

木質飼料にふさわしい樹種をさぐる

安久津 久

はじめに

オイルショック以来、バイオマスに対する期待は近年ますます高まっています。農林水産省のバイオマス変換計画では、国立林業試験場・畜産試験場、その他の研究機関により、木材の飼料化が検討され、シラカンバについては、ほぼ飼料化の方法が確立しています。

飼料にはカロリー数、すなわちエネルギー価値の大きい濃厚飼料と、牛の消化生理を正常に保つために必要な繊維質含量の大きい粗飼料とがありますが、木質飼料は繊維質含量が大きく、かつカロリーも高いため、その特徴を一口で言い表すならば、非常にエネルギー価値の高い粗飼料と言えるかと思えます。

北海道では、森林蓄積の60%弱、3億1千万³m³の広葉樹が自生しています。その中でもカンバ類の蓄積が最も多く、20.5%を占めています。次いでナラ類の15.4%、シナノキの11.9%となっています(表1)。一方、北海道以外の地域では、針

葉樹の蓄積が多く、64.6%を占めています。北海道でこのように広葉樹が多いということは、他府県に比べてまだ天然林が多く残っていることのおかげかもしれません。

北海道では牧草価格が安いので、木材を原料とする飼料製造が工業として成り立つためには他地域に比べ、よりローコスト化が必須条件となります。広葉樹蓄積の多い北海道では、飼料化可能な樹種を多くすることは原木の選別に要する費用を少なくすることになります。さらに原木を安定供給できるという利点もあります。そこで道内に比較的蓄積の多い樹種について広葉樹を中心に飼料化の可能性を検討してみました。

どんな樹種が考えられるのか

実験した樹種は、広葉樹はシラカンバ、ウダイカンバ、ダケカンバ、シナノキ、ナラ、ブナ、イタヤカエデ、ポプラの8種類、針葉樹はトドマツ、カラマツの2種類です。また、このほかイネ科のチシマザサについても検討してみました。

木材はセルロース・ヘミセルロース・リグニンの3大主要成分のほか、灰分・抽出成分などを含んでいます。針葉樹と広葉樹を比べると、セルロースは大差なく、両者とも50~60%の範囲にあります。しかし針葉樹ではリグニンの比率が高く、ヘミセルロースは少なくなっています。逆に広葉樹では、ヘミセルロースが多く、リグニンは少なくなっています。今回の実験樹種の成分分析値を表2に示しました。表中、ホロセルロースとは、セルロースとヘミセルロースを合わせたものです。広葉樹の方がホロセルロースの量が多く(80%以

表1 道産主要樹種の蓄積量

樹種	蓄積(万m ³)	比率(%)
広葉樹	30913	100
カンバ類	6326	20.5
ナラ類	4752	15.4
シナノキ	3694	11.9
カエデ	2399	7.7
ブナ	1758	5.7
針葉樹	23081	100
トドマツ	10791	46.8
カラマツ	5371	23.3
エゾマツ	5171	22.4

「昭和58年度 北海道林業統計」から

表2 供試樹種の成分分析値(%)

樹種	溶媒抽出				リグニン	ホロセルロース
	冷水	熱水	1%アルカリ	アル・ベン		
シラカンバ	0.6	1.5	18.0	1.6	18.9	86.1
ウダイカンバ	0.3	1.5	16.8	0.7	19.8	85.1
ダケカンバ	0.4	1.8	16.4	1.0	19.4	85.4
ナラ	2.5	5.7	19.0	1.6	23.1	82.0
シナノキ	0.7	2.9	21.6	2.6	19.7	83.7
イタヤカエデ	1.4	4.3	16.7	1.8	23.5	84.2
ブナ	0.3	1.4	16.1	0.5	22.8	81.9
ポプラ	1.0	2.4	18.9	1.0	24.5	80.1
トドマツ	0.6	2.8	15.2	1.6	29.2	74.5
カラマツ	1.7	4.1	14.4	1.2	28.1	75.9
チンマザサ	3.2	7.1	27.8	1.2	24.4	75.3

上), 飼料としての価値が高いといえそうです。チンマザサについては, ホロセルロースの量は針葉樹なみ, リグニンについては広葉樹なみの含有率があり, 抽出量が多いという特徴があります。

食べたものが胃の中でどう変化するのか

山羊や羊が紙を食べる事は多くの人々が知っています。ウシ・ラクダなども含めて, これらの動物を反芻動物と呼んでいます。反芻動物はふつう4室から成る複胃(反芻胃)をもっています(図1)。第1胃は極めて大きく(成牛の場合105~145l), 前後および上下の4部に分かれています。これらが交互に収縮して食物と水をかくはんします。ここには乳酸菌, けい光菌, タンパク分解菌のほか, 多くのバクテリアが共生して, セルロースなどの粗繊維を分解します。次に食物が第2胃に送られます。第2胃は内壁にはちの巣状のしわがあり, この働きによって食物を少量ず

つの固まりにします。この固まりは胃の収縮運動によって食道, 次いで口腔に逆送され, 40~60回もそしゃくされカゴ状になった後飲み下され, 第3胃に直接入ります。第3胃では食物を細かく砕く作用があります。最後に第4胃に入ります。第4胃は真の胃で, 胃液腺があり, ペプシン, レニンなどの消化酵素を分泌して糖化やタンパクの分解を行います。

どうやって木材を食べられるようにするのか

反芻動物は, 紙を食べても消化しますが, これは胃の中に含まれる微生物の分泌するセルラーゼという酵素の働きです。紙の原料は木です。しかし木を生そのままあてても消化されず栄養源になりません。木材の細胞構造は, 結晶性のセルロースを骨格として, まわりをヘミセルロースがとり囲み, リグニンは細胞と細胞を接着したり, セルロースやヘミセルロースを被覆して固める役割をしています。そのために, セルラーゼ系酵素が接触することができず, 反芻動物胃内では, ほとんど消化できません。木材を飼料として利用するには, 何らかの方法でリグニンの鎖を破壊しなければなりません(図2)。

私たちは蒸煮法といわれる方法により, 高温高圧下で木材を処理して木質飼料を製造しました。その方法は, オートクレーブ(写真)を用いて水分40%前後のチップを飽和水蒸気(175~209)で加圧蒸煮を行います。そうしますと白

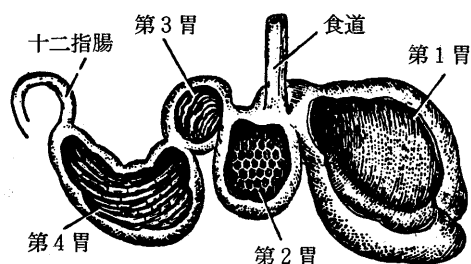


図1 反芻動物の胃の構造

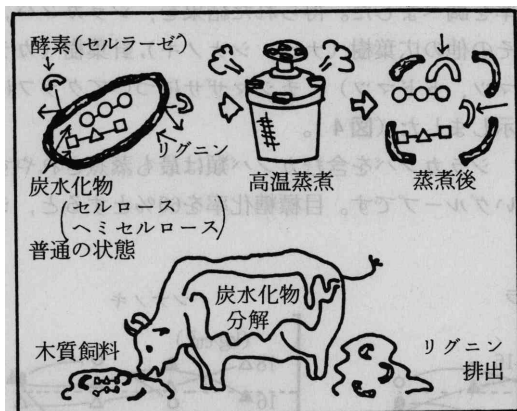
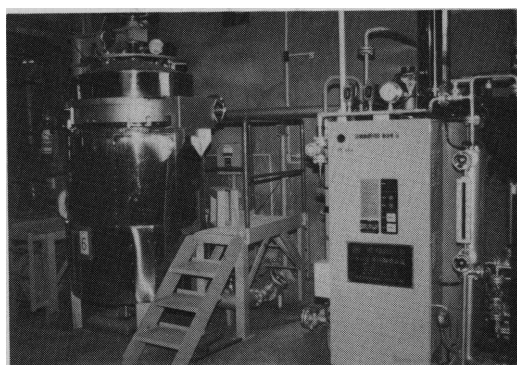
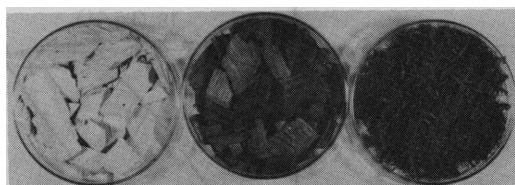


図2 なぜ木材がエサになるのか



木質飼料製造装置(オートクレーブ)



シラカンバ末蒸煮チップ 蒸煮後 粉碎後
原料と製品

いチップは甘酢っぱいにおいのある茶褐色の柔らかいものになり、これを粉碎機により細かくほぐすと木質飼料ができあがります(写真)。

蒸煮の圧力(温度)や時間をいろいろ変えて試験してみたところ、時間・圧力が增大するにつれて酢酸・フルフラールなどが蒸気としてぬけて、飼料としての収率は低下します。しかし、リグニンもある程度分解変質して低分子化し、セルラー

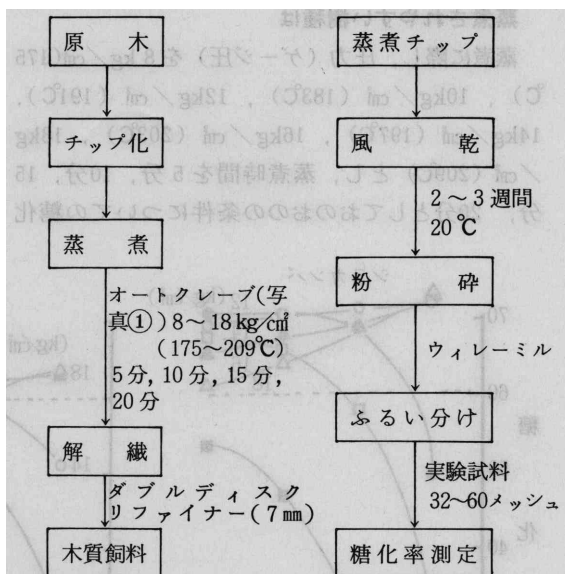


図3 木質飼料製造工程並びに糖化率測定法

ゼがセルロース・ヘミセルロースにアタックできるようになり、これらの多糖類は、分解して消化できる形になります。飼料化方法のフローチャートは図3に示しました。

栄養価はどうやって測定するのか

牛の消化率TDN(可消化養分総量)と試験管内で行う糖化率はほぼ等しいと言われています。今回の実験ではセルラーゼ(明治製菓kkのメイセラゼ)50mgをpH4.8の酢酸緩衝液に溶かし、10mlの酵素液とし、32~60メッシュの試料200mgを浸せさせ、40~48時間振とう培養後、104グラスフィルターでろ過、洗浄をして残さを得ます。その残さの絶対重量をもとの値(絶対重量)で割り、これに100を乗じた値を残さ率とし、100から残さ率を引いた値を糖化率としました。

良質牧草の糖化率は、種類や刈り入れ時期によって差がありますが、約60%と言われていますので糖化率60%を飼料化の目安とします。ただし木質飼料には、タンパク質、ミネラルなどはほとんど含まれていませんので、実際に与えるときは他の飼料を混合して不足養分を補なわなければなりません。

蒸煮されやすい樹種は

蒸煮に際し、圧力(ゲージ圧)を8kg/cm² (175) , 10kg/cm² (183) , 12kg/cm² (191) , 14kg/cm² (197) , 16kg/cm² (203) , 18kg/cm² (209) とし、蒸煮時間を5分、10分、15分、20分としておのおのの条件についての糖化

率を調べました。得られた結果を、シラカンバ、その他の広葉樹(ナラ、シナノキ)、針葉樹(カラマツ、トドマツ)、チシマザサについてグラフに示しました(図4)。

シラカンバを含むカンバ類は最も蒸煮されやすいグループです。目標糖化率を60%とすると、シ

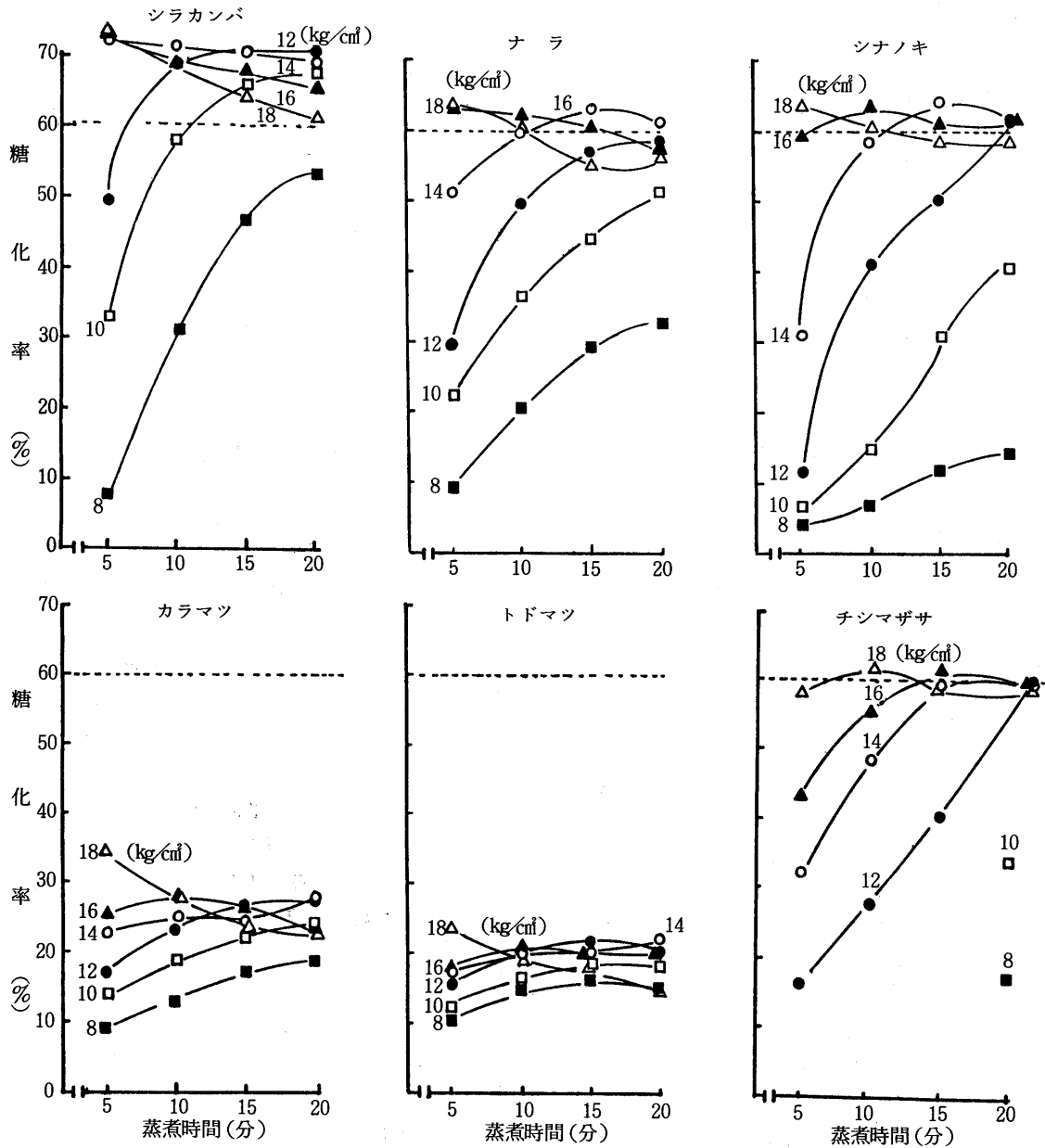


図4 蒸煮条件と糖化率の関係

シラカンバの場合10kg/cm²の圧力で13分、12kg/cm²の圧力で8分という比較的穏やかな条件で糖化率60%の木質飼料が製造できます。他のカンバ類についてはシラカンバほど容易ではありませんが、圧力12kg/cm² (191) 以下の条件でも製造が可能でした。

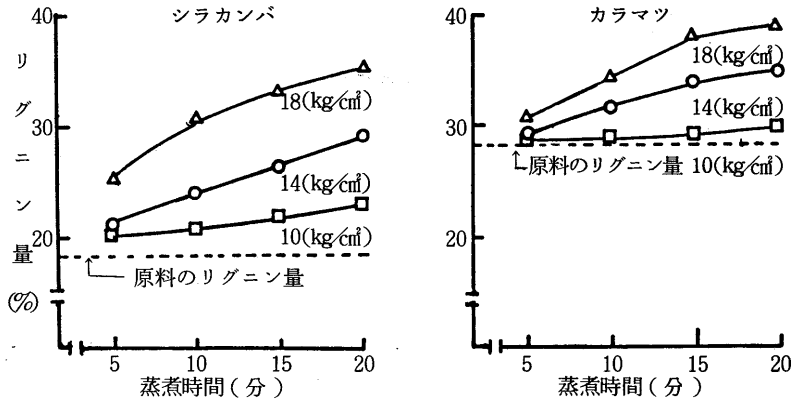


図5 蒸煮条件とクラークソンリグニン量の関係

カンバ類以外の広葉樹は、カンバ類に比べ蒸煮されにくく、

牧草と同じ栄養価を得るためには

今回の蒸煮条件で得られる最大糖化率をまとめると表3のようになります。いずれの樹種とも18kg/cm² (209) の圧力で5分 (チシマザサのみ10分) という高压 (高温)、短時間の条件下で得られました。

多く、高压で蒸煮する必要があります。一応14kg/cm² (197) 以上の圧力を用いれば、糖化率60%ぐらいの飼料が製造可能であることが分かりました。

糖化率60%以上に達した樹種について蒸煮圧力、時間の関係から糖化率60%になる条件をまとめると図6のようになります。たとえば圧力10kg/cm² (183) で糖化率60%の製品を作るには、シラカンバの場合13分、ダケカンバの場合14分、ウダイカンバは19分蒸煮すれば良いこととなります。他の樹種は、10kg/cm² (183) の圧力では製造できないことが分かります。グラフの下側にある樹種を使うほど安いコストで製造でき、「飼料化の可能性」が高いといえます。飼料化の可能性の

針葉樹は最も蒸煮されにくく、最大糖化率をみても、18kg/cm² (209) - 5分の条件でカラマツ34.0%、トドマツ23.6%にとどまりました。この原因は、針葉樹のリグニン含量が、広葉樹のそれと比べて多いこと、それに加えてリグニンの結合も広葉樹に比べて強いためと思われます。したがって針葉樹については、蒸煮だけで目標糖化率60%を得ることは難しいと思われます。

チシマザサについては、一応広葉樹並みの糖化率を得ることができました。

いずれの樹種とも時間を20分以内とした場合、圧力12kg/cm² (191) 以下の条件であれば、時間、圧力が增大するにしたがって糖化率も上昇します。しかし圧力14kg/cm² (197) 以上の条件では圧力が高くなるにつれ、糖化率の最大値が短時間で現れ、その後は時間がたつにつれて糖化率が減少します。これは高温の条件下でヘミセルロースの分解が促進され、収率が低下し、相対的にリグニンの割合が高まったためと思われます。シラカンバ、カラマツについて蒸煮条件とリグニン含量の関係を示すと図5のようになります。ともに時間、圧力が增大するにつれてリグニン含有量も相対的に増大しています。しかも圧力が高いほど増加量も大きいといえます。

表3 樹種別最大糖化率と蒸煮条件

樹種	蒸煮条件	糖化率
シラカンバ	18 kg/cm ² , 5分	73.2 %
ダケカンバ	〃	72.2
ウダイカンバ	〃	70.5
シナノキ	〃	63.9
ナラ	〃	63.7
ブナ	〃	60.6
イタヤカエデ	〃	59.9
ポプラ	〃	59.1
カラマツ	〃	34.0
トドマツ	〃	23.6
チシマザサ	18 kg/cm ² , 10分	61.9

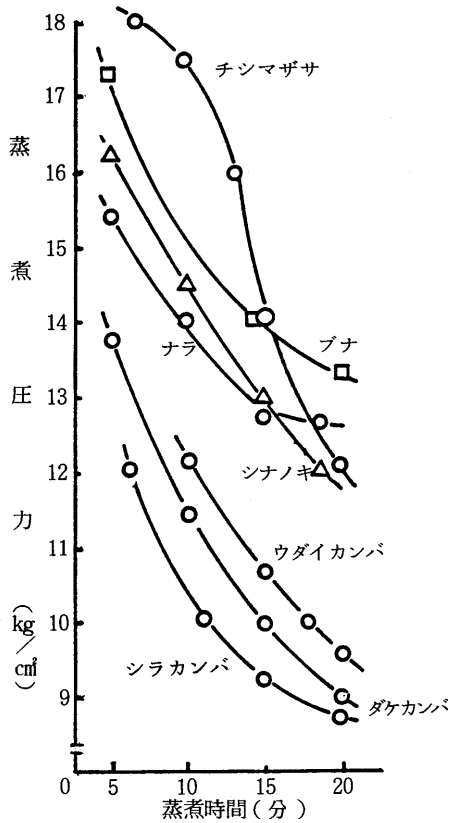


図6 糖化率60%を得るための蒸煮条件

高い樹種を順にあげれば、シラカンバ、ダケカンバ、ウダイカンバ、ナラ、シナノキ、ブナ、チシマザサの順になります。

樹種を混合すると

樹種の蓄積には地域較差があります。単独の樹種だけで飼料化を行うよりも、複数の樹種を用いれば次のような利点が考えられます。すなわち、

- 原木選別費、運搬費の低減
- 蒸煮圧力の減少
- 原料の安定供給

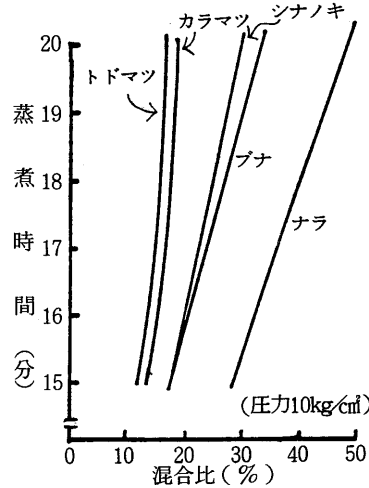


図7 糖化率60%を得るためのシラカンバとシラカンバ以外の樹種との混合比率と蒸煮時間の関係

などがあります。このため最も糖化率の高いシラカンバと他の樹種との混合を想定しました(図7)。蒸煮圧力10kg/cm²(183)、時間20分の条件では、全体を100とした場合、シラカンバに対しトドマツ16%、カラマツ18%、シナノキ30%、ブナ32%、ナラ47%を混合すれば、ほぼ60%の飼料が製造できることが分かります。

おわりに

いずれの樹種も蒸煮条件が強くなると糖化率は上昇します。しかし圧力14kg/cm²(197)以上では、蒸煮時間が長過ぎると逆に条件が強すぎて糖化率が低下しました。

広葉樹では ほぼ目標糖化率60%に達しますが、針葉樹は糖化率30%ほどにしか上がらず、何らかの薬品で処理しなくてはなりません。

シラカンバを中心とした糖化率の高いカンバ類とその他の樹種を混合蒸煮すれば、比較的ゆるやかな条件(圧力10kg/cm²ほど)で糖化率60%に達します。

原料の蓄積が豊富で、供給体制に問題がないと仮定した場合、単独でも飼料化可能な樹種は、圧力12kg/cm²(191)以下では、シラカンバ、ダケカンバ、ウダイカンバです。圧力14kg/cm²(197)以上では、ナラ、シナノキ、ブナ、チシマザサなど多くの道産広葉樹の飼料化が可能になります。 (林産試験場 繊維化学科)