

## DDGSのペレット化



## 水産養殖飼料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.)



## 重要な疑問

- どのようにしてDDGSに付加価値をつけるのか?
- DDGSのペレット化は可能か?
  - 方法は?
  - 単独で?または組み合わせて?
  - 結合剤を使用して?
  - ペレットは良質か?
- 他の動物種については?
  - 水産養殖



## 圧縮(ペレット化)の理由は？

- 様々なメリット

- 増加

- かさ密度
- 流動性
  - 安息角
  - 摩擦
  - ブリッジング低減
- 栄養成分濃度
- 嗜好性
- 栄養成分有効性

- 減少

- 飼料損失
- 粉塵
- 原料区分
- 微生物活動



- 潜在的メリット

- 改善

- 飼料要求率
- 増体量
- 飼料取り扱いおよび保管

- デメリット

- 増加

- 必要スペース
- ペレット製造装置
- 付帯装置
- 蒸気
- 電気

- コスト

放牧環境においても効果的

3

## 飼料のペレット化

- 技術vs.科学

- ペレット品質

- 25 から 90% PDI (ペレット耐久指数)



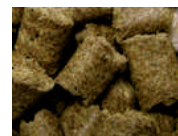
- ペレット化費用

- 1から9 \$/トン (飼料により異なる)



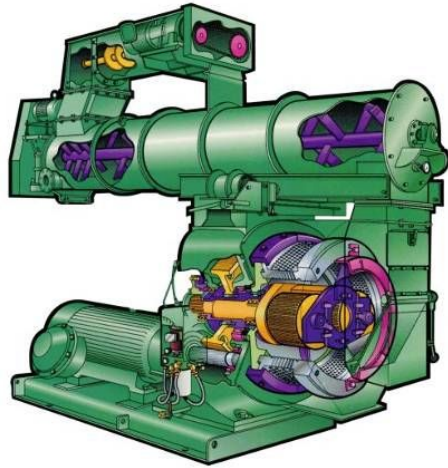
- 飼料原料によっては不適合の可能性

- ただし、DDGSを含み  
大半に適する

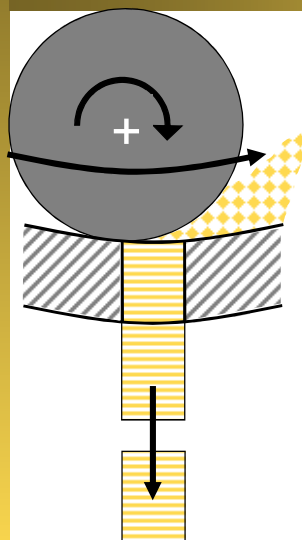


4

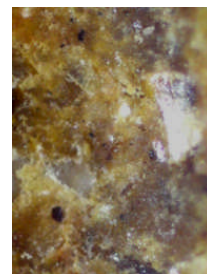
## 飼料のペレット化



## 飼料のペレット化



圧縮が鍵

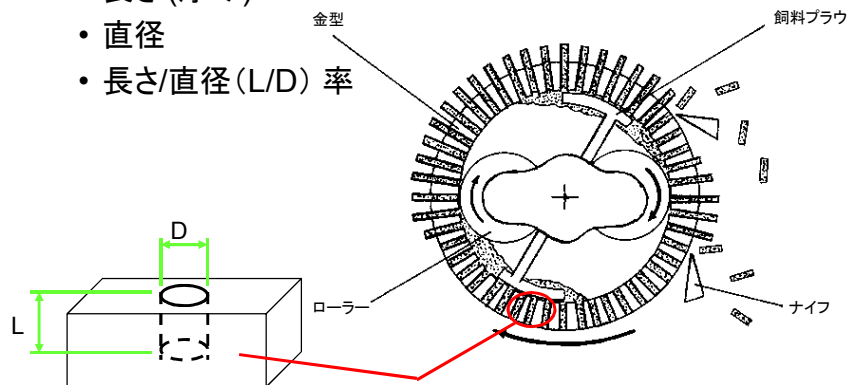


## 飼料のペレット化

- 飼料を圧縮してペレットに加工

- 形状が成功の鍵

- 長さ(厚み)
- 直径
- 長さ/直径(L/D) 率



7

## 飼料のペレット化

- 加工中はすべてのパラメータが重要

- ただし、相対的に重要度が高いものがある

- 配合率: 40%
- 調整: 20%
- 粒径: 20%
- 金型形状: 15%
- 冷却: 5%

---

100%

8

## DDGS ペレット化の研究

- DDGS のペレット化は間違いなく可能
- 本日は報告するのは
  - 3段階のペレット化研究
    - 1) 実験室規模
    - 2) パイロット規模
    - 3) 商業規模



9

## 研究 1 – 実験室規模

- 目的
  - ペレット化の実現可能性について試験する
    - 実現可能か?
    - 100% DDGS、結合剤含まず
  - ペレットに及ぼす影響を調べる
  - 基本データを確率する



10

## 研究 1 – 実験室規模

### • 個別の可変要素

- システム: CPM CL3 ラボ用ペレット・ミル
- 製品: DDGS、脱脂 DDGS
- 金型直径: 3/16", 1/4"
- 水添加: 0%, 4%

試験	製品	水分添加 (%)	直径 (インチ)	長さ (インチ)	L/D
1	DDGS	0	3/16	1 3/4	9.35
2	DDGS	0	1/4	2 1/4	9.00
3	脱脂	4	3/16	1 3/4	9.35
4	脱脂	4	1/4	1 1/2	6.00

11

## 研究 1 – 実験室規模

### • 個別の可変要素

- 物理的特性
  - 水分含有率
  - 水分活性
  - 色
  - 粒径
  - 熱特性
    - 伝導性
    - 拡散性
  - かさ密度
  - 単位密度
  - 安息角
  - 耐久性
  - 強度
- 化学 / 栄養特性
  - 水分
  - 乾物
  - タンパク質
    - 粗タンパク質
    - 熱損傷タンパク質
    - 有効タンパク質
  - 繊維
    - 粗繊維
    - ADF
    - NDF
  - 脂肪
  - 灰分
  - 総デンプン
  - 可溶性無窒素物

12

# 研究 1 – 実験室規模

- 加工条件

試験	製品	処理能力 (lb/hr)	ペレット温度 °F (°C)	微粉 (%)
1	DDGS	72	220 (104)	1
2	DDGS	226	105 (41)	5.8
3	脱脂	262	118 (48)	17
4	脱脂	122	129 (54)	9



13

# 研究 1 – 実験室規模

	DDGS	3/16"	1/4"	脱脂 DDGS	3/16"	1/4"
拡大率 x						
10						
60						
200						

14

## 研究 1 – 物理特性

特性	DDGS	3/16"	1/4"		脱脂 DDGS	3/16"	1/4"
水分含有率 (% db: 乾物基準標示)	8.00	5.40	7.00		6.10	8.40	7.90
水分活性 (-)	0.393	0.241	0.338		0.251	0.387	0.387
色 - L (-)	46.16	34.94	40.94		49.45	36.40	36.88
色 - a (-)	10.25	6.44	7.16		8.35	7.90	7.63
色 - b (-)	23.42	15.04	18.72		19.98	14.91	14.89
粒径-GMD (mm): 幾何平均径	0.65	-	-		0.72	-	-
粒径-GSD (mm): 幾何標準偏差	1.84	-	-		1.81	-	-
熱 - 伝導性	0.07	-	-		0.07	-	-
熱 - 拡散性	0.14	-	-		0.14	-	-
かさ密度 (kg/m <sup>3</sup> )	473.22	569.61	610.55		457.50	633.98	659.41
安息角 (°)	13.28	16.05	16.90		13.10	13.46	14.84
単位密度 (kg/m <sup>3</sup> )	-	1017.82	994.76		-	1041.69	1096.86
PDI (%)	-	88.34	21.04		-	88.20	80.20
機械的強度 (MPa)	-	1.69	0.60		-	4.27	4.20
弾性率 (MPa)	-	26.74	7.22		-	33.81	42.02

15

## 研究 1 – 栄養特性

組成	DDGS	3/16"	1/4"		脱脂 DDGS	3/16"	1/4"
水分 (%)	8.00	5.40	7.00		6.10	8.40	7.90
乾物 (%)	92.00	94.60	93.00		93.90	91.60	92.10
粗タンパク質 (%)	30.70	30.10	30.60		33.55	33.20	32.55
熱損傷タンパク質 (%)	3.00	3.30	3.55		4.65	4.60	4.30
有効タンパク質 (%)	27.70	26.80	27.05		28.90	28.60	28.25
繊維-ADF (%)	14.40	14.95	14.10		15.65	16.00	14.90
繊維-NDF (%)	32.85	28.15	28.20		39.05	36.10	36.15
粗繊維 (%)	9.30	6.75	7.00		8.35	7.90	8.15
粗脂肪 (%)	11.10	11.85	11.75		2.60	3.45	3.45
灰分 (%)	4.28	4.24	4.31		4.71	4.59	4.65
総デンプン (%)	7.58	9.40	8.39		8.67	9.01	9.07

16

## 研究 1 – 実験室規模

### • 結論

- 実験室規模でのDDGSのペレット化は可能
  - 脂肪無調整および脱脂(分画)いずれの場合でも
    - 両者の元のDDGS原料間の差異
- ペレット化の影響
  - 色の変化 – ペレットではわずかに濃くなった
  - かさ密度 – 増加した(20.4から38.6%)
  - 安息角 – 増加した(20.9から27.3%)
  - 一般組成 – ほぼ不変であった
    - タンパク質の熱損傷はごくわずか
- ただし、これは実験室規模での試験結果に過ぎず、スケールアップが必要

17

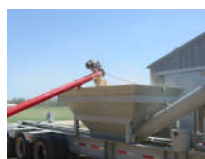
## 研究 2 – パイロット規模

### • 目的

- 脱脂 DDGSのペレット化の実現可能性を試験する
  - 試作装置へのスケールアップ
- ペレットに及ぼす影響を調べる

パイロット規模での脱脂 DDGSのペレット化に用いた加工条件

	試験 1		試験 2	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
ペレット・ミル製造機種	CPM # 3016		CPM # 3016	
金型長さ(インチ) / 金型直径(インチ) (L/D)	2.25/0.19 (12.0)		2.25/0.19 (12.0)	
ミル排出温度(華氏) (下段は摂氏)	170.22 76.79	3.87 -	172.90 78.28	3.32 -
システムのモーター負荷 (kW)	39.39	7.81	29.82	1.91
処理能力 (トン/時間)	1.91	0.39	1.13	0.04



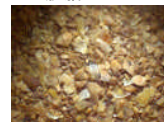
18

## 研究 2 – パイロット規模

脱脂 DDGS の物理的特性およびパイロット規模でペレット化した脱脂DDGS

特性	脱脂 DDGS		ペレット			
	平均	標準偏差	試験 1		試験 2	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差
水分含有率 (% wb)	10.89	0.25	7.64	0.35	7.52	0.27
水分活性 (-)	0.48	0.00	0.36	0.00	0.35	0.00
粒径-GMD (mm)	0.65	--	--	--	--	--
粒径-GSD (mm)	1.87	--	--	--	--	--
熱伝導性 (W/mC)	0.08	0.00	--	--	--	--
熱拡散性 (mm <sup>2</sup> /s)	0.12	0.00	--	--	--	--
色-L (-)	45.10	0.99	35.45	0.49	34.62	0.84
色-a (-)	9.00	0.21	7.05	0.42	7.03	0.28
色-b (-)	19.37	0.40	14.05	0.63	13.74	0.46
微粉(%)	--	--	10.00	3.00	3.00	0.00
ペレット耐久指標 (PDI) (%)	--	--	61.97	1.82	71.98	2.22
かさ密度 (lb/ft <sup>3</sup> )	30.71	0.06	31.96	0.35	35.04	0.12
安息角 (°)	14.99	0.51	19.82	1.66	17.87	0.49
単位密度 (kg/m <sup>3</sup> )	--	--	727.17	97.21	605.70	98.64

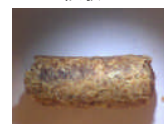
脱脂DDGS



試験 1



試験 2



脱脂 DDGS の栄養特性およびパイロット規模でペレット化した脱脂DDGS

特性	脱脂 DDGS		ペレット			
	平均	標準偏差	試験 1		試験 2	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差
水分含有率 (% wb)	10.89	0.25	7.64	0.35	7.52	0.27
タンパク質 (% db)	34.35	0.07	34.15	0.07	33.50	0.14
繊維 (% db)	8.20	0.14	8.20	0.28	8.00	0.28
脂肪 (% db)	2.65	0.07	4.95	0.07	5.10	0.14
灰分 (% db)	5.01	0.03	4.97	0.09	4.98	0.01

GMD (Geometric Mean Diameter): 幾何平均径  
GSD (Geometric Standard Deviation): 幾何標準偏差

19

## 研究 3 – 商業規模

- 目的
  - ペレット化の実現可能性を試験する
    - 実際の飼料製造工場を実施
    - 100% DDGS、結合剤含まず
  - ペレットに及ぼす影響を調べる
- 個別の可変要素
  - 製品: DDGS
  - システム: Sprout, CPM
    - 金型直径: 1 1/4"
    - 金型長さ: 1 3/4", 2 5/8"
    - L/D: 10.2, 15.3



20

## 研究 3 – 商業規模

- 加工条件 – 温度



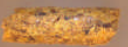

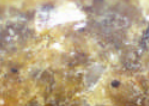




外気温度	49°F (9°C)	
	製造機種	
温度 (華氏) (括弧は摂氏)	Sprout	CPM
調製済み飼料	175 (79)	155 (68)
ペレット・ミル出口	190 (88)	160 (71)
冷却器出口	56 (13)	55 (13)

- 加工条件 – 水分

DDGS (% db)	11.34	
	製造機種	
水分 (% db)	Sprout	CPM
調整済みマッシュ	17.73	16.08
ペレット・ミル出口	17.57	16.62
冷却器出口	13.49	12.80

21

## 研究 3 – 商業規模

拡大 x	DDGS	製造機種	
		Sprout	CPM
10			
60			
200			

22

## 研究 3 – 物理的特性

特性	DDGS	製造機種	
		Sprout	CPM
水分含有率 (% db)	11.34	13.49	12.80
水分活性 (-)	0.474	0.538	0.534
色 - L (-)	40.66	33.26	34.19
色 - a (-)	9.48	5.15	6.01
色 - b (-)	20.00	13.64	15.17
粒径-GMD (mm):幾何平均径	0.93	-	-
粒径-GSD (mm):幾何標準偏差	1.61	-	-
熱 - 伝導性	0.07	-	-
熱 - 拡散性	0.15	-	-
かさ密度 (kg/m <sup>3</sup> )	476.14	571.93	519.50
安息角 (°)	20.06	16.39	16.21
単位密度 (kg/m <sup>3</sup> )	-	1035.25	938.44
PDI (%)	-	93.93	88.87
機械的強度 (MPa)	-	0.51	0.30
弾性率 (MPa)	-	5.24	2.41

23

## 研究 3 – 栄養特性

組成	DDGS	製造機種	
		Sprout	CPM
水分 (%)	10.8	12.1	12.1
乾物 (%)	89.3	87.9	88.0
粗タンパク質 (%)	28.8	28.1	28.6
熱損傷タンパク質 (%)	2.9	2.8	2.8
有効タンパク質 (%)	26.0	25.3	25.8
繊維-ADF (%)	14.3	13.0	15.4
繊維-NDF (%)	31.4	30.3	28.9
粗繊維 (%)	7.1	5.9	6.6
粗脂肪 (%)	11.0	11.1	11.5
灰分 (%)	3.84	3.98	4.00
総デンプン (%)	11.7	13.9	12.5

24

## 研究 3 – アミノ酸組成

組成	DDGS	製造機種	
		Sprout	CPM
アラニン (% db)	2.50	2.15	2.24
アルギニン (% db)	1.08	1.08	1.29
アスパラギン酸 (% db)	1.66	1.68	1.71
シスチン (% db)	0.80	0.83	0.82
グルタミン酸 (% db)	4.61	4.63	4.69
グリシン (% db)	1.05	1.01	1.01
ヒステジン (% db)	0.76	0.74	0.74
イソロイシン (% db)	1.00	0.83	0.84
ロイシン (% db)	3.18	3.00	3.10
リジン (% db)	0.80	0.81	0.81
メチオニン (% db)	0.59	0.58	0.54
フェニルアラニン (% db)	1.34	1.33	1.37
プロリン (% db)	2.12	2.13	2.15
セリン (% db)	1.24	1.36	1.30
スレオニン (% db)	0.92	1.01	0.99
チロシン (% db)	1.07	1.11	1.07
トリプトファン (% db)	0.28	0.24	0.28
バリン (% db)	1.41	1.08	1.18

25

## 研究 3 – 商業規模

### • 結論

- 市販装置を用いたDDGS のペレット化
  - 装置間でわずかな差異
- ペレットの特性 vs. 原料 DDGSの特性
  - 色の変化
    - 幾分濃い
  - かさ密度
    - 増加 (9.1 から 20.1%)
  - 安息角
    - 減少 (18.3 から 19.2%)
  - 一般組成
    - 大半が不変
    - タンパク質の熱損傷はごくわずか
- 単一源から入手したDDGSを使用



26

## 商業ベースでのDDGS ペレット化のコスト

ペレット・ミル稼働推定コスト		
	ペレット・ミル生産能力 (TPH)	20
設備	金型価格 (単価)	\$12,510.00
	金型寿命 (トン)	50,000
	金型費用 (トン当たり)	\$0.25
	ローラー・シェル価格 (単価)	\$1,319.00
	ローラー寿命 (トン)	50,000
	ローラー費用 (トン当たり)	\$0.05
	その他部品 (トン当たり)	\$0.03
電気	電気 (費用/kWh)	\$0.070
	モーター (hp)	
	フィーダー	7.5
	調整器	20
	主駆動装置	400
	冷却器駆動装置	2
	ファン	50
	合計kWh、90%負荷時	324
	電気合計 (費用/時間)	\$22.66
	電気 (費用/トン)	\$1.13
	<b>1トン当たりの稼働コスト合計</b>	

27

## ペレット化の研究 - 結論

ペレット化製品	タンパク質 (%)	脂肪 (%)	繊維 (%)	かさ密度 (lb/ft <sup>3</sup> )	ペレット品質 (0 - 10)
ブルワーズグレイン	24.0	6.0	15.0	15	3
トウモロコシ	8.4	3.8	2.5	40	4
トウモロコシ・グルテンミール	41.0	1.5	4.0	42	4
大豆粕 (除去)	42.0	3.0	6.0	40	4
大豆粕 (抽出)	45.0	0.5	5.0	40	6
DDGS - 実験室規模	30.7 - 33.6	2.6 - 11.1	8.4 - 9.3	35.5 - 41.1	2 - 9
DDGS - 商業規模	28.8	11.0	7.1	32.4 - 35.6	8 - 9

28