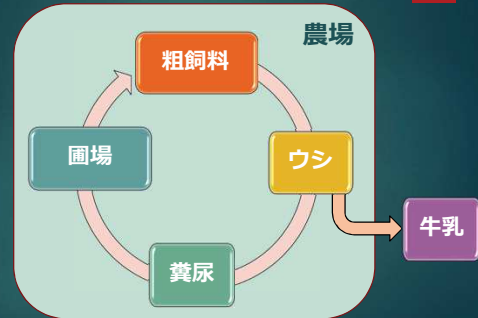


# 濃厚飼料削減への近道 - 基礎から飼料給与への応用 -

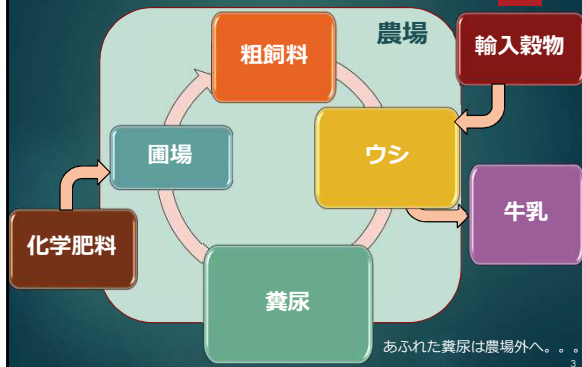
酪農学園大学 農食環境学群 循環農学類  
ルミノロジー研究室  
泉 賢一

## 循環の成立した理想的な酪農



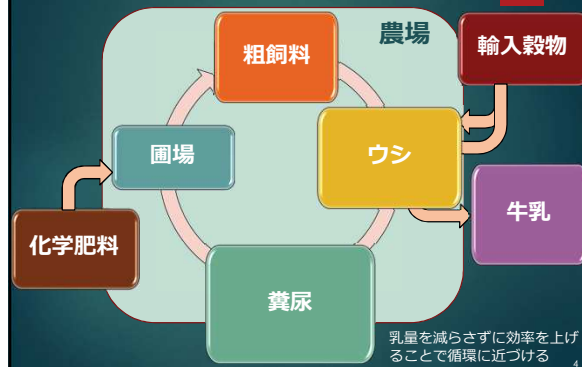
2

## 現代の酪農



3

## これからの新しい循環酪農



4

## 本セミナーの構成

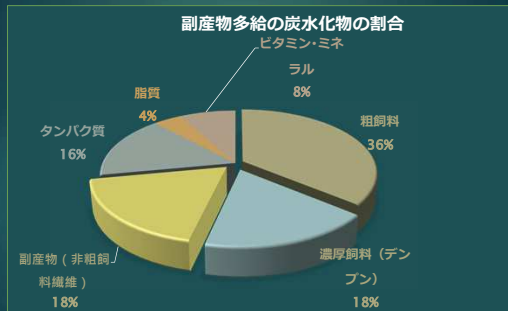
- 副産物利用のポイント
  - 非粗飼料繊維の給与とルーメンの健康
- 飼料米の可能性
- 粗飼料をより食い込ませるために
  - TMR調製のポイント
  - グラスサイレージ利用時のルーメンマット
- 粗飼料と濃厚飼料の給与順序
  - 分離給与方式における考え方
- 飼料の利用効率向上
  - 高価なタンパク質飼料の無駄をなくす
  - MUNについて
  - 乳生産効率について考える

5

## 1. 非粗飼料繊維源を使いこなす

ルーメンマトの形成

## 飼料設計における炭水化物給与の考え方



## 低デンプン飼料の可能性

- デンプン源としての穀物飼料の高騰
  - ▶ バイオエタノール、中国の輸入急増
- 非粗飼料繊維は、デンプンに類似した発酵特性を持つ飼料成分
  - ▶ エコフィード、副産物
- 非粗飼料繊維源の課題??
  - ▶ 繊維の代替としては物理性が不足する
    - ▶ ルーメンマットが形成されない

## ルーメンマットとは?

- 小飼料片の取り込み機能
  - ▶ ルーメンからの流出遅延
  - ▶ 消化率向上
- 反芻を刺激する
  - ▶ 堅いマットが胃壁を刺激
- RM形成不十分では反芻活動の減少
  - 唾液分泌量の減少
  - ルーメンpHの低下
  - 亜急性ルーメンアシドーシス (SARA) の発症リスク増加



## ルーメンマットは微生物増殖の場

	給与後時間					
	0		3		9	
	マット	液層	マット	液層	マット	液層
微生物合成量 (rRNA, cpm)	1,588 <sup>a</sup>	2,500 <sup>b</sup>	2,638 <sup>b</sup>	2,800 <sup>ab</sup>	3,361 <sup>a</sup>	2,484 <sup>b</sup>
繊維分解率, %	5.4	6.6	5.6	6.1	5.7	6.5

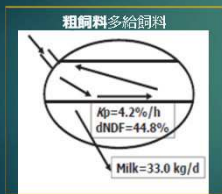
*Fibrobacter succinogenes* S85 percentage (% of total rRNA)

Briesacher et al. 1992

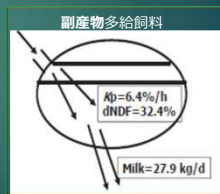
マット内容物は微生物が付着して、コロニーを形成しやすい

## 非粗飼料繊維とルーメンマット形成

- 副産物飼料 (非粗飼料繊維源)
  - ▶ 粒子が細かい
  - ▶ 多給するとマットができない



充実したマットが形成



マット形成が不十分

Grant and Colanah, 2012

## 非粗飼料繊維源を多給するとルーメンマットはできないのか?

BP: ピートパルプ

	イネ科乾草		アルファルファ乾草		有意差	
	BP20%	BP80%	BP20%	BP80%	乾草種	BP%
ルーメンマット堅さ, N/cm <sup>2</sup>	19.1	13.5	13.2	11.5	**	**
ルーメンマット厚さ, cm	33.2	26.5	32.3	25.6		**
反芻時間, 分/日	471	338	310	197	*	*
ルーメンpH	6.85	6.78	6.83	6.46		**

Izumita, 2008

- 副産物給与でもマットはできる
- 組み合わせる粗飼料によって、マットの物理性が変化
  - イネ科牧草は強いマットを作る

## 副産物と乳生産効率

BP: ビートパルプ  
HMC: ハイモイスターコーン

	BP 0% HMC 35.6%	BP 6% HMC 29.5%	BP 12% HMC 23.5%	BP 24% HMC 11.4%
デンプン含量, %	34.6	30.5	26.5	18.4
NDF含量, %	24.3	26.2	28.0	31.6
DMI, kg/日	24.8	25.0	25.1	22.9
反芻時間, 分/日	472	467	483	499
乳量, kg/日	36.4	36.6	35.9	35.4
乳脂率, %	3.72	3.84	3.90	3.81
3.5%補正乳量/DMI	1.51	1.54	1.52	1.62
BCS変化 /21日	+0.06	+0.11	-0.04	-0.05

P<0.05

P=0.07

P=0.06

Voesler and Allen, 2003

- デンプンを副産物で置き換えることで乳生産効率が向上

13

## 非粗飼料繊維の給与の考え方

- 飼料の特質
  - カサ (容積) : 粗飼料 > 非粗飼料繊維 > デンプン
  - エネルギー濃度: デンプン > 非粗飼料繊維 > 粗飼料
- 泌乳初期牛:
  - 1kg<sup>+</sup> 要求量が高いが、ルーメン内充満によって食いだめない  
→ エネルギーバランスがマイナスとなる
  - カサの大きい粗飼料を非粗飼料繊維で代替して、エサを食べるだけの"隙間"をルーメン内につくる
- 泌乳後期牛:
  - 1kg<sup>+</sup> 要求量が低いので、少ないDMIで充足できる  
→ ルーメン内には空きスペースがある
  - エネルギー濃度の低い非粗飼料繊維で、デンプン源を置き換える

14

## 2. 飼料米の可能性

2014.11.17 第48回酪農公開講座 (山形) アンケート  
今後聞いてみたいテーマ 全体を通しての意見・希望等

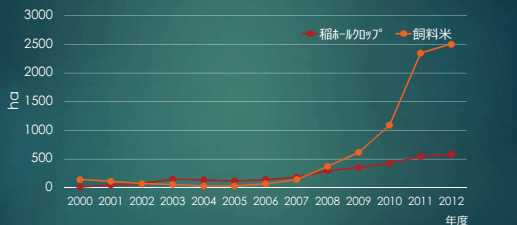
- 今後利用拡大が全国的に見込まれる稲WSC + 飼料用米の重複給与について、多くの農家が影響の有無も含めて知りたがっています。是非お願いします。(40代 自治体関係 男性)
- 飼料用米の可能性について。(40代 酪農業・乳業・農業関連団体 男性)
- 飼料米、稲WSCについて。世の農業情勢としては重要なことなので。(40代 自治体関係 男性)

15

16

## 飼料米の勢い

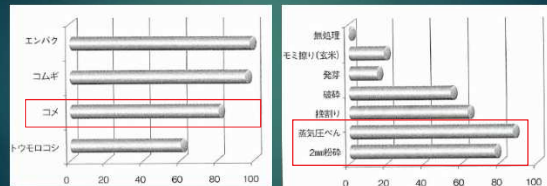
飼料用米等の作付け (山形県)



飼料用米の生産・給与技術マニュアル<2013年版>

## 飼料米の栄養価

- TDN: 玄米 ≒ トウモロコシ > 粳米
- CP: 玄米 ≒ トウモロコシ ≒ 粳米
- ルーメン内分解速度は大麦と同程度



飼料別および加工法別のルーメン内デンプン分解率, % (宮地, 2014)

18

## 破碎玄米の給与試験

DM給与量22kg :  
25% → 5.5kg  
20% → 4.4kg

	試験1 (コーンvs玄米)		試験2 (粒度)	
	コーン25%	玄米25%	粗挽き20%	粉碎20%
DMI, kg/日	20.0	21.7	23.6	24.1
DM消化率, %	71.5	70.3	66.4 <sup>b</sup>	69.1 <sup>a</sup>
乳量, kg/日	28.6	27.3	31.9 <sup>b</sup>	34.3 <sup>a</sup>
乳脂率, %	4.16	4.09	4.20	4.18
乳タンパク率, %	3.03	3.23	3.09	3.14
MUN, mg/dl	-	-	16.7 <sup>a</sup>	15.6 <sup>b</sup>

神谷ら, 2014

## コーンと大麦の比較

	コーン	大麦1	大麦2	有意差
DMI, kg/日	23.6	21.4	21.8	<0.001
乳量, kg/日	40.4	36.2	38.5	<0.01
乳脂率, %	3.39	3.47	3.23	
乳脂量, kg/日	1.33	1.26	1.23	0.10
乳タンパク率, %	2.99	2.89	3.08	
乳タンパク量, kg/日	1.20	1.07	1.18	<0.001
乾物消化率, %	64.9	60.1	60.8	<0.001

Silveiraら, 2007

- 大麦は分解が早く、アシドーシスの可能性
- 米と大麦の栄養価、消化性が類似している。。。。

## 飼料米と北海道

- 全国的な勢い
  - 稲作農家、畜産農家、双方にメリット
- 飼料米は、粗飼料ではなく、国産濃厚飼料なので、北海道でも普及の可能性
  - 加工施設、供給体制の整備
- 給与技術の検討

21

## 3. 飼料の給与法を見なおす

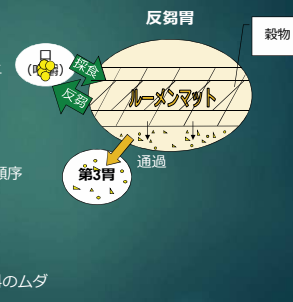
“常識”を疑ってみる

## 3-1 分離給与の給与順序

乾草と濃厚飼料

## ルーメンマットの穀物取り込み機能

- 厚いマット
  - 穀物を取り込まれる
  - 微細化
  - 通過遅延&消化率向上
- 薄いマット
  - 取り込まれず、沈降
  - 未消化のまま通過
- 粗飼料と濃厚飼料の給与順序
  - 粗飼料を先に給与 → 厚いマットを作る
  - 濃厚飼料を先に給与 → マットが薄く、飼料のムダ



24

## 乾草の給与割合と給与順序

	庄べんコーン →乾草		乾草→庄べんコーン	
	乾草65% 酒粕35%	乾草65% 酒粕35%	乾草35% 酒粕65%	乾草35% 酒粕65%
DMI, kg/日	9.5	9.5	9.6	
ルーメンマット堅さ, N/cm <sup>2</sup>	10.9	10.3	11.0	
ルーメンマット厚さ, cm	32.5	35.2	33.1	
コーン飼料片割合, %				
給与前 マット内部	0.4	0.4	0.7	
給与前 ルーメンの底	0.4	1.6	0.5	
給与1時間後 マット内部	3.4	2.9	1.7	
給与1時間後 ルーメンの底	20.7	28.4	18.8	

- 給与順序、割合に関係なく、コーンは摂取されるとすぐにルーメンの底に沈んでしまった

Izumii, 2013

25

## 粗飼料と濃厚飼料の給与順序

- ルーメンマットへの穀物取り込み機能は大きくない
- それでは乾草を先にやる必要はないのか？
- 反芻動物は、飼料摂取時に嚥下可能な食塊を形成するまで咀嚼する (Ulyatt, 1986)
  - 長くて堅い乾草は飲み込むまでに咀嚼回数が多く必要である
- RVI (DMI当たりの咀嚼時間、分/kgDMI) , Sudweeks 1981
  - バミューダグラス乾草: 103分
  - アルファルファ乾草: 61.5分
  - コーンサイレージ: 59.6分
  - シトラスパルプ: 30.9分
- 咀嚼回数が多い=ルーメンへの唾液流入量が多い
- 粗飼料を先に与えることで、唾液がルーメンに流入するので、次に与えられる濃厚飼料の発酵酸を中和する準備を整える

26

## 3-2. TMR調製のポイント

ミキシングと繊維の物理性

## 繊維の物理性評価

- peNDF (物理的有効繊維) 理論
  - 繊維の化学性 (NDF含量) と物理性 (粒度) を組み合わせた指標
  - peNDF含量 = NDF含量 × 8mm または 1.18mm 以上飼料片の割合
- peNDF含量が低下すると反芻時間が減り、SARAリスクが高まって、乳脂率が低下する (Teimouri Yansari ら, 2004)
- 定説「ミキサーへの粗飼料投入後、攪拌時間が長すぎると繊維が損傷し、反芻刺激効果 (物理的有効度) が失われる」

物理的有効繊維による飼料の細かい分け



28

## 繊維の物理性と反芻刺激、乳脂率

	アルファルファ乾草の 切断長		
	7.8mm	4.0mm	1.1mm
NDF, %	45.2	45.2	45.2
peNDF <sub>&gt;8mm</sub> , %	11.2	5.6	2.0
DMI, kg/日	21.3 <sup>b</sup>	22.6 <sup>b</sup>	24.8 <sup>a</sup>
NDF消化率, %	61.3 <sup>a</sup>	61.1 <sup>a</sup>	56.6 <sup>b</sup>
ルーメンpH	6.58 <sup>a</sup>	6.59 <sup>a</sup>	6.12 <sup>b</sup>
ルーメン滞留時間, h	34.1 <sup>a</sup>	33.4 <sup>a</sup>	30.7 <sup>b</sup>
反芻時間, 分/日	338.9 <sup>a</sup>	286.1 <sup>b</sup>	236.1 <sup>c</sup>
乳量, kg/日	30.3	30.9	31.4
乳脂率, %	3.21 <sup>a</sup>	3.15 <sup>a</sup>	2.88 <sup>b</sup>

- peNDFは生産性に影響
- この切断長は現実的か？

Teimouri Yansari ら, 2004

29

## 一般的なTMRで試験

- グラスサイレージ、コーンサイレージ、アルファルファロールペールサイレージ
- リール式ミキサーでTMR調製 (対照TMR)
- 対照TMRを飼料用切断機 (切断長10mm) に2度通して細断
  - ミキサーによる長時間攪拌の比でない繊維の損傷、切断

30

### 繊維の物理性と反芻刺激、乳脂率

	対照区	細断区
NDF, %	39.3	39.3
peNDF <sub>&gt;8mmv</sub> , %	21.0	14.9
DMI, kg/日	19.7	19.7
ルーメンマット堅さ, N/cm <sup>2</sup>	32.4	29.6
ルーメンマット厚さ, cm	31.4	37.0
ルーメンpH	6.21	6.16
反芻時間, 分/日	500.5	525.7
乳量, kg/日	27.9	27.1
乳脂率, %	4.08	4.34

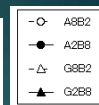
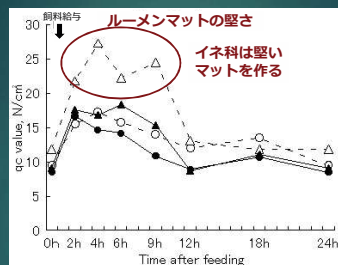
P<0.05

- 細かい粒子がマットの隙間に詰め込まれ、マットが厚くなった
- TMR切断長が短くなっても悪影響なし

泉, 2014

31

### 牧草種とルーメンマットの堅さ



A: アルファルファ乾草  
G: イネ科乾草  
B: ビートパルプ

32

### TMRに用いる繊維の物理的有効度

- イネ科牧草はアルファルファよりも物理性が高い（北米はアルファルファ主体）
  - イネ科主体の場合、数分のミキサー攪拌くらいではpeNDF含量は大きく低下しない
  - 繊維の損傷は、高すぎるpeNDF含量を下げ、DMIを増やす効果
- 繊維を短くすることでルーメンマットの物理性が高まる
  - 細かい粒子がルーメンマット構造の中に詰め込まれ、押し固められる
- 次のようなケースは慎重に
  - アルファルファのように物理的有効度の高い粗飼料
  - 繊維給与の絶対量がそもそも少ない

33

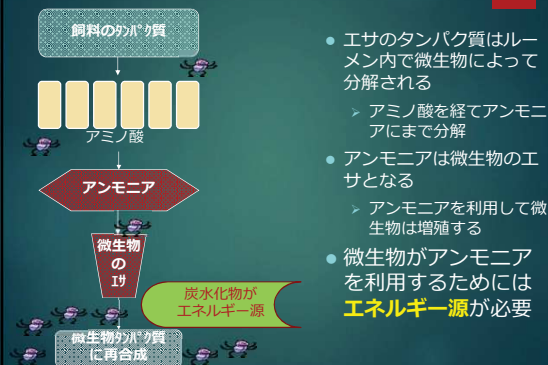
### 4. 飼料の効率を考える

ムダをなくして濃厚飼料を削減する

### タンパク質飼料の無駄を減らす

微生物タンパク質の増殖効率

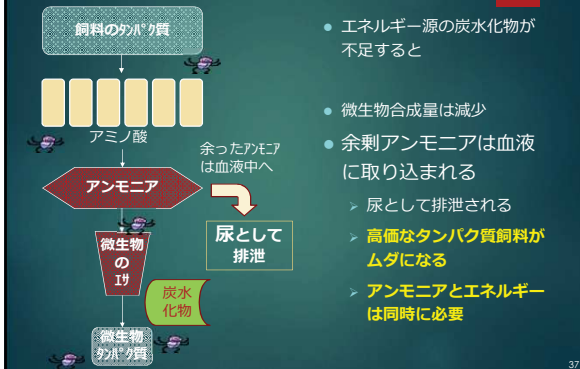
### ルーメン内のタンパク質分解と再合成



- エサのタンパク質はルーメン内で微生物によって分解される
  - アミノ酸を経てアンモニアにまで分解
- アンモニアは微生物のエサとなる
  - アンモニアを利用して微生物は増殖する
- 微生物がアンモニアを利用するためには**エネルギー源**が必要

36

## ルーメン内のタンパク質分解と再合成



- エネルギー源の炭水化物が不足すると
- 微生物合成量は減少
- 余剰アンモニアは血液に取り込まれる
  - 尿として排泄される
  - 高価なタンパク質飼料がムダになる
  - アンモニアとエネルギーは同時に必要

37

## タンパク質と炭水化物の分解同期化①

表4 実験1(6・7月)と実験2(9・10月)の供試放牧地の植生と牧草の化学成分

	実験1		実験2	
	定置	輪換	定置	輪換
草高 cm	11.3	13.7	8.6	12.5
分けつ密度 本/m <sup>2</sup>	6,269	5,343	6,656	5,269
現存草量 gDM/m <sup>2</sup>	190	195	141	133
化学成分				
DM, %	31.2	23.4	24.6	21.9
CP, % of DM	17.6	22.3	25.7	28.4
NDF, % of DM	47.6	41.7	40.4	36.3
NFC <sup>1)</sup> , % of DM	17.9	18.3	16.4	17.7

1) NFC = 100 - (CP + NDF + EE + C.Ash) (三谷ら, 2008を改訂)

NDF: 中性繊維(セルロース+ヘミセルロース)

近藤, 2009

放牧地草は高タンパク

38

## タンパク質と炭水化物の分解同期化②

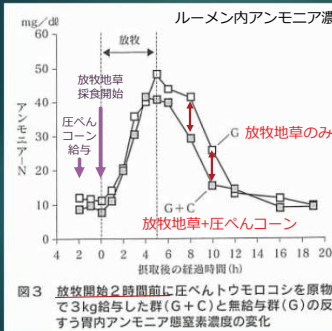


図3 放牧開始2時間前に圧べんトウモロコシを原物で3kg給与した群(G+C)と無給与群(G)の反すう胃内アンモニア濃度の変化

三谷ら, 2008, 近藤, 2009より重引

放牧開始前の穀類給与でルーメン内のアンモニア濃度が低下

これは何を意味するのか?

39

## タンパク質と炭水化物の分解同期化③

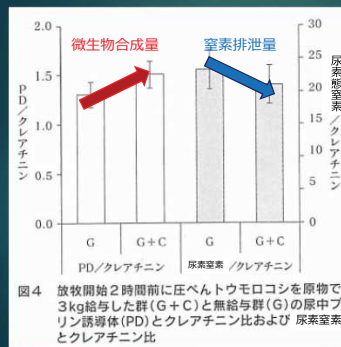


図4 放牧開始2時間前に圧べんトウモロコシを原物で3kg給与した群(G+C)と無給与群(G)の尿中プリン誘導体(PD)とクレアチニン比および尿素窒素とクレアチニン比

三谷ら, 2008, 近藤, 2009より重引

● 放牧開始前の穀類給与で、微生物タンパクの合成量が増えた

● その結果、窒素排泄量が減った

● タンパク質単独では窒素利用効率が低い

● 組み合わせる炭水化物の量だけでなく与えるタイミングも重要(放牧終了後では効果が薄い)

40

## MUNをモニタリングする

41

## 窒素のムダを知る指標

### 一乳中尿素態窒素 (MUN) ー

- ルーメン内で無駄になったアンモニアは体内で尿素に変換される
- 尿素の一部は牛乳中に溶け込む → MUN
- MUNの値をみることで、窒素の利用効率を知ることができる
  - 値が大きいとタンパク質のムダが多いことになる

42

## MUNからタンパク質のムダを知る

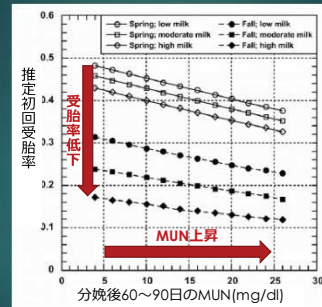
検査日成績速報		検査日		23年度 2月14日		23年度 2月14日		23年度 2月14日		23年度 2月14日					
乳牛コード	検査結果	乳成分検査結果				乳成分検査結果				検出					
		乳量	乳脂率	タンパク質	乳糖	乳量	乳脂率	タンパク質	乳糖						
029710851	0851	28.9	3.8	3.7	8.9	8.8	3.3	3.2	4.5	4.6	7	11.6	10.5		
029710854	0855	46.2	3.8	8.3	3.9	3.9	4.5	10	7	10.1	08				
029710860	0860	28.9	3.2	3.9	3.7	8.9	8.8	3.4	3.2	4.5	4.5	12	8	10.3	7.7
029710863	0863	38.4	3.2	3.7	8.6	8.5	3.0	2.9							
029710864	0864	14.2	16.4	4.7	4.2	8.9	8.8	3.2	3.2						
029710866	0866	22.7	24.6	5.8	5.4	9.5	9.4	4.0	4.0						
029710877	0867	36.1	3.2	4.0	3.9	9.0	8.0	3.2	3.2						
029710882	0878	27.3	28.6	3.3	3.6	9.1	8.0	3.4	3.4						
029710889	0889	26.4	26.1	4.2	4.2	8.8	8.0	3.4	3.4						
029710894	0894	27.3	27.2	4.2	4.3	9.2	9.2	3.5	3.5						
平均		29.2	28.9	4.0	3.9	8.9	8.9	3.4	3.3	4.6	4.6	19	12	10.7	9.0
標準		41.8	40.2	3.9	3.8	8.7	8.6	3.1	3.0	4.6	4.5	4	2	10.4	9.0
3層以上		37.9	39.5	3.9	3.8	8.7	8.7	3.1	3.1	4.6	4.6	63	19	10.1	8.3
平均		34.6	34.8	3.9	3.8	8.6	8.6	3.2	3.2	4.6	4.6	38	15	10.4	8.6

パンカーサイロの切り替わりでイネ科からアルファルファに変更になる

MUNが上昇しても、乳生産は変化しなかった  
これは、タンパク質のムダが増えたことを意味する  
MUNの推奨範囲は10~14mg/dlと言われているが低くても問題ないのでは

43

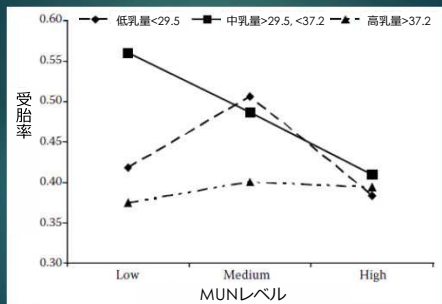
## MUNと繁殖成績



Guoら, 2004

44

## MUNと繁殖成績



Rehákら, 2009

45

## タンパク質給与のまとめ

- タンパク質飼料は最も高価な飼料原料
- エネルギー給与とのバランスで微生物増殖効率が向上  
→タンパク質のムダが減る
- 微生物増殖効率は乳蛋白質率、MUNなどで推測可能
- タンパク質代謝の仕組みを理解することからスタート
  - タンパク質と炭水化物のルーメン内同期化理論は過大に重要視されてきた可能性

46