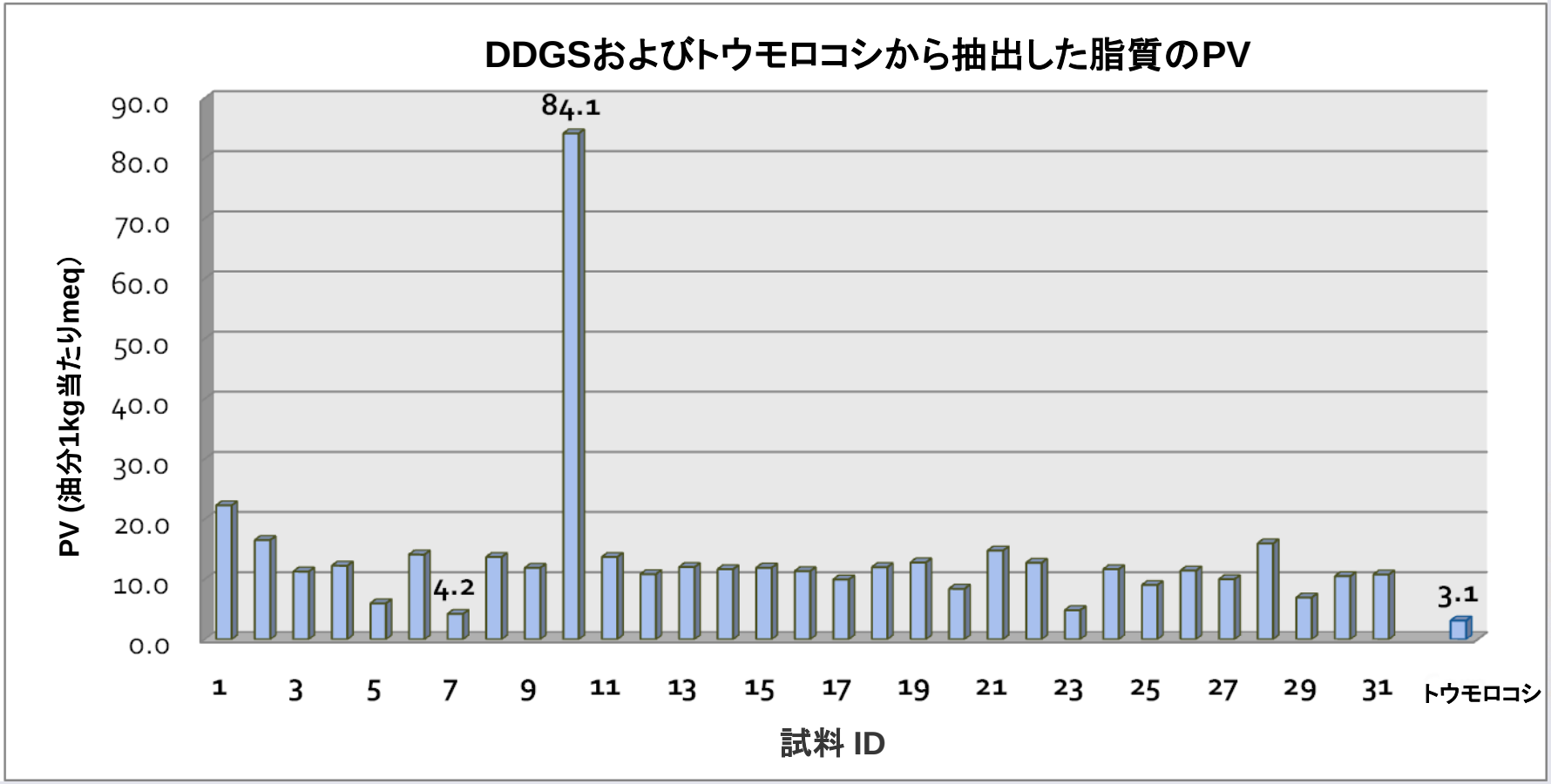
DDGS試料中のTBARS

- 31種のDDGS試料に含まれる油分1 mg当たりのTBARS値はMDA換算で1.0～5.2 ng
  - 最高値を示したDDGS試料のTBARS値はトウモロコシ試料の基準値（油分1 mg当たり0.2 ngMDA相当）の25倍となった



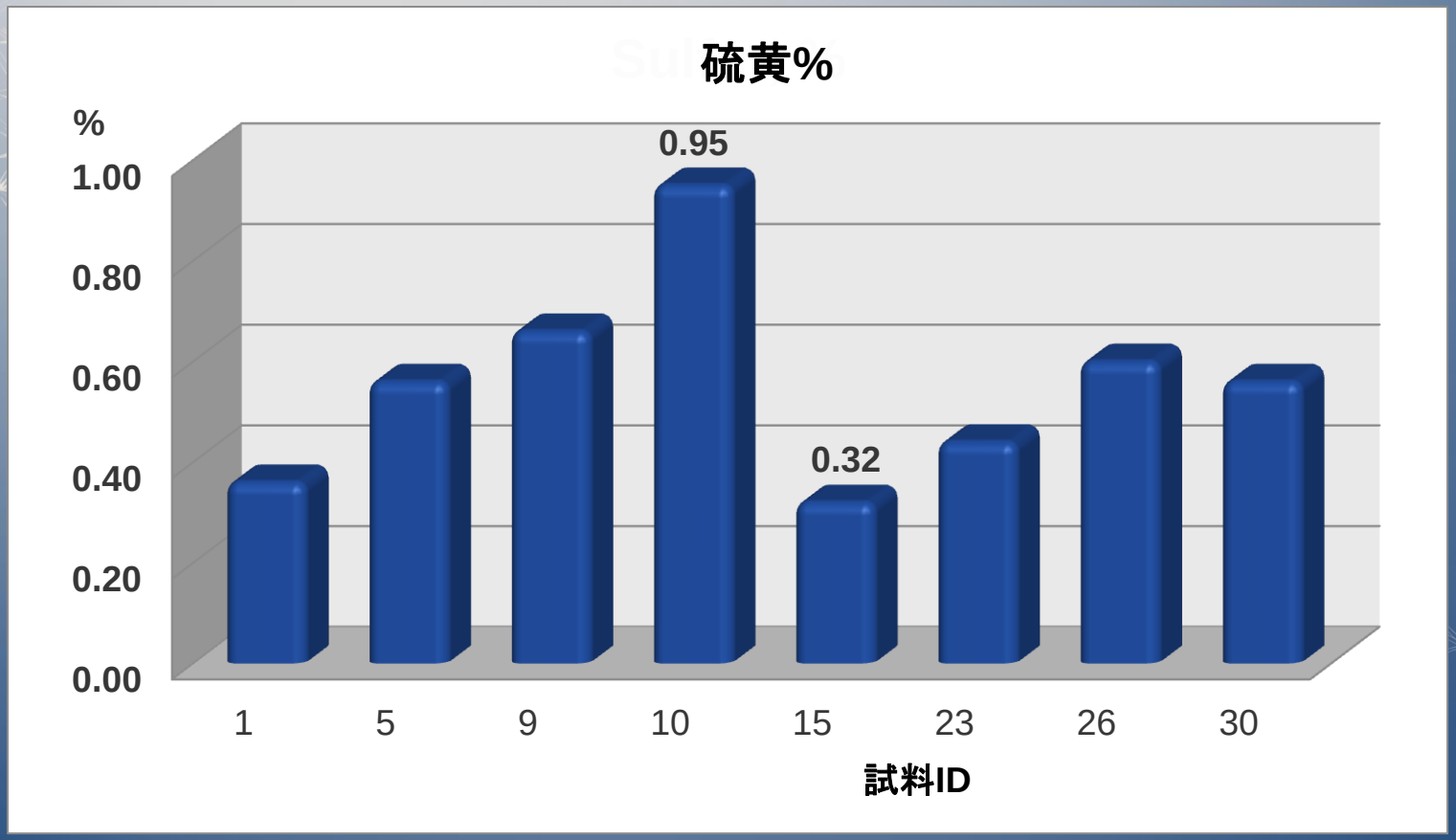
DDGS試料中の過酸化物価

- 31種のDDGS試料のPV値は油分1 kg当たり4.2～84.1 meq
  - 最高値を示したDDGS試料のPV値はトウモロコシ試料の基準値（油分1 kg当たり3.1 meq)の27倍となった



DDGS供給源間の硫黄含有率のばらつき

- 8種のDDGS試料の硫黄含有率は0.32～0.95%



まとめ – 抗酸化物質

- 高度に酸化した脂肪や硫黄を含むDDGSを30%配合した飼料を給与した幼豚
  - ⇑ 硫黄含有抗酸化物質
  - ⇑ 酸化した脂肪を含むDDGS給与による酸化の影響からの保護
- 幼豚にDDGS30% DDGS配合飼料を給与
  - ⇓ 最終体重
    - 標準回腸可消化アミノ酸含有率をやや過大評価したことが原因
  - 飼料中のビタミンEを増加しても成長成績は向上しなかった

- 硫黄や酸化したDDGSを多く含む飼料を給与する場合、酸化によるストレスから豚を保護するにはNRCが推奨するビタミンEのレベル（1998）が適切である

まとめ – マルベリー心臓病（MHD）

- DDGS高配合飼料を子豚や雌豚に給与してもMHDを発症しなかった
- DDGSを配合した飼料を雌豚に給与すると母乳中のビタミンE とセリンの含有量は減少する
  - 雌豚の母乳中のビタミンEとセリンの含有量は子豚の抗酸化力に影響を及ぼす
  - 影響は離乳後解消した