

## 現場の問題解決に役立つサイレージ技術と20年後の未来予想(2)

# 北海道の基幹牧草であるチモシー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

### 1. はじめに

牧草サイレージの発酵品質を向上させる研究は、これまでに多く実施されてきた(増子1999)が、その成果として、サイレージの発酵品質を支配する主要因は、材料草の可溶性炭水化物(WSC)含量と糖組成および付着する乳酸菌数と乳酸菌種であると結論付けられています(蔡 2001)。しかし、これらの組み合わせは実験に供試する材料の草種、生育ステージ、刈取り回次など多くの要因によって異なり、再現性を低くしています。このことは、また、現場で技術化する場合の障害になっています。

乳酸菌数と乳酸菌種について、これまでの研究から、材料草に付着している菌数は少なく、また、有用菌種が確保される頻度は極めて低いことが知られており(蔡2001)、優れた乳酸菌種を必要な菌数添加することが有効です。しかし、その前提条件として、材料草に乳酸菌が利用できる糖が含有されていることが必要です(増子1999)。

材料草のWSC含量や糖組成は、先に述べた要因によって大きく変動することが増子ら(1994a, 1994b)によって報告されているが、それら以外の要因によってどのように変動するのか明らかにされていません。要因設定にあたっては、生産現場を想定してできるだけ多くの要因を取り上げるべきです。そこで、本研究では、北海道の酪農家が栽培する基幹草種であるチモシーを対象に、地域、生育ステージ、刈取り時刻および品種などの変動要因を設定し、WSC含量および糖組成に及ぼす影響を調べました。

### 2. 要因設定と材料草採取

北海道根室支庁管内7地域の酪農家28戸の牧草地と北海道立根釧農業試験場の試験圃場からチモシー1, 2および3番草を採取しました。材料草は目測で生育が平均的な草地から採取しました。刈取りは11~15時に行い、できるだけ刈取り時刻の差異による変異を除くようにしました。採取した材料草は直ちに地上部全体を2~3cmに切断し、冷凍保存しました。

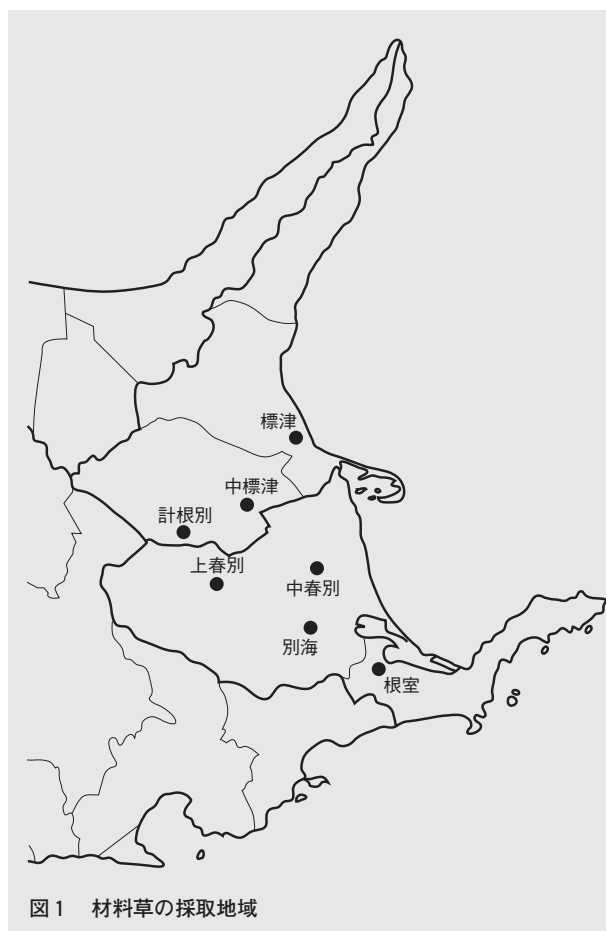


図1 材料草の採取地域

### (1) 地域比較材料

中標津（4戸）、計根別（3戸）、標津（3戸）、別海（2戸）、中春別（2戸）、上春別（3戸）および根室地区（3戸）の酪農家の牧草地から材料草を採取しました。採取地域は図1に示しました。刈取りは1番草を2000年6月22～23日、2番草を同年8月15～30日に行いました。

### (2) 生育ステージ比較材料

6月20日（出穂始め）、6月30日（出穂期）および7月10日（開花期）に、6地域6戸の酪農家から1番草を採取しました。

### (3) 刈取り時刻比較材料

7、10、13および17時に刈取りを行いました。材料草は2地域2戸の酪農家から1番草をそれぞれ6月24日と6月30日に採取しました。

### (4) 品種比較材料

根釧農業試験場の試験圃場で栽培したクンプウ（極早生）、ノサップ（早生）、キリタツプ（中生）およびホクシュウ（晩生）を採取しました。刈取り適期である出穂期にそろえるために、1番草ではそれぞれ6月20日、6月27日、7月4日および7月10日、2番草ではそれぞれ8月15日、8月25日、9月8日および9月13日に刈取りました。3番草はクンプウのみを9月29日に刈取りました。材料草の採取は1品種当たり10時と16時の異なる時刻に行いました。

## 3. 要因解析

増子ら（1994 a）はこれまでに、北海道で栽培されている寒地型イネ科牧草のWSC含量および糖組成に及ぼす要因を解析するために実験を行ってきました。チモシーを含む5草種の生育ステージおよび刈取り回次の影響について調べた結果、1番草のWSC含量は草種によって生育が進むと、増加するものと減少するものがあること、2番草のWSC含量は1番草よりも低い傾向にあることを報告しています（増子ら1994 a）。さらに、糖組成ではグルコースとフルクトースが主要な構成糖であり、生育ステージおよび刈取り回次によって変動することを報告しています（増子ら1994 b）。しかし、他の要因については明らかにされていません。本試験では、新たに地域、刈取り時刻および品種などの要因による変動を調べました。

### (1) 地域

地域については、1番草のWSC含量が別海と中春別地区の間に2.67%（乾物中）の差があり、2番草では標津と中春別地区の間に2.37%（乾物中）の差が認められました（表1）。中標津と別海地区の2000年4～6月の累積降雨量、有効積算気温、累積日照時間を比較すると、すべての項目に差が認められませんでした。このことから、両地区の中間に位置する中春別地区は別海地区と気象条件が大きく異なるとは考えにくく、土壌や栽培条件の違いが関与していることが予想されます。しかし、本研究では材料採取草地の土壌成分や施肥条件を調べておら

表1 地域によるWSC含量の変動

地域	試料数	1番草		2番草	
		刈取り日	WSC <sup>1)</sup> (%DM)	刈取り日	WSC (%DM)
中標津	4	6月23日	5.59	8月30日	5.88
計根別	3	6月23日	4.99	8月30日	4.93
標津	3	6月21日	4.75	8月15日	6.36
別海	2	6月22日	5.90	8月17日	4.35
中春別	2	6月22日	3.23	8月29日	3.99
上春別	3	6月22日	5.12	8月24日	4.91
根室	3	6月22日	4.45	8月24日	4.77
平均			4.93		5.15
標準誤差			0.280		0.287

<sup>1)</sup>可溶性炭水化物

表2 生育ステージによるWSC含量と糖組成の変動

刈取り日	試料数	WSC <sup>1)</sup> (%DM)	グルコース (%DM)	フルクトース (%DM)	スクロース (%DM)	G + F + S <sup>2)</sup> (%DM)
6月20日	6	5.96 <sup>bc3)</sup>	1.98	2.04	0.17	4.18
6月30日	6	10.03 <sup>a</sup>	2.11	2.16	0.25	4.51
7月10日	6	9.71 <sup>ab</sup>	1.98	2.08	0.24	4.30
平均		8.57	2.02	2.09	0.22	4.33
標準誤差		0.822	0.131	0.083	0.036	0.215

<sup>1)</sup>可溶性炭水化物 <sup>2)</sup>グルコース+フルクトース+スクロース

<sup>3)</sup>同一列内において異なるアルファベットは有意差を表す (P<0.05)

表3 刈取り時刻によるWSC含量と糖組成の変動

刈取り時刻 (時間)	試料数	WSC <sup>1)</sup> (%DM)	グルコース (%DM)	フルクトース (%DM)	スクロース (%DM)	G + F + S <sup>2)</sup> (%DM)
7:00	2	5.98	1.87	1.37	0.22	3.46
10:00	2	6.40	2.18	1.68	0.31	4.16
13:00	2	7.97	3.03	2.45	0.29	5.76
17:00	2	8.98	2.31	2.09	0.29	4.69
平均		7.33	2.34	1.90	0.28	4.52
標準誤差		0.488	0.206	0.177	0.022	0.382

<sup>1)</sup>可溶性炭水化物 <sup>2)</sup>グルコース+フルクトース+スクロース

ず、今後の課題です。番草間の差は2番草が低いとする増子ら(1994a)および柁木と大山(1976)の報告と傾向が異なりました。

## (2) 生育ステージ

生育ステージについては、WSC含量は刈取り適期をすぎた7月10日(開花期)になっても高い値を保持しました(表2)。糖組成のうち、グルコース(G)、フルクトース(F)およびスクロース(S)含量は生育ステージが進んでも増加しなかったが、WSC含量からG+F+S含量を差し引いた含量は増加しました。水稻では生育ステージが最高分げつ期から出穂期に進むと、葉面積が増加し、それに伴って光合成能力が高まることが知られています(長田1977)。牧草では生育ステージが進むと葉面積が増加することから、個体群光合成が盛んになり、蓄積されたものと考えられます。光合成によって最初につくられるのはグルコース、フルクトースおよびスクロースなどであるが、その後フルクトサンやデンプン、セルロースなどの高次炭水化物が合成されます(村田1977;桜井ら2001;増田2003)。WSC含量からG+F+S含量を差し引いたものの多くは、フルクトサンに相当すると推測され(Maylandら2000;柁木と大山1978)、イタリアンラ

イグラスにおいてその含量は生育ステージが進むと増加しています(柁木と大山1976)。本試験の傾向はそれと同様でした。

## (3) 刈取り時刻

刈取り時刻については、7時よりも17時に刈取るとWSC含量が3.0%(乾物中)増加しました(表3)。グルコースとフルクトース含量は13時に最大値に達し、日周変動はこれらの含量の増加が大きく影響しました。WaiteとBoyd(1953)は、ペレニアルライグラスの可溶性炭水化物含量は午前中に増加し、翌日の夜明けまでに減少することを報告しています。しかし、最小値(9時)24.6%(乾物中)と最大値(18時)25.9%(乾物中)の差は1.3%にすぎません。その変動は、ヘキソースやフルクトサン含量ではなく、スクロース含量の増加が引き起こしていました。Fisherら(1999)はトールフェスクの総非構造化炭水化物(単糖類、二糖類、フルクトサンおよびデンプン含量の合計量)含量は、日の出時よりも日没時が1.8~2.1%(乾物中)高く、増加した構成糖は単糖類および二糖類であったことを報告しています。本試験では二糖類であるスクロース含量の増加が認められず、WaiteとBoydおよびFisherらの結果と異なりました。糖含量の日周変動は、光の強さ

に応じて光合成速度が変化を示し（増田2003），グルコースやフルクトースなどの糖合成がそれに依りて促進されたために生じたものと考えられます。材料草採取時の気象条件は日照時間4.0時間，最高気温20℃，最低気温12℃でした。本試験では，日照時間が極端に少ない曇天時の条件下で調査を行っていないが，今後，晴天時との比較をするなどの検討が必要です。

#### (4) 品種

品種は1番草と2番草ともに，早生品種ノサップが最も高く，次いで1番草では極早生品種クンプウ，2番草では晩生品種ホクシュウが高くなりました（表4）。1番草のノサップとクンプウおよび2番草のノサップの糖組成をみると，グルコースとフルクトース含量が他の品種よりもわずかに高くなりました。これらの材料草採取は，それぞれの品種の刈取り適期に行ったため，刈取り日がすべて異なります。したがって，気象や土壌条件の違いがWSC含量に影響していることも考えられます。しかし，オーチャードグラスの早生品種は晩生品種よりもWSC含量が高く，この傾向はチモシーやメドウフェスクでも認められている（McDonaldら1991）ことから，品種により糖含量の蓄積量に差異があることが推測され，今後は，品種選定の一指標にするべきであると考えます。

## 4. おわりに

以上の結果から，チモシーのWSC含量および糖組成は地域，生育ステージ，刈取り時刻および品種などの要因により変動することが認められました。特に牧草の刈取り適期にWSC含量が高くなったが，地域における変動も大きくなりました。これについては，気象や土壌条件との関係を詳細に調べる必要があります。今後は適期にWSC，単糖類および二糖類含量が高くなるような品種選定を行い，しかも刈取り時刻の影響を考慮した栽培管理や収穫技術の工夫が必要です。

本実験を実施するにあたり，材料牧草の採取にご協力頂いた根室支庁作物部会に深く感謝の意を表します。本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金の助成を受けました。

## 引用文献

Abacus Concepts, StatView Inc. 1996. Abacus Concepts, StatView. 69-80. Berkeley, CA, USA.

蔡 義民. 2001. サイレージ乳酸菌の役割と高品質化の調製-特集サイレージ飼料価値を高める調製と利用システム-. 日本草地学会誌, 47: 527-533.

表4 品種によるWSC含量と糖組成の変動

刈取り回次	品種	刈取り日	試料数	WSC <sup>1)</sup> (%DM)	グルコース (%DM)	フルクトース (%DM)	スクロース (%DM)	G + F + S <sup>2)</sup> (%DM)
1番草	クンプウ	6月20日	2	5.67	1.44	1.32	0	2.76
	ノサップ	6月27日	2	6.93	1.46	1.55	0.07	3.08
	キリタツ	7月4日	2	3.85	0.81	0.79	0	1.60
	ホクシュウ	7月10日	2	3.24	0.75	1.01	0	1.76
	平均			4.92	1.11	1.17	0.02	2.30
	標準誤差			0.608	0.151	0.121	0.018	0.276
2番草	クンプウ	8月15日	2	6.72	1.08	1.10	0.04	2.22
	ノサップ	8月25日	2	9.84	1.48	1.92	0.04	3.44
	キリタツ	9日8日	2	6.75	1.08	1.53	0	2.61
	ホクシュウ	9月13日	2	8.21	1.28	1.78	0.08	3.13
	平均			7.88	1.23	1.58	0.04	2.85
	標準誤差			0.520	0.098	0.141	0.020	0.237
3番草	クンプウ	9月29日	2	8.51	1.59	2.15	0	3.74
	標準誤差			0.415	0.345	0.320	0	0.665

<sup>1)</sup>可溶性炭水化物 <sup>2)</sup>グルコース+フルクトース+スクロース

蔡 義民・藤田泰仁・佐藤崇紀・増田信義・西田武弘・小川増弘. 2002. 麦茶残渣サイレージの調製貯蔵と発酵品質. 日本畜産学会報, 73:283-289.

Fisher DS, Mayland HF, Burns JC, 1999. Variation in Ruminants' preference for tall fescue hays cut either at sundown or at sunup. Journal of Animal Science, 77:762-768.

自給飼料品質評価研究会編. 2001. 粗飼料の品質評価ガイドブック. 7-42. 日本草地畜産種子協会. 東京.

榎木茂彦・大山嘉信. 1976. 刈取回次, 生育期別のイタリアンライグラスにおける非構造性炭水化物の変化-液体クロマトグラフィーによる定量-. 日本畜産学会報, 47:205-211.

榎木茂彦・大山嘉信. 1978. 数種の暖地型牧草における非構造性炭水化物組成-液体クロマトグラフィーによる定量-. 日本畜産学会報, 49:659-664.

増田芳雄. 2003. 植物生理学改訂版. 199-207. 培風館. 東京.

増子孝義・小野淳史・古川信明・大谷 忠. 1994 a. 北海道で栽培した寒地型イネ科牧草における粗蛋白質, ADFおよび可溶性糖類(WSC)含量の生育ステージ別, 刈取り回次別変化. 日本草地学会誌, 40:227-229.

増子孝義・兒玉巖雄・植松 齊・久保井 栄・前田良之・山中良忠. 1994 b. 北海道で栽培した寒地型イネ科牧草における単糖・二糖類含量の生育ステージ別, 刈取り回次別変化. 日本草地学会誌, 40:230-233.

増子孝義. 1999. サイレージ科学の進歩 (内田仙二

編). 86-115. デーリィ・ジャパン社. 東京.

Mayland HF, Shewmaker GE, Harrison PA, Chatterton J. 2000. Nonstructural carbohydrates in tall fescue cultivars: relationship to animal preference. Agronomy Journal, 92:1203-1206.

McDonald P, Henderson N, Heron S. 1991. In: The Biochemistry of Silage. 2nd ed. 58-70. Chalcombe Publications. Great Britain.

村田吉男. 1977. -1977訂正追加補版-農学大事典 (野口弥吉監修). 804-808. 養賢堂. 東京.

長田明夫. 1977. -1977訂正追加補版-農学大事典 (野口弥吉監修). 808-811. 養賢堂. 東京.

農林水産省草地試験場. 1975. サイレージ試験法. 草地試験場No.50-3資料. 44-59.

桜井英博・柴岡弘郎・芦原 坦・高橋陽介. 2001. 植物生理学入門. 172-190. 培風館. 東京.

Waite R, Boyd J. 1953. The water-soluble carbohydrates of grasses. I. Changes occurring during the normal life-cycle. Journal of the Science of food and Agriculture, 4:197-204.