

木からできるエサを知る

齊藤直人

はじめに

最近、バイオマスの変換利用は様々な方向から検討されています。バイオマスの利用開発とは、無限資源である太陽エネルギーを、地球上の植物を通して取り込み、最大限に利用・活用しようというものです。バイオマスには、木材、穀物、海藻などがあり、特に木材は、世界の年間バイオマス生産の約半分を占めています。そのため、今後、石油代替エネルギー、化学工業原料のリーダーとなって利用されていくと考えられます。

ここでは、バイオマスの変換利用法として木材の飼料化について述べます。

我が国では、農林水産省の大型プロジェクト研究「バイオマス変換計画」の中で農林水産省林業試験場・畜産試験場の共同研究により、蒸煮法、爆砕法による木材の飼料化の可能性が見い出されました。

北海道では、昭和65年に肉牛、乳牛の飼養頭数を147万頭に増やす計画を立てています。もし、その飼料の2%にあたる8万トン（木材換算で25万 m^3 ）に、間伐材を利用できるなら林畜一体の新しい産業として、また、林業、林産業全体の活性化に結びつく産業としておおいに期待できます。

現在、シラカンバの飼料を用いた、乳牛の飼養試験が農林水産省北海道農業試験場（北農試）で慎重に進められています。そして、林産試験場でも、国との連携を保ちつつ、最も問題であるコスト低下のため、生産工程のローコスト化および生産技術確立について検討しています。

なぜ木材が飼料になるのか？

木材は、多糖類のセルロース・ヘミセルロース、フェノール系高分子のリグニンの3成分を中心に構成されています。セルロース・ヘミセルロース

の多糖類が飼料になるのですが、木材を未処理で反芻家畜の飼料にすることはできません。それは、リグニンがセルロースを覆うように存在しているためです。したがって、反芻胃内の微生物酵素がセルロースと接触できないため酵素分解できず、栄養源になりません。そこで、消化性を高めるために物理的処理、化学的処理、生物的処理などを施し接触できるようにしなければなりません。現在、林産試験場では、物理的処理法の一つである蒸煮法の検討を行っています。

蒸煮法について

この方法は、木材チップを飽和水蒸気で蒸煮し、粉碎して木質飼料を得るものです。シラカンバチップをオートクレーブ（100l）に入れ、11kg/cm²（187℃）で20分間蒸煮し、茶褐色のやわらかい状態にしたものを、さらに、解繊機（D.D.R-ダブル・ディスク・リファイナリー）で繊維状に粉碎します。

このように、高温高压の飽和水蒸気処理をすることにより、木材の内部では以下のような変化を起こしていると考えられます。ヘミセルロースは、加水分解され単糖となり水に可溶になります。また、リグニンの一部は、低分子化して有機溶媒に可溶となります。シラカンバの場合、ヘミセルロースの大半がキシロースの化合物ですので、加水分解物の主成分はキシロースとなります。これは、糖類の一種で甘いけれども、牛のような反芻動物と違って、我々、人間では消化できません。そのため、ダイエット甘味料として、また、医薬品として利用可能です。

このように、飼料としての利用とともに、キシロースのように、蒸煮法による副産物の有効利用も重要な課題です。

木質飼料の特徴

飼料の成分は、従来の飼料の代表的なヘイキューブ、アルファルファに比べて粗蛋白質・ミネラル・ビタミンはほとんどありません。しかし、粗飼料としての効果、さらに、乾物当たり粗繊維含量が50~60%と非常に高いことからエネルギー源として大いに有効です。

そこで、北農試において、実際に木質飼料を配合飼料、乾燥牧草と配合し飼養試験を行っています。木質飼料の配合比は0%、20%、40%です。試験は、初め食いならしを行い、牛に急激な変化を与えないように行っています。その後、牛はどんどん食べます。しかも、蒸煮によって生じた木酢のにおいをかえて好むようで、成育状態、乳量も良好ということです。

木質飼料の評価法

木質飼料の安全性、栄養価の評価は、実際に家畜を使って行うのが理想です。しかし、牛を使って消化試験を行うとしますと、大量の試料を必要としたり、結果の判定に時間がかかるなどの問題があります。そこで、少量の試料で、時間的にも実施可能な方法が望まれることになります。その方法としては、生態内で行う方法、試験管内での分解量を測定する方法、化学分析により飼料成分から推定する方法の3つに大別できます。私たちは、動物を全く使わないで、試験管中で加水分解酵素（セルラーゼ）により、試料の分解量から栄養価を判定する評価方法について検討しました。これは、牛や山羊で行ったTDN（可消化養分総量）とも高い相関性があります。ここでは、糖化率測定のための試料の粒度、水分および糖化時間短縮も含めた簡易な測定法について述べます。

なお、糖化率測定は、次のような方法で行います。粉碎した試料0.2g、酵素（メイセラゼ）50mgをpH4.8の酢酸緩衝液10mlに溶かし、トルエン数滴加えたものをL字型試験管に入れ、40で一定時間振とう糖化し残存乾物量を測定します。

$$\text{糖化率}(\%) = \left[1 - \frac{\text{残存乾物量}(\text{g})}{\text{試料の乾物量}(\text{g})} \right] \times 100$$

表1 乾燥法による糖化率とリグニンの関係

試料	水分 (%)	糖化率 (%)	クラークソン・リグニン量 (%)
生試料	43.6	68.4	26.7
風乾試料	13.3	69.3	26.9
絶乾試料	3.0	64.8	28.1

1) 試料の水分調整

蒸煮したシラカンバチップを、D.D.Rで解繊した直後の生試料（水分43.6%）と、その生試料を2日間天日乾燥した風乾試料（水分13.3%）および105 で生試料を乾燥した絶乾試料（水分3.0%）の3試料をそれぞれ糖化し、試料水分と糖化率の関係を求め、その結果を表1に示しました。

生と風乾の各試料は68.4%と69.3%の近似する糖化率を示しましたが、絶乾試料の糖化率は若干低く、105 で乾燥することが糖化率を低下させることが分かりました。これは、蒸煮で低分子化したリグニンの一部が、加熱により再重合することによって、炭水化物の一部を包み込んだり、加熱収縮によって酵素の侵入経路をふさいだりするためと思われます。

この結果、粗飼料として生または風乾状態で用いていることもあり、糖化率測定においても試料は、生か風乾状態のものを用いることにしました。

2) 試料の粒度調整

蒸煮したシラカンバチップを粉碎機（ウィレーミル）で粉碎し5~9, 9~16, 16~32, 32~60, 60~115, 115メッシュパスの6層に篩分けました。また、比較のため同一蒸煮チップをD.D.Rで解繊したものも加え、7試料について各々糖化し糖化率と粒度の関係を求めました。その結果を図1に示しました。

試料の粒度が細くなるにしたがって、糖化率は直線的に増加し32~115メッシュでほぼ平衡に達しました。しかし、115メッシュパスの微粉末の試料の糖化率は低下し、5~9メッシュのものと同じ値を示しました。このことは、115メッシュをパスした部分が、粉碎の際、高リグニン含量が

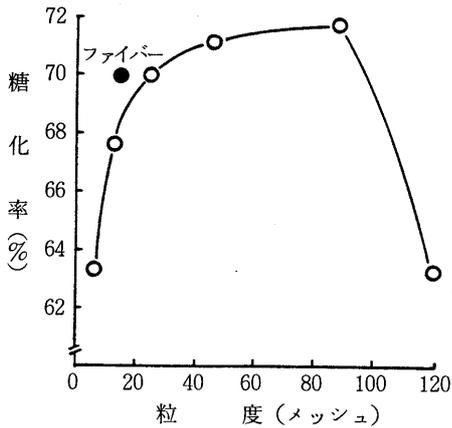


図1 シラカンバの粒度と糖化率の関係

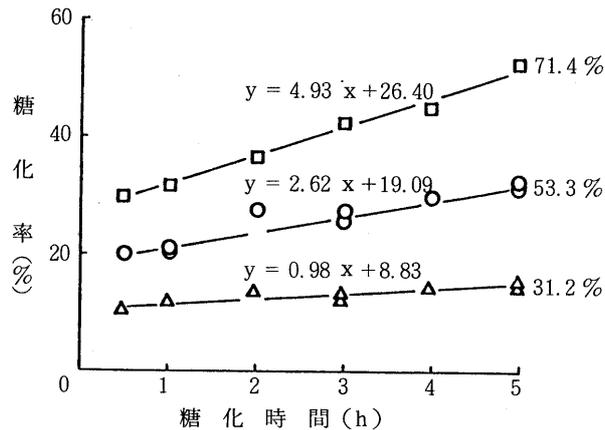


図3 シラカンバの糖化率の経時変化

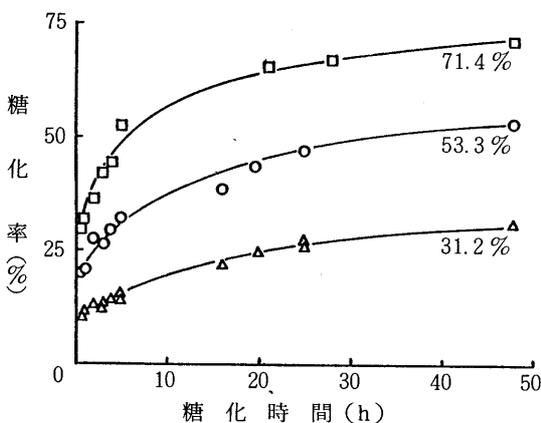


図2 シラカンバの糖化率の経時変化

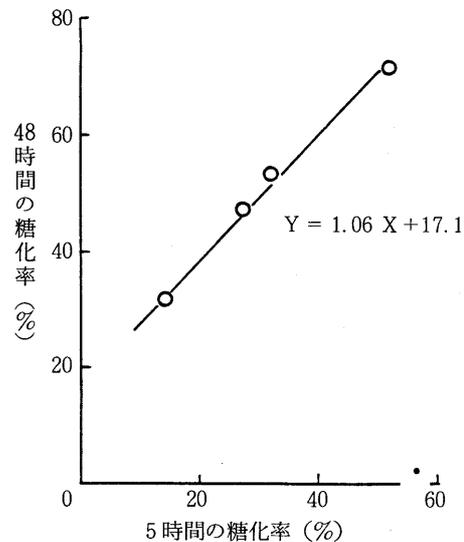


図4 シラカンバの5時間と48時間の糖化時間における糖化率の相互関係

らなる部分から粉碎されたためと考えられます。

3) 木質飼料の簡易評価法

木質飼料が今後普及するためには、木質飼料の評価法も手軽で敏速であることが望まれます。

イ) 糖化時間の短縮

糖化時間短縮のため、振とう糖化時間と糖化率の変化について検討しました。図2に48時間後の糖化率が31.2%、53.3%、71.4%と、あらかじめ分かっているシラカンバ3条件について、糖化時間と糖化率の関係を示しました。3条件とも糖化時間5時間まで急激に増加し、それ以降は、緩やかに糖化率が上昇しました。

そこで、急激に増加する糖化時間のみ拡大しプロットし図3に示しました。個々の点が直線で結

ばれ、相関性を持つことが分かりました。

そこで、この経時変化の規則性から糖化時間5時間の糖化率と、48時間の糖化率の関係を図4に示しました。明らかに直線性を示し、この図より、糖化時間5時間の糖化率に、約17%加えることで、糖化時間48時間の糖化率を推定できます。したがって、糖化時間の短縮は可能であると考えられます。

ロ) 酵素を用いない簡易評価法

評価法を簡略化するために、酵素を用いないで熱水で抽出する方法について検討しました。

熱水抽出とは、試料2gを200mlの三角フラス

コに入れ、蒸留水100mlを加え3時間沸騰し、1 G3ガラスフィルターでろ過し、乾燥残留重量を求めることです。抽出物は、分解したセルロース、ヘミセルロース、酢酸、フルフラールおよび低分子リグニンなどです。

シラカンバ、シナ、カラマツの糖化率既知の試料について熱水抽出率を判定し、糖化率との関係を図5に示しました。3樹種とも、明らかに直線性のある結果になりました。直線の傾きの違いは、木材内でのリグニンの分散のしかた、木材成分の違いおよび構造の違いによると考えられます。

この結果、樹種が決まれば、熱水抽出率は、飼料の簡易評価法になると思われます。課題としては混合樹種、腐朽材の場合にも適合する直線を求めることです。

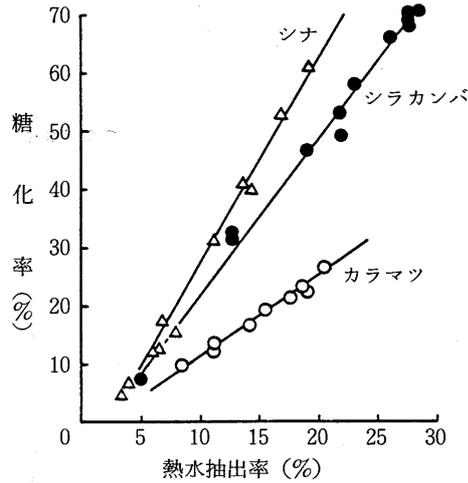


図5 熱水抽出率と糖化率の関係

まとめ

- 1) 試料の水分調整としては、生または風乾試料が望ましい。
- 2) 試料の粒度は、32~60メッシュを用いる。
- 3) 糖化時間5時間の糖化率に、約17%を加えることで、48時間の糖化率を推定し得る。

4) 樹種が決まれば、熱水抽出率により糖化率を推定できる。

なお、詳細は日本木材学会北海道支部講演集第16号 木質飼料の製造に関する研究(第1報)に掲載されていますので参照ください。

(林産試験場 繊維板試験科)