

本テキストの 第三者への譲渡

無断転載・無断改変は
お控えください

第2回酪農公開オンライン講座

サイレージ調製の基本原則

循環農学類

家畜飼料学研究室

土井 和也（フィールド研究教育センター）

k-doi@rakuno.ac.jp

本日の内容

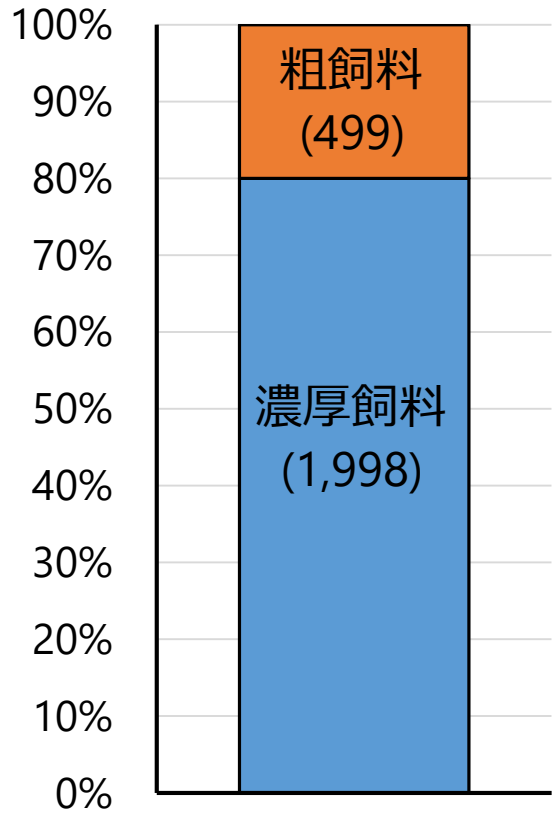
- ・ 日本¹の飼料情勢について
- ・ サイレージ調製について

日本の飼料情勢

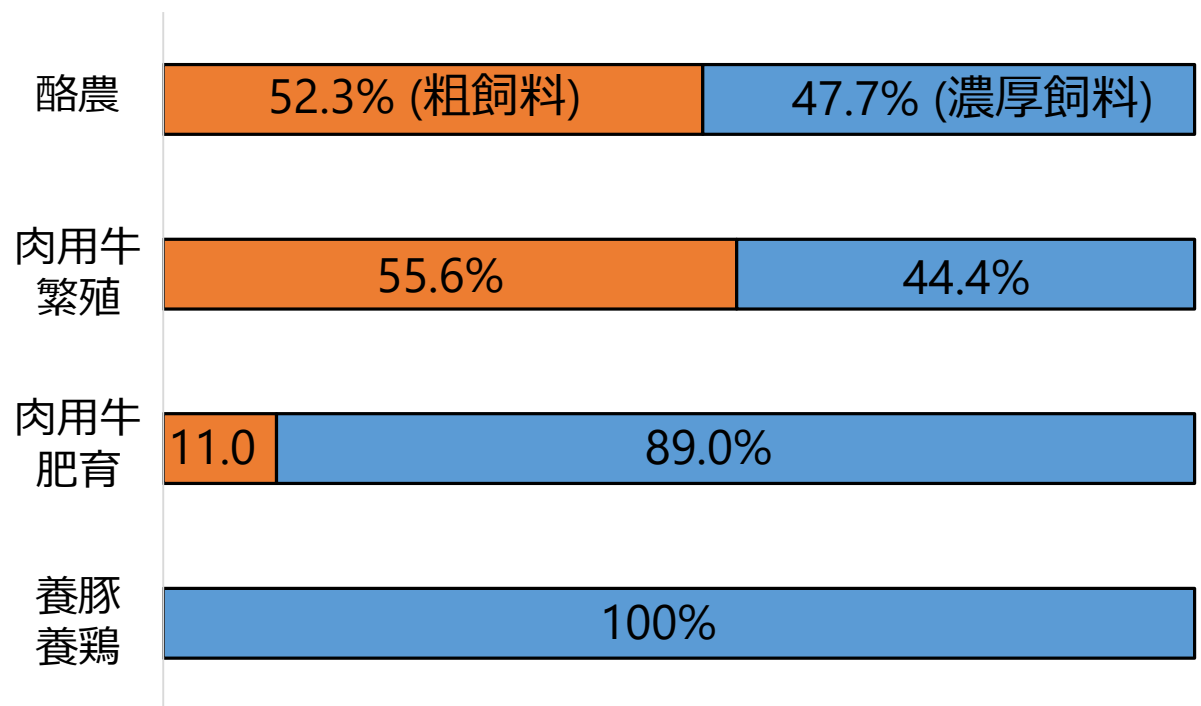
飼料の供給量とその割合構成

- ・ 2020年度における飼料の供給量は約2,497万TDNトン
粗飼料が20%，濃厚飼料は80%（農林水産省 2022）

供給量と割合



畜種別の構成割合



(農林水産省HPより抜粋)

日本の飼料情勢

日本の飼料自給率

- ・ 2020年度における飼料自給率は25%
粗飼料自給率：76%，濃厚飼料自給率：12%（農林水産省 2022）

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
全体	25%	26%	26%	26%	27%	28%	27%	26%	25%
粗飼料	78%	77%	76%	77%	78%	79%	78%	78%	76%
濃厚飼料	11%	12%	12%	12%	14%	14%	14%	13%	12%

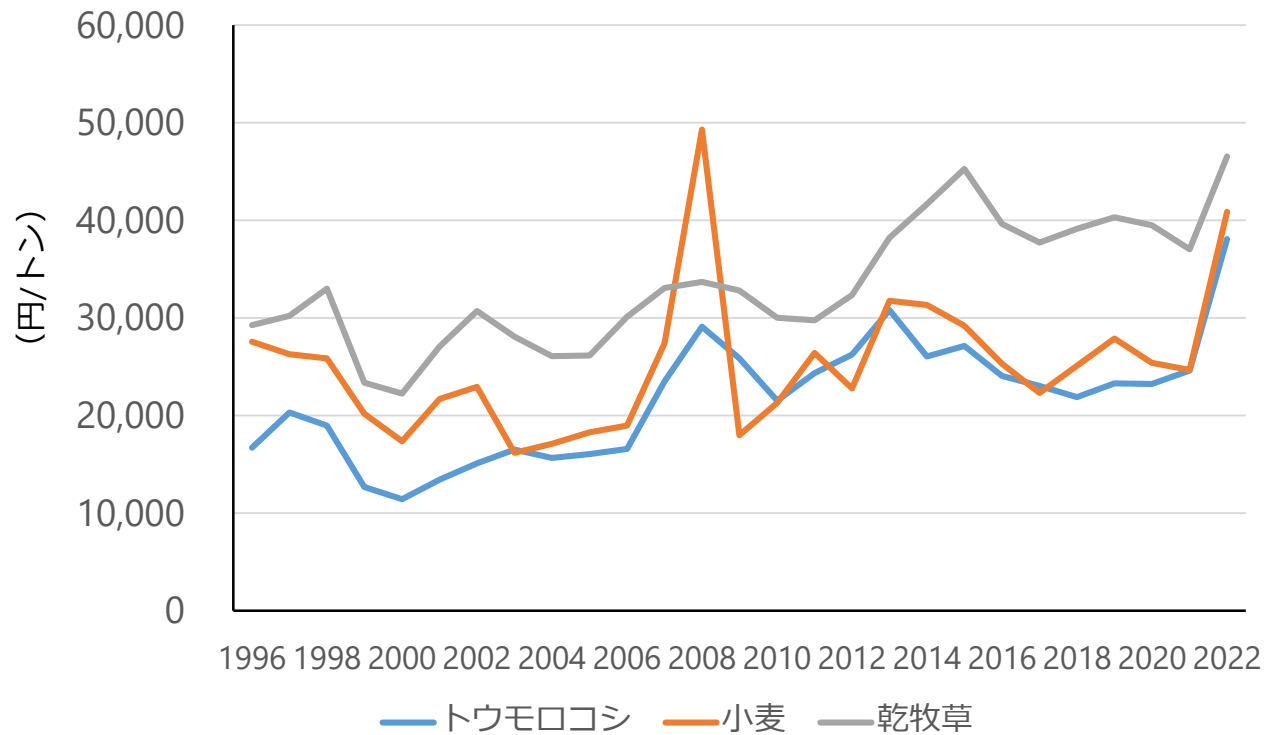
(農林水産省HP)

日本の飼料情勢

輸入飼料価格の推移

- ・ 原油価格の高騰
- ・ 異常気象による収穫量の不安定 → **近年の飼料価格は上昇**
- ・ 世界での畜産物の消費の拡大

図. 輸入飼料価格の推移

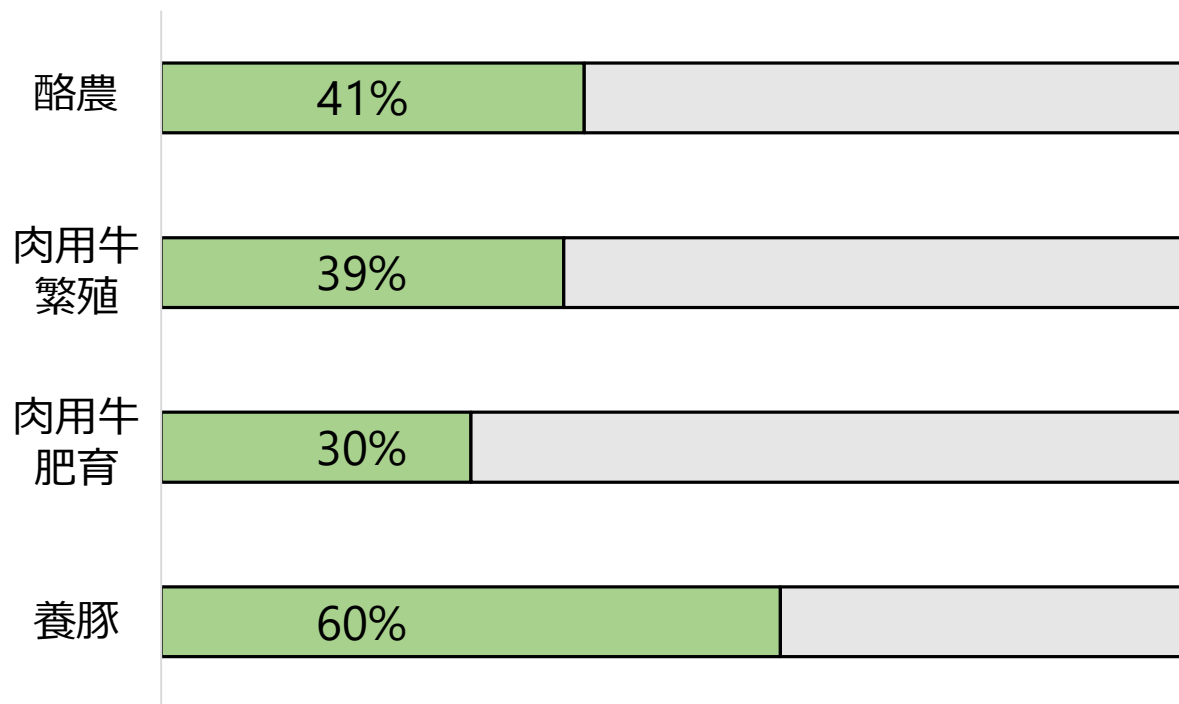


日本の飼料情勢

経営コストに占める飼料費の割合

- ・ 2020年度の飼料費は30~60%を占める（農林水産省 2022）
- ・ 飼料費の安定には、飼料自給率を向上させる必要がある。

畜種別の構成割合



日本の飼料情勢

飼料自給率向上への取り組み

○ 飼料増産の推進

① 水田の有効活用、耕畜連携の推進



稲発酵粗飼料※1



飼料用米の利活用

② 草地等の生産性向上の推進



青刈りとうもろこし



優良品種の導入

③ 放牧の推進



耕作放棄地放牧



集約放牧

○ エコフィード※4等の利用拡大

・食品加工残さ、農場残さ等未利用資源の更なる利用拡大



余剰食品の飼料化



生稲わらサイレージ

利用拡大

生産増加

○ 飼料生産技術の向上

・高品質飼料の生産推進



汎用型飼料収穫機



稲発酵粗飼料専用機械

○ コントラクター※2、TMRセンター※3による飼料生産の効率化

・作業集積や他地域への粗飼料供給等、生産機能の高度化を推進



飼料収穫作業



TMR調製プラント

国産飼料基盤に 立脚した畜産の確立

飼料自給率

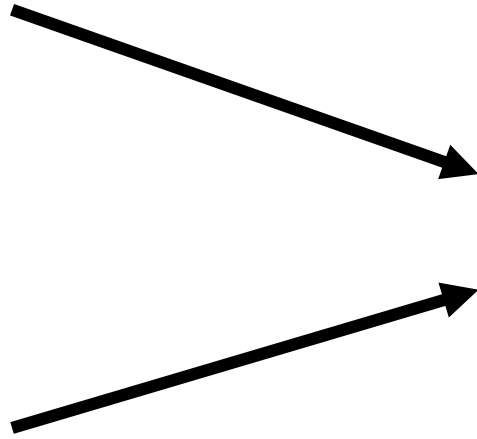
	H30年度 (概算)	⇒	R12年度 (目標)
飼料全体	25%	⇒	34%
粗飼料	76%	⇒	100%
濃厚飼料	12%	⇒	15%

※1 稲発酵粗飼料: 稲の実と茎葉を一体的に収穫し発酵させた牛の飼料 ※2 コントラクター: 飼料作物の収穫作業等の農作業を請け負う組織

※3 TMRセンター: 粗飼料と濃厚飼料を組み合わせた牛の飼料(Total Mixed Ration)を製造し農家に供給する施設 ※4 エコフィード: 食品残さ等を原料として製造された飼料

草から乳をつくる牛

乳牛の飼料は半分以上が粗飼料



粗飼料の品質向上は飼料コストの削減につながる。

粗飼料の調製について

収穫した牧草を保存する方法

- ・ 乾草 . . . 原料草の水分含量を少なくすることで、有害微生物の活動を抑える。
- ・ サイレージ . . . 乳酸発酵によりpHを低下させ、有害微生物の活動を抑える。

高品質な粗飼料を得るためのポイント

- ・ 栄養価の高い牧草を生産する。
- ・ 調製時における牧草の栄養価のロスを少なくする。

高品質の粗飼料を調製するには、適切な時期での刈取りと調製原理の理解が必要である。

粗飼料について

牧草の特徴

- ・ 成長すると収量は増えるが、栄養価は低下する。
- ・ 刈取り適期は出穂始期～出穂期。

トウモロコシの特徴

- ・ 単位面積当たりの収量が高い。
- ・ 刈取り適期は黄熟期後期

図. 牧草の収量と栄養価の推移

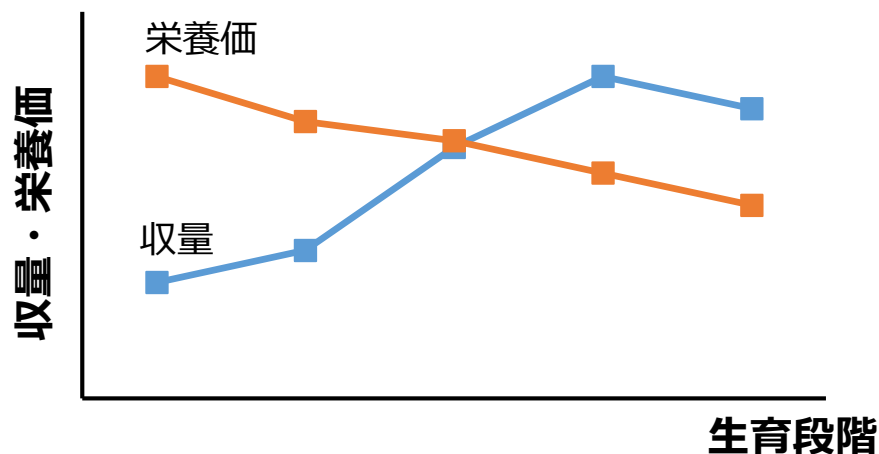
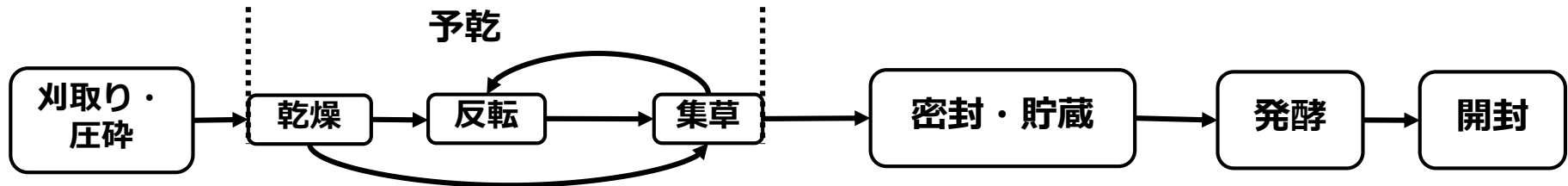


表. トウモロコシと乾牧草との飼料価値の比較

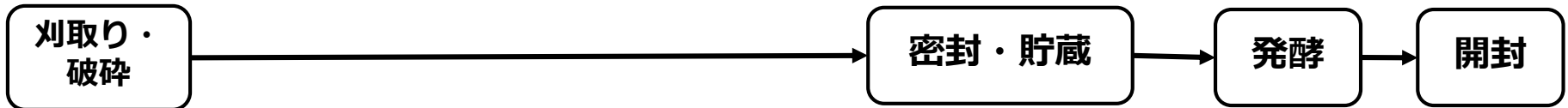
飼料	粗蛋白質 (%)	TDN (%)
トウモロコシサイレージ	8.0	70
アルファルファ乾草	17.2	58
チモシー乾草	9.5	58

粗飼料の調製工程

牧草の調製工程



トウモロコシの調製工程



サイレージの発酵過程

- | | |
|------|-------------------------------------|
| 第1段階 | 植物による呼吸（酸素と糖分の消費） |
| 第2段階 | 好気性細菌による酸素消費と酢酸の産生 |
| 第3段階 | 乳酸菌による乳酸産生（pHの低下） |
| 第4段階 | 乳酸菌による発酵の安定化（pH4.2以下） |
| 第5段階 | 酪酸菌による酪酸やアンモニアの産生
（pHの低下が不十分な場合） |
| 開封後 | 酵母やカビによる発熱・変敗：2次発酵 |

早急に酸素を無くし、乳酸発酵を開始することがポイント

サイレージ調製に関する微生物

(1) 乳酸菌

サイレージ発酵にとって最も重要な菌。

乳酸菌が乳酸を産生するためには**糖分が必要**

→ **可溶性炭水化物 (WSC) 含量**の多い牧草を利用する

【乳酸の生成式】

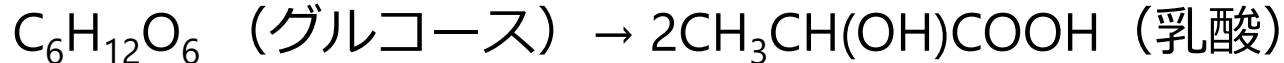


表1 乳酸菌による炭水化物の発酵

発酵様式	炭水化物	主な発酵産物
ホモ発酵	グルコース	→ 2 乳酸
	フルクトース	→ 2 乳酸
	ペントース	→ 乳酸+酢酸
ヘテロ発酵	グルコース	→ 乳酸+エタノール+CO ₂
	3フルクトース	→ 乳酸+酢酸+2マンニトール+CO ₂
	グルコース+2フルクトース	→ 乳酸+酢酸+2マンニトール+CO ₂
	フルクトース	→ 乳酸+エタノール+CO ₂
	ペントース	→ 乳酸+酢酸

(McDonaldら 1991)

サイレージ調製に関する微生物

● WCS含量の参考値

表. WCS含量の必要量

無添加		
無予乾	チモシーあるいはオーチャードグラス	9.1%DM以上
予乾	チモシーあるいはオーチャードグラス	7.6%DM以上
乳酸菌添加		
無予乾	チモシー	7.1%DM以上
予乾	チモシー	6.1%DM以上
無予乾	オーチャードグラス	6.6%DM以上

(増子 2017より抜粋)

サイレージ調製に関する微生物

(2) 好気性細菌

呼吸作用により原料草の糖を消費するため原料草の養分が損失する。

(3) 酪酸菌

嫌氣的条件下で，糖や乳酸から酪酸を生成する。
タンパク質を分解し，アンモニアを生成する。

(4) 酵母

好氣的条件下で，糖からアルコールとCO₂を生成する。

(5) カビ

好氣的条件下で，サイレージの変敗の原因となる。
カビにはマイコトキシン（カビ毒）を生成するものもあり，乳牛へ悪影響を及ぼす。

サイレージ調製の基本原則

有害微生物の生育を抑える（好気性菌・酪酸菌・カビ・酵母）

有害微生物の生育を抑えるためには・・・

- ・嫌気性を保つ（密封する）
- ・低水分にする
- ・抗菌物質（有機酸）を生成する



（図は最新サイレージバイブルより抜粋）

サイレージ調製の基本原則

①嫌気性を保つ

サイロ内を嫌気性にするにより好気性菌の増殖を抑える

サイレージ調製に関する微生物

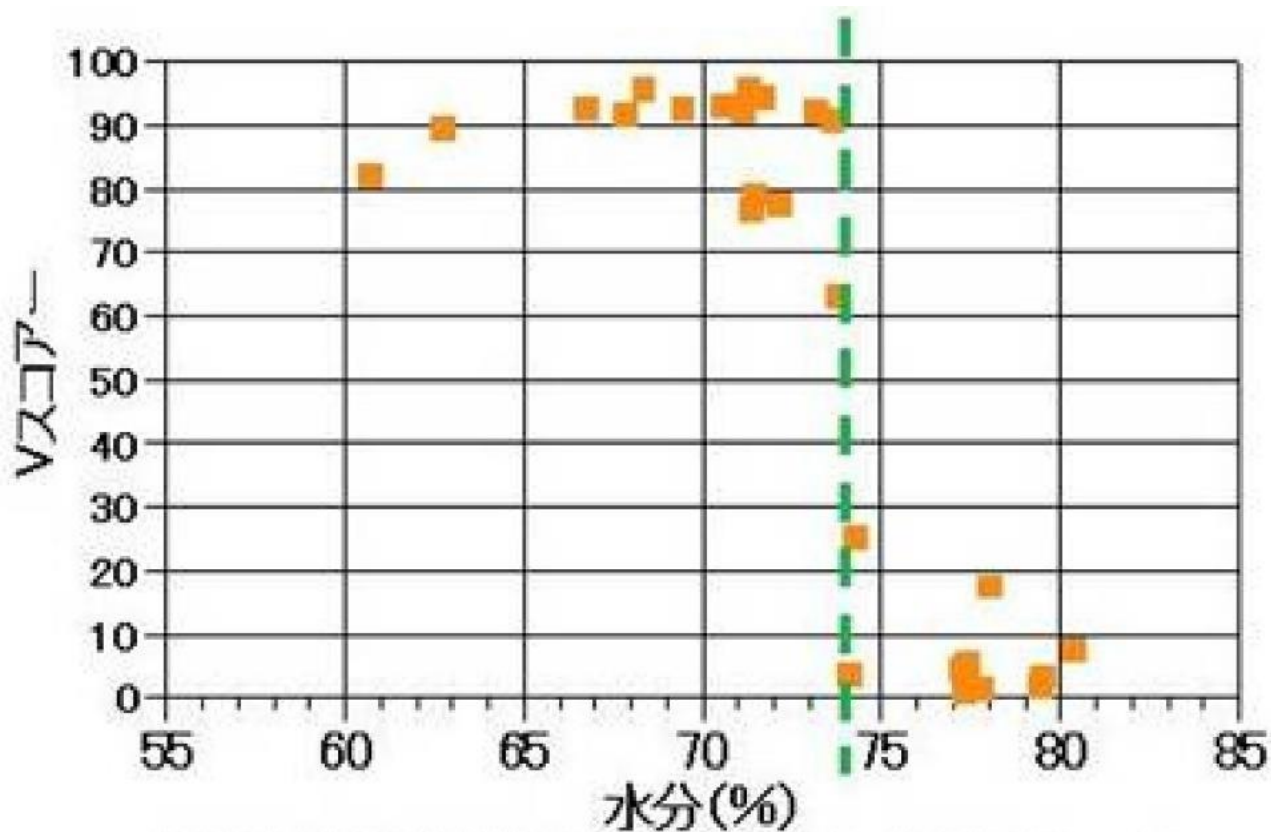
- ・ 好気性菌 (酸素：必要)
- ・ **乳酸菌**, 酵母, 大腸菌 (どちらでも良い)
- ・ 酪酸菌 (酸素：不必要)

嫌気性にしても酵母, 大腸菌, 酪酸菌の増殖は防げない

サイレージ調製の基本原理

②原料草の水分含量_水分とVスコアの関係

水分含量が低くなると微生物の活動が抑制される。
※特に酪酸菌の抑制には重要。



ある牧場の牧草細切サイレージの水分とVスコア (ゆきたネット)

サイレージ調製の基本原則

②原料草の水分含量_発酵品質への影響

表. サイレージの発酵品質および乾物密度

	中水分(65-75%)	高水分(75%以上)
pH	4.1±0.2 ¹⁾	4.4±0.4
全窒素に対する揮発性塩基態窒素	9.9±2.9	14.2±7.5
乳酸 (%原物中)	2.26±0.73	1.36±0.96
酢酸 (%原物中)	0.52±0.37	0.77±0.28
プロピオン酸 (%原物中)	0.01±0.01	0.08±0.06
酪酸 (%原物中)	0.06±0.14	0.13±0.26
Vスコア (点)	79±16	63±25
乾物密度 (kg/m ³)	173.4±24.9	151.1±18.7
1) 平均値±標準偏差		

サイレージ調製の基本原則

②原料草の水分含量_水分と排汁の関係

原料草の水分含量が高すぎると排汁が発生する。
排汁には可消化の養分が含まれ、栄養価の低下に繋がる。

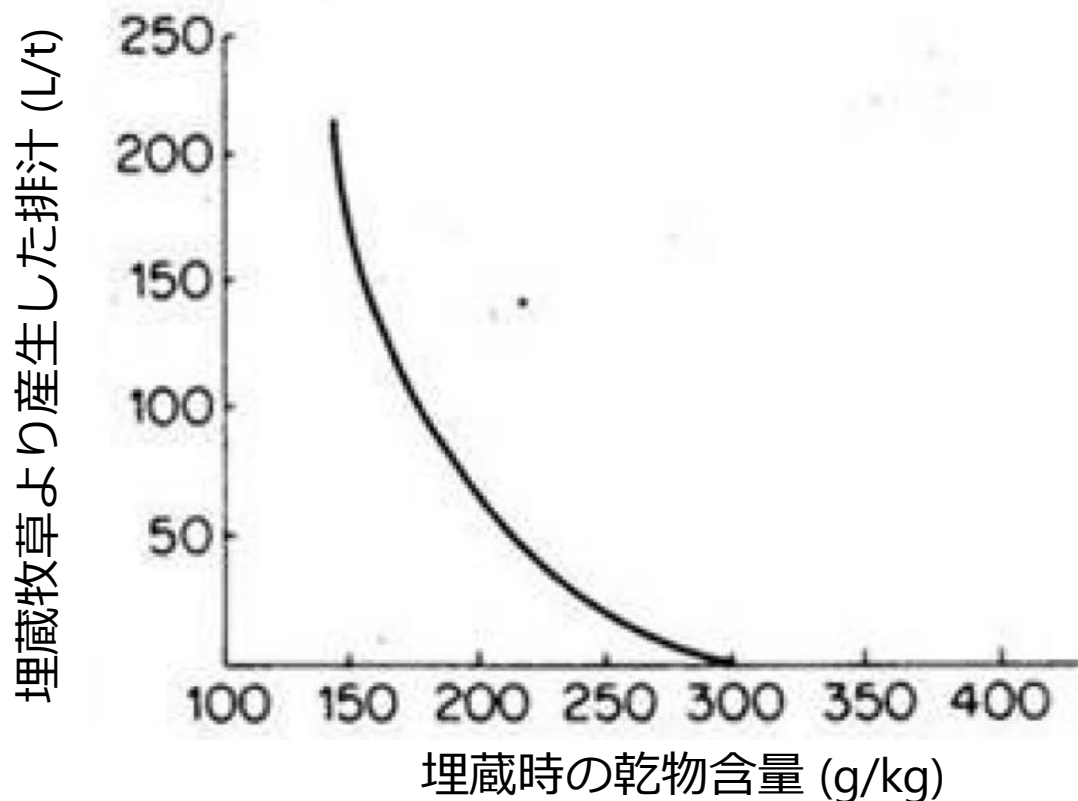
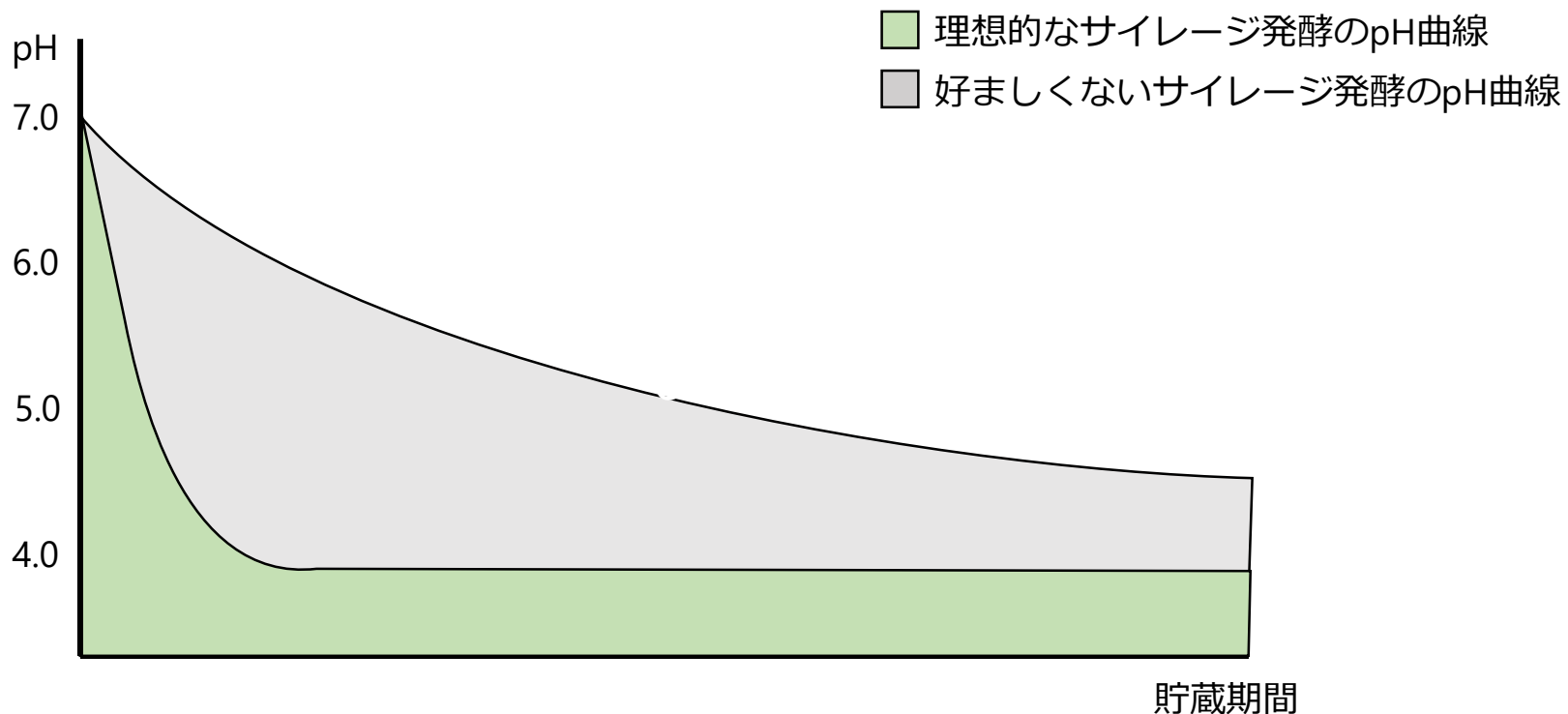


図. 排汁発生における埋蔵時の乾物含量の影響 (サイレージの生化学)

サイレージ調製の基本原理

③有機酸を生成する（乳酸、酢酸、プロピオン酸等）

- ・ 乳酸生成によるpHの低下により、有害微生物を抑制する。
- ・ 原料草中にも乳酸菌は付着している。
- ・ しかし、糖分が少ない、サイロ内の空気を素早く抜けない場合、有害微生物の活動を抑えられなくなる。



サイレージの二次発酵

二次発酵について①

サイロ開封後，サイレージ表面が空気にさらされ，酵母やカビの増殖によりサイレージの温度が上昇，微生物の増殖が促進され，急速に変敗する。

二次発酵の原因となる微生物

- ・ 酵母
 - ・ カビ
- 乳酸に耐性がある
(低pHでも生存する)

表. サイレージで生成される有機酸の特性

	pH低下	嗜好性改善	酪酸発酵抑制	二次発酵抑制
乳酸	○	○	○	△～×
酢酸	△	△	△	○
酪酸	×	×	×	○

サイレージの二次発酵

二次発酵について②

サイロ開封後，サイレージ表面が空気にさらされ，酵母やカビの増殖によりサイレージの温度が上昇，微生物の増殖が促進され，急速に変敗する。

【影響】

- ・ 変敗による栄養価の低下
- ・ カビが生成する毒素
(下痢，流産の原因)

【対策】

- ・ 詰込み密度を高くする
- ・ 水分含量を低くしすぎない
- ・ 取出し厚さを15~20cmにする
- ・ 乳酸以外の有機酸を増やす

サイレージの二次発酵

乳酸菌による二次発酵対策

- ・サイレージ用乳酸菌にはホモ型とヘテロ型がある。
- ・ホモ型は乳酸発酵を促進する。
- ・ヘテロ型は二次発酵を抑制する。

発酵様式	炭水化物	主な発酵産物
ホモ発酵	グルコース	→ 2乳酸
	フルクトース	→ 2乳酸
	ペントース	→ 乳酸 + 酢酸
ヘテロ発酵	グルコース	→ 乳酸 + エタノール + CO ₂
	3フルクトース	→ 乳酸 + 酢酸 + 2マンニトール + CO ₂
	グルコース + 2フルクトース	→ 乳酸 + 酢酸 + 2マンニトール + CO ₂
	フルクトース	→ 乳酸 + エタノール + CO ₂
	ペントース	→ 乳酸 + 酢酸

サイレージの発酵品質 に影響する要因

発酵品質に影響を及ぼす要因

土や堆肥の混入

サイロへの堆肥や土の混入は**不良発酵の原因**となる。

【対策】

- ・ 収穫時期を施肥時期から50日以上あける（スラリーの場合）
- ・ 原料草の刈取り高さを低くしすぎない

Table 1. Fermentative quality of silage contaminated by farmyard manure¹⁾ (Experiment 1).

Silage treatment ²⁾	pH	VBN (% T-N)	Total organic acid (% FM)	Composition of organic acid (% of Total organic acid)					Flieg's Score
				Lactate	Acetate	Propionate	Butylate	Valerate	
Control	3.75	5.1	1.09	96.2	3.85	0.00	0.00	0.00	100
CF 2%	3.80	5.6	1.06	91.3	4.42	0.09	4.24	0.00	65
CF 4%	3.83	5.7	1.04	89.3	4.12	0.17	6.46	0.00	65
CF 8%	3.97	6.8	0.93	85.7	3.77	0.30	10.11	0.07	65
RM 2%	3.77	5.8	1.07	92.2	4.06	0.15	3.60	0.00	70
RM 4%	3.91	5.9	0.97	87.7	4.56	0.18	7.50	0.03	60
RM 8%	3.98	6.7	1.00	82.8	7.56	0.31	9.20	0.10	59

1) Manure consisted of dairy cow dung (80%) and sawdust (20%).

2) CF : Completely fermented manure, RM : Raw manure.

発酵品質に影響を及ぼす要因

踏圧（詰込み密度）

原料を素早く高密度に詰め込むことが重要（バンカーサイロ）

- ・原料草の細切
原料草間の空気を排除し、埋蔵密度を高める
二次発酵の防止策になる
- ・原料草の詰込みは素早く行い、十分に踏圧する
圧縮係数を**一番草では2.0以上**
二番草では2.3以上 にする

$$\text{圧縮係数} = \frac{\text{運搬した車両の台数} \times \text{運搬車両の荷台容積 (m}^3\text{)}}{\text{踏圧後の牧草容積 (m}^3\text{)}}$$

発酵品質に影響を及ぼす要因

良質なサイレージを調製するために ～添加物～

- ① 良質原料の使用
- ② 水分調節
- ③ 切断
- ④ 密封

この4つを実施することで、
良質サイレージの調節が可能となる

サイレージ調製を理想的な状態で行うことは困難。。。。

サイレージ添加物の種類

- ① 乳酸発酵を促進するもの
- ② 不良発酵を抑制するもの
- ③ 二次発酵を抑制するもの
- ④ 栄養価を改善するもの

発酵品質に影響を及ぼす要因

良質なサイレージを調製するために ～添加物～

乳酸発酵を促進する添加物

①糖類および糖質に富む飼料

- ・ グルコース, 糖蜜, ビートパルプ, フスマ

②乳酸菌およびその製剤

- ・ ホモ発酵型 (発酵促進)
- ・ ヘテロ発酵型 (二次発酵抑制)

③酵素

- ・ アミラーゼやセルラーゼ

→乳酸菌はデンプンやセルロースは利用できない。
デンプンやセルロースを分解し糖にする。

糖含量が低く, 繊維含量が高い牧草サイレージに有効

発酵品質に影響を及ぼす要因

良質なサイレージを調製するために ～添加物～

不良発酵を抑制する添加物

①酸類

- ・ギ酸

材料に直接酸を添加してpHを4.2以下に低下させる。

二次発酵を抑制する添加物

①プロピオン酸

- ・酪酸発酵を抑制するにはギ酸に劣る。
- ・酵母やカビの生育を抑制する点では優れている。

発酵品質に影響を及ぼす要因

良質なサイレージを調製するために ～添加物～

栄養価を改善する添加物

①尿素

- ・タンパク質含量の少ない材料に対して、タンパク質補給の効果がある。

②アンモニア

- ・稲わらなどの低質粗飼料で用いられる。リグニンとヘミセルロースの一部が分解され、消化性が向上する。適期収穫した牧草などを材料にすると、アンモニア中毒を生じる可能性がある。

最後に

