

木質バイオマスからの粗飼料製造に関する研究 (第1報) — トドマツとカラマツの蒸煮による成分変化 —

檜山 亮, 折橋 健*¹

Study on the production of coarse feed from woody biomass (I) The change of chemical components of *Abies sachalinensis* and *Lalix kaempferi* caused by steam treatment

Ryo HIYAMA, Ken ORIHASHI

Keywords: カラマツ, トドマツ, 蒸煮, 木質飼料

1. はじめに

北海道は全国一である約554万haの森林面積を有している。1980年に約5億2千万m³だった蓄積量は近年順調に増加して2016年には約7億9千万m³となっており²⁾, 木質バイオマスの有効利用方法の開発が求められている。一方, 畜産分野の黒毛和種肥育牛では, 繊維成分の補給を目的として稲わらと発酵バガスを主な粗飼料として給与することが近年一般的となっている³⁻⁶⁾が, 輸入粗飼料の価格変動⁷⁾や品質への不安を農家は持っており⁸⁾, 代替品が求められている。

木質バイオマスを牛の飼料にする研究は約30年前に盛んに行われ, 当场でも蒸煮処理による木質バイオマスからの飼料製造に関する検討が多数実施された⁹⁻¹³⁾。当時の研究は, 木質バイオマスに含まれるセルロースを消化可能な状態にして牛が必要とするエネルギー源にすることが主目的とされていた。このため, 研究対象の樹種は蒸煮処理後の消化率が高いシラカンバを中心とする広葉樹に集中しており⁹⁻¹³⁾, 蒸煮処理によって消化率が向上させにくい針葉樹の飼料化についての検討例は少ない。

一方, 近年の黒毛和種肥育牛では濃厚飼料の多給により飼養され, 粗飼料はエネルギー源よりも反芻促進効果が期待されている^{3-5,14)}ので, 針葉樹も粗飼料に成り得ると考えられた。以上のような背景から, 本研究では粗飼料化の研究例が少ない道産針葉樹について, 蒸煮条件を変えた時の成分や性質の変化に

ついて基礎的知見を得ることを目的とした。

2. 実験方法

2.1 実験材料

樹皮を含まない製紙用のトドマツ切削チップ (三津橋産業 (株) 製) およびカラマツ切削チップ (美瑛町森林組合製) を蒸煮原料として供試した。

酵素糖化試験にはメイセラーゼ (明治製菓 (株) 製) を用いた。

2.2 実験方法

2.2.1 蒸煮処理

トドマツおよびカラマツのチップについて赤外線水分計 ((株) ケット科学製) を用いて水分を測定し, 水分が40%未満の場合にはチップに散水して水分が40-60%になるように調整した。

チップを内径約72cm, 高さ約105cm, 約500L容の鉄かごに充填し, 蒸煮装置 (三井造船 (株) 製, 787L容) により蒸煮した。所定圧 (14.9または18.5kgf/cm²) に達した時点から時間を計測し, 15分または30分間加熱した。降圧後にチップを取り出し, 室温で5-10日間程度送風乾燥した。風乾後のチップは10mmの目皿を取り付けたロートプレックス (富士産業製) で粉碎した。さらにその粉碎物を成分分析と酵素糖化のためにワンダーブレンダー (大阪ケミカル (株) 製) で0.5mm以下に粉碎した。

2.2.2 成分分析

0.5mm以下に粉碎した蒸煮物について, ソック

スレー抽出法によりアルコール-ベンゼン (1:2) を用いて抽出物を測定した。アルコール-ベンゼン抽出残渣について、常法によりクラソン・リグニン量を求め、硫酸を中和して示差屈折検出器を備えた高速液体クロマトグラフ (以下、HPLC、日立ハイテクノロジー製、L2000シリーズ) により構成糖を分析した。

2.2.3. 酵素糖化

0.5mm以下に粉砕した蒸煮物を15mL容のねじロプラスチック試験管 (旭テクノグラス製) に乾物0.24g入れ、pH5.0に調整した0.1mol/Lのクエン酸緩衝液を基質濃度が2% (w/v) となるように入れ、20FPU/g-基質となるようにメイセラゼを添加した。試験管をねかして120rpmの水平往復運動で攪拌しながら50°Cで48時間酵素反応させた。24および48時間後に反応液を採取し、HPLCでグルコース量を測定した。試料に含まれるグルカン量に対する酵素糖化で単糖化したグルカン量の百分率を酵素糖化率とした。

3. 結果と考察

3.1 成分分析

蒸煮条件によるトドマツの成分変化を第1表に示す。蒸煮温度を高くしたり、蒸煮時間を長くすると

キシランやマンナンが大きく減少し、ヘミセルロースが分解されていることが示唆される。アルコール-ベンゼン抽出物は210°Cで15分処理したものが未処理または180°C処理のものとは比べると、それぞれ約4または15倍となり、高温処理したもので抽出物量が多くなった。210°Cで30分処理したものは210°Cで15分処理したものと同等かやや少ない抽出物量となり、抽出物量の増加が頭打ちとなっている可能性が考えられた。リグニンやグルカンの割合はヘミセルロースと比べて変動が小さかった。針葉樹材の10~15%がグルコマンナンであり、グルコース残基は1/4~1/5の割合で存在していることからヘミセルロース由来のグルコースは2~4%と考えられ、グルカンの大部分はセルロース由来と考えられる。すなわち、蒸煮条件によるセルロースの割合の変動は小さいと考えられた。

蒸煮条件によるカラマツの成分変化と乾物量の変化を第2表に示す。蒸煮条件を厳しくすると乾物重量が大きく減少することが確認された。トドマツの結果と同様に、蒸煮条件を厳しくするとヘミセルロースが大幅に減少し、グルカンの量は変動が大きくなかった。蒸煮条件を厳しくした際にリグニンの割合が増加する様子が見られたが、全体重量の減少割合に対してリグニンの減少割合が小さいためリグ

第1表 異なる蒸煮条件によるトドマツの成分組成の変化 (%)

蒸煮条件	アルコール-ベンゼン抽出物	酸可溶性リグニン	酸不溶性リグニン	グルカン	キシラン	ガラクトン	アラビナン	マンナン	その他	合計
未処理	1.4	0.5	29.0	45.3	4.4	1.2	1.0	12.6	4.6	100
180°C, 15分	5.1	0.5	28.3	43.9	3.7	trace	trace	12.1	6.3	100
210°C, 15分	21.2	0.3	28.1	45.9	1.9	trace	trace	1.5	1.2	100
210°C, 30分	18.9	0.3	30.9	47.4	1.4	trace	trace	0.4	0.7	100

traceはHPLCで検出されるものの0.4%未満であることを示す。

第2表 異なる蒸煮条件カラマツの成分組成と重量の変化 (%)

蒸煮条件	アルコール-ベンゼン抽出物	酸可溶性リグニン	酸不溶性リグニン	グルカン	キシラン	ガラクトン	アラビナン	マンナン	その他	合計	重量変化*
未処理	3.1	0.6	27.7	35.4	6.1	5.2	1.7	10.5	9.7	100	100.0
180°C, 15分	10.2	0.5	27.4	38.9	5.3	3.4	0.7	9.7	4.0	100	95.0
210°C, 15分	22.5	0.3	31.9	37.9	2.7	1.1	0.6	3.3	-0.4	100	82.4
210°C, 30分	20.0	0.4	34.7	34.8	2.4	1.6	0.6	4.0	1.6	100	75.3

*未処理を100としたときの蒸煮後の重量残存率を示す。

ニンの占める割合が高まったと考えられた。

今回の研究において、蒸煮処理によるトドマツの乾物重量の変化を把握していないが、トドマツ粗飼料の実用化に向けて重要なことであり、トドマツについても今後調べる必要がある。

蒸煮温度を高くしたり蒸煮時間を長くしたトドマツとカラマツからは酢酸のような匂いおよびフラン類のような匂いが強くなり、ヘミセルロースや全体重量の減少がこれらに関与していると考えられた。これら揮発性成分は牛の嗜好性に関与していると考えられ、今回の分析結果を基にさらに研究を行う必要がある。

3.2 酵素糖化

トドマツに含まれるグルカンの酵素糖化率を第1図に示す。48時間の酵素糖化率で比較した時、未処理の酵素糖化率が5.2%であるのに対して蒸煮物は7.9~14.4%と1.5倍以上に高くなった。広葉樹の蒸煮物をほぼ同条件で酵素糖化した際に酵素糖化率が80%以上となる¹⁶⁾のと比較すると、210℃の処理でもトドマツの酵素糖化率はあまり高くないと言える。210℃で15分と30分の酵素糖化率を比較すると、15分の方がわずかに高く、酵素糖化率の向上も頭打ちになっていることが推察された。

カラマツに含まれるグルカンの酵素糖化率を第2図に示す。48時間の酵素糖化率で比較した時、未処理の酵素糖化率3.6%に対して、7.9~17.4%と2倍以上に向上したが、トドマツの酵素糖化の結果と同様で、広葉樹と比べて酵素糖化率は高くなかった。210℃での30分の処理は210℃の15分の処理よりも酵素糖化率がわずかに高かったが、大きな差ではなく、これ以上蒸煮時間を延長しても酵素糖化率は大きく

向上しないことが推察された。

近年の黒毛和牛の肥育では物理的強度のある粗飼料が重視されたり³⁾、不消化性の用具を胃に入れることもある¹⁷⁾ように、粗飼料には反芻胃への物理的刺激が重視されている。酵素糖化性がさほど高くない道産針葉樹の粗飼料でも反芻促進効果が高く、粗飼料としての適性がある可能性が考えられた。

4. まとめ

道産針葉樹の粗飼料化を目的としてトドマツおよびカラマツを180-210℃で蒸煮処理し、成分変化と酵素糖化性の変化を調べた結果、両樹種で以下の同様の傾向が見られた。

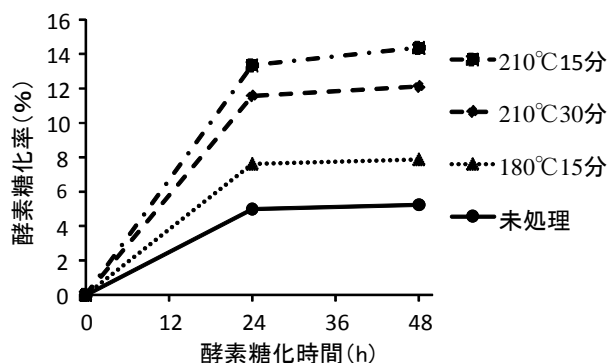
- ・ヘミセルロースが大幅に減少する。
- ・セルロースやリグニンはヘミセルロースほど減少が大きい。
- ・より高温で処理するとセルロースの酵素糖化率は向上するが、17%以下と、限定的である。

付 記

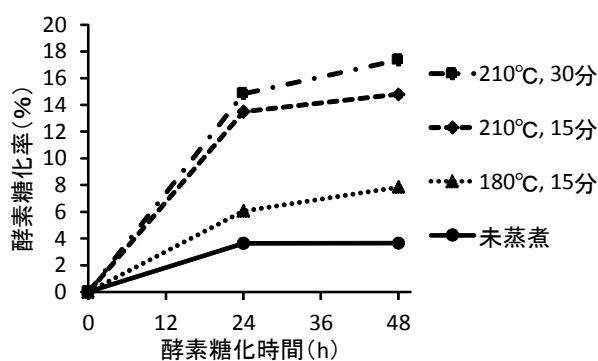
この研究は平成28年革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）FS・個別型の研究の一環として実施されたものである。

5. 引用文献

- 1) 北海道：“昭和54年度北海道林業統計”，札幌，1980
- 2) 北海道：“平成27年度北海道林業統計”，札幌，2017
- 3) 北川政幸ら：“肥育牛への発酵バガスの給与が第一胃の性状ならびに肥育成績に及ぼす影響”，肉



第1図 異なる蒸煮条件のトドマツに含まれるグルカンの酵素糖化率



第2図 異なる蒸煮条件のカラマツに含まれるグルカンの酵素糖化率

用牛研究会報，74号，48-50（2003）

4) 高取等ら：“黒毛和種肥育牛へのイナワラ代替粗飼料給与肥育試験”，鳥取県畜産試験場試験研究結果，No.31，5-16（2004）

5) 岡田卓士，塩原将次：“「バガス」の飼料特性について”，牧草と園芸，52巻3号，10-13（2004）

6) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構：“飼料用米の生産・給与 技術マニュアル<2016年度版>”，一般社団法人日本草地畜産趣旨協会，2017

7) 農林水産省：“飼料をめぐる情勢”，生産局畜産部飼料課 消費・安全局畜産安全管理課，2016

8) 肉牛ジャーナル編集部：“白樺の飼料化で資源循環型畜産を—北海道北見市（株）エース・クリーン—”，肉牛ジャーナル，2015年11月号，20-25（2015）

9) 斎藤直人ら：“木質飼料の製造に関する研究（第1報）—酵素糖化率測定法に関する検討—”，林産試月報，No.410，7-14（1986）

10) 安久津久ら：“木質飼料の製造に関する研究（第2報）—適用樹種の拡大について—”，林産試月報，No.413，14-20（1986）

11) 斎藤直人ら：“木質飼料の製造に関する研究（第3報）—蒸煮による抽出と消化性の影響—”，林産試験場報，1巻3号，18-22（1987）

12) 遠藤展ら：“木質飼料の製造に関する研究（第4報）—製造条件に関する研究—”，林産試験場報，1巻6号，27-33（1987）

13) 農林水産省：“落葉広葉樹による乳牛および肉用牛の飼養マニュアル”，東京，農林水産技術会議事務局研究開発課，1988

14) 道後泰治：“肉牛大辞典”，農文協，一般社団法人農林漁村文化協会，東京，2013，pp.631-634

15) 本田収，越島哲夫：“ヘミセルロース”，木材化学（上），共立出版株式会社，東京，1968，pp.239-316

16) 折橋健，檜山亮：“ヤナギバイオマスからのバイオエタノール生産に関する研究（第2報） 蒸煮，温水処理したヤナギバイオマスのフラスコレベルでの酵素糖化”，林産試験場報，544号，14-19

17) 堀口健一，高橋敏能：“第一胃刺激用具を用いた高品質肉牛生産”，肉用牛研究会報，74号，51-53（2003）

—利用部 微生物グループ—

—*1：利用部 バイオマスグループ—

（原稿受理：17.10.23）