



Skogsprodukter som idisslarfoder vid bristsituationer med fokus på mjölkcor

Wood as ruminant feed in shortage situations, focusing on dairy cows

Ida Milton

EX0865 Självständigt arbete i husdjursvetenskap, G2E 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)
Agronomprogrammet - Husdjur
Uppsala 2020



Skogsprodukter som idisslarfoder vid bristsituationer med fokus på mjölkkor

Wood as ruminant feed in shortage situations, focusing on dairy cows

Ida Milton

Handledare: Torsten Eriksson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Uppsala, Husdjurens utfodring och vård (HUV)
Examinator: Rolf Spörndly, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Uppsala, Husdjurens utfodring och vård (HUV)

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap
Kurskod: EX0865
Program/utbildning: Agronomprogrammet - Husdjur
Kursansvarig inst.: Husdjurens utfodring och vård (HUV)

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2020
Omslagsbild: Ida Milton

Nyckelord: Skogsprodukter, skogsråvaror, smältbarhet, grovfoder, idisslare, mjölkkor, mjölkavkastning, förbehandling, processteknik
Key words: Wood-based residues, wood, digestibility, roughage, ruminants, dairy cows, milk yield, pretreatments, processing

Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
Inst. husdjurens utfodring och vård (HUV)

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Mer information om publicering och arkivering går att hitta här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Träd innehåller cellulosa och hemicellulosa, vilket idisslare kan bryta ned och utvinna energi ifrån. Skogsprodukter/skogsråvaror så som träflis, spån, bark och pappersmassa har därför god potential till att fungera som grovfoder för idisslare. Problemet är att trä har låg smältbarhet på grund av ett ligninkomplex, vilket gör kolhydraterna otillgängliga för idisslare. För att öka smältbarheten krävs behandling med utvalda processtekniker, vilka i vissa fall kan öka smältbarheten till samma nivåer som traditionella grovfoder. De processtekniker som kan vara aktuella är behandling med kemiska medel som natriumhydroxid, ammoniak eller svaveldioxid och biologisk inokulation med mikroorganismer, samt fysikaliska metoder så som finfördelning, högt tryck, ångbehandling och olika typer av strålning.

Aspspån har tidigare visats fungera bra i foderstater till mjölkkor med hög kraftfoderandel, men produktionsnivån för dåtidens mjölkkor var betydligt lägre jämfört med idag. I nyligen gjorda studier har dock utfodring av tallbark till högvastande kor lett till minskad mjölkproduktion, vilket beror på lågt energiintag. Skogsråvaror har dock varit positivt för att bibehålla fetthalten i mjölken och upprätthålla vomfunktion. Mer forskning behövs för att förbättra skogsråvarors potential som grovfoder till dagens högvastande mjölkkor. Vid bristsituationer kan det dock vara ett lämpligt substitut till grovfoder, då inga mer negativa effekter än minskad mjölkproduktion har setts.

Abstract

Wood consist of cellulose and hemicellulose, which ruminants can decompose and utilize energy from. For that reason, wood and wood-based residues as chips, sawdust, bark and pulp, have a great potential to work as a roughage replacement for ruminants. The wood components are highly indigestible because of a lignin bound complex, which makes the carbohydrates unavailable to ruminants. Special pre-treatments can be used to improve the digestibility and some of them can even improve the digestibility similar to a traditional roughage. Suitable pre-treatments for wood are chemical agents, like sodium hydroxide, ammonia, or sulphur dioxide and biological treatments with microorganisms as well as physical treatments like fine grinding, high pressure, steam-treatment, and different kinds of radiation.

Aspen sawdust as a roughage replacement in high concentrate dairy rations, has in previous work been successful, but the milk yield in these studies was considerably lower compared to today. In recent studies, pine bark meal in rations for high yielding cows has led to a decrease in milk yield, which is a consequence of lower energy intake. However, in many cases wood-based residues has shown positive effects to preserve milk fat content and maintain rumen functions. More research is required to develop wooden products potential as a roughage substitute for today's high-yielding cows. In shortage situations it could be a suitable substitute to roughage, since no other negative effects, than decreased milk yield has been found.

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
1.1. Syfte och frågeställningar	6
2. Litteraturgenomgång	7
2.1. Skogsprodukter som foder	7
2.1.1. Smältbarheten av skogsprodukter	7
2.1.2. Utfodring av skogsprodukter till mjölkkor och påverkan på mjölkproduktionen	8
2.1.3. Påverkan på vommen	9
2.2. Processtekniker	9
2.2.1. Kemiska metoder	9
2.2.2. Biologiska metoder	12
2.2.3. Fysikaliska metoder	12
3. Diskussion	15
3.1. Substitut till grovfoder	15
3.2. Skogsprodukters potential som grovfoder till mjölkkor	16
3.3. Möjligheter för olika skogsprodukter och processtekniker vid bristsituationer 17	
4. Slutsats	20
Referenser	21

1. Inledning

Under torkan sommaren 2018 drabbades många lantbrukare av grovfoderbrist på grund av dåliga skördar. Detta gjorde att kunskap om alternativa fodermedel började efterfrågas. Ett sådant fodermedel skulle kunna bestå av skogsprodukter, vilket kan bli aktuellt som grovfoder vid bristsituationer till mjölkkor. Träd består till stor del av cellulosa och hemicellulosa, vilket idisslare kan bryta ned och utvinna energi ifrån. Smältbarheten är dock begränsad på grund av starka kemiska bindningar mellan kolhydraterna och ett ligninkomplex, vilket hämmar enzymatisk och mikrobiell nedbrytning i vommen (Huber *et al.*, 1983; McDonald *et al.*, 2010). Med processtekniker kan bindningarna brytas och på så sätt kan det nutritionella värdet av skogsprodukter uppgraderas (Huber *et al.*, 1983). Det kan göras med kemiska, biologiska och fysikaliska metoder.

1.1. Syfte och frågeställningar

Syftet med den här litteraturstudien är att ur biologisk synpunkt undersöka användbarheten av skogsprodukter som fodermedel för idisslare, främst mjölkkor. Det vill säga hur bra mjölkkor kan utnyttja olika skogsprodukter och hur de kan behandlas för att öka smältbarheten med utvalda processtekniker. I arbetet kommer följande frågeställningar att besvaras:

- Hur påverkar utfodring av skogsprodukter mjölkornas produktion och hälsa, och i vilken utsträckning kan det ersätta traditionella fodermedel till mjölkkor?
- Vilka behandlingsmetoder finns för att förbättra smältbarheten hos skogsprodukter och hur hög kan smältbarheten då bli?

2. Litteraturgenomgång

2.1. Skogsprodukter som foder

Skogsråvaror eller skogsprodukter som kan användas till foder är biprodukter från timmer- och massaindustrin, så som träflis, spån, bark och pappersmassa (Baker *et al.*, 1975; Huber *et al.*, 1983). Träd består till 70 % av polysackariderna cellulosa och hemicellulosa, vilka är strukturella kolhydrater som idisslare har förmåga att bryta ned och utvinna energi ifrån (Baker *et al.*, 1975). Ett stort problem är dock att cellulosan och hemicellulosan i trä och bark till stor del är otillgängliga för idisslare på grund av bindningar till ett ligninkomplex (Baker *et al.*, 1975). Cellulosa består av två β -D-glukosenheter som sitter samman i β -1,4 bindning och hemicellulosa består i huvudsak av xylan länkat i β -1,4 bindning (McDonald *et al.*, 2010). Lignin är inte en kolhydrat utan består av olika typer av fenylpropan, som binder till cellulosa och hemicellulosa, vilket hindrar nedbrytning (McDonald *et al.*, 2010). För att öka tillgängligheten av kolhydraterna måste biprodukterna behandlas så att bindningen till lignin bryts (Baker *et al.*, 1975).

2.1.1. Smältbarheten av skogsprodukter

In vitro smältbarheten i vomvätska av torrsubstansen för diverse obehandlade träslag ligger mellan 2-35 % (Millett *et al.*, 1970). Generellt är lövträd mer smältbara än barrträd (Millett *et al.*, 1970, 1973), vilket kan bero på att lövträd innehåller mindre lignin eller att uppbyggnaden av lignin är olika (Baker, 1973). Bark, grenar och löv har också högre smältbarhet än veden (Millett *et al.*, 1970). Asp (*Populus tremula*) är ett av de träslag som är lämpliga att använda som fodermedel på grund av hög in vitro smältbarhet av torrsubstansen, som vid obehandlat skick är 35 % för veden och 50 % för barken (Baker *et al.*, 1975). Obehandlad ek (*Quercus*) och björk (*Betula*) har något lägre in vitro smältbarhet av torrsubstansen, runt 5 % (Baker *et al.*, 1975; Takigawa, 1987) och gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) har en ännu lägre smältbarhet, mellan 0–5 % av torrsubstansen (Baker *et al.*, 1975). Jämförelsevis är smältbarheten av organisk substans, (OMD) för vanliga vallfoder som gräs- och majsensilage 66-76 % respektive 75 % (Volden, 2011).

2.1.2. Utfodring av skogsprodukter till mjölkkor och påverkan på mjölkproduktionen

I tidigare studier av Satter *et al.*, (1970) och Satter *et al.*, (1973) har obehandlad aspspån fungerat som delvis substitut till hö, i foderstater till mjölkkor med hög kraftfoderandel, med en avkastning på 20 kg mjölk/dag. Olika nivåer av aspspån blandades då in i pelletsen, som bestod av bland annat majs mjöl, havre och sojammjöl, i syfte att ersätta hö som grovfoder. Ingen signifikant skillnad i mjölkproduktion sågs och en inblandning upp till 30 % aspspån visade sig vara effektiv för att bibehålla fetthalten i mjölken. Satter *et al.*, (1973) rekommenderar dock en inblandning på 10-15 % aspspån, då 30 % kan vara svårt att smälta för de högavkastande mjölkorna. Nishimura *et al.*, (2019) blandade istället in 12 % pappersmassa för att delvis ersätta majs kross i en fullfoderblandning, bestående av bland annat majsensilage, lusernhö och havrehö, vilket varken påverkade torrsubstansintaget, smältbarheten eller den dagliga produktionen på 24 kg mjölk/dag. De mjölkkor som fick pappersmassa i sin foderstat påvisade även en högre fetthalt i mjölken än de som inte fick pappersmassa. Högre fetthalt kan bero på att korna ägnar en större del av sin tid åt idissling för att smälta de strukturella kolhydraterna som finns i skogsråvaror (Satter *et al.*, 1973). Fisher, (1980) jämförde istället hur mjölkproduktionen hos kor påverkades, då en foderstat bestående av majsensilage ersattes med ett fullfoder innehållande majsensilage, sojammjöl och ångbehandlat aspspån. En inblandning upp till 20 % aspspån utfodrades, utan att påverka den dagliga mjölkproduktionen på 26 kg/dag, men i detta fall tenderade mjölkens fett- och proteinhalt till att minska. Nyligen gjorda studier har däremot visat att skogsprodukter i foderstater för högavkastande mjölkkor (38 kg mjölk/dag) kan leda till minskad mjölkproduktion (Savonen *et al.*, 2019; Kairenius *et al.*, 2020). Skogsråvaror har generellt gett en lägre mjölkavkastning när det till viss del ersatt korn i foderstaterna (Tesfa *et al.*, 1992; Savonen *et al.*, 2019; Kairenius *et al.*, 2020). Kairenius *et al.* (2020) ersatte exempelvis korn med olika inblandningar av tallbark, vilket gav ett ökat torrsubstansintag, men minskad produktion av mjölk och energikorrigerad mjölk (ECM). Savonen *et al.* (2019) använde istället mikrokristallin cellulosa (MCC), som delvis ersatte korn i en fullfoderblandning, vilket resulterade i lägre produktion av mjölk, ECM, fett och protein. Björk behandlad med ångexplosion, har också ersatt korn i foderstater, vilket har minskat produktionen från 24 till 22–23 kg mjölk/dag (Tesfa *et al.*, 1992). Däremot har inte utfodring av skogsprodukter visat någon påverkan på kornas kroppsvikt, hull eller reproduktion (Baker *et al.*, 1975; Kairenius *et al.*, 2020).

Minskad mjölkproduktion vid utfodring av skogsråvaror beror på lägre energiintag (Savonen *et al.*, 2019; Kairenius *et al.*, 2020). Energiintaget minskar med högt fiberinnehåll, det vill säga låg smältbarhet (Mertens, 1997). I vissa fall har man dock sett att djuren kompenserar lågt energiintag genom att äta mer, vilket i sin tur leder till längre ättid och mer tid till idissling (Satter *et al.*, 1970, 1973).

Det kan också leda till sämre fodereffektivitet (Kairenius *et al.*, 2020). Det är däremot inte möjligt för högvastande mjölkkor, att öka sitt foderintag, då de troligen inte kommer att hinna äta den mängd som de behöver (Satter *et al.*, 1973; Kairenius *et al.*, 2020).

2.1.3. Påverkan på vommen

Eftersom skogsprodukter innehåller strukturella kolhydrater, det vill säga fiber, kan de vara ett substitut till grovfoder för att stimulera och upprätthålla vomfunktion (Baker *et al.*, 1975). Fiberhalten är viktig för att stimulera nedbrytning i vommen och idissling, vilket reglerar pH-värdet i vommen, ättiden och mjölkens fetthalt (Mertens, 1997). Skogsprodukter ger därför längre retentionstid, samt mer tid åt bearbetning och idissling (Baker *et al.*, 1975). Det är viktigt att idissling och salivproduktion stimuleras, då saliv fungerar som buffert och neutraliserar vommen (Krause *et al.*, 2002). En foderstat med för lågt fiberinnehåll kan ge en sur vom med lågt pH och kan i värsta fall leda till vomacidosis. Skogsprodukter kan verka förebyggande mot vomacidosis genom att stimulera vommen på grund av sitt höga fiberinnehåll, och på så sätt upprätthålla en god vomhälsa (Baker *et al.*, 1975; Savonen *et al.*, 2019). Exempelvis har pappersmassa visat sig stimulera fermentation i vommen och förebygga subakut vomacidosis (Nishimura *et al.*, 2019). Även MCC har visat sig kunna ha en probiotisk effekt och verka förebyggande mot acidosis (Savonen *et al.*, 2019).

2.2. Processtekniker

För att idisslare ska kunna tillgodogöra sig skogsråvaror som foder måste smältbarheten förbättras, vilket kan göras med förbehandling med kemiska, biologiska och fysikaliska metoder (Baker *et al.*, 1975; Näsi, 1984). Förbehandlingens uppgift är att bryta bindningar mellan lignin, hemicellulosa och cellulosa, och på så sätt uppgradera skogsråvaror som blivande fodermedel (Huber *et al.*, 1983). Behandlingen förbättrar substratens vidfästningsyta som blir tillgänglig för enzymatisk nedbrytning, vilket är en avgörande faktor för hur bra behandlingsmetoden är (Grethlein, 1984).

2.2.1. Kemiska metoder

Behandling med basiska medel som natriumhydroxid och ammoniak för att öka smältbarheten av skogsprodukter har visat sig vara effektivt (Huber *et al.*, 1983). Vid behandling med baser sväller träets fiber och genom hydrolys bryts esterbindningar mellan dem, och gör substratet mer tillgängligt för nedbrytning av vommens mikrober och enzymer (Baker *et al.*, 1975). Ammoniakbehandling är främst effektiv vid träslag med lågt innehåll av lignin och högt innehåll av

hemicellulosa, det vill säga lövträd (Sakuragi *et al.*, 2018). Ammoniakbehandling av asp under högt tryck, 300 psig (motsvarar 2,068 Mpa) i 35 °C i 60 minuter minskade exempelvis lignininnehållet med 30 % i kvistar och 20 % i bark, vilket förbättrade smältbarheten i substraten (Tengerdy & Nagy, 1988). Baker *et al.* (1975) rapporterar om att in vitro smältbarheten av torrsubstansen för aspspån ökade från 33 till 51 % med en förbehandling av ammoniak (Tabell 1). Efter behandling är en del av ammoniaken bunden i det behandlade träet och fungerar på så sätt som kvävekälla när det används som foder (Tengerdy & Nagy, 1988). Ammoniaken förser mikroberna med kväve till mikrobproteinsyntesen i vommen (Huber *et al.*, 1983). Råprotein-halten i asp ökade exempelvis från att vara näst intill helt obefintlig (<0,01 %) till 12-20 % vid behandling av ammoniak (Tengerdy & Nagy, 1988). I ammoniakbehandlad halm har det dock påvisats att kväveinnehållet minskar med tiden, beroende på hur halmen lagrats och koncentrationen ammoniak som tillsats vid behandling (Schneider & Flachowsky 1990).

Natriumhydroxidbehandling har påvisat liknande smältbarheter som ammoniakbehandling av skogsråvaror (Baker *et al.* 1975). I en studie av Feist *et al.* (1970) så behandlades flertalet sågspån med natriumhydroxid och det sågspån som fick högst smältbarhet var aspspån (Tabell 1), vilket kan bero på att asp har förhållandevis lågt lignininnehåll. Vid natriumhydroxidbehandling tenderar också askhalten att öka, vilket kan bero på den mängd natrium som tillsätts. Det är viktigt att ta hänsyn till, eftersom en högre askhalt minskar mängden smältbar organisk substans (McDonald *et al.*, 2010). Det gör att energiinnehållet inte ökar lika mycket som det skulle kunna ha gjort om askhalten förblev oförändrad. Askhalten i trä är generellt låg. För aspträ är den ca 0,6 % av torrsubstansen (motsvarar 6 g/kg ts) (Baker *et al.*, 1975), vilket är betydligt lägre än gräsensilage som har en askhalt på ca 71 g/kg ts (Volden, 2011). I en studie av (Wanapat *et al.*, 1985) så var askhalten för obehandlad halm 40 g/kg ts och för natriumhydroxidbehandlad halm 99 g/kg ts. Smältbarheten av organisk substans ökade då från 52 % till 72 %. För att undvika effekten av varierande askhalt när smältbarheten för olika behandlingar jämförs bör man därför titta på organisk substans och inte torrsubstansen (Wanapat *et al.*, 1985)

Förbehandling med olika syror som till exempel svavel- eller fosforsyra kan också vara effektiva för att lösa upp strukturella kolhydrater (Jönsson & Martín, 2016). Um *et al.* (2003) behandlade exempelvis skörderester från majs med svavelsyra med en koncentration på 0–2 % i 121 °C, vilket visade sig öka den enzymatiska nedbrytningen av cellulosa med mer än 80 %. Baker *et al.* (1975) behandlade sågspån från olika träslag med svaveldioxid, vilket ökade in vitro smältbarheten med mer än 50 % (Tabell 1). Likande resultat sågs för spån av asp, björk och ek, men spån av gran och tall påvisade en lägre in vitro smältbarhet, vilket kan bero på ett högre lignininnehåll i barrträd (Baker *et al.*, 1975). En annan typ av kemisk metod som kan vara lämplig för att öka smältbarheten är pappersmassatillverkning, då pappersmassa ofta har en hög in vitro smältbarhet

mellan 45-60 % av torrsubstansen (Millett *et al.*, 1973). Pappersmassatillverkning med sulfat har dock uppnått en ännu högre smältbarhet vid behandling av ek/björkflis, som ökade från 15 till 90 % av torrsubstansen (Tabell 1). Smältbarheten beror framförallt på hur mycket lignin som tas bort under processen (Baker, 1973)

Tabell 1. *In vitro* smältbarheten på torrsusbstansbasis av diverse skogsprodukter, innan och efter behandling

Behandling	Material	^a Smältbarhet, obehandlad (%)	^a Smältbarhet, behandlad (%)	Referens
<i>Kemiska metoder</i>				
Flytande NH ₃ under 1 h i 30 °C	Asp, sågspån	33	51	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
0,5–1 % NaOH under 1–4 h i rumstemperatur	Asp, spån	35	50	(Feist <i>et al.</i> , 1970)
SO ₂ i 2–3 h i 120 °C, efterbehandling med NaOH till pH 7	Gran, tall, sågspån	0	50	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
SO ₂ i 2–3 h i 120 °C, efterbehandling med NaOH till pH 7	Asp, björk, ek, sågspån	9	63	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
Pappersmassatillverkning, sulfat, 170 °C.	Ek, Björk (pappersmassa)	15	90	(Baker, 1973)
<i>Biologiska metoder</i>				
Vitrötesvamp, <i>Polyporus berkeleyi</i> , fermentering i 80 d.	Asp	46	77	(Kirk & Moore, 2007)
20 g spån fermenterades med 1 ml mycellösning, <i>Trametes versicolor</i> , 3 v tid.	Gran, spån	8	17	(Asiegbu <i>et al.</i> , 1996)
20 g spån fermenterades med 1 ml mycellösning, <i>Pleurotus sajor-caju</i> , <i>Phanerochaete chrysosporium</i> , <i>Trametes versicolor</i> , 3 v tid.	Gran, spån	8	38	(Asiegbu <i>et al.</i> , 1996)
<i>Fysikaliska metoder</i>				
Mikrovågor, 750 w, 2,45 GHz mikrovågsugn, 80 s, maldes till 1 mm i hammarkvarn.	Lusernhö,	59	68	(Brodie <i>et al.</i> , 2012)
Gammastrålning, 350 kGy, 8,15 Gy/min, 24 °C	bok/poppel, ströbädd	80	90	(Al-Masri & Zarkawi, 1999)
Elektronstrålning, 10 ⁸ rep	Asp	55	78	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
Elektronstrålning, 10 ⁸ rep	Gran	3	14	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
Malning, kulkvarn, 240 min, <1µm	Asp	30	80	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
Malning, kulkvarn, 240 min, <1µm	Ek	4	67	(Baker <i>et al.</i> , 1975)
Ångbehandling, 150–200 °C, 20 min, under tryck, 10kg/cm ² (motsvarar 0,981 Mpa)	Björk (ved)	3	65	(Takigawa, 1987)
Ångbehandling, 150–200 °C, 20 min, 10 kg/cm ² (motsvarar 0,981 Mpa)	Björk, bark	9	19	(Takigawa, 1987)
Ångexplosion under tryck 500 psig (motsvarar 3,447 Mpa) 1–5 min, 218–243 °C.	Tall, sågspån	4	20	(Aguilera & San Martin, 1985).
Ångexplosion med svavelsyra, under tryck 500 psig (motsvarar 3,447 Mpa), 5 min. 218–243 °C.	Tall, sågspån	4	29	(Aguilera & San Martin, 1985).

^a *in vitro* smältbarheten med vomvätska av torrsusbstansen

2.2.2. Biologiska metoder

Förbehandling med inokulation av mikroorganismer är ett miljövänligt alternativ för att förbättra smältbarheten genom att bryta ned lignin. Biologisk behandling kan ta lång tid, ibland flera veckor och det kan ge låg avkastning på grund av bortfall av kolhydrater, då mikroorganismerna även tenderar till att bryta ned cellulosa och hemicellulosa (Saha *et al.*, 2016). Röttsvampar eller basidsvampar, så som vitrötesvampar har förmåga att bryta ned cellulosa, hemicellulosa och lignin (Nationalencyklopedin, 2020b). De har använts i många försök för att öka träets tillgängliga yta för enzymatisk hydrolys (Chang, 1987; Kirk & Moore, 2007). Generellt så är smältbarheten mellan 30–60 % av torrsubstansen för olika träd behandlade med vitrötesvampar (Chang, 1987). Asp som behandlades med olika vitrötesvampar hade i ett försök av Kirk & Moore (2007) en *in vitro* smältbarhet runt 60 % av torrsubstansen, högst smältbarhet fick asp behandlad med *Polyporus berkeleyi*, på ca 77 % av torrsubstansen (Tabell 1). Asiegbu *et al.*, (1996) använde tre olika svampkulturer (*Pleurotus sajor-caju*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*) för att bryta ned lignin i sågspån av gran och mäta *in vitro* smältbarheten. Sågspån som behandlades med tre svampkulturer samtidigt förbättrade smältbarheten i högre grad än behandling av monokultur (Tabell 1). För att optimera smältbarheten bör man anpassa typen av mikroorganism efter vad det är för träslag (Kirk & Moore, 2007).

2.2.3. Fysikaliska metoder

Fysikaliska metoder som kan vara lämpliga att använda som förbehandling av skogsråvaror är exempelvis finfördelning, hydrostatiskt tryck, uppvärmning, ångbehandling och olika typer av strålning. I de flesta fall då skogsråvaror har utfodrats är det finfördelat, vilket även görs till fördel kombinerat med andra processtekniker. Ett exempel på extrem finfördelning är malning med kulkvarn, vilket har gjorts i laboratorieskala (Baker *et al.*, 1975). *In vitro* smältbarheten av asp och ek ökade då från 30 till 80 % respektive 4 till 67 % (Tabell 1). Partikelstorleken får dock inte bli för liten, då det kan leda till snabbare retentionstid genom vommen, vilket leder till en minskad smältbarhet (Baker *et al.*, 1975; McDonald *et al.*, 2010).

Högt hydrostatiskt tryck kan vara en potentiell förbehandling av skogsprodukter. Castañón-Rodríguez *et al.* (2013) behandlade exempelvis sockerrörsrester med ett hydrostatiskt tryck på 400–800 MPa tillsammans med olika kemiska medel. Den enzymatiska nedbrytningen av cellulase enzymen, novozyme och celluclast ökade, då lignin-cellulosakomplex bröts vid behandlingen. Hydrostatiskt tryck i

kombination med natriumhydroxid var den mest effektiva metoden då ligninfraktionen minskade med 54 % (Castañón-Rodríguez *et al.*, 2013). Metoden kan också ge reducerad partikelstorlek, vilket i sin tur förbättrar enzymatisk nedbrytning (Jin *et al.*, 2015). Ångbehandling är en annan lämplig förbehandling, vilket innebär att substratet värms upp till en temperatur mellan 150-200 °C under högt tryck, samtidigt som träets fibrer sväller (Takigawa, 1987). Ångexplosion är ytterligare en typ av ångbehandling, vilket innebär att materialet ångas med en temperatur över 220 °C med ännu högre tryck, under kortare tid (Takigawa, 1987). Själva explosionen sker då trycket plötsligt släpps medan träet är exponerat för het ånga (Aguilera & San Martin 1985). Exempelvis så ökade in vitro smältbarheten av björk från 3 till 65 % med ångbehandling, och för ångexplosionsbehandlad tall ökade smältbarheten från 4 till 20 %, samt i kombination med svavelsyra upp till 29 % (Tabell 1).

Strålning är en relativt ny och modern processteknik som idag används inom produktion av biobränsle, men som i framtiden även kan bli aktuell som förbehandling av skogsråvaror. Strålning som kan vara lämplig att använda är mikrovågor, gammastrålning och elektronstrålning (Hassan *et al.*, 2018). Mikrovågor är elektromagnetisk strålning, där våglängderna kan vara allt från 1 mm till 1 m (Nationalencyklopedin, 2020a). De värmer upp materialet snabbt och är därför en energieffektiv metod (Dai *et al.*, 2017). Det har påvisats att förbehandling med mikrovågor av lusern hö har förbättrat in vitro smältbarheten och att baggar som ätit fodret har vuxit bättre än de som åt obehandlat hö (Tabell 1; Brodie *et al.*, 2012). Hur bra metoden fungerar beror på hur väl substratet är på att lagra elektromagnetisk strålning och omvandla det till värme (Li *et al.*, 2016). Skogsprodukter är inte ett sådant material, och därför kan uppvärmningen förbättras genom att substratet blöts ned eller att oorganiskt material tillsätts för att öka effektiviteten (Li *et al.*, 2016). Gammastrålning är en joniserande strålning av fotoner som kan tänkas fungera som förbehandling. γ -strålning med en styrka på 1200 kGy har visat sig vara en effektiv metod för att bryta bindningar av lignin till cellulosa och hemicellulosa i rapshalm, och därmed förbättra den tillgängliga ytan på materialet (Zhang *et al.*, 2016). Al-Masri & Zarkawi (1999) undersökte ströbädden från ett kycklingstall, som potentiellt foder till idisslare. Ströbädden var av poppel/bokspån och behandlades med γ -strålning, vilket förbättrade smältbarheten och utnyttjandet av det som fodermedel (Tabell 1). I detta fall hade γ -strålning även en desinficerande effekt. Elektronstrålning, vilket också är joniserande strålning kan också vara ett alternativ för att öka smältbarheten av skogsråvaror. Det innebär att elektroner av hög energi används för att skapa radikala reaktioner för att bryta tvärbindingar med lignin (Leskinen *et al.*, 2017). Elektronstrålning med en styrka på 10^8 rep (motsvarar 930 kGy) ökade in vitro smältbarheten med goda resultat (Tabell 1). Vid högre styrka kan det finnas risk för att cellulosa och hemicellulosa förstörs (Baker *et al.*, 1975).

Andra metoder som kan bli aktuella för att förbättra smältbarheten av skogsprodukter i framtiden är pulserande elektriskt fält (PEF) och ultraljud. PEF går ut på att leda hög spänning genom ett material med hjälp av elektroder (Kumar *et al.*, 2011), vilket är en miljövänlig metod som tidigare har använts som förbehandling av biomassa (Barba *et al.*, 2015). PEF har visat sig öka porositeten i träflis, så att det blir mer tillgängligt för enzymatisk nedbrytning (Kumar *et al.*, 2011). Ultraljud kan användas då det har en förmåga att bryta vätebindningar i lignin-cellulosakomplex och minska kristallstruktur av cellulosa (Sun *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008). Ultraljud har tidigare fördelaktigt använts vid behandling av sockerrörsrester och i kombination med kemisk behandling kan metoden bli ännu effektivare (Zhang *et al.*, 2008). Vid behandling av 1g sockerrörsrester användes exempelvis ultraljud (400 W, 24 kHz) i kombination med ammoniak vilket resulterade i en delignifiering på 58 % (Ramadoss & Muthukumar, 2014).

3. Diskussion

3.1. Substitut till grovfoder

Obehandlade skogsprodukter har generellt låg smältbarhet och för att det ska kunna utfodras till mjölkkor måste smältbarheten förbättras med hjälp av en lämplig processteknik. Behandlingsmetoden måste kunna bryta lignin-cellulosakomplex för att göra cellulosa och hemicellulosa tillgänglig för mikrobiell och enzymatisk nedbrytning (Huber *et al.*, 1983). Utifrån denna litteraturstudie har asp, björk och ek visat liknande smältbarheter efter behandling, vilket i vissa fall är jämförbart med högkvalitativa grovfoder. Exempelvis har ammoniak- och natriumhydroxidbehandling av aspspån uppnått en smältbarhet på 50 %, elektronstrålning 78 % och kraftigt malning en smältbarhet på 80 % av torrsubstansen (Tabell 1). Pappersmassa av ek/björkflis har också uppnått en smältbarhet på 90 % av torrsubstansen (Tabell 1), vilket var den behandlingsmetod som uppnådde högst smältbarhet i denna litteraturstudie. Vissa behandlade skogsprodukter kan därför jämföras med grovfoder som gräsensilage och majs, vilka har en in vivo-smältbarhet (OMD) på 66-76 % respektive 75 % (Volden, 2011). En annan lämplig jämförelse kan göras mellan skogsprodukter och halm, då halm också har ett högt innehåll av lignin. Halm har låg in vitro smältbarhet på 40 % av torrsubstansen, men som kan öka till ca 50-70 % vid ammoniakbehandling (McDonald *et al.*, 2010). Jag anser därför att det finns god potential för att skogsprodukter ska kunna fungera som ett substitut till grovfoder, under förutsättning att en optimal behandlingsmetod används. Vilken behandlingsmetod som fungerar bäst beror främst på vad det är för typ av träslag och innehåll av lignin (Sakuragi *et al.*, 2018). För att optimera smältbarheten bör behandlingsmetod därför väljas efter vad det är för sorts träslag som ska behandlas. För att uppnå en så hög smältbarhet som möjligt anser jag att processtekniker bör kombineras. Finfördelning och kemisk behandling är exempel på sådana metoder som till fördel används ihop med andra processtekniker. En kombination av flera processtekniker, ökar nedbrytningen av lignin-cellulosakomplex och tillgängligheten för enzymatisk nedbrytning.

3.2. Skogsprodukters potential som grovfoder till mjölkkor

Skogsprodukter har till viss del fungerat som fodermedel i foderstater till mjölkkor med låg till måttlig produktionsnivå. Inblandning av aspspan i pellets, i foderstater med hög kraftfoderandel har visat sig gynna mjölkproduktion, mjölkens fetthalt och även vomfunktion (Satter *et al.*, 1970, 1973). Nyligen gjorda studier på högproducerande mjölkkor där tallbark och MCC blandats in i koncentrat respektive fullfoder, har det dock lett till minskad produktion av mjölk, ECM, fett och protein (Savonen *et al.*, 2019; Kairenius *et al.*, 2020). Det som framförallt skiljer sig mellan studierna gjorda på 70-talet och idag är mjölkavkastningen. Dagens mjölkkor har betydligt högre avkastning, vilket gör att det ställs högre krav på fodret, och energi- och proteininnehåll. Problemet med framförallt obehandlade skogsprodukter är att den låga smältbarheten leder till ett lägre energiintag, vilket i sin tur leder till en lägre mjölkproduktion (Savonen *et al.*, 2019; Kairenius *et al.*, 2020). Eftersom högmjölkkande kor har begränsad möjlighet att öka sitt foderintag för att kompensera för lågt energiintag, skulle möjligtvis skogsprodukter lämpa sig bättre som foder till en lågmjölkkande ko, sinko eller lågdräktig diko. Utifrån denna litteraturstudie drar jag därför slutsatsen att skogsprodukter inte bör utfodras som enda grovfoder till mjölkkor, utan främst i syfte att dryga ut befintligt grovfoder vid kritiska situationer. Vid bristsituationer kan dock läget vara annorlunda och det blir en ekonomisk fråga, men även en fråga om gårdens produktion kan fortgå. En viktig aspekt som (Kairenius *et al.*, 2020) tar upp i sin studie är att det kan vara lönsammare att utfodra mjölkorna med skogsprodukter, om kostnaden av att köpa in vanligt grovfoder är högre än intäkten för den producerade mjölken.

En orsak till lägre mjölkavkastning skulle kunna bero på att smältbarheten i grovfodret sänks med en inblandning av skogsprodukter. Jag anser att det kan vara fallet för Kairenius *et al.*, (2020), då gräsensilaget hade en in vitro smältbarhet på 69 % av torrsubstansen och tallbarken en smältbarhet på 33 % av torrsubstansen. I studier då mjölkavkastningen varit oförändrad har smältbarheten för fullfoder med och utan inblandning av skogsprodukter varit näst intill lika (Nishimura *et al.*, 2019; Fisher, 1980). I studien av Nishimura *et al.*, (2019) var exempelvis smältbarheten för fullfoder utan inblandning av pappersmassa 63 % av torrsubstansen och för fullfoder med inblandning av pappersmassa 65 % av torrsubstansen. Utifrån detta drar jag slutsatsen att ett foderbyte, från ett foder med hög smältbarhet till låg smältbarhet kan leda till minskad mjölkproduktion. Jag anser även att val av träslag är en påverkande faktor för hur hög smältbarheten blir i fodret. Tallbark bör inte rekommenderas som fodermedel till mjölkkor, då det har högt innehåll av lignin och lägre smältbarhet.

3.3. Möjligheter för olika skogsprodukter och processtekniker vid bristsituationer

En bristsituation uppkommer ofta oplanerat och det gäller att snabbt få fram foder till sina djur. Det effektivaste sättet att göra det är genom att skörda sly, grenar, löv och liknande direkt från skogen. Denna litteraturstudie har dock behandlat skogsprodukter som träflis, sågspån, bark och pappersmassa vilka också skulle kunna bli aktuella som foder vid bristsituationer.

I denna litteraturstudie har lövträd visat sig ha högre smältbarhet än barrträd. Lövträd innehåller mindre lignin än barrträd och har därför en högre smältbarhet, vilket gör det lämpligare som foder (Baker, 1973). Jag anser att asp är det lämpligaste träslaget att använda vid en bristsituation, om inte förbehandling av andra träslag är möjligt, eftersom asp har en smältbarhet på 35 % av torrsubstansen i obehandlat skick, vilket är högre än för övriga obehandlade träslag (Baker *et al.*, 1975). Utfodring av aspspån till mjölkkor, har inte heller påvisat någon signifikant skillnad på mjölkproduktionen (Satter *et al.*, 1970, 1973; Fisher, 1980), vilket stärker argumentet för dess användning som foder. Vid en bristsituation kan man därför tänka sig att aspspån skulle kunna användas för att dryga ut grovfodret, förslagsvis genom att blanda i det i fullfoder. Jag har uppfattningen om att många använder spån som strömedel i sina djurstallar, och därför är det ett medel som redan finns tillgängligt på många gårdar, och kan därför utnyttjas. Gården kan även ha fördelen att vara belägen i närheten av ett sågverk, och kan då hämta spån där om en bristsituation uppstår. Pappersmassa skulle i teorin också kunna levereras till gården, för att dryga ut befintligt grovfoder, i exempelvis fullfoder. Pappersmassa är fördelaktigt då det har en hög *in vitro* smältbarhet, mellan 45-60 % av torrsubstansen (Millett *et al.*, 1973). Jag kan dock tänka mig att pappersmassa är dyrare att köpa in jämfört med sågspån. Eftersom sågspån är en restprodukt från sågat virke, och pappersmassa är en produkt som ska gå vidare i ytterligare produktionsled i syfte att tillverka papper. Jag tror att träflis och bark kan bli svårare att använda då de är i behov av någon typ av finfördelning innan de kan användas.

Kemiska metoder har visat goda resultat för att förbättra smältbarheten av skogsprodukter. Det behövs dock mer forskning på området för att säkerställa en effektiv och lönsam behandling. Ammoniak och natriumhydroxidbehandling har visat liknande resultat för att öka smältbarheten (Tabell 1) och kan därför vara lämpliga att använda. En fördel med ammoniakbehandling är att en del av ammoniaken stannar kvar i substratet efter behandling och kan då fungera som proteinkälla (Tengerdy & Nagy, 1988). I ammoniakbehandlad halm har det dock påvisats att kväveinnehållet minskar efter behandling (Schneider & Flachowsky 1990). Min hypotes är därför att det krävs någon typ av lagringsmetod för att ammoniaken ska stanna kvar i substratet efter behandling. Vid natriumhydroxidbehandling är det viktigt att tänka på att askhalten ökar (McDonald

et al., 2010). Det ger en missvisande bild över den faktiska smältbarheten, men eftersom askhalten generellt är låg för skogsprodukter, så tror jag inte de påverkas av behandlingen på samma sätt som halm, som har en högre askhalt innan behandling (Wanapat *et al.*, 1985). Ett annat kemiskt medel som kan användas vid förbehandling är svaveldioxid. I denna litteraturstudie var det den effektivaste metoden för att förbättra smältbarheten hos tall och gran (Tabell 1). Det kan tyda på att det är viktigt att välja behandling efter vad är för sorts träslag. Ur ett ekonomiskt perspektiv anser jag att kemiska metoder kan vara dyrare än andra processtekniker, då kemikalier måste köpas in och särskild utrustning krävs för att utföra behandlingen. Användningen av kemiska medel är i sin tur inte bra ur ett miljöperspektiv, men å andra sidan skulle kemisk behandling vara den mest fördelaktiga, om den kan utföras av lantbrukaren själv på gårdsnivå. Utifrån denna aspekt är metoden också den mest fördelaktiga för att förbättra smältbarheten av skogsprodukter vid bristsituationer.

Biologisk behandling har visat goda resultat för att öka smältbarheten, då behandling med vitrötesvampar påvisat hög smältbarhet (Tabell 1). Jag anser att biologisk behandling är den miljövänligaste och billigaste processtekniken, eftersom behandlingen i stort sett sköter sig själv och att inga kemiska medel eller någon särskild utrustning krävs. I dagsläget rekommenderar jag däremot inte biologiska metoder som en lämplig processteknik, då man inte vet hur utfodring av svampbehandlade skogsprodukter påverkar mjölkorna i det långa loppet, och hur det kan komma påverka mjölken och köttet som livsmedel (van Kuijk *et al.* 2015). Adamović *et al.*, (1998) utfodrade exempelvis köttraskvigor med svampbehandlad halm, men för att kvigorerna skulle äta upp halmen, var den tvungen att blandas med i grovfodret. En inblandning upp till 17 % fungerade bra, sedan ratade kvigorerna fodret. Hur vida smakligheten, samt hållbarheten är för trä behandlat med vitrötesvampar är därför inte bekräftat. I dagsläget verkar det överlag inte finnas några lagringsmetoder framtagna för skogsprodukter för att fodret ska bibehålla hygienisk kvalitet. Det krävs därför mer forskning på området. Biologiska metoder är därför inte aktuell som behandlingsmetod om en bristsituation uppstår.

Goda resultat har även visats för fysikaliska metoder för att förbättra smältbarheten. Finfördelning är exempelvis en förutsättning för att skogsprodukter ska fungera som fodermedel. Det har gjorts med exempelvis malning i kulkvarn (Baker *et al.*, 1975) och med hydrostatiskt tryck (Jin *et al.*, 2015). Ångbehandling har också visat sig vara en gynnsam metod för att öka smältbarheten (Takigawa, 1987). Något sämre resultat har sågs för ångexplosionsbehandlad tall (Aguilera & San Martin, 1985), vilket jag anser kan bero på träslaget, mer än behandlingsmetoden, eftersom barrträd har högre innehåll av lignin och en annan molekyllär uppbyggnad jämfört med lövträd (Baker, 1973). Behandling med olika typer av strålning har också påvisat goda resultat. Elektronstrålning ökade exempelvis smältbarheten för asp från 55 till 78 % (Tabell 1). Liknande resultat har

även setts för gammastrålning. Även mikrovågor har använts med gott resultat vid förbehandling av lusernhö (Brodie *et al.*, 2012) och därför kan metoden också vara aktuell för skogsprodukter. Andra fysikaliska metoder som skulle kunna vara möjliga att använda som förbehandling i framtiden är ultraljud och PEF. Ultraljud har fördelaktigt visat sig bryta lignin-cellulosakomplex hos sockerrörsrester (Sun *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2008) och PEF har i sin tur ökat tillgängligheten för enzymatisk nedbrytning hos träflis (Kumar *et al.*, 2011).

Fysikaliska metoder är troligen dyrast av de processtekniker som tagits upp i denna litteraturstudie, då det ställs höga krav på utrustning. Fysikaliska metoder anses dock vara miljövänliga, ur den synpunkten att kemiska medel inte behöver användas (Hassan *et al.*, 2018). I dagsläget skulle jag inte rekommendera fysikaliska metoder som förbehandling av skogsprodukter i bristsituationer, eftersom dessa metoder kräver någon form av industriell skala för att behandling ska vara möjlig. Skulle en storskalig produktion bli aktuell, under förutsättning att det finns ett intresse för att utveckla skogsprodukter som fodermedel, är min hypotes att fysikalisk behandling skulle kunna bli den främsta behandlingsmetoden, på grund av processteknikens effektivitet och att metoden anses mer miljövänlig. Det finns därför mycket utrymme för forskning inom detta område och vidare utveckling av skogsprodukter som fodermedel till mjölkkor. Andra ämnen som skulle vara intressanta att forska vidare inom är hur behandlade skogsprodukter skulle kunna lagras, för att bibehålla hygienisk god kvalitet.

4. Slutsats

Skogsprodukter kan vara ett lämpligt substitut till grovfoder för mjölkkor, under förutsättning att de förbehandlas för att förbättra smältbarheten. De har i många fall resulterat i positiva effekter, så som bibehållen fetthalt i mjölken och upprätthållande av vomfunktion. I vissa fall har däremot mjölkavkastningen minskat vid utfodring av skogsprodukter, vilket beror på lågt energiintag. I dagsläget bör inte skogsprodukter ges som enda grovfoder i en foderstat till mjölkkor, då inte tillräckligt mycket forskningsunderlag finns kring dess effekter på den högmjolkande kon. Vid bristsituationer kan det ses mer acceptabelt som fodermedel, men bör i första hand ges för att dryga ut det befintliga grovfodret och inte ersätta det fullt ut.

Lämpliga processtekniker för att förbättra smältbarheten är behandling med olika kemiska medel, pappersmassatillverkning, finfördelning, behandling med högt hydrostatiskt tryck och ångbehandling. Det finns även goda möjligheter för olika typer av strålning. Biologisk behandling är mindre lämplig på grund av okunskapen kring hur svampbehandlat trä har för effekter på mjölkkor. Den behandlingsmetod som gav högst smältbarhet i denna litteraturstudie var pappersmassatillverkning med sulfat, där pappersmassa uppnådde en smältbarhet på 90 %. Många behandlade skogsprodukter hade lika hög, eller högre smältbarhet jämfört med högkvalitativa grovfoder. Det finns därför god potential, men det behövs mer forskning för att skogsprodukter ska kunna utvecklas som fodermedel i framtiden

Referenser

- Adamović, M., Grubić, G., Milenković, I., Jovanović, R., Protić, R., Sretenović, L. & Stoićević, L. (1998). The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 71 (3), ss. 357–362. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00150-8)
- Aguilera, J.M. & San Martin, R. (1985). Steam hydrolysis of pine (*Pinus radiata*) sawdust. *Biomass*, vol. 8 (4), ss. 301–313. DOI: 10.1016/0144-4565(85)90062-9
- Al-Masri, M.R. & Zarkawi, M. (1999). Digestibility and composition of broiler litter, as affected by gamma irradiation. *Bioresource Technology*, vol. 69 (2), ss. 129–132. DOI: 10.1016/S0960-8524(98)00178-3
- Asiegbu, F.O., Paterson, A. & Smith, J.E. (1996). The effects of co-fungal cultures and supplementation with carbohydrate adjuncts on lignin biodegradation and substrate digestibility. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, vol. 12 (3), ss. 273–279. DOI: 10.1007/BF00360927
- Baker, A.J. (1973). Effect of lignin on the in vitro digestibility of wood pulp. *Journal of Animal Science*, vol. 36 (4), ss. 768-771. DOI: 10.2527/jas1973.364768x
- Baker, A.J., Millett, M.A. & Satter, L.D. (1975). Wood and wood-based residues in animal feeds. *Proceedings of ACS Symposium Series*. ss. 75–105. DOI: 10.1021/bk-1975-0010.ch006
- Barba, F.J., Parniakov, O., Pereira, S.A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J.A., Raso, J., Martin-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N. & Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, vol. 77, ss. 773–798. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.09.015
- Brodie, G., Rath, C., Devanny, M., Reeve, J., Lancaster, C., Doherty, T., Harris, G., Chaplin, S. & Laird, C. (2012). The Effect of Microwave Treatment on Animal Fodder. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, vol. 46 (2), ss. 57–67. DOI: 10.1080/08327823.2012.11689824
- Castañón-Rodríguez, J.F., Torrestiana-Sánchez, B., Montero-Lagunes, M., Portilla-Arias, J., Ramírez de León, J.A. & Aguilar-Uscanga, M.G. (2013). Using high pressure processing (HPP) to pretreat sugarcane bagasse. *Carbohydrate Polymers*, vol. 98 (1), ss. 1018–1024. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.06.068
- Chang, S.T. (1987). Microbial biotechnology — Integrated studies on utilization of solid organic wastes. *Resources and Conservation*, vol. 13 (2), ss. 75–82. DOI: 10.1016/0166-3097(87)90051-4
- Dai, L., He, C., Wang, Y., Liu, Y., Yu, Z., Zhou, Y., Fan, L., Duan, D. & Ruan, R. (2017). Comparative study on microwave and conventional hydrothermal pretreatment of bamboo sawdust: Hydrochar properties and its pyrolysis behaviors. *Energy Conversion and Management*, vol. 146, ss. 1–7. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.05.007

- Feist, W.C., Baker, A.J. & Tarkow, H. (1970). Alkali Requirements for Improving Digestibility of Hardwoods by Rumen Micro-Organisms. *Journal of Animal Science*, vol. 30 (5), ss. 832–835. DOI: 10.2527/jas1970.305832x
- Fisher, L. (1980). An Evaluation of Steam-Treated Aspen as a Substitute for Corn-Silage in the Rations of Lactating Cows. *Canadian Journal of Animal Science*, vol. 60 (2), ss. 379–384. DOI: 10.4141/cjas80-047
- Grethlein, H.E. (1984). Pretreatment for enhanced hydrolysis of cellulosic biomass. *Biotechnology Advances*, vol. 2 (1), ss. 43–62. DOI: 10.1016/0734-9750(84)90240-4
- Hassan, S.S., Williams, G.A. & Jaiswal, A.K. (2018). Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, vol. 262, ss. 310–318. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.04.099
- Huber, J.T., Hargreaves, A., Johnson, C.O.L.E. & Shanahan, A. (1983). Upgrading residues and by-products for ruminants, *American chemical society*, vol. 184 (SEP), ss. 38. Tillgänglig: https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=E6ItGOJvGoRDfUzU8Vj&page=1&doc=1 [2020-05-21]
- Jin, S., Zhang, G., Zhang, P., Fan, S. & Li, F. (2015). High-pressure homogenization pretreatment of four different lignocellulosic biomass for enhancing enzymatic digestibility. *Bioresource Technology*, vol. 181, ss. 270–274. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.01.069
- Jönsson, L.J. & Martín, C. (2016). Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresource Technology*, vol. 199, ss. 103–112. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.10.009
- Kairenius, P., Mäntysaari, P. & Rinne, M. (2020). The effect of gradual dietary pine bark meal supplementation on milk production of dairy cows fed a grass silage-based diet. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 259, s. 114358. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.114358
- Kirk, T.K. & Moore, W.E. (2007). Removing Lignin from Wood with White-Rot Fungi and Digestibility of Resulting Wood. *Wood and Fiber Science*, vol. 4 (2), ss. 72–79. Tillgänglig: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/255> [2020-04-13]
- van Kuijk, S.J.A., Sonnenberg, A.S.M., Baars, J.J.P., Hendriks, W.H. & Cone, J.W. (2015). Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review. *Biotechnology Advances*, vol. 33 (1), ss. 191–202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2014.10.014>
- Kumar, P., Barrett, D.M., Delwiche, M.J. & Stroeve, P. (2011). Pulsed Electric Field Pretreatment of Switchgrass and Wood Chip Species for Biofuel Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 50 (19), ss. 10996–1100. DOI: 10.1021/ie200555u
- Leskinen, T., Kelley, S.S. & Argyropoulos, D.S. (2017). E-beam irradiation & steam explosion as biomass pretreatment, and the complex role of lignin in substrate recalcitrance. *Biomass and Bioenergy*, vol. 103, ss. 21–28. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.05.008
- Li, J., Dai, J., Liu, G., Zhang, H., Gao, Z., Fu, J., He, Y. & Huang, Y. (2016). Biochar from microwave pyrolysis of biomass: A review. *Biomass and Bioenergy*, vol. 94, ss. 228–244. DOI: 10.1016/j.biombioe.2016.09.010
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. (2010). *Animal nutrition*. 7. Uppl.
- Mertens, D.R. (1997). Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, vol. 80 (7), ss. 1463–1481. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76075-2

- Millett, M., Baker, A., Feist, W., Mellenberger, R. & Satter, L. (1970). Modifying Wood to Increase Its in-Vitro Digestibility. *Journal of Animal Science*, vol. 31 (4), ss. 781-788. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1970.314781x>
- Millett, M.A., Baker, A.J., Satter, L.D., McGovern, J.N. & Dinius, D.A. (1973). Pulp and Papermaking Residues as Feedstuffs for Ruminants. *Journal of Animal Science*, vol. 37 (2), ss. 599–607. DOI: 10.2527/jas1973.372599x
- Nishimura, K., Kurosu, K., Terada, F., Mizuguchi, H., Sato, S. & Kushibiki, S. (2019). Effect of wood kraft pulp feed on digestibility, ruminal characteristics, and milk production performance in lactating dairy cows. *Animal Science Journal*, vol. 90 (2), ss. 189–195. DOI: 10.1111/asj.13131
- Nationalencyklopedin, mikrovågor, (2020a). Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/mikrovågor> [2020-05-21]
- Nationalencyklopedin, röta (2020b). Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/röta> [2020-05-21]
- Näsi, M. (1984). Evaluation of various types of forest biomass and wood processing residues as feed for ruminants. *Agricultural and Food Science*, vol. 56, ss. 205–212. DOI: 10.23986/afsci.72173
- Ramadoss, G. & Muthukumar, K. (2014). Ultrasound assisted ammonia pretreatment of sugarcane bagasse for fermentable sugar production. *Biochemical Engineering Journal*, vol. 83, ss. 33–41. DOI: 10.1016/j.bej.2013.11.013
- Saha, B.C., Qureshi, N., Kennedy, G.J. & Cotta, M.A. (2016). Biological pretreatment of corn stover with white-rot fungus for improved enzymatic hydrolysis. *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 109, ss. 29–35. DOI: 10.1016/j.ibiod.2015.12.020
- Sakuragi, K., Igarashi, K. & Samejima, M. (2018). Application of ammonia pretreatment to enable enzymatic hydrolysis of hardwood biomass. *Polymer Degradation and Stability*, vol. 148, ss. 19–25. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2017.12.008
- Satter, L.D., Baker, A.J. & Millett, M.A. (1970). Aspen Sawdust as a Partial Roughage Substitute in a High-Concentrate Dairy Ration¹, 2. *Journal of Dairy Science*, vol. 53 (10), ss. 1455–1460. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(70)86414-1
- Satter, L.D., Lang, R.L., Baker, A.J. & Millett, M.A. (1973). Value of Aspen Sawdust as a Roughage Replacement in High-Concentrate Dairy Rations¹. *Journal of Dairy Science*, vol. 56 (10), ss. 1291–1297. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(73)85349-4
- Savonen, O., Kairenius, P., Mäntysaari, P., Stefanski, T., Pakkasmaa, J. & Rinne, M. (2019). The effects of microcrystalline cellulose as a dietary component for lactating dairy cows. *Proceedings of the 10th Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden, 11-12 June 2019*, ss. 92–97. Tillgänglig: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193404512> [2020-04-20]
- Schneider, M. & Flachowsky, G. (1990). Studies on ammonia treatment of wheat straw: Effects of level of ammonia, moisture content, treatment time and temperature on straw composition and degradation in the rumen of sheep. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 29 (3), ss. 251–264. DOI: 10.1016/0377-8401(90)90031-3
- Sun, J.-X., Sun, R., Sun, X.-F. & Su, Y. (2004). Fractional and physico-chemical characterization of hemicelluloses from ultrasonic irradiated sugarcane bagasse. *Carbohydrate Research*, vol. 339 (2), ss. 291–300. DOI: 10.1016/j.carres.2003.10.027
- Takigawa, A. (1987). Feeding Value of Steamed Wood and Explosively Depressurized Wood. *Jarq-Japan Agricultural Research Quarterly*, vol. 20 (4), ss. 282–291. Tillgänglig: <https://www.jircas.go.jp/en/publication/jarq/20/4/282> [2020-04-20]

- Tengerdy, R.P. & Nagy, J.G. (1988). Increasing the feed value of forestry waste by ammonia freeze explosion treatment. *Biological Wastes*, vol. 25 (2), ss. 149–153. DOI: 10.1016/0269-7483(88)90105-X
- Tesfa, A.T., Tuori, M., Syrjälä-Qvist, L. & Kaustell, K. (1992). Effects of partial replacement of barley with rapeseed oil or birch wood in comparison to barley and oats on the performance and blood metabolites of lactating cows. *Agricultural and Food Science*, vol. 1 (3), ss. 255–265. DOI: 10.23986/afsci.72444
- Um, B.-H., Karim, M.N. & Henk, L.L. (2003). Effect of Sulfuric and Phosphoric Acid Pretreatments on Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover. I: Davison, B.H., Lee, J.W., Finkelstein, M., & McMillan, J.D. *Biotechnology for Fuels and Chemicals: The Twenty-Fourth Symposium*. ss. 115–125. DOI: 10.1007/978-1-4612-0057-4_9
- Volden, H. (2011). *NorFor -: The Nordic feed evaluation system*. Springer Science & Business Media. Tillgänglig: <http://feedstuffs.norfor.info/> [2020-05-20]
- Zhang, C., Su, X., Xiong, X., Hu, Q., Amartey, S., Tan, X. & Qin, W. (2016). 60Co- γ radiation-induced changes in the physical and chemical properties of rapeseed straw. *Biomass and Bioenergy*, vol. 85, ss. 207–214. DOI: 10.1016/j.biombioe.2015.11.022
- Wanapat, M., Sundstøl, F. & Garmo, T.H. (1985). A comparison of alkali treatment methods to improve the nutritive value of straw. I. Digestibility and metabolizability. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 12 (4), ss. 295–309. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(85\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0377-8401(85)90006-9)
- Zhang, Y., Fu, E. & Liang, J. (2008). Effect of Ultrasonic Waves on the Saccharification Processes of Lignocellulose. *Chemical Engineering and Technology*, vol. 31 (10), ss. 1510-1515. DOI: 10.1002/ceat.200700407