

第 480 回月例研究会資料

乳生産は哺乳管理で決まる？～脂肪酸に着目した代用乳機能強化への取組～

令和 6 年 1 月 17 日

広島大学大学院統合生命科学研究科

家畜飼養管理学 教授 杉野利久

一般社団法人日本科学飼料協会及びその会員は、「私的独占の禁止及び公正取引の確保に関する法律」等のコンプライアンス（法令順守）の重要性を認識し、これを推進してまいります。



飼料分析基準が新しくなりました。

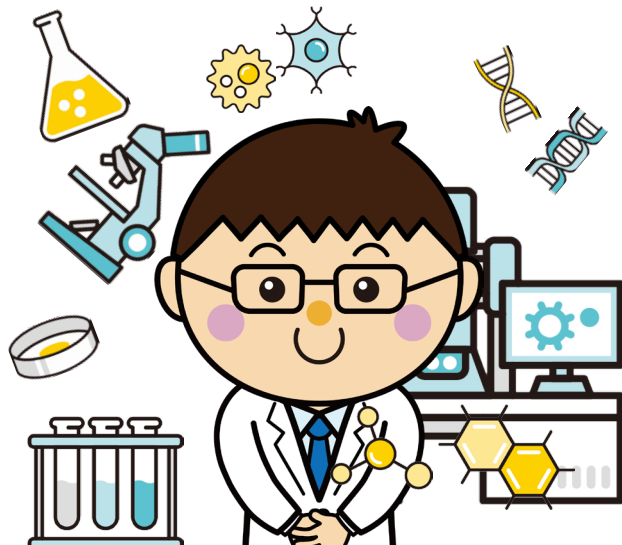
飼料等の検査に係る分析方法や鑑定方法について定められている「飼料分析基準」が令和5年12月1日に新たに制定され、これに伴い、従来の「飼料分析基準の制定について（平成20年4月1日付け19消安第14729号農林水産省消費・安全局長通知）」は廃止されました。

平成20年に飼料分析基準が制定されて以降、農薬やカビ毒質等の有害物質の分析方法の新設、分析の適用範囲の変更等が行われ、その都度、飼料分析基準の一部改訂が通知されてきましたが、今回新しく制定された「飼料分析基準」では、これまでの改訂事項が集約されるとともに、最新の科学的知見を踏まえた全面的な見直しが行われました。「飼料分析基準」（令和5年12月1日付け5消安第4714号農林水産省消費・安全局長通知）は、FAMICのホームページからダウンロード出来ます。



FAMIC 飼料分析基準 ホームページ

<http://www.famic.go.jp/ffis/feed/bunseki/bunsekikijun.html>



科学飼料研究センターでは「飼料分析基準」や「飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令」で定められているインデックス法による消化試験の指示物質の測定等、様々な規格に基づいた分析試験を受託しております。ぜひ、ご活用ください。

お問い合わせ先

一般社団法人日本科学飼料協会 科学飼料研究センター

〒286-0133 千葉県成田市吉倉821 TEL: 0476-35-0411 FAX: 0476-35-0557

E-mail: info@kashikyo.lin.gr.jp ホームページ <http://www.kashikyo.or.jp>

RCAS
Research Center for Animal Science

乳生産は哺乳管理で決まる？ ～脂肪酸に着目した代用乳機能強化への取組～

広島大学大学院統合生命科学研究科
生物生産学部附属農場
杉野 利久




広島大学

1

RCAS
Research Center for Animal Science

ゲノム評価の普及

生まれながらにして遺伝的能力が評価できる
牛群改良に有効
(長命性, 繁殖性, 個体形質など)




(C) バードスタジオ/集英社



2

RCAS
Research Center for Animal Science

表現形質に影響する要因





遺伝
Single-nucleotide polymorphism mutation

環境
Diet
Housing
Toxins

表現形質

エピジェネティクス
DNA methylation
Histone modifications

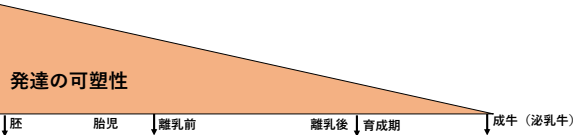



3

RCAS
Research Center for Animal Science

乳牛における発達の可塑性

(Bartol et al., 2013)



分娩前	分娩後
母牛による調節 (影響) 胎児期栄養	内分泌調節
	初乳・代用乳の効果 初期栄養
	混合効果
	固形飼料の効果

4

RCAS
Research Center for Animal Science

初乳とは？

新生子牛が最初に摂取する栄養源
受動免疫を獲得

出生後24-48時間の血清IgG濃度が低い
(10mg/mL) と受動免疫伝達不全 (FTP) と定義
→哺乳期の健康・増体に影響, 産乳性に影響
(Donovan et al., 1998, Furman-Fratczak et al., 2011)

初乳給与で意識すべき点

- ① 初乳の質 (IgG含量)
- ② 初乳給与量
- ③ 初乳給与のタイミング

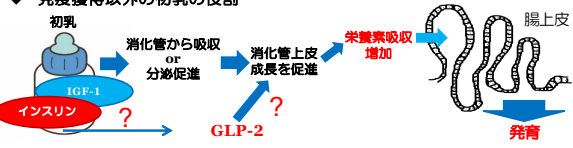
5

RCAS
Research Center for Animal Science

初乳で子牛の能力は決まる？

初乳給与で**個体差**が決まる？
Glucagon like peptide-2 (GLP-2) : 消化管発達 (絨毛) に重要なホルモン
腸管上皮L細胞から分泌

◆ 免疫獲得以外の初乳の役割

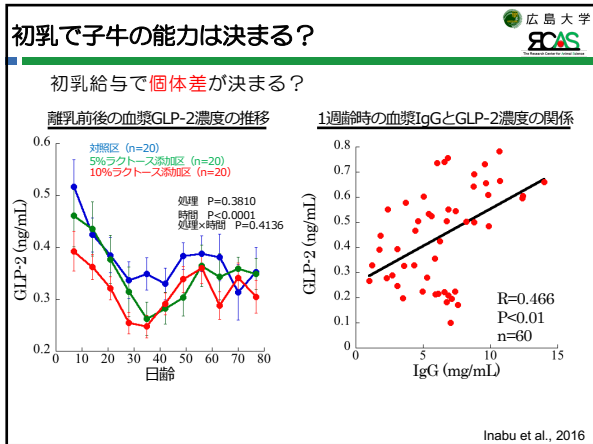


◆ 初乳給与法 (タイミング, 量, 期間など) は受動免疫移行だけでなく, 血中ホルモン (IGF-1・インスリン) 濃度にも影響する。(Hadorn et al. 1997)

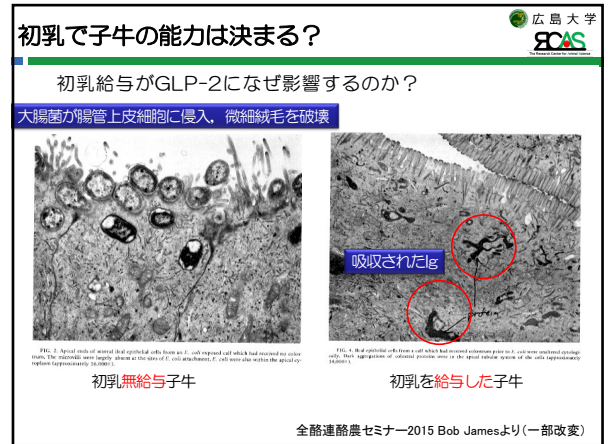
◆ 初乳給与とはどのような哺乳管理であっても, 哺育子牛の健康や増体に影響する。(Donovan et al. 1998)

◆ 初産分娩月齢の遅延, 初産乳量の減少, 6ヶ月齢までの平均日増体量の減少および飼料効率の低下を招く。(Soberon et al. 2012)

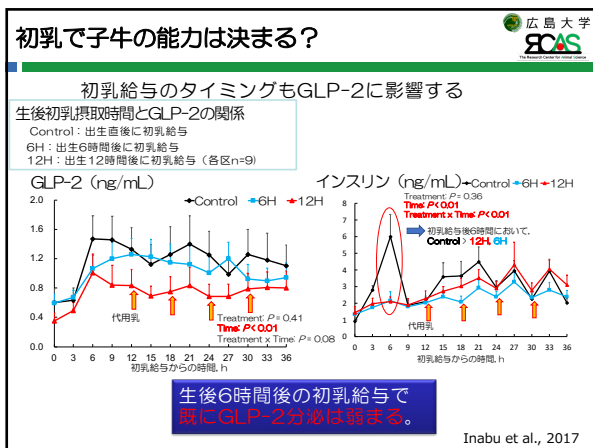
6



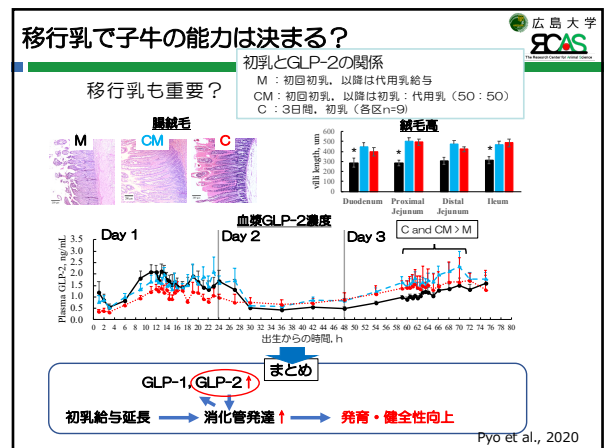
7



8



9



10

標準哺乳と高栄養哺乳プログラムの考え方

哺乳期の飼料と役割

初乳: 生後最初の飼料, 受動免疫の獲得

全乳 or 代用乳: 哺乳期の栄養源, 発育促進

人工乳(カーフスターター): 反芻胃発達

粗飼料(乾草): 反芻胃発達(物理的的刺激)?

固形飼料や粗飼料を子牛が利用出来るのは3週齢あたりから
反芻胃機能が成牛レベルに達するのは11~13週齢

水: 反芻胃環境の調整, スターター摂取の促進

11

標準哺乳と高栄養哺乳プログラムの考え方

標準哺乳プログラム(反芻胃機能発達重視)

哺乳量を体重の10%(500gDM/日)に制限

離乳時期: 6週齢
(3日間連続してスターター摂取量680g/日以上)

スターターの摂取を重視
増体とスターター摂取量は比例 **低コストタイプ(目先)**

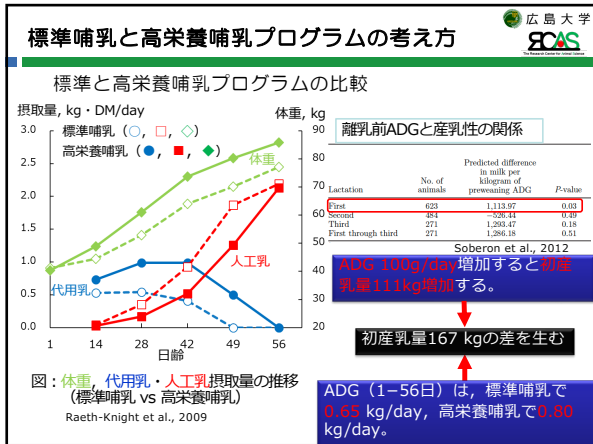
高栄養哺乳プログラム(発育重視)

哺乳量を体重の20%(1.2kgDM/日)程度

離乳時期: 8週齢(目標: 生体体重の2倍)
離乳までに生体体重の2倍にする

哺乳量増加はスターター摂取量を抑制?
反芻胃機能は?? **初期投資タイプ(将来取り戻す)**

12



13

高栄養哺乳に適した代用乳成分を考える

哺乳期の増体量が鍵

増体量 ≠ 体重 → どの体構成成分の重さを意味するかを考える必要 (脂肪, 骨格筋, 骨格...?)

増体量 = 体格 (フレーム) であるべき
若齢時は脂肪細胞数が増加する → 肥り易い体質

高増体 = 体格成長を期待するには、子牛の栄養要求量を理解する。

14

高栄養哺乳に適した代用乳成分を考える

NASEM2021では、栄養要求量が変わりました。適温域での体重50kgの子牛における日増体と栄養要求量

平均日増体量 (kg/d)	乾物摂取量 (% BW)	代謝エネルギー (Mcal/d)	粗タンパク (g/d)	粗タンパク (g/100g DMI)
0.2	1.12	2.56	102	18.3
0.4	1.42	3.29	155	21.8
0.6	1.76	4.05	209	23.7
0.8	2.10	4.85	262	24.9
1.0	2.46	5.66	315	25.6

エネルギー要求量とタンパク要求量の増加率の差が小さくなった。

NASEM2021より

15

高栄養哺乳に適した代用乳成分を考える

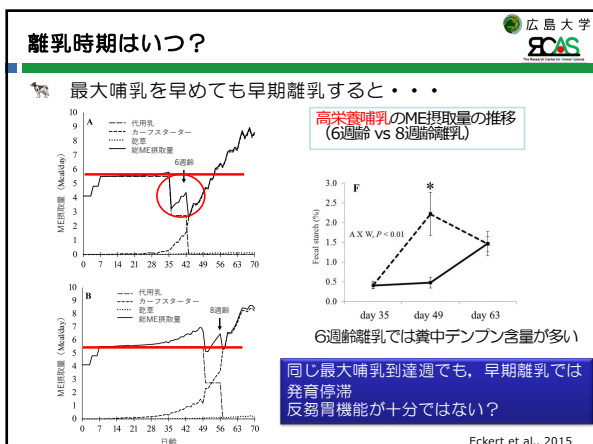
注意点: 環境温度を考慮する (体重45kgの場合)

低温環境下では熱産生にエネルギーが取られる!

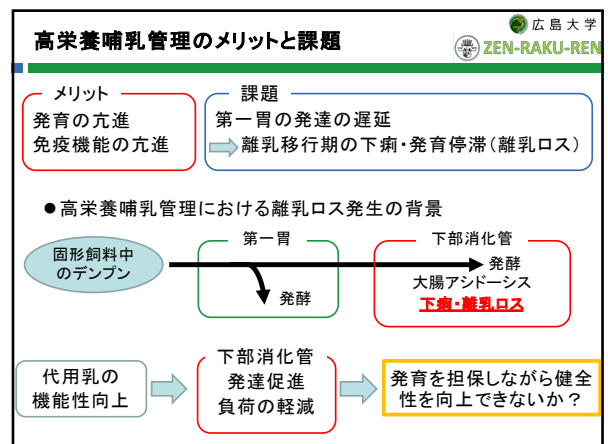
○ 25°Cの場合、維持に必要なMEは1.85Mcal/日
0.8kgADGの場合、必要なMEは4.64Mcal/日
○ -5°Cの場合、維持に必要なMEは2.73Mcal/日
25°Cの場合と同じADGに必要なMEは?

NASEM2021より

16



17



18

中鎖脂肪酸 (MCT) と酪酸 (TB)

● 速やかに代謝 ⇒ 即効性のエネルギー
⇒ 高栄養哺乳管理での効率的なエネルギー源
● 成牛においてグレリンやGHの分泌促進 (Fukumori et al., 2013; Sugino et al., 2014)

共に代用乳への添加効果は不明瞭
酪酸塩添加による先行研究がほとんどで酪酸リグリセリドの研究例は少ない

- 腸管上皮の発達と健全性を亢進
- 小腸の発達促進 (Gorka et al., 2014)

- 酪酸リグリセリド: TB
 - 液状で代用乳に添加が容易
 - 酪酸特有の臭気がない

目的: 代用乳中のMCT含量の増加およびTBの添加が子牛の発育に及ぼす影響を検討した

19

材料および方法

● 供試動物: ホルスタイン種雌子牛62頭
➢ 試験開始時体重 42.5 ± 3.06 kg (平均 ± SD)

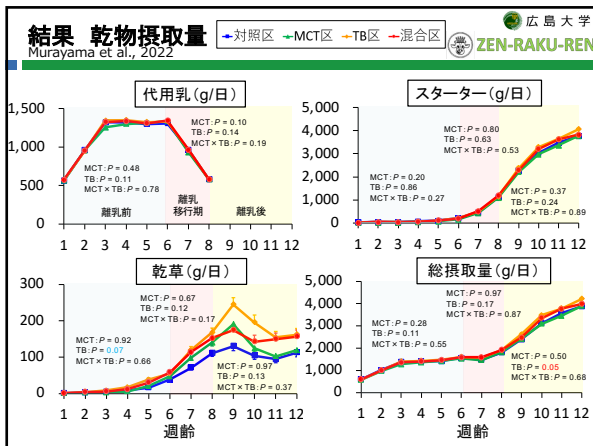
● 処理区 カーフハッチでの個別管理

処理区	MCT	TB
対照区 (n=14)	×	×
MCT区 (n=16)	○	×
TB区 (n=16)	×	○
混合区 (n=16)	○	○

● 対照区: 市販代用乳 (CP28% Fat18%)
➢ MCT: 18%のうち2%をMCTに置き換え
➢ TB: 乾物当たり0.6%を添加

Murayama et al., 2022

20



21

結果 発育 (Murayama et al., 2022)

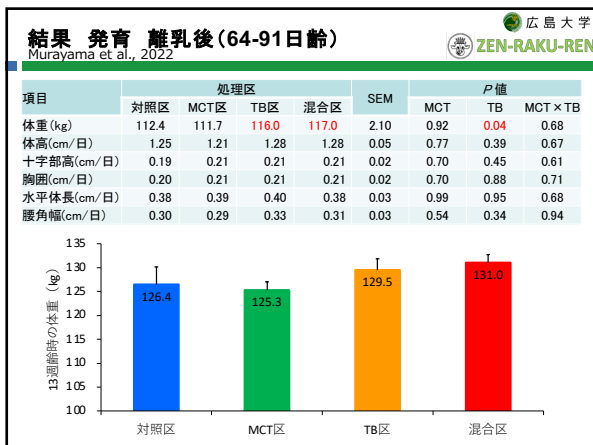
● 離乳前 (8-49日齢)

項目	処理区				SEM	P値		
	対照区	MCT区	TB区	混合区		MCT	TB	MCT × TB
体重 (kg)	60.3	59.4	61.0	61.2	0.83	0.64	0.13	0.49
体高 (cm/日)	0.26	0.24	0.24	0.25	0.01	0.86	0.75	0.24
十字部高 (cm/日)	0.22	0.24	0.23	0.26	0.01	0.03	0.21	0.43
胸囲 (cm/日)	0.43	0.43	0.43	0.46	0.02	0.40	0.40	0.26
水平体長 (cm/日)	0.30	0.34	0.33	0.36	0.02	0.06	0.15	0.63
腰角幅 (cm/日)	0.09	0.10	0.11	0.11	0.01	0.47	0.01	0.87

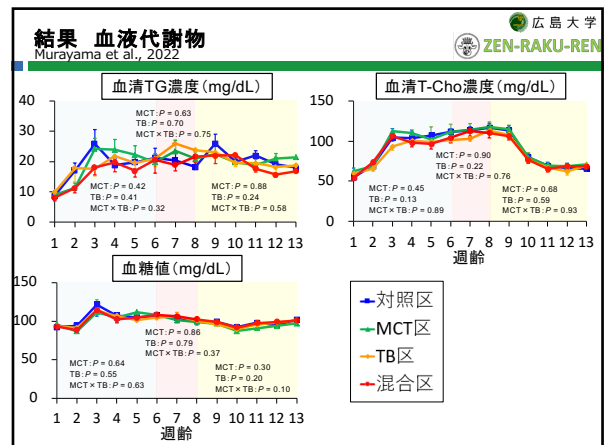
● 離乳移行期 (50-63日齢)

項目	処理区				SEM	P値		
	対照区	MCT区	TB区	混合区		MCT	TB	MCT × TB
体重 (kg)	88.1	87.7	89.9	91.6	1.40	0.66	0.05	0.43
体高 (cm/日)	0.72	0.78	0.76	0.84	0.06	0.22	0.36	0.83
十字部高 (cm/日)	0.22	0.28	0.23	0.29	0.03	0.02	0.61	0.84
胸囲 (cm/日)	0.28	0.30	0.32	0.32	0.03	0.65	0.30	0.76
水平体長 (cm/日)	0.34	0.32	0.37	0.38	0.04	0.88	0.30	0.69
腰角幅 (cm/日)	0.27	0.27	0.26	0.26	0.04	0.93	0.79	0.97

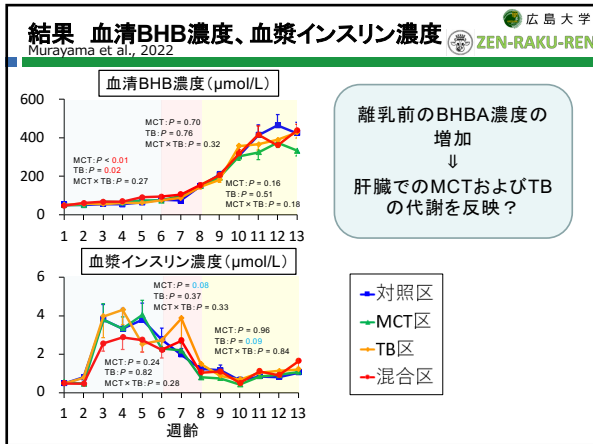
22



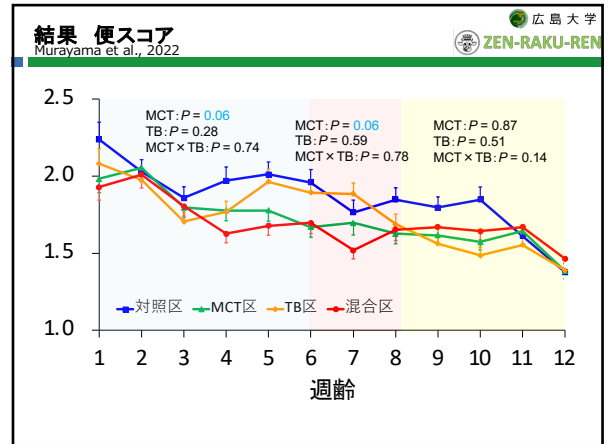
23



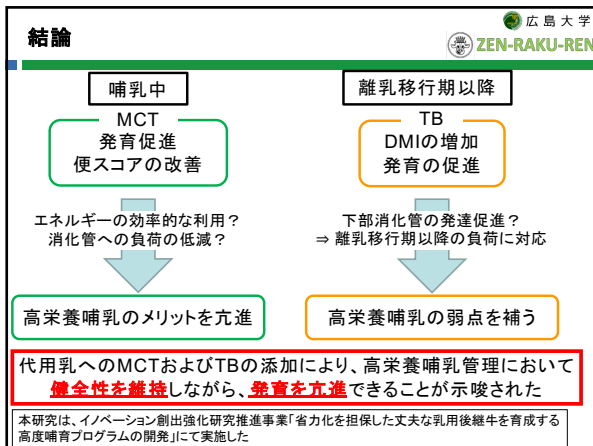
24



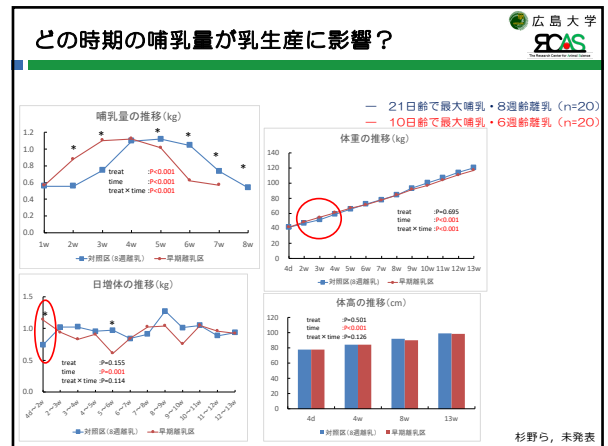
25



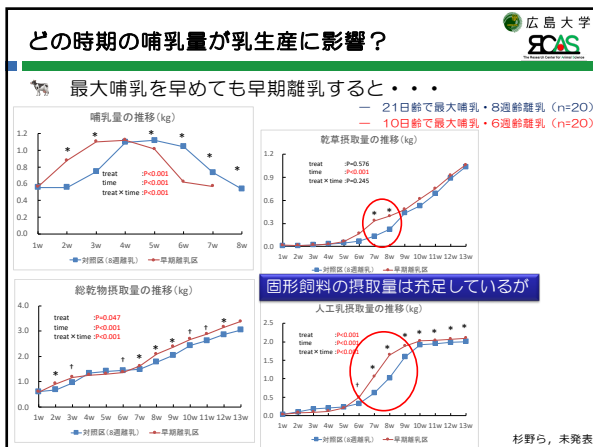
26



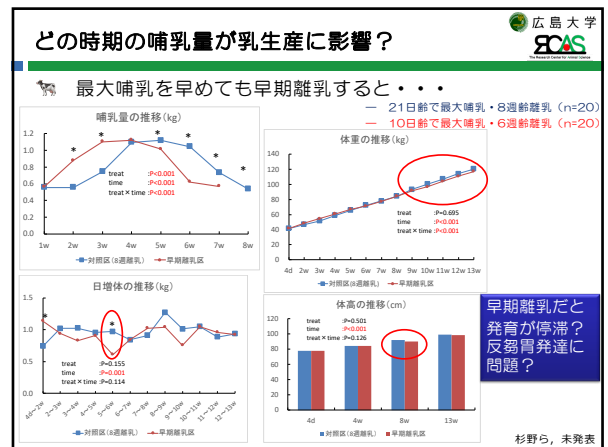
27



28



29



30

どの時期の哺乳量が乳生産に影響？

4週齢までのDGと初産次105日乳量の関係・・・

DG(kg/日)	乳量(kg)
0.59	2658.5
0.91	2834.5

4週齢までの哺乳量は乳生産に影響する？

本研究は、イノベーション創出強化研究推進事業「省力化を担保した丈夫な乳用後継牛を育成する高度哺育プログラムの開発」にて実施した

杉野ら, 未発表

31

スターターへの酪酸添加

● 供試動物: ホルスタイン種雌子牛54頭
 > 試験開始時体重 42.8±3.60 kg(平均±SD)

● 処理区

処理区	代用乳	人工乳
MR-ST-(n=14)	×	×
MR+ST-(n=13)	○	×
MR-ST+(n=13)	×	○
MR+ST+(n=14)	○	○

> 代用乳: 18%のうち2%をMCTに置き換え
 > MR+: 乾物当たり0.6%をTB添加
 > ST+: 乾物当たり0.3%をTB添加

Murayama et al., accepted, 2024

32

スターターへの酪酸添加

乾物摂取量

Item	Treatment				SEM	P-Value		
	MR-ST-	MR+ST-	MR-ST+	MR+ST+		MR	ST	MR×ST
Before weaning								
MR	1145	1145	1151	1139	4.4	0.16	1.00	0.16
ST	119	118	119	139	23.9	0.70	0.64	0.66
Hay	27	15	19	21	4.0	0.27	0.74	0.08
Total	1291	1278	1289	1298	25.7	0.93	0.72	0.66
Weaning transition								
MR	768	768	773	768	2.0	0.27	0.24	0.21
ST	1060	1011	939	1138	93.0	0.41	0.97	0.18
Hay	141	108	136	134	21.3	0.40	0.62	0.47
Total	1971	1889	1848	2038	92.3	0.55	0.88	0.14
After weaning								
ST	3033	2975	2833	3125	120.5	0.34	0.84	0.16
Hay	188	186	166	202	39.6	0.67	0.94	0.62
Total	3221	3161	3000	3325	121.5	0.28	0.81	0.12

Murayama et al., accepted, 2024

33

スターターへの酪酸添加

発育

Item	Treatment				SEM	P-Value		
	MR-ST-	MR+ST-	MR-ST+	MR+ST+		MR	ST	MR×ST
Before weaning (8-49 d)								
BW (kg)	61.5	62.1	61.3	61.4	0.92	0.71	0.64	0.78
ADG (kg/d)	0.97	0.94	0.95	0.95	0.026	0.63	0.80	0.44
Weaning transition (50-63 d)								
BW (kg)	93.5	93.9	92.7	93.8	1.60	0.65	0.78	0.80
ADG (kg/d)	0.95	0.97	0.95	1.02	0.063	0.44	0.68	0.63
After weaning (64-92 d)								
BW (kg)	112.9	112.2	111.5	115.4	2.29	0.50	0.72	0.32
ADG (kg/d)	1.21	1.22	1.17	1.22	0.050	0.51	0.72	0.67

Murayama et al., accepted, 2024

34

スターターへの酪酸添加

腸管絨毛

Item	Treatment				SEM	P-value		
	MR-ST-	MR+ST-	MR-ST+	MR+ST+		MR	ST	MR×ST
Rumen papillae length (mm)								
	4.61	5.34	5.59	6.02	0.484	0.26	0.12	0.76
Jejunum								
Villus height (μm)	690	775	790	983	105.1	0.21	0.17	0.62
Crypt depth (μm)	365	355	349	458	51.3	0.36	0.41	0.27
Villus height/crypt depth	1.89	2.19	2.27	2.18	0.090	0.28	0.07	0.06
Ileum								
Villus height (μm)	542	500	577	548	33.1	0.31	0.24	0.83
Crypt depth (μm)	329	251	268	229	21.3	0.02	0.08	0.37
Villus height/crypt depth	1.67	2.00	2.16	2.44	0.084	< 0.01	< 0.01	0.75

Murayama et al., accepted, 2024

35

スターターへの酪酸添加

GLP-2

Item	Treatment				SEM	P-Value		
	MR-ST-	MR+ST-	MR-ST+	MR+ST+		MR	ST	MR×ST
Before weaning	1.03	0.97	1.14	1.27	0.141	0.81	0.13	0.48
Weaning transition	0.99	0.97	1.13	1.32	0.169	0.59	0.12	0.51
After weaning	0.97	0.91	1.06	1.36	0.125	0.33	0.03	0.14

本研究は、イノベーション創出強化研究推進事業「省力化を担保した丈夫な乳用後継牛を育成する高度哺育プログラムの開発」にて実施した

Murayama et al., accepted, 2024

36

乾草の重要性

乾草給与は反芻胃発達を促す・・・

ST: 乾草給与なし
STH: 乾草給与

10週齢時の反芻胃重量とルーメンpH

Parameter	ST	STH	SEM	P-value
BW with rumen digesta (kg)	104.8	104.5	5.97	0.82
BW without rumen digesta (kg)	98.58	93.69	4.93	0.34
Organ weight with digesta (kg)				
Rumen and reticulum	7.99	12.7	1.56	0.02
Omasum	0.67	0.72	0.06	0.42
Abomasum	1.68	1.66	0.08	0.81
Organ weight without digesta (kg)				
Rumen and reticulum	1.59	1.89	0.11	0.03
Omasum	0.43	0.48	0.04	0.23
Abomasum	0.48	0.47	0.04	0.71
Papillae concentration (no./cm ²)	98.45	103.80	10.62	0.36
Rumen wall thickness (cm)	0.82	0.85	0.05	0.87
Papillae length (cm)	1.14	1.26	0.16	0.87
Papillae width (cm)	0.48	0.52	0.04	0.35
Rumen pH	5.06	5.19	0.10	0.002

哺乳期からの乾草給与は反芻胃重量を増加させ、ルーメンpHを上げる。

Khan et al., 2011

37

子牛はスターターと乾草どちらを好む？

子牛用TMR（スターター/乾草）試験

- 高栄養哺乳プログラム
- 処理区：口スターター・乾草分離給与区 (n=20)
- ▲MIX区（スターター：乾草=90：10, n=20)

A NDF摂取量の推移

B 摂取したNDF量の推移

Engelking et al., 2020

38

子牛はスターターと乾草どちらを好む？

子牛用TMR（スターター/乾草）試験

- 高栄養哺乳プログラム
- 処理区：口スターター・乾草分離給与区 (n=20)
- ▲MIX区（スターター：乾草=90：10, n=20)

分離給与の場合、スターターと乾草摂取量の割合は？

離乳前 73:27
離乳移行期 84:16
離乳後 96:4

TMRの配合割合を決定するのは難しい。
嗜好性が変わる？

Engelking et al., 2020

39

スターターの繊維を高めたら？

クラフトパルプ

特徴

- グラスサイレージ・コーンサイレージと同様のルーメン内消化率
- コーンサイレージと同様の物理的効果
- 天候の影響を受けないため、安定的な生産が可能

新たな粗飼料源としての利用が期待されている。

Inabu et al., 2022

40

スターターの繊維を高めたら？

クラフトパルプ添加試験

供試動物
ホルスタイン種子牛 25頭

処理区: 以下のいずれかのスターターを給与

- 対照区 (KP無配合; n = 14)
- KP区 (KP 12.3%配合; n = 11)

給飼条件

日齢	代用乳 (% of BW kg)	スターター (g/d)	乾草 (g/d)
~7	4	↓	↓
8~14	5	↓	↓
15~35	8	自由採食	↓
36~42	5	↓	↓
43~49	4	↓	↓
50~	0	↓	↓

Inabu et al., 2022

41

スターターの繊維を高めたら？

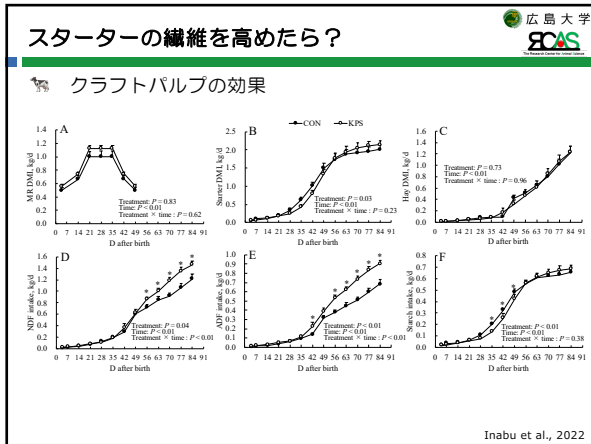
スターター組成

Composition, % of DM	Calf starters ¹		
	CON	KPS	Hay
Ingredients			
Dry ground corn	37.0	37.5	-
Rye	7.10	0.90	-
Soybean meal	25.7	33.5	-
Rapeseed meal	2.50	0.90	-
Gluten feed	18.7	7.00	-
Rice bran	2.00	0.90	-
Wheat bran	0.50	0.90	-
Dried whey	3.00	3.00	-
KP	0.00	12.0	-
Others ²	3.50	3.40	-
Chemical composition			
CP	23.7	26.1	11.0
Ether extract	2.50	1.90	2.10
aNDF	16.4	22.6	64.10
ADF	10.6	20.1	38.50
Starch	32.0	31.5	0.70
NE _g , Mcal/kg	1.18	1.05	0.50

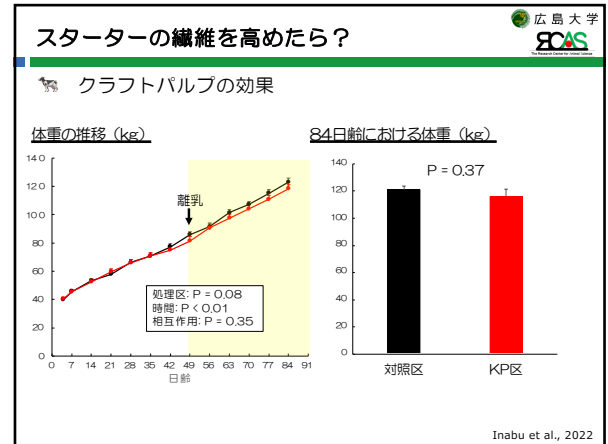
¹Calf starters containing kraft pulp (KP) at 0 (CON) or 12% (KPS) on a DM basis.
²Others are composed of molasses, salt, and calcium carbonate.

Inabu et al., 2022

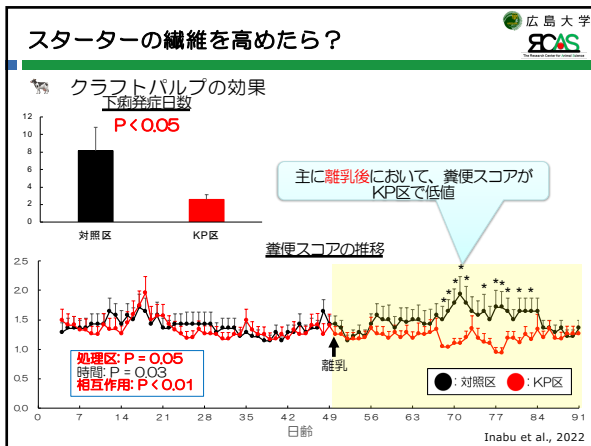
42



43



44



45

広島大学 **SCAS**

Take home message

- 初乳と移行乳で子牛の能力は決まる？
初乳は腸管機能発達に影響し、個体差に影響する。
- 標準哺乳と高栄養哺乳プログラムの考え方
高栄養哺乳は初期投資、健全性と後にメリット。
- 高栄養哺乳に適した代用乳成分を考える
エネルギーとタンパクのバランスが重要（変わってます）。
環境温度も注意して、無駄なく初期投資。
- 酪酸、中鎖脂肪酸
発育に効果あり！ 下痢症軽減。
- 離乳時期はいつ？（高栄養哺乳の場合）
粗飼料、繊維含量は下痢症を軽減？

46

広島大学 **SCAS**

謝辞

- 本発表の一部の研究は、イノベーション創出強化研究推進事業「省力化を担保した丈夫な乳用後継牛を育成する高度哺育プログラムの開発」により実施しました。
- 広島大学、信州大学
農研機構
千葉県、神奈川県、埼玉県、山梨県、富山県、石川県
島根県、宮崎県
全酪連、ワイピーテック
アルバータ大学

47