

綜	説
Review	

酪農家および TMR センターにおける 牧草サイレージの発酵品質向上に 向けた診断の提案

増子孝義^{*†}

(平成 28 年 11 月 28 日受付/平成 28 年 12 月 2 日受理)

要約：酪農現場で調製される牧草サイレージの発酵品質は、牛乳生産に大きく影響することが知られている。発酵品質の改善が必要な牧草サイレージが少なくないのは、発酵品質に複雑な要因が絡み合っていることが原因と考えられる。そこで、牧草サイレージの診断を提案し、発酵品質の改善を促進しようとした。診断の項目は、サイレージの詰め込み時と開封後に分けた。詰め込み時は原料草の可溶性炭水化物 (WSC) 含量、刈り取り高さ、切断長と切断面、予乾、添加材、踏圧 (詰め込み密度)、開封後はサイレージの発酵品質、温度、乾物密度とした。無添加で無予乾の場合、原料草の WSC 含量は 9.1%DM 以上の含有、予乾の場合 7.6%DM 以上の含有、刈り取り高さは 10 cm 程度、切断長は 10 mm 程度、切断面は鋭利、添加材は目的に適合した製品の選択 (乳酸菌添加時の場合、WSC 含量が無予乾で 7.1%DM 以上、予乾で 6.1%DM 以上)、詰め込み密度 (圧縮計数) は 2.0~2.3 以上が望ましい。開封後は発酵品質が良判定以上、温度は 20℃ 台以下、乾物密度は 150 kg/m³ 以上が望ましい。診断により、詰め込み時の原料草に望ましい条件が備わり、適切な添加材と圧縮計数が確保されれば、開封後の牧草サイレージは高い発酵品質になり、乳牛のサイレージ乾物摂取量の向上、牛乳生産量の向上が期待できる。

キーワード：圧縮計数、可溶性炭水化物 (WSC)、乾物密度、サイレージ診断、発酵品質

はじめに

北海道酪農において、牧草地の原料草を貯蔵して作られるサイレージは、乳牛飼料の重要な位置を占めている。乳牛が毎日採食するサイレージの品質が低下すると、牛乳生産は元より、健康や繁殖にまで影響が及び、経営を圧迫することになりかねない。このことは、酪農関係者であればだれでも感じているであろう。しかし、どのように工夫すれば品質の低下を防ぎ、乳牛の摂取量の高いサイレージを安定的に作るができるのか、改善法を提示できる人材は極めて少ない。その理由に、サイレージの品質に及ぼす要因は多く、どの要因が絡み合っている原因となるのか、確定するのが難しいことが挙げられる。

サイレージの品質は、発酵品質と栄養価の二つの観点から評価されるべきで、両者を混同させると改善の糸口を探すことが困難となる。すなわち、二つの観点を理解し、サイレージを取り巻く要因の関係を知った上で改善しなければならない。

北海道において、サイレージとのかかわりには酪農家自身が作る、コントラクターに委託して作ってもらう、TMR センターから配送してもらう 3 つの方法がある。方法は異なっても、乳牛に毎日サイレージを給与するのは酪農家で

ある。誰が作ろうと使うのは酪農家なので、発酵品質向上のポイントを学習しておかなければならない。著者は 2015 年度から本格的に酪農家や TMR センターで作られるサイレージの診断を行い、発酵品質が悪い場合にはその原因を探し、向上するように調査を継続している。本稿では、著者が提案しているサイレージ診断を解説する。

サイレージの品質

サイレージの品質は、①原料草が含有している栄養価を貯蔵中にいかに低下させないで保持できるか、②貯蔵中の発酵をいかに安定させることができるか、によって決定される¹⁾。①の栄養価は採食後、乳牛により消化吸収されて養分となる。得られた養分が牛乳の生産や母体の繁殖、成長に使われる。したがって、養分に使われる栄養価は大切な観点だといえる。②の発酵品質は、サイロ貯蔵中に安定的に発酵が行われたのかどうかを判断する観点である。酪酸発酵が優先したサイレージは、原料草の炭水化物や貯蔵中に生成する乳酸が基質となり、酪酸が多く生成されるとともに、原料草の粗蛋白質が分解されてアンモニア態窒素が多く生成される。その結果、乳牛の嗜好性が低くなり、サイレージの乾物摂取量が少なくなる²⁾。並行して原料草が含有する栄養価のうち、乳牛が消化しやすい可溶性養分が

* 東京農業大学名誉教授；ユーバス株式会社技術顧問

† Corresponding author (E-mail : masuko.silagedeer@gmail.com)

少なくなる。原料草の成分の大部分を占める繊維質は、発酵品質の影響を受けて変動するが、繊維質含量は刈り取り時期（生育時期）の違いにより著しく変動する³⁾ことが知られている。

サイレージの発酵品質に及ぼす要因

サイレージの発酵品質は、原料草の成分や付着している微生物の要因に詰め込み条件が加わって、乳酸発酵が促進されるのか、酪酸発酵が進行するのか異なる結果に分かれる。すなわち、向上させるには酪酸発酵を抑制する方向に導かなければならない。そのためには、乳酸発酵を促進させる必要がある。

発酵品質に及ぼす要因として、サイロの嫌気保持、原料草の糖（可溶性炭水化物：WSC）含量、刈り取り高さ、切断長（細切）と切断面、緩衝能、予乾、乳酸菌、添加材、踏圧（詰め込み密度）、サイレージの温度が挙げられる。サイレージの調製過程からみると、牧草地の原料草に起因する要因、サイロの詰め込みに起因する要因に分けることができる。これらの要因を影響の度合いから分類すると、決定的要因と副次的要因になる（表1）。

決定的要因にはサイロの嫌気保持、原料草のWSC含量、原料草の付着乳酸菌数（添加材の乳酸菌数を含む）、原料草の予乾、副次的要因には原料草の刈り取り高さ、切断長（細切）と切断面、緩衝能、踏圧（詰め込み密度）、サイレージの貯蔵温度がある。これらの要因解析は、大山⁴⁾が実験用サイロ（1ℓ容積程度）を使って行った。分類がそのまま近年急増しているTMRセンターの大型バンカーサイロに当てはまらないかもしれない。特に原料草の詰め込み密度は副次的要因になっているが、著者がサイレージ診断で経験した感触では、決定的要因に位置付けるべきだと考える。

決定的要因であるWSCと乳酸菌

WSC

原料草の成分に最も多く含有される炭水化物は、構造型炭水化物に分画されるNDF（中性デタージェント繊維）あるいはOCW（総繊維）であり、繊維質とも呼ばれている。植物細胞は細胞内容物と細胞壁から構成され、細胞壁は繊維質から作られている。WSCは、細胞内容物に含まれる

非構造型炭水化物に分画される。

表2に、チモシー1番草のWSC構成糖含量を示した。乾物中16.0%のWSCに含有されるグルコースは2.7%、フルクトースは1.5%、スクロースは3.7%、その他は0.8%、フルクトサンは7.3%であった。分析方法はWSC含量が改変アンスロン法⁵⁾、構成糖含量が液体クロマトグラフ（HPLC）法⁶⁾であった。

多糖類であるフルクトサンはフルクタンとも呼ばれ、フルクトースの重合体で、水に溶ける性質があり、牧草の栄養源となる貯蔵炭水化物の役割を担っている。チモシー1番草のWSCに最も多く含有するのは、フルクトサンであった。フルクトサン含量は、WSC含量に影響を及ぼすことが示唆された。

乳酸菌

乳酸菌は、貯蔵中に原料草のWSCを栄養源にし、増殖して乳酸発酵を促進する。グルコースもフルクトサンも乳酸菌によって分解され、乳酸に変換される。それには発酵の出発点となる原料草に、新鮮物1g当たり 10^5 CFU（コロニー形成単位）以上の乳酸菌数が必要である。研究開発を行う乳酸菌添加材のメーカーは、この値が確保できるように、製品化している。

乳酸菌が乳酸を生成する発酵形式には、ホモ型とヘテロ型の二つのタイプがある。ホモ型発酵のタイプは、ヘテロ型発酵のタイプよりも乳酸を生成させる効率が高いので、乳酸発酵を促進させる目的には、どのメーカーでも製品にホモ型発酵の菌種を使っている。近年の研究開発において、乳酸菌の特徴に多様性が発見されており、ヘテロ型発酵の菌種に好気的変敗防止やその他の効果が認められている。

WSC含量に及ぼす要因

牧草は、根を通して土から養分を吸収する。北海道において、牧草の成長に必要な施肥量は、試験場で主要な草種に対して基準が作られている⁷⁾。一方、牧草は太陽の光エネルギーを使って光合成を行い、根から吸収した養分を使いながら蛋白質や炭水化物を合成する。炭水化物はまず分子量の小さいグルコースやフルクトースの単糖類が合成され、やがて少糖類（オリゴ糖類）あるいは多糖類のような

表1 決定的要因と副次的要因

決定的要因		副次的要因	
サイロ	嫌気保持	原料草	刈り取り高さ
原料草	可溶性炭水化物(WSC)	原料草	切断長(細切)と切断面
原料草	付着乳酸菌	原料草	緩衝能
	添加乳酸菌	原料草	踏圧(詰め込み密度)
原料草	予乾	サイレージ	貯蔵温度

表2 チモシー1番草のWSC構成糖含量

WSC(%DM)		16.0
グルコース(%DM)	単糖類	2.7
フルクトース(%DM)	単糖類	1.5
スクロース(%DM)	二糖類	3.7
その他(%DM)	単糖類・二糖類	0.8
フルクトサン(%DM)	多糖類	7.3

WSC含量は改変アンスロン法、構成糖含量はHPLC法(篠田ら2015)。

分子量の大きい物質が作られる⁸⁾。

多糖類にはフルクトサンやデンプンの他に、細胞壁を構成しているセルロースやヘミセルロースがある。牧草が成長して草丈が高くなり、倒伏に強い茎になるには、繊維質やリグニンが必要になってくる。繊維質を作るには単糖類や少糖類が必要であることから、それらの物質は牧草中に存在することになる。WSC 含量は、どの時期に多いのか。これを解明するために、下記の調査を行った。

年変動と刈り取り時期

北海道東部に位置する TMR センター 2 箇所において、2011～2014 年の 4 年間継続して同一牧草地から原料草（1 番草）を採取し、WSC 含量を測定した。原料草は① 6 月 17～22 日、② 6 月 24～26 日、③ 6 月 27～30 日、④ 7 月 2～5 日の計 4 回刈り取り、比較した。2011 年の WSC 含量は①～④のどの刈り取り時期においても、他の年より有意に低かった（図 1）。2013 年は③と④の WSC 含量が①と②より有意に高くなった（図 1）。その他の年には、刈り取り時期間に有意差が認められなかった。

2011 年は、WSC 含量が低かった。同一年において、刈り取り時期が遅くなっても WSC 含量は減少せず、むしろ高くなることがあった。本調査では気象のデータを活用し、気象条件との関係を調べた。2011 年は刈り取り期間の有効積算温度が高く、降雨回数が多かった。日照時間は短い長いが混在しており、1 番草取量は多かった。気象条件により、原料草の WSC の合成と消費が取量の増加と密接に関係したと推察された。2013 年 6 月 24～26 日の WSC 含量は、他の刈り取り時期より有意に低かった。この期間は、曇りと降雨によって日照時間が短かった。気象条件は長期的、短期的に WSC 含量に影響することが示唆された。

早晩生

年変動調査と同一試料から、早生品種と中生品種の違いを比較した。6 月 17～30 日（①～③）の刈り取り時期は、早生品種の WSC 含量が高い傾向にあった（図 2）。7 月 2～5 日（④）は、逆に中生品種が高い傾向にあった。しかし、どちらの刈り取り時期にも有意差は認められなかった。

刈り取り時刻

2 地域 2 戸の酪農家から原料草（1 番草）を 7 時、10 時、13 時、17 時に刈り取り、刈り取り時刻の違いを比較した。WSC 含量は 7 時から上昇し始め、17 時にピークになった（表 3）。調査日の気象条件は日照時間が 4.0 時間、最高気温が 20℃、最低気温が 12℃であった。日周変動に応じた光合成速度が WSC 含量の増加に大きく影響した⁹⁾。

予乾の時間帯

5 地域 5 戸の酪農家から原料草（1 番草）を 8 時（朝刈り）と 15 時（夕刈り）に刈り取り、8 時から 13 時まで（昼予乾）、15 時から翌日の 9 時まで（夜予乾）予乾を行い、比較した。予乾した原料草の WSC 含量は、夜予乾と昼予乾のいずれも刈り取り時の原料草より減少した。しかし、減少量は両者で異なり、夜予乾は昼予乾より水分含量の減少が少なく、夜予乾の WSC 含量の減少量は昼予乾の 9 倍に達した（図 3）。予乾中の水分蒸散量が少ないと、酵素活性が長く持続し、呼吸作用が継続され、糖は消費された¹⁰⁾。

夜予乾は昼予乾よりも予乾中の WSC 含量の減少量は増えるが、予乾前の原料草の WSC 含量が高いため、予乾後の WSC 含量は昼予乾と近似した値になる。したがって、刈り取り作業は、朝方（露が消えた後）から夕方までどの時間帯で行っても、予乾後の WSC 含量の差は少ないといえる。ただし、予乾中の水分蒸散が少ない状態で時間が長く経過すると、WSC が消費されるので、減少量は増えるだろう。

WSC 含量と施肥管理

岡元ら¹¹⁾はペレニアルライグラスの WSC 含量が高く、フルクトサン含量も高いことを報告している。チモシーの WSC 含量はペレニアルライグラスより低い、窒素施肥量の影響を大きく受ける。チモシーの窒素施肥量が標準量より増えると、WSC 含量は低下するので、必要以上の窒素施用は望ましくない¹²⁾。岡元氏はカリウムの施肥について、WSC 含量との関係は明確でないが、過剰のカリウム施肥で WSC 含量が減少した報告¹³⁾があるので、さらなる研究が必要だと述べている。

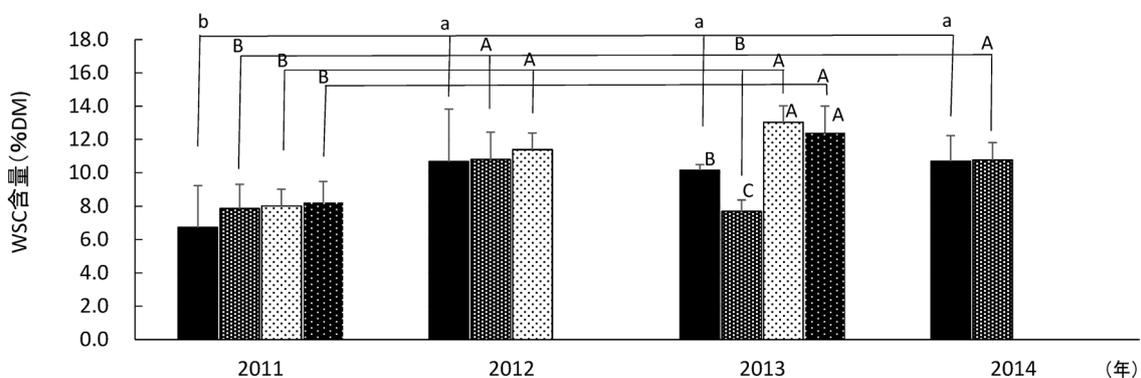


図 1 年と刈り取り時期の違いによる WSC 含量（改変アンスロン法）の比較

■ 6/17～22 ▨ 6/24～26 ▩ 6/27～30 ▪ 7/2～5（月/日）

A, B, C : $p < 0.01$, a, b : $p < 0.05$

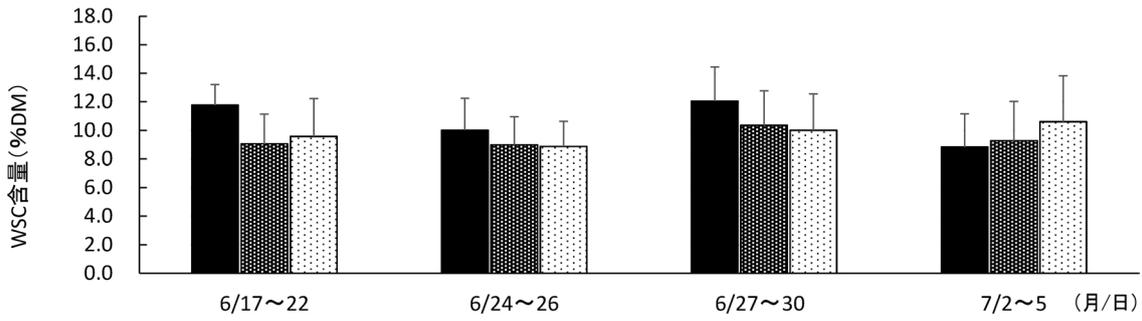


図 2 早生と中生の違いによる WSC 含量 (改変アンスロン法) の比較
 ■ノサップ (早生) ■ホライズン (早生) □キリタツプ (中生)

表 3 刈り取り時刻の違いによる WSC 含量の比較

刈り取り時刻 (時刻)	WSC (%DM)	グルコース (%DM)	フルクトース (%DM)	スクロース (%DM)
7:00	5.98	1.87	1.37	0.22
10:00	6.40	2.18	1.68	0.31
13:00	7.97	3.03	2.45	0.29
17:00	8.98	2.31	2.09	0.29
平均	7.33	2.34	1.90	0.28

WSC含量は従来アンスロン法。

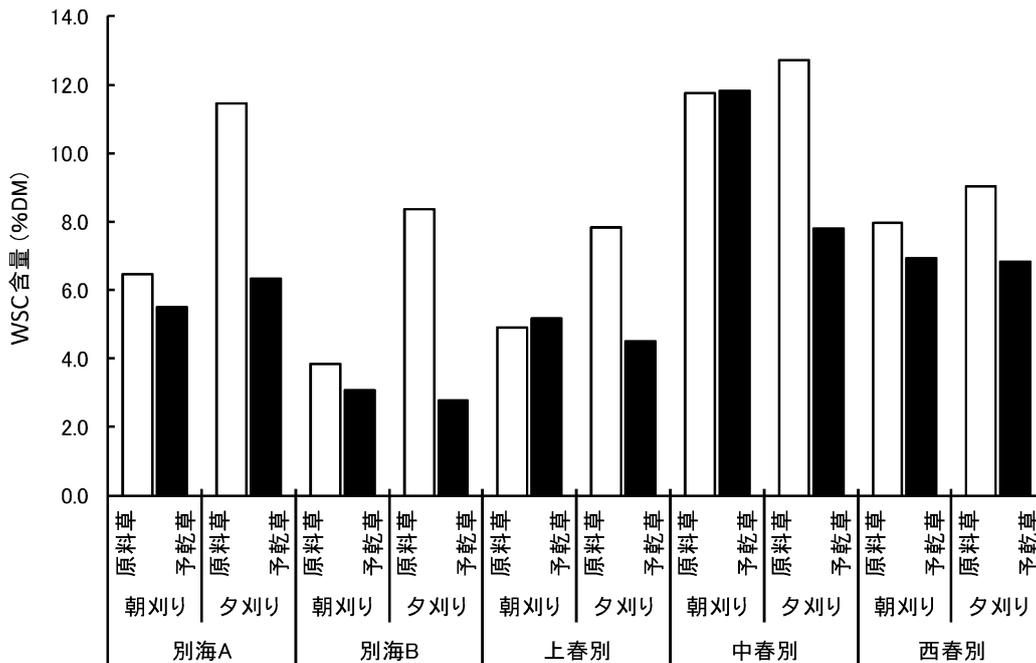


図 3 刈り取り原料草および予乾草の WSC 含量 (従来アンスロン法) の比較

雪印種苗(株)の研究グループはチモシー、シバムギ、リードカナリーグラスを採取して WSC 含量を測定し、堆肥あるいはスラリーの散布量が多い場合と少ない場合を比較した。堆肥あるいはスラリーが多く散布されると、3草種ともに WSC 含量が大きく低下した。散布量が少ない場合、リードカナリーグラスの WSC 含量はチモシーより少なく、シバムギはチモシーと同程度になった。ただし、シバムギのグルコース、フルクトース、スクロースの合計量(単少糖類含量)はチモシーより少なかった。研究グループは、リードカナリーグラスやシバムギが優占すると、乳

酸発酵に不利な原料草になると警告している¹⁴⁾。

WSC 含量測定の必要性

原料草の WSC 含量の変動パターンを予測することは可能であるが、値がどの範囲にあるのかを予測することは難しい。そこで、WSC 含量を知るために、原料草をサイロに詰め込む前と詰め込み後の2回測定することを薦めている。詰め込む前とは牧草地から刈り取る前の採取、詰め込み後とはサイロに詰め込まれた細切牧草の採取を指している。詰め込む前の WSC 含量は、管理する牧草地毎の値を

知るために使い、詰め込み後の WSC 含量は、発酵スタート時の値を知るために使う。酪農家でも TMR センターでも最低3年間は測定を継続すると、その後の予測が容易になるだろう。

WSC 含量の測定方法と分析機関

酪農現場で WSC 含量を活用するには、正確な値を迅速に依頼者に届けなければならない。粗飼料分析結果は活用され続けていることから、測定項目の1つに追加できれば効率的である。しかも、分析項目の大部分には近赤外分析法が使われているので、WSC 含量の測定にも同一の分析方法が使えれば迅速な対応が可能となる。

そこで、著者は北海道立総合研究機構畜産試験場の出口健三郎氏と雪印種苗(株)北海道研究農場の篠田英史氏とともに共同研究を開始し、研究グループは長い年月を経て、WSC 含量を測定するための検量線を作成した。検量線は2015年度のフォレージテストミーティングで検討され、加盟している粗飼料分析機関で活用することが決定された。

乳酸発酵に必要な WSC 含量

分析方法の統一

WSC 含量を測定するための検量線が作成される過程において、共同研究者間で同一試料の測定値をクロスチェックした。各研究者が使ったアンスロン法は分析過程の詳細部分が異なっていた。WSC 含量の値にも違いが認められ

たことから、2016年に従来のアンスロン法の一部を改変して分析方法を統一した⁵⁾。改変アンスロン法は著者らが使った従来の方法で得られる値より高くなることが判明したため、補正して改変アンスロン法の値に準ずるようにした(図4)。

WSC 含量の必要量

原料草の WSC 含量と無添加サイレージの発酵品質の関係を表4に示した。表4の WSC 含量は補正済みの値である。無予乾のチモシーあるいはオーチャードグラスでは、WSC 含量が乾物中9.1%以上で、発酵品質の高いサイレージが多く得られた。予乾では乾物中7.6%以上で、発酵品質の高いサイレージが多く得られた¹⁵⁾。予乾サイレージでは予乾の効果があらわれ、無予乾より少ない WSC 含量で、発酵品質の高いサイレージが得られている。

WSC 含量と添加材の選択

乳酸菌

著者らは、1996~2014年に乳酸菌あるいはギ酸の添加実験を12回行った。それらの結果において、乳酸菌を添加したサイレージに効果が認められた場合、認められない場合があったため、原料草の WSC 含量と乳酸菌の添加効果の関係を調べた(表4)。乳酸菌の添加効果は、チモシーを原料にした場合、無予乾では WSC 含量が乾物中7.1%以上、予乾では6.1%以上で多く認められた^{16,17)}。オーチャードグラスでは、無予乾で乾物中6.6%以上となった¹⁸⁾。予

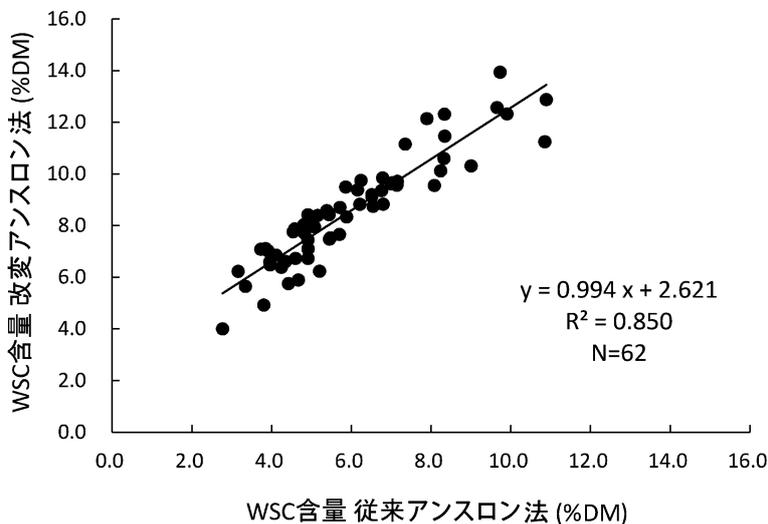


図4 WSC 含量の測定における従来アンスロン法と改変アンスロン法の相関関係

表4 WSC 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
予乾	オーチャードグラス	データ数が不十分

WSC 含量は改変アンスロン法の値に補正。

乾は例数が少ないので値を示していない。大山ら¹⁹⁾はWSC含量が乾物中6.4%以上の場合、乳酸菌の添加効果を認めている。野中と古川²⁰⁾は原料草のWSC含量が乾物中6.3%の場合、大部分乳酸菌を添加したサイレージのpHが4.2に達したことを報告している。

乳酸菌の添加効果を期待するには、例えばチモシー主体の無予乾では、WSC含量が乾物中7.1%以上の原料草に添加することが望ましい。他の詰め込み条件がすべて整っていて、添加効果が認められない場合、乳酸菌製品（信頼できるメーカーに限る）の性能の問題よりも、添加方法や原料草のWSC含量に問題があると考えべきでしょう。

酵素

WSC含量が乾物中6.1~7.1%以下の低い原料草の場合、乳酸菌のみでは効果があらわれ難いので、酵素入りの製品を薦める。ただし、WSC含量と酵素の効果の関係を詳細に調べていないので、WSC含量の下限値を明記することはできない。酵素は原料草の繊維質を分解し、乳酸菌が必要な糖類を生成することは証明されている²¹⁾。

ギ酸

WSC含量が乾物中6.1~7.1%以下の低い原料草の場合、もう1つの選択肢はギ酸を添加することである。ギ酸添加の原理は報告されている²²⁾ように、乳酸発酵に依存しないため、原料草のWSC含量が少なくても添加効果があらわれる。ただし、ギ酸添加サイレージに乳酸が生成するケースが多いので、原料草にWSCが多く含有される方が有利であろう。したがって、ギ酸は原料草のWSC含量が多くても少なくても使える製品である。

添加材選択の提案

著者は発酵品質の低いサイレージが作られる原因の1つに、原料草のWSC含量を無視して添加材を使う不適合があると考えている。サイレージを作る際に、原料草のWSC含量を指標にして添加材を選択すると、発酵品質の高いサイレージが得られる頻度が高まり、添加材に投資した費用効果が高まるだろうと考える。

原料草の刈り取り高さ、切断長、切断面

原料草の刈り取り高さは、牧草再生と異物混入（付着）の2つの観点に關与する。牧草は刈り取られると、根や株の貯蔵養分（貯蔵炭水化物）と刈り残された葉による光合成産物により再生が行われる。チモシーやオーチャードグラスの貯蔵炭水化物は、主にフルクトサンと糖類から構成されている²³⁾。刈り取り高さが低すぎると、株に残される貯蔵炭水化物や残葉からの光合成産物が減少し、再生は遅くなる。さらに、低すぎると牧草地の土や堆肥（スラリー）を巻き込み、原料草に付着する頻度が増える。これらの異物付着は、乳酸発酵に好ましくない微生物を増やすことになり、望ましくない。

一方、原料草の切断長は、サイレージ調製と乳牛の消化生理の2つの観点から考えなければならない。サイレージ

調製では切断長が短いと、乳酸菌数が増加する、詰め込み密度が高くなる、呼吸消費が減少する利点²⁾が認められる反面、排汁が増加する欠点がある。乳牛の消化生理では切断長が短いと、摂取量は増えるものの咀嚼時間が減少する²⁴⁾ため、原料草の切断長は10mm程度が推奨されている。切断面はハーベスタの刃が磨耗すると、ほそほそになる。切断面積が増えて汁液の浸出が促進され、乳酸発酵が盛んになることがあるが、物理的要因により詰め込み密度が高くなり難くなる欠点が指摘されている。

踏圧（詰め込み密度）

踏圧は詰め込み密度とも呼ばれ、副次的要因に分類されている。決定的要因であるサイロの嫌気保持をすばやく達成するには、原料草の詰め込み密度を高くすることが必要となる。密度には、原料草の切断長や乾物含量が影響する。密度が少ない場合、サイロに空気が残存するため、詰め込まれた原料草の呼吸や好氣的細菌の増殖により温度が上昇し、養分損失が増加する。

詰め込み密度は、サイロ開封後にサイレージの乾物密度として測定されていた。しかし、大型バンカーサイロが普及するに伴い、詰め込み時に適正な密度を設定することが求められた。そこで、2004年に北海道立根釧農業試験場で原料草の詰め込み密度の測定方法が考案され、指標が作成された²⁵⁾。原料草の詰め込み密度は、圧縮計数と呼ばれる算出式で求められる。

$$\text{圧縮計数} = \frac{\text{運搬した牧草総容積 (m}^3\text{)}}{\text{踏圧後の牧草容積 (m}^3\text{)}} \\ = \frac{\text{運搬車両のべ数 (台)} \times \text{運搬車両の荷台容積 (m}^3\text{)}}{\text{踏圧後の牧草容積 (m}^3\text{)}}$$

算出式では牧草の重量単位を使わず、容積単位を使っているため、現場に適用しやすい。運搬車両に積載される牧草密度 kg/m^3 は、水分含量が異なっても乾物密度が概ね 75 DMkg/m^3 であったことから、この理論が構築された。

圧縮計数の指標は、1番草サイレージでは2.0以上、2番草サイレージでは2.3以上と公表されている。著者が提案者の大越安吾氏から聞いたところ、トウモロコシサイレージの圧縮計数は2.3以上であり、スタックサイロはバンカーサイロと同一の圧縮計数を当てはめている。

圧縮計数とサイロ内の牧草乾物密度は高い相関関係にあり、圧縮計数が2.0の乾物密度はほぼ 150 kg/m^3 に相当している。この成果から、サイロ詰め込み時に適正な密度を設定することが可能になり、発酵品質の向上に貢献している。なお、必要があればサイロ開封後にサイレージの乾物密度を測定し、原料草の圧縮計数との関係を確認する。詰め込み密度は副次的要因に分類されるが、著者は昨年からの診断している大型バンカーサイロにおいて、決定的要因に組み込むべき重要な要因であると認識している。

温 度

サイレージ発酵は主として微生物の働きによるので、温度は発酵に影響を及ぼす要因の1つになっている。貯蔵温度は低い方が高い場合より酪酸の生成がなく、発酵品質が高いとする報告が多い。乳酸菌は中温菌、酪酸菌は高温菌に属する菌種が多いことが関与している。しかし、高温時に酪酸発酵が発生するかどうかは、原料草のWSC含量に影響されることから、副次的要因に位置付けられている。

小型バンカーサイロのサイレージ貯蔵中の温度は、詰め込み直後から上昇が始まり、上層では10日過ぎにピークに達し、約55℃になっている。その後、80日付近で上層、中層、下層のすべてにおいて30℃程度に低下している。最低気温が10℃付近に低下しても、サイレージ温度は20℃台であった²⁶⁾。

大型バンカーサイロにおいても、同様の温度パターンが認められると考えられる。一方、サイロ開封後のサイレージ温度の上昇は、好气的変敗の発生に起因する場合がある。サイレージの温度上昇が認められる場合、サイレージの変質やカビの発生の観察を行い原因を探る。

発酵品質の分析

粗飼料分析を実施している道内外の機関は、毎年集まってフォーレジットミーティングと呼ばれる会議を開き、分析の精度を高めるための研鑽を行っている。粗飼料分析はサイレージの栄養価と発酵品質について行われ、それらの結果は表にまとめて依頼者に届けられる。粗飼料の栄養価や発酵品質は年毎の変動が大きいため、リアルタイムに分析されるシステムは酪農家やTMRセンターに好評である。

発酵品質の分析はオプションになっており、注文が必要である。項目にはpH、乳酸含量(%), 酢酸含量(%), プロピオン酸含量(%), 酪酸含量(%), アンモニア態窒素/全窒素(%), Vスコア(点)がある。機関によってはプロピオン酸含量が分析されず、Vスコアが算出されない場合がある。なお、有機酸含量は原物中%で表記されている。

発酵品質を評価するには、Vスコアがわかりやすい。0~100点のうち、80点以上が良、60~80点が可、60点以下が不良と判定される。Vスコアの配点は、酢酸(%)とプロピオン酸含量(%)が0.2%以下で10点、酪酸含量(%)が0%で40点、アンモニア態窒素/全窒素(%)が5%以下で50点、合計が100点となる。それぞれは0.5%以上で0点、1.5%以上で0点、20%以上で0点になり、合計も0点となる²⁷⁾。

サイレージ診断の発展

発酵品質の低いサイレージを給与している酪農家では、乳牛のサイレージ摂取量が減少するため、粗飼料主体の給与メニュー作りに苦慮している。サイレージ診断は発酵品質を向上させ、乳牛のサイレージ摂取量を増やすことを目標にしている。発酵品質が改善されると、次の段階で、栄養価や作業効率を向上させる目標に移行したい。そのためには、サイレージ診断を大幅に発展させなければならない。

粗飼料分析による発酵品質以外に、牧草地の生態、牧草地の立地条件(土壌の性質を含む)、大型機械による刈り取りから詰め込みまでの作業体系、サイレージ給与に影響される牛乳生産量の変動の情報が必要となる。今の診断方法では、これらの情報を収集することが困難であるため、今後、様々な関係者の支援が必要になるであろう。

北海道には、広大な牧草地が存在する。酪農家が毎日乳牛に給与するサイレージは、牧草を有効に活かした粗飼料である。発酵品質が高く、栄養価の高いサイレージを毎日給与させたいと望んでいる。

参考文献

- 1) 増子孝義(1994)サイレージの科学. デーリィ・ジャパン社, 東京, pp16-41.
- 2) McDONALD P, HENDERSON N, HERON S (1995) サイレージの生化学(内田先二・大島光昭監修). デーリィ・ジャパン社, 東京, pp.73-74, 295-305.
- 3) 農業技術研究機構編(2001)日本標準飼料成分表(2001年版). 中央畜産会, 東京, pp.40-44.
- 4) 大山嘉信(1971)サイレージ発酵に関連する諸問題. 日本畜産学会報, 42: 301-317.
- 5) 篠田英史, 出口健三郎, 飯田憲司, 足利和紀, 増子孝義(2016) 牧草中の可溶性炭水化物含量測定におけるアンスロン法の改変. 日本草地学会誌, 62: 1-7.
- 6) SANADA Y, TAKAI T, YAMADA T (2007) Inheritance of the concentration of water-soluble carbohydrates and its relationship with the concentrations of fiber and crude protein in herbage of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Grass and Forage Science*. 62: 322-331.
- 7) 北海道農政食品安全室編(2002)北海道施肥ガイド. 北海道農政部, 札幌, pp.202-229.
- 8) 桜井英博, 柴岡弘郎, 芦原 坦, 高橋陽介(2001)植物生理学入門. 培風館, 東京, pp.172-190.
- 9) 相馬幸作, 増子孝義, 清水千尋, 山田和典, 蔡 義民(2006) 北海道の基幹牧草であるチモシー (*Phleum pratense* L.) の可溶性炭水化物含量および糖組成の変動に及ぼす要因. 日本畜産学会報, 77: 495-500.
- 10) 増子孝義, 相馬幸作, 王 鵬, 山田和典, 山田清太郎, 蔡義民, 新部昭夫(2008) 朝刈りと夕刈りチモシー (*Phleum pratense* L.) の予乾後における可溶性炭水化物と単・少糖類および予乾サイレージの発酵品質. 日本畜産学会報, 79: 37-44.
- 11) 岡元英樹, 奥村正敏, 古館明洋(2007) 天北地方の採草用ペレニアルライグラ単播草地における最適窒素施肥量. 日本草地学会誌, 52: 243-249.
- 12) WANG P, SOUMA K, OKAMOTO H, YANO T, NAKANO M, FURUDATE A, SATO C, ZHANG J, MASUKO T (2014) Effects of addition of *lactobacillus plantarum* and *enterococcus faecium* inoculants to high-nitrogen fertilized timothy (*Phleum pratense* L.) on fermentation, nutritive value, and feed intake of silage. *American Journal of Plant Science*. 5: 3889-3897.
- 13) WANG P, SOUMA K, OKAMOTO H, KIN S, Sugita A, FURUDATE A, SATO C, NIBE A, CAI Y, MASUKO T (2014) Effects of potassium fertilizer on water-soluble carbohydrate content of timothy (*Phleum pratense* L.), silage fermentation, nutritive values, and nutrient intake. *American Journal of Plant Science*, 5: 1030-1038.
- 14) 北村 亨(2016) 植生(北海道の草地の植生). 乳牛の栄養学~牛舎でわかる乳牛栄養学~ウルトラライト版. デーリィ・ジャパン2016年2月臨時増刊号, 東京, pp.96-97.
- 15) 増子孝義(2016) サイレージ発酵/品質. 乳牛の栄養学~

- 牛舎でわかる乳牛栄養学～ウルトラライト版. デーリィ・ジャパン 2016年2月臨時増刊号, 東京, pp.106-108.
- 16) 増子孝義, 藤田 希, 円井更織, 嶋田秀庸 (1997) ギ酸, 乳酸菌製剤および乳酸菌と酵素剤の混合物の添加が無予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響. 日本草地学会誌, 43: 278-287.
 - 17) 増子孝義, 円井更織, 藤田 希, 嶋田秀庸 (1999) ギ酸, 乳酸菌製剤および乳酸菌と酵素剤の混合物の添加が予乾グラスサイレージの発酵品質に及ぼす影響. 日本草地学会誌, 44: 347-355.
 - 18) 王 鵬, 相馬幸作, 石井伸枝, 山田雅憲, 岡田早苗, 内村 泰, 増子孝義 (2008) ギ酸, 乳酸菌製剤および乳酸菌と酵素の混合剤添加が牧草サイレージの発酵品質および乳酸菌種に及ぼす影響. 日本草地学会誌, 54: 205-210.
 - 19) 大山嘉信, 榎木茂彦, 滝川明宏, 森地敏樹 (1971) サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. IX. 乳酸菌添加とグルコース添加の相乗効果. 日本畜産学会報, 42: 1-8.
 - 20) 野中和久, 古川研治 (2006) 実用記事 十勝地域におけるコントラクターを活用した大規模バンカーサイロの調製実態とサイレージ品質. 日本草地学会誌, 52: 33-39.
 - 21) 友田裕代, 徳田宏晴, 中西載慶, 大桃定洋, 河野敏明, 丹野 裕 (1996) *Acremonium cellulolyticus* Y-94 由来のセルラーゼ処理によるアルファルファ乾燥粉末から遊離する糖類. 日本草地学会誌, 42: 159-162.
 - 22) 増子孝義 (1999) サイレージの発酵. サイレージ科学の進歩 (内田先二編集). デーリィ・ジャパン社, 東京, pp.86-115.
 - 23) 伊藤 巖 (1989) 牧草の生産力. 新草地農学 (山根一郎, 伊藤 巖, 岩波悠紀, 小林裕志共著). 朝倉書店, 東京, pp.61-63.
 - 24) 中辻浩喜 (2016) 繊維質. 乳牛の栄養学～牛舎でわかる乳牛栄養学～ウルトラライト版. デーリィ・ジャパン 2016年2月臨時増刊号, 東京, pp.14-16.
 - 25) 大越安吾 (2007) 牧草サイレージの大量調製作業のポイントー牧草の踏圧程度の指標と, 収穫・調製作業の設計ー. 牧草と園芸, 55: 17-22.
 - 26) 増子孝義, 前田良之, 佐藤光夫, 淡谷恭蔵 (1987) サイレージ調製中の温度変化とその発酵品質ならびに化学成分との関係. 東京農大農学集報, 32: 134-138.
 - 27) 自給飼料品質評価研究会編 (2001) 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会, 東京, pp.74-78.

Proposal of Assessment Method to Improve Fermentation Quality of Grass Silage at Dairy Farm and TMR Centers

By

Takayoshi MASUKO*[†]

(Received November 28, 2016/Accepted December 2, 2016)

Summary : The fermentation quality of grass silage prepared at sites of dairy farming markedly influences milk production. Improvement of the fermentation quality is necessary in many cases, and this may be due to factors involved in fermentation quality in a complex way. Thus, we proposed a method to assess grass silage to promote improvement of fermentation quality. Assessment items were divided into those at the time of silage packing and after opening. For the items at the time of packing, the water soluble carbohydrate (WSC) content of raw material grass, cutting height, cut length and surface, wilting, additives, and compacting (packing density) were selected. For those after opening, the fermentation quality, temperature, and dry matter density of silage were selected. For additive-free raw material grass with and without wilting, WSC contents of 7.6%DM or higher and 9.1%DM or higher were appropriate, respectively, and a cutting height of about 10 cm, a cut length of about 10 mm, a sharp cut surface, selection of a product appropriate for the purpose (for the addition of lactic acid bacterium, the WSC content is 6.1%DM or higher and 7.1%DM or higher with and without wilting, respectively) for the add-in material, and a packing density (compressibility factor) of 2.0–2.3 or higher were desirable. After opening, for a judgment of the fermentation quality as good or better, a temperature of 20°C range or lower and a dry matter density of 150 kg/m³ or higher were desirable. Using this assessment method, desirable conditions were set for raw material grass at the time of packing, and a high fermentation quality of grass silage was achieved after opening by selecting an appropriate add-in material and securing an appropriate compressibility factor, which may improve the silage dry matter intake and milk production by dairy cattle.

Key words : compressibility factor, water soluble carbohydrate (WSC), dry matter density, assessment of silage, fermentation quality

* Professor Emeritus, Tokyo University of Agriculture ; U VAS Corporation Technical adviser

[†] Corresponding author (E-mail : masuko.silagedeer@gmail.com)