

水産養殖飼料用代替タンパク源としての DDGSの可能性

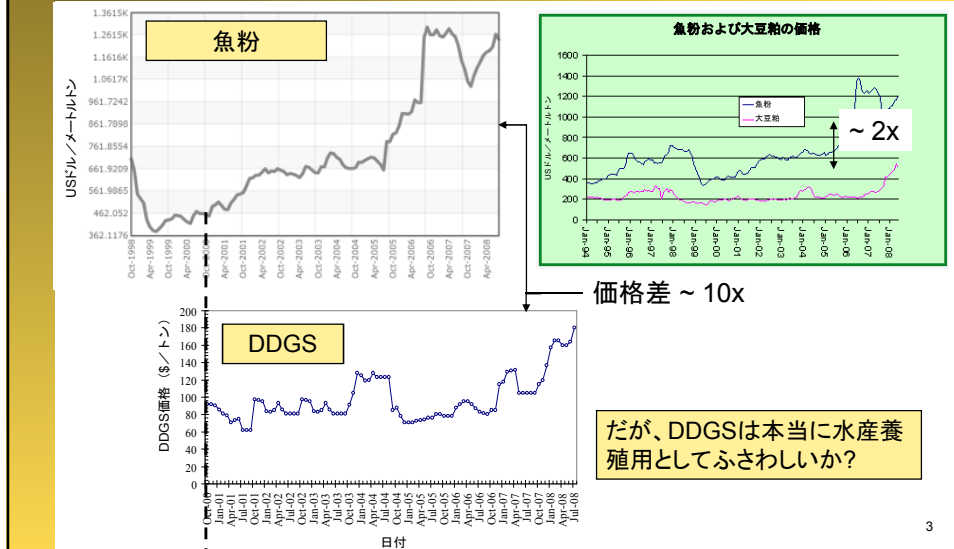
米国農務省農業研究局
米国サウスダコタ州、ブルッキングス
中央北部農業研究所
農業バイオプロセス・エンジニア
カート・ローゼントレイター博士 (Kurt A. Rosentrater, Ph.D.)

DDGS利用の可能性

- 伝統的な家畜用としての使用は確立されている
 - 肉牛、乳牛、豚、家禽
- では、他の種類の動物用としては？
 - 魚が好例
 - 養殖業界では代替タンパク質および油脂源に対する需要が拡大している
 - 海洋漁業資源への圧力の高まり(潜在的不足)
 - 費用効果の高い飼料原料の必要性
 - 代替タンパク質および油脂源候補の例
 - 藻、血粉、動物性副産物、海産物加工副産物、大豆粕、濃縮大豆タンパク、キャノーラミール、豆ミール

DDGS も適合する可能性がある

DDGS利用の可能性



DDGS利用の可能性

- ふたつの非常に重要な疑問

- 1) 魚はDDGS配合飼料を摂取するか?
- 2) 結果としてどのような成長成績が得られるか?

DDGSペレットだけではなく
バランスのとれた完全な飼料が必要

DDGSは水産養殖飼料に適しているか？

- 米国では3年以内に3000万トン/年DDGSが生産される
- 価格は魚粉の1/10



魚種	DDGS (%)	参照
ティラピア	19-29 (蒸留所)	Tudor et al., 1996
	30 (蒸留所)	Coyle et al., 2004
	0-40 (*)	Lim et al., 2007
	0-49 (蒸留所)	Wu et al., 1996
	0-82.23 (蒸留所)	Wu et al., 1997
ナマス	100 (蒸留所ソリュブル)	Kohler and Pagan-Font, 1978
	100% (蒸留所)	Tidwell et al., 2000
ナマス	35 (蒸留所)	Webster et al., 1992
	0-30 (蒸留所)	Webster et al., 1993
	0-70 (蒸留所)	Webster et al., 1991

魚種	DDGS (%)	参照
ニジマス	0-22.5 (トウモロコシ)	Cheng and Hardy, 2004
	15 (トウモロコシ)	Cheng and Hardy, 2004
	18.5 (*)	Cheng et al., 2003
コイ	3.3-6.6 (シンステイレージ-小麦)	Thiessen et al., 2003
	0-15 (*)	Hung, 2007
エビ	40 (蒸留所)	Tidwell et al., 1993
	40 (蒸留所)	Tidwell et al., 1998
	100 (蒸留所)	Coyle et al., 2003
	100 (蒸留所)	Coyle et al., 2004

飲料蒸留所由来DDGS は燃料エタノール工場由来DDGSとは異なる

* DDGS 源に関する情報なし

5

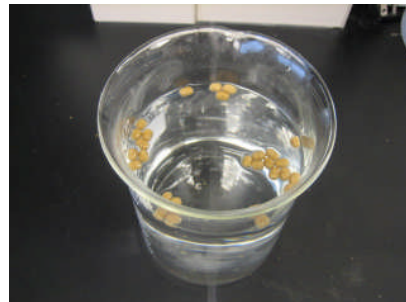
DDGS配合飼料のペレット化

- 高タンパク質 / 高繊維飼料



ペレット・ミルでの加工

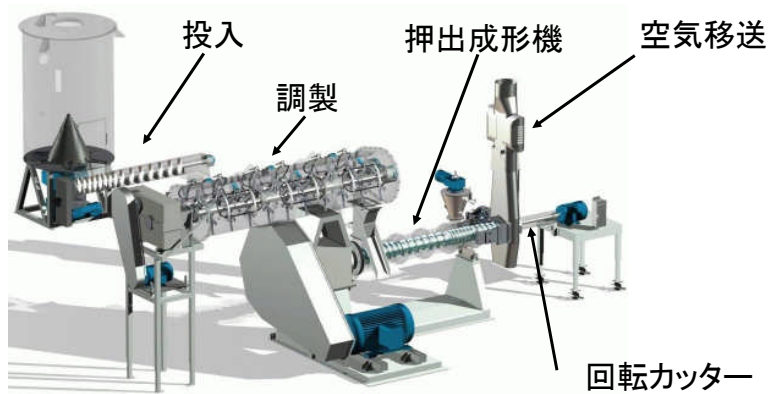
VS.



押出成形加工

6

押出成形加工

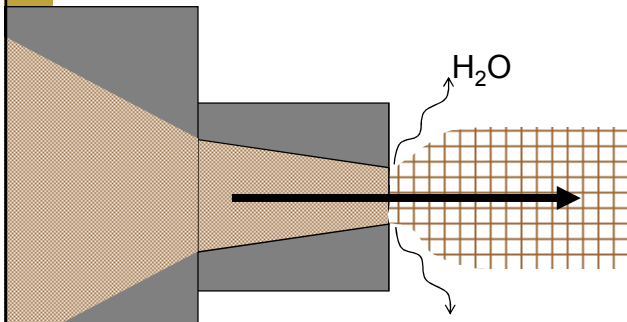
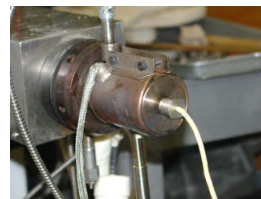


7

押出加工

• 押出成形のメリット

- 混合／混練
- 摩擦熱
- 蒸気／水分添加
- 各種スクリー構成
- 圧縮ではなく膨張



8

DDGSの押出成形

- 課題
 - 高繊維、高タンパク質、低デンプン(グルー)
 - 膨張、浮遊性および凝集性が限定的
 - 最終製品特性が影響を受ける要因
 - 使用加工条件
 - 温度、スクリーウの速度、スクリーウの形状、金型の開き、水分/蒸気の添加
 - 使用原料
 - 粒径、組成、水分含有率
- 飼料製品には以下が必要
 - 浮遊性、対水安定性、耐久性
- 最適なDDGS系飼料とは???
- これをどのようにして達成するか???

9

DDGSの押出成形

- 今からお話するのは
 - ティラピア用DDGS配合飼料の研究
- 1) 加工に関する研究
 - どの程度までDDGSを配合できるか?
 - 凝集性があり、水に浮かぶ飼料が必要
- ↓
- 2) 給与試験
 - 魚のDDGS摂取量は? 最適量は?
- ↓
- 3) 加工に関する研究
 - 最もふさわしい配合のための加工条件の最適化

10

1) 実験室規模での加工

- Brabender — PL 2000
 - 直径3/4-インチのスクリー
 - 長さ317.5 のバレル
 - バレル長さ対直径は 20:1
 - 金型開き 2.7mm
- 使用加工条件
 - 速度: 最高 160 rpm
 - 温度: 最高 120°C



カロリー等価飼料 (360 kcal/100gram)

飼料原料	原料質量 (g/100g)		
	配合 I	配合 II	配合 III
DDGS	20	30	40
大豆粉	31	27	23
トウモロコン粉	35	29	23
魚粉	6	6	6
ミネラルミックス	1	1	1
ビタミンミックス	2	2	2
乳清 (ホエイ)	5	5	5
合計	100	100	100

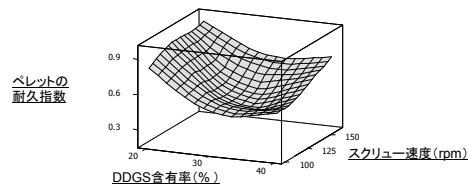
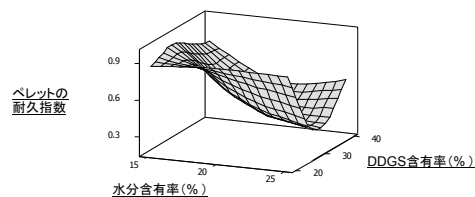
DDGS配合率	タンパク質	繊維	脂肪	灰分	NFE
(% wb: 現物)	(% db: 乾物)	(% db)	(% db)	(% db)	(% db)
20	29.60 (0.32)	4.36 (0.77)	4.13 (0.92)	7.27 (0.17)	54.63 (1.56)
30	29.71 (0.49)	4.25 (0.42)	3.62 (0.75)	7.20 (0.18)	55.21 (1.57)
40	29.59 (0.95)	4.71 (1.02)	4.18 (1.19)	7.15 (0.10)	54.38 (2.72)

11

1) 実験室規模での加工

- 結合剤は不使用

	PDI (%)	単位密度 (g/cm ³)
DDGS (%)		
20	89.00 ^a (2.40)	0.96 ^a (0.18)
30	65.00 ^b (6.60)	0.93 ^b (0.02)
40	56.00 ^c (6.60)	0.93 ^b (0.02)
スクリー速度 (rpm)		
100	63.00 ^a (4.80)	0.93 ^a (0.03)
130	69.00 ^b (4.80)	0.94 ^a (0.02)
160	79.00 ^c (7.10)	0.94 ^a (0.01)
水分含有率 (% wb)		
15	85.00 ^a (4.90)	0.99 ^a (0.02)
20	63.00 ^b (6.73)	0.92 ^b (0.02)
25	61.00 ^c (6.73)	0.91 ^c (0.02)



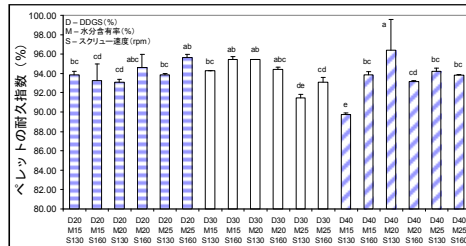
12

1) 実験室規模での加工

- 5%の乳清(ホエイ)を結合剤として使用

- PDI 増加
 - ・ 良好
- 単位密度増加
 - ・ 不良
 - 飼料が沈んだ
 - 浮かばなかった

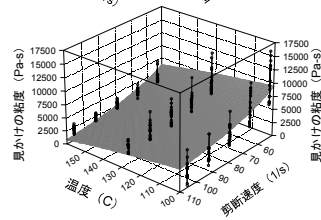
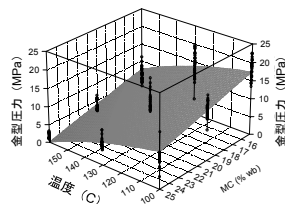
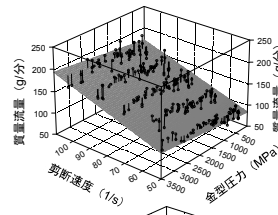
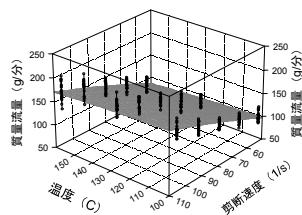
	PDI (%) (ペレット耐久指数)	SD (標準偏差)	単位密度 (g/cm ³)	SD
DDGS (% wb)				
20	94.04	1.13	1.05	0.06
30	94.02	1.48	1.07	0.05
40	93.52	2.27	1.06	0.05
スクロー速度 (rpm)				
130	93.59	2.09	1.07	0.06
160	94.14	1.08	1.06	0.05
水分含有率 (% wb)				
15	86.21 ^a	1.93	1.05 ^a	0.05
20	87.24 ^a	1.61	1.09 ^b	0.06
25	93.68 ^b	1.34	1.05 ^a	0.04



DDGS、水分含有率およびスクロー速度が押出成形体のペレット耐久指数に及ぼす影響。棒グラフの色分けはDDGS配合率に基づく

1) 実験室規模での加工

- 飼料原料 + 加工条件 + 製品品質
 - すべてが関係している - 相互間の最適値見極めが必要



1) パイロット規模での加工

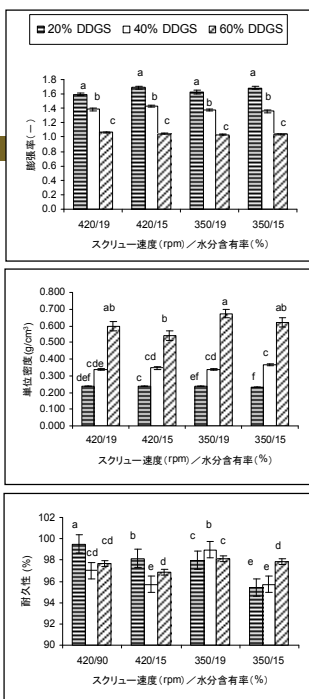
スケールアップ

– Wenger TX-52 2軸
押出成形機

- 直径52-mm のスクリュー
- バレル長さ対直径 25.5:1
- 金型開き 3.175 mm

– 使用条件

- DDGS 配合率: 20、40、60%
- 実験室規模での試験と同じ原料
 - 等価カロリー目標: 360 kcal/100 グラム
 - タンパク質目標: 29 から 30%
- 水分含有率: 15、19% (現物)
- スクリュー速度: 350、420 rpm



1) パイロット規模での加工

膨張率 – 1.05 から 1.8

- DDGS 配合率の増加が有意な影響を及ぼした – DDGS配合率の増加に伴い膨張率が低下した
- 水分含有率およびスクリー速度は有意な影響を及ぼさなかった
- すべての押出成形体が24時間を超えて浮遊状態にあった

単位密度 – 0.2 から 0.7

- 20% DDGS配合で単位密度が最小
- 水分含有率の増加およびスクリー速度の低下に従って単位密度が有意に低下した

ペレットの耐久性 – すべて 95%超

- DDGS配合率および水分含有率の変化は有意な影響を及ぼした
- スクリュー速度は有意な影響を及ぼさなかった

DDGS配合率最大60%まで浮遊飼料の作製が可能

2) 給与試験

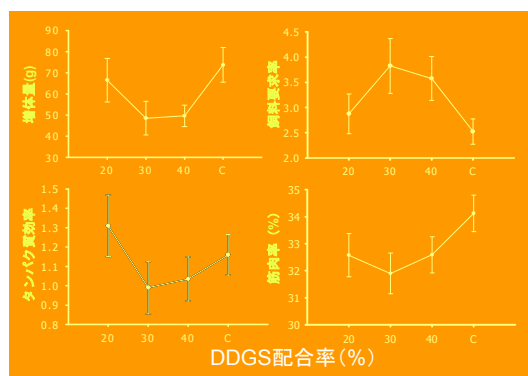
- 供試魚
 - ナイルティラピア幼魚
(開始体重 = 34.9 ± 1.4 g 標準誤差)
 - 110-L の水槽につき7尾
 - 1飼料につき4水槽
- 2週間の調整期間
- 50日間の自由給餌
 - 1日3回の給餌時間
- 10日ごとに全槽重量を計測



17

2) 給与試験

原料	飼料配合 (%)			対照飼料
	1	2	3	
DDGS	20	30	40	
大豆粉	33	29	25	
トウモロコシ	35	29	23	
魚粉	5	5	5	
タラ肝油	2	2	2	
大豆油	2	2	2	
ビタミンミックス	1	1	1	
ミネラルミックス	2	2	2	
一般組成 (%)				
総水分	8.2	8.9	8.4	8.8
粗タンパク質	26.1	27.3	27.8	33.5
粗脂肪	7.5	8.0	9.6	5.4
粗繊維	3.4	3.3	4.1	2.9
灰分	7.0	6.6	6.7	7.8
エネルギー (kcal/kg)	2,176	2,296	2,475	2,397



20% DDGS は対照飼料に相当
この配合飼料の加工を
いかに最適化するか？

18

3) 最適加工

飼料#1 (当研究所の給与試験に基づく)		飼料中の割合 (%)
原料		
乾燥	DDGS	20
	大豆粕、溶媒抽出	44.2
	トウモロコシ粉	25
	魚粉、メンハーデン	8
	ビタミンミックス	0.6
	ミネラルミックス	0.2
油	大豆	2
合計		100

飼料#2 (アメリカ穀物協会試験に基づく)		飼料中の割合 (%)
原料		
乾燥	DDGS	15
	大豆粕、溶媒抽出	58
	トウモロコシ粉	21
	第1リン酸カルシウム	2.4
	ビタミンミックス	0.5
	ミネラルミックス	0.25
油	大豆	2.85
合計		100



加工データ	範囲
金型サイズ (mm)	3.175
Probator送り速度 (kg/時間)	15
調整シリンダ圧力 (PSI)	25 - 45
調整シリンダ蒸気 (kg/分)	0.22
押出成形機入口温度 (C)	96 - 98
押出成形機シャフト速度 (RPM)	360 - 475
押出成形機水分添加 (kg/時間)	0.07 - 0.12
押出成形機モータ負荷 (%)	15 - 20
温度ヘッド2、ゾーン1	44 - 49
温度ヘッド3	26 - 49
温度ヘッド4、ゾーン2	35 - 41
温度ヘッド5、ゾーン3	25 - 46
温度ヘッド6、ゾーン4	25 - 60
温度ヘッド7、ゾーン5	71 - 80
温度ヘッド8	73 - 82
温度ヘッド9、ゾーン6	73 - 90

すべての押出成形体は高品質であった

- PDI > 88%
- 浮遊 > 24 h

Vy, L. H., 2006年 ティラピアに対するDDGS供給試験
アメリカ穀物協会東南アジア

19

DDGS ペレット化に関する追加情報

- Rosentrater, K. A. 2008. Adding value to distillers grains by pelleting. 2008 Corn Utilization and Technology Conference, Kansas City, MO. Presented June 3, 2008.
- Rosentrater, K. A. 2007. Can you really pellet DDGS? Distillers Grains Quarterly 2(3): 16-21.

20

DDGS 押出成形に関する追加情報

- Kannadhasan, S., K. Muthukumarappan, and K. A. Rosentrater. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and tapioca starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition* 1(1): 6-21.
- Rosentrater, K. A., K. Muthukumarappan, and S. Kannadhasan. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and potato starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition* 1(1): 22-38.
- Rosentrater, K. A., K. Muthukumarappan, and S. Kannadhasan. 2009. Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and corn starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition* (accepted, in press).
- Kannadhasan, S., K. Muthukumarappan, and K. A. Rosentrater. 2008. Effect of starch sources and protein content on extruded aquaculture feed containing DDGS. *Food and Bioprocess Technology* (accepted, in press).
- Kannadhasan, S., K. A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2008. Twin screw extrusion of DDGS-based aquaculture feeds. *Journal of the World Aquaculture Society* (accepted, in press).

21

DDGS 押出成形に関する追加情報

- Chevanan, N., K. A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2008. Effect of DDGS, moisture content, and screw speed on the physical properties of extrudates in single screw extrusion. *Cereal Chemistry* 85(2): 132-139.
- Chevanan, N., K. Muthukumarappan, and K. A. Rosentrater. 2008. Extrusion studies of aquaculture feed using distillers dried grains with solubles and whey. *Food and Bioprocess Technology* 2: 177-185.
- Chevanan, N., K. A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2008. Effects of processing conditions on single screw extrusion of feed ingredients containing DDGS. *Food and Bioprocess Technology* (accepted, in press).
- Chevanan, N., K. Muthukumarappan, and K. A. Rosentrater. 2007. Effect of die dimensions on extrusion processing parameters and properties of DDGS based extrudates. *Cereal Chemistry* 84(4): 389-398.
- Chevanan, N., K. Muthukumarappan, and K. A. Rosentrater. 2007. Neural network and regression modeling of extrusion processing parameters and properties of extrudates containing DDGS. *Transactions of the ASABE* 50(5): 1765-1778.
- Chevanan, N., K. A. Rosentrater, and K. Muthukumarappan. 2007. Twin screw extrusion processing of feed blends containing distillers dried grains with solubles. *Cereal Chemistry* 84(5): 428-436.

22

ディスティラーズ・グレインの価値 および利用性の向上

- 有り難うございました

- ご質問は?

- ご意見は?



- カート・ローゼントレイター

米国農務省農業研究局中央北部農業研究所
2923 Medary Ave
Brookings, SD 57006
(605) 693-5248
kurt.rosentrater@ars.usda.gov

23

まとめ

エタノール業界が成長を続けていることから、利用可能な併産物原料、特にDDGSも増加している。かさ密度の増加、粉塵発生の抑制、流動性の向上をもたらすペレット加工により、DDGSは家畜用飼料としての利用向上に寄与する物理的改良がなされ得る。本プレゼンテーションの目的は、ペレット加工を検証し、ペレット成績に影響を及ぼすパラメータについて論じ、実験室規模、パイロット規模および商業規模において得られたDDGSのペレット化に関する知見を共有することにある。ペレット耐久指数(PDI)の値が高いことから明らかなように、製作したDDGSペレットの品質は非常に高く、栄養成分の低下は最小限に抑えられている。更に、DDGSは水産養殖に適した代替タンパク質源としての可能性も高い。ただし、この目的で使用する場合には、DDGSのみを給餌するのではなく、バランスの取れた飼料に配合する一原料としてDDGSを使用しなければならない。従って、本プレゼンテーションでは、タンパク質源としてDDGSを使用するティラピア用飼料の押出成形の研究についても論じる。単体または他の飼料原料と組み合わせでDDGSを加工することで、このエタノール生産の併産物にさらなる価値を付加し、利用性を向上させることが可能となる。

24