



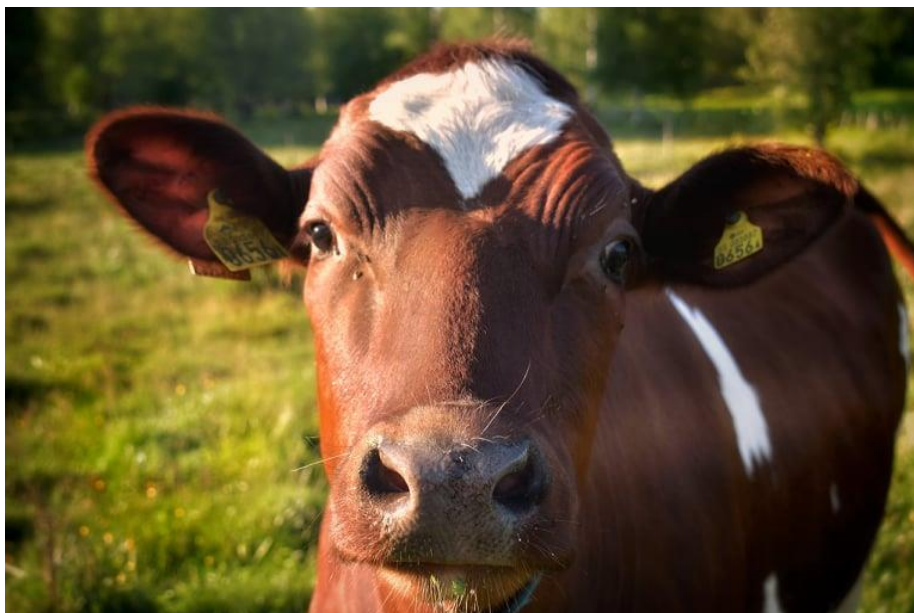
Biokol som tillsats i vallensilage utfodrat till mjölkraskvigor

- Inverkan på konsumtionsförmåga, smältbarhet, träckens konsistens och färg, samt djurens renhet.

Biochar as an additive in grass-silage fed to dairy heifers

- and its effect on consumption capacity, digestibility, faecal consistency and colour, and animal cleanliness.

Ida Milton



Självständigt arbete i husdjursvetenskap, A2E 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet (SLU)
Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)
Agronomprogrammet – Husdjur
Uppsala 2022

Biokol som tillsats i vallensilage utfodrat till mjölkraskvigor- inverkan på konsumtionsförmåga, smältbarhet, träckens konsistens och färg, samt djurens renhet

Biochar as an additive in grass-silage fed to dairy heifers- and its effect on consumption capacity, digestibility, faecal consistency and colour, and animal cleanliness

Ida Milton

Handledare: Bengt-Ove Rustas, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), inst. husdjurens utfodring och vård (HUV).
Bitr. handledare: Torsten Eriksson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), inst. husdjurens utfodring och vård (HUV).
Examinator: Mikaela Lindberg, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), inst. husdjurens utfodring och vård (HUV).

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap, A2E
Kurskod: EX0872
Program/utbildning: Agronomprogrammet - husdjur
Kursansvarig inst.: Institutionen för husdjursgenetik (HGEN)

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2022
Omslagsbild: Foto: Ida Milton

Nyckelord: Biokol, Aktivt kol, Vallensilage, Mjölkraskvigor, Smältbarhet, Konsumtionsförmåga, Träckkonsistens, Färg, Renhet

Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)

Sammanfattning

Biokol är en produkt som tillverkas av organiskt material eller biomassa i en process som kallas pyrolys, då materialet upphettas i en temperatur från 350 till 1000 °C i en syrefri miljö. Biokol är lagringsstabil under lång tid innan den bryts ned och fungerar därför som kolsänka. Produkten kan användas för att öka jordens bördighet och grödornas avkastning, då den har god närings- och vattenhållande förmåga. Biokol skulle även kunna användas som tillsats i foder till idisslare och leda till flera andra positiva effekter.

I denna studie undersöktes om en tillsats av biokol i en foderstat med vallensilage utfodrat till kvigor av raserna SRB och Holstein hade någon påverkan på konsumtionsförmåga, smältbarhet, träckkonsistens, färg på träcken och djurens renhet. Försöket hade en change-over design i form av en romersk kvadrat och det var fem olika behandlingar som testades samtidigt under totalt fem perioder. Kvigorna var totalt 10 stycken, vilka delades in i kvigpar med en av varje ras per utfodringstråg. Behandlingarna var KONTROLL (vallensilage utan biokolstillsats), LÅGENS (vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1,5 % av torrsubstansen (TS)), LÅGMIX (vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1,5 % av TS), HÖGENS (vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3 % av TS) och HÖGMIX (vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av TS). En tillsats av mineral innehållande magnesium (Mg) tillsattes med start från den andra perioden.

Varken konsumtionsförmågan, i kg TS per dag eller i kg TS per dag i % av levande vikt (LV) påverkades av en inblandning av biokol. Inte heller intaget av NDF i g per kg TS och NDF i g per kg TS och dag i % av LV påverkades av en inblandning av biokol. Det var inte heller någon signifikant skillnad vad gäller smältbarheten av TS, OS, RP och NDF. Träckkonsistensen tenderade däremot till att bli hårdare och fastare vid en inblandning av biokol, då det tillsattes innan utfodring. Likaså blev också träckens största och minsta mått mindre. En hög inblandning av biokol ledde även till att träckkonsistensen blev ännu hårdare och fastare. Behandlingen HÖGMIX gav den hårdaste och fastaste träckkonsistensen. Träckens färg blev även mörkare vid en inblandning av biokol. Renheten på kvigorna påverkades däremot inte av en inblandning av biokol, vilket skulle kunna bero på att kvigorna var rena vid försökets start, då träckkonsistensen redan var fast och hård.

Överlag sågs inga negativa effekter av en tillsats av biokol i vallensilage utfodrat till mjölkraskvigor. En fastare och hårdare träckkonsistens skulle kunna innebära att det blir lättare att hålla stallet rent, vilket skulle kunna leda till renare djur och förbättrad klövhälsa. Eftersom biokol också har fördelaktiga egenskaper för att minska näringsläckage och växthusgasutsläpp, från både vommen och från gödseln, finns det därmed goda möjligheter för biokol att var en del av ett kretslopp på gårdsnivå.

Nyckelord: Biokol, Aktivt kol, Vallensilage, Mjölkraskvigor, Smältbarhet, Konsumtionsförmåga, Träckkonsistens, Färg, Renhet

Abstract

Biochar is a product made from organic material or biomass in a process called pyrolysis, which means that the material is heated in a temperature between 350 to 1000 °C, in an oxygen-free environment. Biochar is very stable and can be stored for a long time before it decomposes, therefore it acts as a carbon sink. The product can be used to improve soil fertility and crop production, as it has good nutritional and water retaining ability. Biochar could also be used as an additive in feed for ruminants, which possibly could lead to several other positive effects.

In this study it was investigated if a biochar additive in grass silage, fed to heifers of the breeds SRB and Holstein had any influence on consumption capacity, digestibility, faecal consistency and colour, and cleanliness of the animal. The experiment had a change over and latin square design. There were five different treatments that were run simultaneously, for a total of five periods. It was in total 10 heifers in the study, with one of each breed per feeding trough. The treatments were CONTROL (grass silage without biochar additive), LÅGENS (grass silage with 1,5 % biochar of dry matter (DM), added before ensiling), LÅGMIX (grass silage with 1,5 % biochar of DM, added before feeding), HÖGENS (grass silage with 3 % biochar of DM, added before ensiling) and HÖGMIX (grass silage with 3 % biochar of DM, added before feeding). An addition of mineral containing magnesium (Mg) was added from the second period.

Neither consumption capacity, in kg DM per day, and in kg DM per day in % of live weight (LW) was affected by an addition of biochar in grass silage. Nor was the intake of NDF in g per kg DM and NDF in g per kg DM and day in % of LW. There was also no significant difference in the digestibility of DM, OM, CP and NDF. The faecal consistency, on the other hand, tended to be harder and firmer when a biochar additive was used and added in the grass silage before feeding. Likewise, the faecal matters largest and smallest dimension also became smaller. With higher addition of biochar, the faecal consistency also got even harder and firmer. The treatment called HÖGMIX gave the most hard and firm faecal consistency of all treatments. The faecal colour also became darker as biochar was used in the silage. However, the cleanliness of the heifers was not affected by an addition of biochar in this study, which could be due to that the heifers was clean at the beginning of the study, as the faecal consistency already was firm and hard.

Overall, no negative effects could be seen from an addition of biochar in grass silage, fed to dairy heifers, in this study. If the faecal consistency is firmer and harder it will be easier to keep the barn cleaner, which may lead to cleaner animals and improved hoof health. Since biochar also has beneficial characteristics to reduce nutrient leakage and greenhouse gas emissions from both rumen and faeces, it has good potential to be a part of a cycle at farm level.

Keywords: Biochar, Activated carbon, Grass silage, Dairy heifers, Digestibility, Consumption capacity, Faecal consistency, Colour, Cleanliness

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
2.	Syfte	2
2.1	Hypoteser	2
3.	Litteraturgenomgång	3
3.1	Biokol	3
3.1.1	Aktivt kol.....	4
3.1.2	Biokol som kolsänka	4
3.1.3	Biokol som jordförbättrande medel	4
3.1.4	Certifiering av biokol	5
3.2	Biokol som tillsats i foder till idisslare	5
3.2.1	Biokol som ensileringsmedel	5
3.2.2	Konsumtionsförmåga och smältbarhet	6
3.2.3	Metanproduktionen i vommen	8
3.2.4	Mikrobpoteinsyntes.....	9
3.2.5	Träckkonsistens	10
3.2.6	Djurens renhet	11
3.2.7	Träckens färg.....	12
3.2.8	Biokol för att minska näringsläckage från gödsel	13
3.2.9	Aktivt kol till människor	14
4.	Material och metod	15
4.1	Försökets upplägg	15
4.2	Foderstat	17
4.3	Insamling av prover och data.....	18
4.4	Analysmetoder	21
4.5	Beräkningar.....	22
4.6	Statistisk analys	22
5.	Resultat	24
5.1	Konsumtionsförmåga och smältbarhet	24
5.2	Bedömning av träck och kvigornas renhet.....	25
5.2.1	Träckkonsistens	25

5.2.2 Färg.....	25
5.2.3 Renhet	26
6. Diskussion	27
6.1 Biokolens inverkan på konsumtionsförmåga och smältbarhet	27
6.2 Träckkonsistens, färg och renhet på djuren.....	28
6.3 Biokolens framtida användningsområden.....	30
7. Slutsatser.....	33
Referenser.....	34
Populärvetenskaplig sammanfattning	39
Tack	41
Bilaga 1.....	42
Bilaga 2.....	43

Förkortningar

ADF	Acid detergent fibre
AIA	Saltsyraolöslig aska
BCS	Body condition score
NDF	Neutral detergent fibre
NH ₃ -N	Ammoniak-kväve
NPN	Icke proteinkväve
OS	Organisk substans
RP	Råprotein
TS	Torrsubstans
VFA	Flyktiga fettsyror
VOS	Vomvätskelöslig organisk substans
WSC	Vattenlösliga kolhydrater

1. Inledning

I takt med klimatförändringar och ett ökat behov av att minska utsläpp av växthusgaser har biokol blivit en intressant produkt. Biokol bildas i en process som kallas pyrolys, då biomassa upphettas i höga temperaturer i en syrefri miljö (Lehmann et al. 2006; Lehmann & Joseph 2009). Biokol kan ses som en kolsänka, då den minskar utsläpp av växthusgaser till atmosfären och kan vara lagringstabil i tusentals år (Lehmann et al. 2006). Intresset för produkten har under den senaste tiden skjutit i höjden, då det kan användas för många olika ändamål. Biokol kan bland annat användas som jordförbättrande medel för att exempelvis öka jordens bördighet och grödornas avkastning (Lehmann et al. 2006). Med sin porösa struktur kan biokol förbättra jordens närings- och vattenhållande förmåga (Basso et al. 2013).

Biokol har även goda förutsättningar för att användas som tillsats i foder till idisslare, exempelvis för att adsorbera toxiner, gaser och kväverika organiska föreningar (Schmidt et al. 2019). Bland annat skulle biokol kunna användas i syfte att potentiellt minska den primära metanproduktionen i vommen hos idisslare, utan att påverka smältbarheten av fodret (Hansen et al. 2012; Saleem et al. 2018; Winders et al. 2019) eller konsumtionsförmågan (Erickson et al. 2011). Biokol skulle även kunna vara fördelaktigt för djurens digestion och fodereffektivitet, samt kunna resultera i en ökad tillväxt och förbättrad köttkvalité (Schmidt et al. 2019). Då biokol har adsorberande egenskaper (ett ämne, gas eller liknande fastnar på produktens yta) och har förmågan att binda vatten skulle även en användning av produkten, vid lagring och spridning av gödsel, potentiellt kunna leda till ett minskat näringsläckage och lägre växthusgasutsläpp (Schmidt et al. 2019). Det är även sannolikt att träckkonsistensen kan bli mer fast och hård då en tillsats av biokol i fodret ges, vilket eventuellt också skulle kunna leda till renare djur och en bättre klövhälsa (Schmidt et al. 2019).

2. Syfte

Syftet med denna studie var att genom ett utfodringsförsök på mjölkkraskvigor undersöka hur ett vallensilage med olika inblandningsnivåer av biokol påverkar konsumtionsförmåga, smältbarhet, träckens konsistens och färg, samt kvigornas renhet. Det undersöktes också om det var någon skillnad ifall biokolen tillsattes vid ensilering av vallensilaget, det vill säga innan pressning av rundbalarna eller vid utfodring av vallensilaget.

2.1 Hypoteser

- En tillsats av biokol i vallensilage kommer inte att påverka kvigornas konsumtionsförmåga eller smältbarheten av fodret.
- En tillsats av biokol kommer att leda till en fastare och hårdare träckkonsistens, vilket i sin tur kommer leda till att kvigorna blir renare.
- Träcken kommer få en mörkare färg vid en tillsats av biokol.
- Det kommer inte vara någon skillnad om biokolen är tillsatt i vallensilaget vid ensilering eller vid utfodring.

3. Litteraturgenomgång

3.1 Biokol

Biokol är en kolrik produkt, vilken har tillverkats i en process som kallas pyrolys, där organiska material eller biomassa upphettas i en temperatur från cirka 350 till 1000°C i en syrefri miljö (EBC 2022). Med pyrolys menas att produkten sönderfaller utan att någon förbränning sker, då det sker i frånvaro av syre (Lehmann & Joseph 2009). Vanligtvis tillverkas biokol genom långsam pyrolys med en temperatur mellan 400 till 500°C (Lehmann et al. 2006; Lehmann 2007; Lehmann & Joseph 2009). När en högre pyrolystemperatur används, över cirka 700°C kallas processen istället för förgasning, vilket är en form av snabb pyrolys, men det ger en mindre mängd producerad biokol (Lehmann 2007). En högre pyrolystemperatur kan dock vara fördelaktigt, då det kan leda till att biokolen blir mer porös och får en ökad ytareal (Lehmann 2007). Biokol har förmågan att kunna binda gaser och näringsämnen genom adsorption, men även ta upp vatten genom absorption (Lehmann et al. 2006). Med adsorption menas att ämnen från en gas eller vätska binds till ytan på ett fast material (Nationalencyklopedin u.å.a). Absorption innebär istället att en vätska eller lösta ämnen i en vätska tas upp och binds inne i det fasta materialet (Nationalencyklopedin u.å.b).

Namnet biokol har utvecklats från användningen av biomassa för att producera svart kol eller träkol (Lehmann et al. 2006). De organiska material som kan användas för att producera biokol kan vara biprodukter från skogs och lantbruk, som exempelvis grot (ris, grenar, löv och toppar), halm, biprodukter från spannmålskvarnar, matrester (Lehmann et al. 2006) och gödsel (Lehmann & Joseph 2015). Vid pyrolysen bildas inte bara biokol, utan även värme, gas och pyrolysolja, vilka kan användas för att bland annat utveckla biobränslen, energi och elektricitet (Lehmann 2007; Lehmann & Joseph 2009). Idag används biokol främst i syfte att fungera som jordförbättrande medel (Lehmann & Joseph 2015).

3.1.1 Aktivt kol

Aktivt kol är en produkt som har liknande egenskaper som biokol (Lehmann & Joseph 2015). Aktivt kol är biokol som har "aktiverats" genom behandling med exempelvis ånga eller kemikalier, och ofta vid högre temperaturer än vanlig pyrolys. Det vanligaste sättet är genom så kallad fysisk aktivering, då pyrolys mellan 400 till 800 °C är kompletterat med en andra behandling, som innebär en pyrolystemperatur över 900 °C och i kombination med ånga, koldioxid (CO₂) eller luft. Aktivt kol har större ytareal och är mer porös än vanligt biokol. Det används därför med fördel för att adsorbera gaser eller binda vätska. Aktivt kol är dock en dyrare produkt i jämförelse med biokol. Kolets fysiska egenskaper och förmåga att adsorbera, beror på vad det är för typ av behandling som genomförts (Lehmann & Joseph 2015), men även vilket material det är tillverkat av (Lehmann et al. 2006).

3.1.2 Biokol som kolsänka

Vid produktionen av biokol bildas en kolsänka, då biokolen bryts ned mycket långsammare än den organiska biomassa som det är tillverkat av, vilket leder till ett minskat utsläpp av CO₂ till atmosfären (Lehmann et al. 2006; Lehmann & Joseph 2015; Schmidt et al. 2019). Biokol är mycket lagringsstabil och kan lagras upp till tusentals år utan att brytas ned, vilket gör att produkten med fördel kan lagras i jorden och på så vis utgöra en stabil kolsänka (Lehmann et al. 2006).

3.1.3 Biokol som jordförbättrande medel

Att använda biokol är inte bara positivt ur klimatsynpunkt, utan även för att öka jordens bördighet och öka avkastningen för de grödor som odlas där (Zhang et al. 2018). Biokol har sedan länge använts som jordförbättrande medel. I området som kallas Terra Preta i Amazonas, Brasilien har biokol använts under lång tid och bland annat förbättrat nivåerna av kväve (N), fosfor (P) och kalium (K) i jorden (Chen et al. 2019). Biokol har en förmåga att förbättra jordens bördighet och resultera i en högre avkastning (Lehmann et al. 2006). Biokol har gynnsamma adsorberande och absorberande egenskaper, vilket gör att näring och vatten kan tas upp, och lagras i marken (Lehmann et al. 2006). På så vis kan biokol förbättra jordens närings- och vattenhållande förmåga, samt öka tillgängligheten av näring och vatten till grödan (Basso et al. 2013). Hur bra den närings- och vattenhållande förmågan är beror dock på biokolens porositet och pH, men även vad jorden har för typ av jordart (Basso et al. 2013; Hossain et al. 2020).

Hur mycket biokol som kan tillsättas till jorden är inte klarlagt. Enligt Lehmann et al. (2006) har en positiv skördeeffekt observerats upp till 50 ton biokol per hektar (ha). I de flesta fall har inte heller några negativa skördeeffekter setts upp till 140 ton biokol per ha. Högre nivåer än så tros dock leda till en lägre avkastning.

Skördeeffekten beror dock på vad det är för typ av gröda som odlas och vilken jordart det är (Lehmann et al. 2006).

3.1.4 Certifiering av biokol

Idag finns det fyra möjliga certifieringar för biokol (Fransson et al. 2020). Den vanligaste certifieringen är utfärdad av European Biochar Certificate (EBC), vilka säkerställer att biokolen inte innehåller skadliga ämnen, gifter, cancerframkallande ämnen, upprätthåller en god kvalitet och miljövänlig produktion, samt att biokolen är en stabil kolsänka. Den globala branschföreningen för produktionen av biokol är International Biochar initiative (IBI), vars regelverk liknar EBC, men de har också krav på biokolens egenskaper för användning som jordförbättrande medel. Utöver dessa finns regelverk enligt EU Ecolabel och KRAV för ekologisk produktion (Fransson et al. 2020). Enligt KRAV (2022) får biokol med vegetabiliskt ursprung och som understiger angivna gränsvärden för tungmetaller användas som ekologiskt jordförbättrande medel.

3.2 Biokol som tillsats i foder till idisslare

Positiva effekter kan uppnås då biokol tillsätts i foder till idisslare. Potentiellt kan en tillsats av biokol leda till en minskad metanproduktion i vommen hos idisslare (Hansen et al. 2012; Saleem et al. 2018; Winders et al. 2019). Biokol skulle även kunna användas för att minska näringsläckage och utsläpp av växthusgaser, då biokol kan adsorbera näringsämnen, gaser och ta upp vatten (Basso et al. 2013; Schmidt et al. 2019). Eftersom vatten kan tas upp och näringsämnen kan adsorberas, skulle det även kunna resultera i en fastare och hårdare träckkonsistens, vilket i sin tur skulle kunna leda till renare djur (Schmidt et al. 2019).

3.2.1 Biokol som ensileringsmedel

Vid ensilering sker en process, en så kallad proteolys då protein bryts ned till ammoniak-kväve ($\text{NH}_3\text{-N}$) och fria aminosyror (McDonald et al. 2010). Detta leder till att andelen lösligt kväve ökar. Det lösliga kvävet kan användas för mikrobproteinsyntes i vommen, men det finns samtidigt en risk för att det lösliga kvävet går förlorat ut i blodet och utsöndras som urea i urin. Ett effektivt sätt för att minska proteolysen är att sänka vattenaktiviteten genom att förtorka grödan eller tillsätta ett ensileringsmedel (McDonald et al. 2010).

Eftersom biokol har en hög vattenhållande förmåga (Basso et al. 2013), skulle det potentiellt kunna användas för att sänka vattenaktiviteten i det skördade materialet. Biokol skulle därför kunna utgöra ett alternativ till förtorkning av grödan eller användning av ensileringsmedel för att minska proteolysen (Calvelo Pereira et al.

2014; Edmunds et al. 2014), men även minska nedbrytning av kolhydrater (Edmunds et al. 2014). En minskad nedbrytning av protein i ensilaget leder till att andelen vomstabil protein ökar, vilket minskar risken för att kväve ska förloras via urinen (McDonald et al. 2010). Det leder till att mer protein kan nyttjas och tas upp i tunntarmen (McDonald et al. 2010; Edmunds et al. 2014).

Biokol kan potentiellt även vara fördelaktigt att tillsätta i ensilage med syftet att förbättra ensilagens hygieniska kvalitet. Bland annat har det visat sig minska produktionen av mykotoxiner, ättiksyra och smörsyra (Schmidt et al. 2019). Enligt en studie av Calvelo Pereira et al. (2014) då biokol tillsattes med 0, 0,5, 1, 2, och 5% av TS i ensilage bestående av engelskt rajgräs, sjönk pH värdet medan TS-halten ökade och dessutom så sågs ingen signifikant effekt på *in vitro*-nedbrytningen av ensilaget. Troligen beror pH-sänkningen på en indirekt effekt av att mjölksyrabakterier gynnas vid en tillsats av biokol i ensilaget (Calvelo Pereira et al. 2014). Även i en studie av Guo et al. (2021) kunde en sänkning av pH-värdet ses då biokol tillsattes i lusernensilage med 0, 1 och 2 % av TS, vilket fermenterades under 15 eller 30 dagar. Även här förklarades pH sänkningen av att antalet mjölksyrabakterier ökat, vilket lett till en högre mjölksyrahalt som därmed resulterat i pH sänkningen. En högre tillsats av biokol ledde även till en minskad proteolys under ensileringsprocessen, vilket ledde till att halten $\text{NH}_3\text{-N}$ och icke proteinkväve (NPN) minskade. Utöver det minskade också antalet koliforma bakterier. Överlag ledde därmed en tillsats av biokol till att ensilaget fick en bättre hygienisk kvalitet (Guo et al. 2021).

3.2.2 Konsumtionsförmåga och smältbarhet

I ett flertal studier har biokol tillsatts i syfte att minska metanproduktionen, men även för att undersöka hur det påverkar konsumtionsförmågan och smältbarheten av fodret (Schmidt et al. 2019). I en studie av Terry et al. (2019) sågs inga signifikanta skillnader i varken TS-intag eller av den skenbara smältbarheten, då biokol tillsattes med 0, 0,5, 1 och 2 % av TS i en foderstat bestående av kornhelsäd utfodrat till kvigor av kötttras. I en studie av Hansen et al. (2012) undersöktes tre olika sorters biokol och aktivt kol, vilka tillsattes med 0 eller 9 % av TS i en foderstat bestående av hö, vilket inte gav någon signifikant skillnad på TS-smältbarheten. Författarna beskrev biokolen i detta fall antingen som träbaserad, halmbaserad eller gasifierad med odefinierat ursprung. Intressant var att TS-smältbarheten var högre då den halmbaserade biokolen användes (Hansen et al. 2012). I en studie av Garillo et al. (1994) tillsattes istället aktivt kol med 0 och 0,3 % av TS i en kraftfoderbaserad respektive grovfoderbaserad foderstat till tackor, men inga signifikanta skillnader sågs varken på konsumtionsförmåga eller TS-smältbarhet. Ingen påverkan sågs heller på tackornas foderomvandlingsförmåga eller på deras dagliga tillväxt (Garillo et al. 1994).

I en studie av Winders et al. (2019) tillsattes biokol med 0, 0,8 och 3 % av TS i två olika foderstater till stutar av kötttras, som var anpassade för deras tillväxtperiod respektive slutuppfödningssperiod. Under tillväxtperioden fick stutarna en foderstat med hö, vetehalm, majsensilage och drank, samt biokoltillsats. Vid slutuppfödningen togs höet och vetehalmen bort från foderstaten. Ingen signifikant skillnad i varken TS-intag eller smältbarhet av TS, organisk substans (OS), NDF eller ADF påvisades under tillväxtperioden. Under slutuppfödningssperioden gav däremot en inblandning av biokol en kvadratisk ökning av TS-intaget, men inte heller där påverkades smältbarheten av TS, OS, NDF eller ADF (Winders et al. 2019).

I en *in vitro* studie av Saleem et al. (2018) ökade däremot smältbarheten av TS, OS, råprotein (RP) och NDF linjärt, då 0, 0,5, 1 och 2 % biokol tillsattes i en grovfoderbaserad foderstat bestående av kornhelsäd. Fodret inkuberades då i nylonpåsar under 48 h i vomvätska, i en artificiell vom, så kallad RUSITEC. I en studie av Erickson et al. (2011) tillsattes istället aktivt kol i foderstater bestående av majsensilage, av bra respektive dålig hygienisk kvalitet till mjölkkor. I studien gjordes tre olika försök. I det första försöket tillsattes aktivt kol med 0, 20 och 40 g (motsvarande 0, 0,4 och 0,9 % av TS) i ett majsensilage av dålig kvalitet, vilket innehöll mykotoxiner. De kor som fick en tillsats av aktivt kol hade ett högre TS-intag och högre skenbar smältbarhet av TS, NDF, RP, samt hemicellulosa. Det resulterade även i att korna fick en högre fetthalt i mjölken, samt högre hullpoäng. I det andra försöket gavs också 0, 20 och 40 g aktivt kol (motsvarande 0, 0,2 och 0,4 % av TS) i ett majsensilage av bra kvalitet, men ingen signifikant skillnad på varken TS-intag eller skenbar smältbarhet sågs. I ett tredje försök testades smakpreferensen (samma foderstat som vid försök två) och då kunde korna välja om de ville äta ett majsensilage med eller utan tillsats av aktivt kol. Det visade sig att korna hade en smakpreferens och föredrog ett ensilage utan en tillsats av aktivt kol (Erickson et al. 2011). Erickson et al. (2011) menar därmed att aktivt kol endast bör tillsättas om ensilagekvaliteten är bristfällig, då det inte påvisat någon effekt då majsensilage av bra kvalitet utfodrats.

En anledning till att smältbarheten av fodret förbättras vid en tillsats av biokol och aktivt kol skulle kunna vara att de kan adsorbera mykotoxiner, tanniner, gifter, gaser, skadliga ämnen mm, vilket gör att nedbrytningen av fodret förbättras (Kutlu et al. 2001; Van et al. 2006; Erickson et al. 2011). Det kan i sin tur leda till ett förbättrat näringsupptag från tunntarmen (Kutlu et al. 2001). Å andra sidan kan biokol och aktivt kol dra åt sig viktiga vitaminer, fetter och enzymer, vilket skulle kunna leda till sämre foderomvandlingsförmåga och ett minskat näringsupptag (Kutlu et al. 2001).

3.2.3 Metanproduktionen i vommen

Metan (CH_4) bildas som en produkt av fermentation av foder i vommen hos idisslare (Moss et al. 2000; Sjaastad et al. 2010). Monosackarider, som exempelvis glukos (från exempelvis stärkelse) bryts ned av mikrober under anaeroba förhållanden till pyruvat och laktat, vilket resulterar i en produktion av väte (H_2). Metanogener vilket är en typ av arkéer omvandlar sedan H_2 till CH_4 , i en så kallad metanogenes ($\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$) (Moss et al. 2000; Sjaastad et al. 2010). Produktionen av flyktiga fettsyror (VFA), det vill säga acetat, butyrat och propionat kan påverka bildning av CH_4 i vommen (Moss et al. 2000). Acetat och butyrat ökar metanproduktionen, medan propionat minskar den, då H_2 används vid produktionen av propionat (Moss et al. 2000).

För att nå de globala klimatmålen undersöks olika sätt att minska metanproduktionen hos idisslare, och vad de får för typ av foderstat tycks ha störst påverkan (Terry et al. 2019). Med en tillsats av biokol i fodret tros utsläppen av CH_4 kunna minska ännu mer (Terry et al. 2019). Biokol har tidigare visat sig kunna dra åt sig växthusgaser i jorden genom adsorption, vilket gör att samma effekt skulle kunna uppnås i vommen hos idisslare (Hansen et al. 2012; Kammann et al. 2017). Enligt Leng (2014) och Saleem et al. (2018) ger också biokol en ökad ytareal i vommen, vilket gör att mikrobiotan och dess livsmiljö kan påverkas, samt främja bildandet av biofilm, som i sin tur kan påverka metanproduktionen. I en studie av Feng et al. (2012) visade det sig exempelvis att biokol tillsatt i jorden vid risodling, minskade antalet metanogener och ökade antalet metanotrofer i jorden, vilket är positivt då metanotrofer konsumerar CH_4 som kol- och energikälla. Potentiellt skulle detta även kunna ske i vommen hos idisslare och därmed leda till att metanproduktionen minskar (Leng 2014; Kammann et al. 2017). Biokol tros även ha en roll i den mikrobiella oxidationen och vara delaktig i redox-reaktioner, genom att fungera som elektronacceptor (Kammann et al. 2017). På så vis kan fodereffektiviteten öka och metanproduktionen minska (Kammann et al. 2017).

I en studie av Terry et al. (2019) mättes metanproduktionen från kvigor av köttträs i en respirationskammare, men inga signifikanta skillnader kunde ses då biokol tillsattes upp till 2 % av TS i fodret. I en studie av Winders et al. (2019) minskade däremot metanproduktionen med 10,7 %, då stutar utfodrades med en foderstat med en tillsats av 0,8 % biokol av TS och som var anpassad för deras tillväxtperiod, i jämförelse med kontroll (0 % inblandning av biokol). Under slutuppfödningen var det däremot ingen signifikant skillnad i metanproduktion då 0,8 % biokol av TS tillsattes i jämförelse med kontroll (Winders et al. 2019). I ytterligare en *in vivo* studie med ungdjur av köttträs av Leng et al. (2012b) kunde en minskning av metanproduktionen ses på 22 %, då 0,6 % biokol av TS, tillverkat av risskal, tillsattes i en foderstat bestående av kassavarötter och blad. Ungdjuren som fick

biokol i sin foderstat ökade också 25 % mer i levande vikt (LV), jämfört med de som inte fick biokol tillsatt i sin foderstat.

I en *in vitro* studie av Leng et al. (2012a) minskade metanproduktionen med 12 %, då biokol tillsattes med en inblandning på 1 % av TS i en foderstat bestående av kassavarotmjöl. I kombination med en tillsats av urea, kalium och nitrat så minskade metanproduktionen mellan 40-49 % (Leng et al. 2012a). Nitrat fungerar bland annat som en elektronacceptor, vilket minskar H_2 och därmed produktionen av CH_4 (Kammann et al. 2017). I en *in vitro* studie av Hansen et al. (2012) har en minskning mellan 11-17 % CH_4 rapporterats vid en biokolstillsats på 0,9 % av TS, i jämförelse med kontroll (0 % inblandning av biokol). I studien sågs även att biokol tillverkat av halm gav en större minskning av CH_4 jämfört med biokol tillverkat av trä. Den största minskningen av CH_4 sågs dock då aktivt kol tillsattes, vilket gav en minskning mellan 20-33 % (Hansen et al. 2012). Även i en *in vitro* studie av Saleem et al. (2018), då biokol tillsattes i foder och inkuberades i RUSITEC, kunde en minskning upp till 25,2 % CH_4 ses. I liknande *in vitro* studier av Teoh et al. (2019) och Tamayao et al. (2021) där också RUSITEC använts, sågs dock inga signifikanta skillnader.

Hur stor effekt biokol och aktivt kol får på metanproduktionen, samt förmågan att ta upp CH_4 genom adsorption, kan bero på vilket typ av material som biokolen är tillverkad av och vilken pyrolystemperatur som använts (Leng et al. 2012b; Leng 2014). Vid en högre pyrolystemperatur får biokolen bland annat en porösare struktur, vilket kan öka ytarean i vommen, som i sin tur kan leda till en större minskning av metanproduktionen. En porösare struktur ger också fördelaktiga egenskaper för att adsorbera gas (Leng et al. 2012b; Leng 2014). Typ av material kan också påverka hur väl biokolen fungerar som elektronacceptor och därmed påverkan på metanproduktionen (Kammann et al. 2017). Metanproduktionen påverkas även till stor del av vad idisslarna har för mikrobpopulation i vommen och hur den påverkas av det biokol som tillsätts (Leng 2014; Winders et al. 2019).

3.2.4 Mikroproteinsyntes

De mikroorganismer eller mikrober som förekommer i vommen är bakterier, protozoer, svampar och arkéer (Sjaastad et al. 2010). De är på olika sätt viktiga för den mikrobiella nedbrytningen av kolhydrater och produktionen av VFA. För att mikroproteinsyntes ska ske behövs en energikälla i form av kolhydrater och en kvävekälla (Sjaastad et al. 2010).

Biokol kan verka för en ökad mikroproteinsyntes, genom att med sin porösa struktur öka ytan för mikrober att tillväxa i vommen (Leng 2014; Saleem et al. 2018). I en *in vitro* studie av Saleem et al. (2018) ökade mikroproteinsyntesen i linje med en ökad VFA produktion och en ökad smältbarhet av TS, OS, RP och

NDF, då 0, 0,5, 1 och 2 % biokol av TS tillsattes i en grovfoderbaserad foderstat. I studien sågs även en ökning av andelen $\text{NH}_3\text{-N}$, vilket skulle kunna leda till en ökad mikrobproteinsyntes då mikroberna nyttjar $\text{NH}_3\text{-N}$ som kvävekälla (Saleem et al. 2018). Enligt Terry et al. (2019) minskade antalet protozoer när en ökad inblandning av biokol gavs till kvigor av köttträs. Liknande resultat har även rapporterats av Garillo et al. (1994) då antalet protozoer minskade när aktivt kol tillsattes i en foderstat till tackor. Detta kan vara fördelaktigt då protozoer livnär sig på mikrober som nyttjar $\text{NH}_3\text{-N}$ som proteinkälla (Koenig et al. 2000). Om antalet protozoer minskar kan därmed kvävet metabolismen och mikrobproteinsyntesen öka (Koenig et al. 2000). Biokolens egenskaper kan dock påverka hur stor effekten blir, eftersom ytarea, bulkdensitet och pH kan variera, och därmed påverka mikrobiotan i vommen på olika sätt (Terry et al. 2019). I *in vitro* studier med RUSITEC av Teoh et al. (2019) och Tamayao et al. (2021) har däremot inga signifikanta skillnader setts i fermentationen i vommen, påverkan på mikrobiotan eller mikrobproteinsyntesen, då biokol har tillsatts i foderstaterna.

3.2.5 Träckkonsistens

Träckkonsistensen kan ge en indikation på djurets tarmhälsa (Melendez & Roy 2016). Det är välkänt att träckkonsistensen ändras beroende på vad för foderstat som utfodras till djuret och generellt är en fuktig träck ett tecken på att nedbrytningen av fodret är god (Ireland-Perry & Stallings 1993). Högproducerande mjölkkor tenderar till att producera en lösare träck (Ireland-Perry & Stallings 1993). Även en proteinrik foderstat kan leda till en lösare träck (Ireland-Perry & Stallings 1993; Kononoff et al. 2002). En tunnflytande träck tyder däremot på att kon inte mår bra, och troligen är sjuk (Hulsen et al. 2008). För dräktiga kvigor är det normalt om träcken är något tjockare och att det hörs ett ”ploppljud” då träcken landar på skrapgången (Hulsen et al. 2008). Enligt Kononoff et al. (2002) ska en normal träck kunna staplas och inneha en höjd på ca 2-4 cm.

Träckkonsistensen beror enligt Ireland-Perry & Stallings (1993) på mängden grovfoder som ges och innehållet av ADF, samt protein i foderstaten. Enligt Ireland-Perry & Stallings (1993) leder ett lågt grovfoderintag och lågt innehåll av ADF till en lösare träck. En lösare träckkonsistens kan också bero på en högre passagehastighet, vilket inträffar då korna ökar sitt foderintag (Shellenberger & Kesler 1961; Ireland-Perry & Stallings 1993; Kononoff et al. 2002). I studien av Ireland-Perry & Stallings (1993) så hade de kor som utfodrades med en högre andel grovfoder och lägre andel stärkelse, en lägre passagehastighet, vilket också ledde till att fodret bröts ned mer och gav en högre smältbarhet, samt en fastare träckkonsistens. En fastare träck har också oftast en högre TS-halt, men den kan dock innehålla en del vatten ifall det är mycket foderpartiklar i träcken som ej brutits ned (Ireland-Perry & Stallings 1993). Enligt Melendez & Roy (2016) kan

partikelstorleken påverka passagehastigheten och därmed även träckkonsistensen. En grövre partikelstorlek har visat sig ge en fastare träck. Även ett ökat intag av NDF har visat sig resultera i en fastare träckkonsistens. En fastare träck tyder också på mindre fermentation i tjocktarmen (Melendez & Roy 2016).

Då biokol har en hög vattenhållande förmåga och kan dra åt sig vatten, kan biokol fungera som absorbent (Schmidt et al. 2019). I flertalet studier har det rapporterats om att träckkonsistensen blivit fastare och hårdare då biokol har tillsatts i fodret. Det har också varit fördelaktigt som behandling mot diarré (Schmidt et al. 2011). Exempelvis i en studie av Garillo et al. (1994) uppvisade får som åt en kraftfoderbaserad diet mindre tendens till att utveckla diarré då aktivt kol tillsattes, samt att de hade mindre risk för att utveckla trumsjuka. I en studie av Watarai et al. (2008) användes istället en produkt, kallad Nekka-rich, innehållande aktivt kol och pyrolysolja för att motverka parasiten *Cryptosporidium parvum* och diarré hos småkalvar. En tillsats på 10 mg Nekka-rich i mjölken gjorde att småkalvarnas diarré upphörde redan efter en dags behandling. Även andelen oocystor från *C. parvum* minskade i kalvarnas träck (Watarai et al. 2008). I en studie av Khan & Zahoor (2014) användes också aktivt kol som adsorbent för att ta upp aflatoxin B1 hos fjäderfä. Aflatoxin kan exempelvis leda till mag- och tarmproblem och ge diarré. Då aktivt kol adsorberar toxinet kan på så vis risken för diarré minska (Khan & Zahoor 2014). I en studie av Dungkokkrud et al. (2021) gavs även aktivt kol till möss i syfte att adsorbera toxiner, men behandlingen med aktivt kol ledde till förstoppning, brist på fettlösliga näringsämnen och hypokolesterolemi, det vill säga kolesterol brist. För att motverka dessa sidoeffekter användes en beläggning av alginat (en typ av polysackarid), vilket gjorde att problemen upphörde (Dungkokkrud et al. 2021). Det är dock oklart om dessa risker även skulle ge problem hos idisslare, vilket är något som vidare forskning i sådant fall får utvisa. Även i en studie av Qian et al. (2018) har det rapporterats om att möss som getts aktivt kol har fått symptom som förstoppning.

3.2.6 Djurens renhet

En tillsats av biokol i fodret till idisslare skulle potentiellt kunna leda till renare djur då det kan leda till en fastare och hårdare träckkonsistens (Schmidt et al. 2019). Renheten är också viktig att bedöma då den hör ihop med djurens hälsa och med den hygieniska nivån i stallet (Hulsen et al. 2008). Ju smutsigare djuren är desto större risk är det att de kommer drabbas av sjukdomar. Renheten kan vara kopplat till djurens utfodring, stallklimatet och liggbåsens utformning, samt hur rena skrapgångarna är i stallet (Hulsen et al. 2008). En faktor som kan komma att påverka renheten är diarré, vilket kan uppkomma om foderstaten har varit obalanserad och ett tydligt tecken på detta är när kon har gödselstänk på ryggen, vilket kan bero på att kons svans varit kontaminerad av gödsel (Hulsen et al. 2008).

En annan faktor som kan påverka renheten är enligt en studie av Robles et al. (2021) kornas liggtid, vilket kan påverkas av stallens yta, renhet och vad korna har för hullpoäng. I studien visade det sig att kor med ett högre hullpoäng tenderade till att ha en längre liggtid och därav var även risken för att de skulle kontamineras av gödsel större (Robles et al. 2021). Enligt en annan studie av Foris et al. (2022) framkommer det även att dräktighet kan ha en påverkan på renheten. Exempelvis har det visat sig att högdräktiga kor ligger ned oftare och under längre tid. Det gör att de löper större risk för att gödsla samtidigt som de ligger ned i liggbåset, vilket kan öka risken för att de ska kontamineras av gödsel (Foris et al. 2022).

Om träcken får en fastare och hårdare konsistens då biokol tillsätts i foder skulle det kunna leda till minskade klövproblem hos nötkreatur (Schmidt et al. 2019). Klövsjukdomar uppkommer vanligen då nötkreaturen får gå igenom stora mängder träck och urin (Wee et al. 1989). Biokol kan då skapa förutsättningar för att underlaget i stallen kan hållas torrt och rent, vilket också är de två huvudfaktorerna för att minska klövsjukdomar enligt Somers et al. (2005). Biokol har även använts i ströbädden hos fjäderfä, vilket lett till en minskning av halten NH_3 och att antalet eksem på fjäderfäns trampdynor har minskat (Gerlach & Schmidt 2012).

3.2.7 Träckens färg

Träckens färg beror på vad det är för typ av fodermedel som utfodras och fodrets sammansättning (Nilsson 2019). Kononoff et al. (2002) menar också att träckens färg beror på koncentrationen av utsöndrad galla från levern och passagehastigheten. En mörk träck tyder ofta på en långsam passage (Kononoff et al. 2002; Nilsson 2019). Då träcken är grön tyder det på att korna ätit mycket gräs (Kononoff et al. 2002; Hulsén et al. 2008; Hulsén & Aerden 2014; Nilsson 2019). Får de istället hö är träcken brunfärgad och får de en foderstat med mycket spannmål får träcken en gulare färg (Kononoff et al. 2002; Nilsson 2019). Vid diarré får träcken ofta en grå nyans (Kononoff et al. 2002). Om träcken i stället är svart eller blodig tyder det på en blödning i tarmen som exempelvis kan bero på dysenteri, koccidios, mykotoxiner mm. När djuren är sjuka och behandlas med någon typ av läkemedel kan det resultera i att träcken också får en annan nyans (Kononoff et al. 2002). Vid sjukdom kan träcken antingen visa sig som onormalt ljus eller mörk (Nilsson 2019). Om träcken har en vitaktig hinna då den torkats kan det tyda på att stärkelsen inte brutits ned ordentligt (Kononoff et al. 2002).

I en studie av Romero et al. (2021), då biokol tillsattes med 0, 0,5, 1 och 2 % av TS i en kornbaserad diet utfodrat till stutar fick träcken en mörk färg då biokol hade tillsatts. Ju högre inblandningsnivå av biokol desto mörkare blev också träcken (Romero et al. 2021).

3.2.8 Biokol för att minska näringsläckage från gödsel

Då biokol kan adsorbera näringsämnen, gaser och ta upp vatten, skulle den potentiellt kunna minska näringsläckage och utsläpp av växthusgaser från gödsel. Biokol kan exempelvis dra åt sig kväverika organiska föreningar vilket gör det värdefullt som gödselmedel, samtidigt som det minskar risken för näringsläckage (Schmidt et al. 2019). Biokolen kan på så sätt lagra näringsämnen och gaser i jorden, vilket sedan kan bli tillgängligt för grödan (Hossain et al. 2020). Biokol ökar tillgängligheten av näring till grödan, samtidigt som det minskar näringsläckage och utsläpp av växthusgaser (Hossain et al. 2020).

Potentiellt kan biokol minska risken för näringsläckage både vid lagring och spridning av gödsel (Schmidt et al. 2019). Då flytgödsel appliceras på jorden kan det leda till att P och N läcker ut i vattendrag, vilket kan leda till övergödning (Brennan et al. 2015). Enligt Brennan et al. (2015) leder det också till utsläpp av NH_3 och växthusgaser som, CH_4 , N_2O och CO_2 . För att minska utsläppen och risken för läckage tillsatte Brennan et al. (2015) 13 % biokol i flytgödsel, vilket minskade utsläppen av NH_3 med 77 %, N_2O med 63 % och CH_4 med 100 % jämfört med då ingen biokol tillsattes i flytgödseln. Biokol minskar även nitrifikationen, vilket gör att produktionen av N_2O minskar (Hossain et al. 2020).

I en studie av Williams & Edwards (2017) tillsattes biokol i hästgödsel och det visade sig minska avrinningen av både total kjeldahl-N och $\text{NH}_3\text{-N}$, samt koliforma bakterier. Biokol ökar därmed gödselns förmåga att bibehålla näring (Williams & Edwards 2017). Även i en studie av Al-Kindi et al. (2016) där getter utfodrades med en tillsats av aktivt kol i en foderstat bestående av hö och kraftfoder minskade andelen N i gödseln ju mer aktivt kol som tillsattes. Det ledde också till en ökning av andelen kol (C) i träcken (Al-Kindi et al. 2016). I en studie av Ghezzehei et al. (2014) adsorberade biokol mellan 20-43 % ammonium och 19-65 % fosfat, då biokol tillsattes i restvatten från gödsel (gödsel som späts ut med vatten och som sedan har filtrerats). Biokol tillsattes då med 2 g per 40 ml restvatten och inkuberades under 24 h (Ghezzehei et al. 2014).

Det finns därmed goda möjligheter för biokol att kunna ta upp näringsämnen och minska näringsläckage (Ghezzehei et al. 2014). Det skapar också förutsättningar för att använda produkten som gödselmedel, då det ökar den näringshållande förmågan i jorden (Laird et al. 2010). Hur effektiv användningen av biokol är beror dock på vad det är för typ av biokol, det vill säga vilket material som den är producerad av och hur pyrolysen, själva tillverkningen har gått till. Hur stor effekt biokolen sedan får när den appliceras i jorden beror också på vad det är för typ av jordart (Laird et al. 2010).

3.2.9 Aktivt kol till människor

Aktivt kol har länge använts som läkemedel till människor för att behandla olika typer av mag- och tarmproblem, som exempelvis sur mage, smärta på grund av gaser i magen och dyspepsi (känslig mage) (Man et al. 2021). Det har bland annat använts vid behandling vid akut förgiftning. Dess porösa struktur har förmåga att dra åt sig exempelvis alkoholer, toxiner och gaser från magen (Man et al. 2021). Aktivt kol har även använts för att behandla symptom som diarré hos människor och har gett en fastare avföring, utan att visa några synliga bieffekter vid behandling (Senderovich & Vierhout 2018). Diarré kan ibland uppkomma som bieffekt efter behandling av vissa läkemedelspreparat och aktivt kol har då kunnat användas för att motverka detta, utan att på något negativt sätt påverka läkemedlets effekt (Sergio et al. 2008). Aktivt kol har även visats sig minska tillväxten av bakterien *Escherichia coli in vitro*, vilken kan orsaka diarré hos både människor och djur (Sergio et al. 2008).

4. Material och metod

Ett utfodringsförsök på Lövsta lantbruksforskning, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) Uppsala, genomfördes under perioden 2022-01-17 till 2022-03-25, under totalt 10 veckor. Under försöket mättes konsumtionsförmåga, smältbarhet, träckkonsistens, färg på träcken och renhet på djuren, då kvigor utfodrades med ett vallensilage med olika inblandningsnivåer av biokol, tillsatt vid ensilering eller innan utfodring.

4.1 Försökets upplägg

Totalt valdes 10 dräktiga kvigor av raserna Svensk röd och vit boskap (SRB) och Holstein i åldrarna 18-30 månader, och med minst 4,5 månader kvar till kalvning ut till försöket. Kvigorna slumpades ihop i fem par med en kvinga av respektive ras i varje (Tabell 1). Varje kvingpar hade tillgång till ett eget fodertråg med respektive behandling (foderstat med eller utan inblandning av biokol) under hela försökets gång. De olika inblandningsnivåerna av biokol som användes i försöket var 1,5 % av TS eller 3 % av TS. Totalt var det fem olika behandlingar (Tabell 2). Försöket hade en Change over-design i form av en romersk kvadrat (Latin Square), vilket innebar att varje kvinga fick samtliga behandlingar (foderstater) under försöket. För varje period fick samtliga kvigor en ny behandling som slumpades ut mellan kvingparen (Tabell 3). Kvigorna fick respektive behandling i totalt 2 veckor, innan den skiftade till ett annat kvingpar. Den första veckan var tillvänjningsperiod och under den andra veckan samlades data och prover in.

Tabell 1. Fördelning av kvingpar per fodertråg

Kvingpar (fodertråg nr)	Djur-ID (SRB)	Djur-ID (Holstein)
37	2391	2419
38	2392	2396
39	2405	2420
40	2411	2404
41	2414	2403

Tabell 2. Behandlingar i försöket

Behandlingar	
<i>KONTROLL</i>	Vallensilage utan biokolstillsatts
<i>LÅGENS</i>	Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1,5 % av ts
<i>LÅGMIX</i>	Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1,5 % av ts
<i>HÖGENS</i>	Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3 % av ts
<i>HÖGMIX</i>	Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av ts

Tabell 3. Behandlingsordning för kvigparen (37-41) under försöket

Period	Kvigpar				
	37	38	39	40	41
1	<i>HÖGMIX</i>	<i>HÖGENS</i>	<i>LÅGENS</i>	<i>KONTROLL</i>	<i>LÅGMIX</i>
2	<i>KONTROLL</i>	<i>HÖGMIX</i>	<i>LÅGMIX</i>	<i>HÖGENS</i>	<i>LÅGENS</i>
3	<i>HÖGENS</i>	<i>LÅGENS</i>	<i>HÖGMIX</i>	<i>LÅGMIX</i>	<i>KONTROLL</i>
4	<i>LÅGMIX</i>	<i>KONTROLL</i>	<i>HÖGENS</i>	<i>LÅGENS</i>	<i>HÖGMIX</i>
5	<i>LÅGENS</i>	<i>LÅGMIX</i>	<i>KONTROLL</i>	<i>HÖGMIX</i>	<i>HÖGENS</i>

Kvigorna vägdes vid två tillfällen innan försökets början (2022-01-05 och 2022-01-08) och en gång vid försökets slut (2022-03-25) (Tabell 4). Vågen som användes var Marechalle, modell PM2855.

Tabell 4. Levandevikt (LV) i kg, innan försökets början och vid försökets slut

Djur-ID	Vikt innan (kg) ^a	Vikt efter (kg) ^b
2391	484	557
2392	541	636
2396	590	716
2403	520	649
2404	574	687
2405	516	597
2411	535	642
2414	478	578
2419	539	631
2420	546	647

^a Beräknat medelvärde för vägning vid tillfällena 2022-01-05 och 2022-01-08.

^b Vägning vid tillfället 2022-03-25.

Kvigorna hölls i en lösdrift med liggbås med gummimattor och skrapgång, där de kunde röra sig fritt mellan liggbåsavdelningen och foderträgen. De kunde själva välja när de ville gå till foderträgen och äta. Kvigorna hade bara behörighet till sitt eget fodertråg, vilket styrdes automatiskt med hjälp av sensorer (Biocontrol A/S, Rekkestad, Norge). Stallet som kvigorna hölls i var isolerat och hade naturlig ventilation, bestående av manuellt reglerbara ventilationsluckor och öppen taknock.

Under försökets gång hade kvigorna även fri tillgång till saltsten och vatten från vattenkoppar. För att kvigorna skulle hinna anpassa sig till stallmiljön och lära sig att äta från foderträgen flyttades de in i lösdriften en vecka innan försökets start.

4.2 Foderstat

Foderstaten bestod av ett gräsdominerat vallensilage, i huvudsak av timotej, från en tredjeskörd den 22:a augusti 2021. Vallensilaget förtorkades till ca 27 % TS för att sedan exakthackas och pressas till rundbalar i en stationär rundbalspress (Orkel Compactor MP 2000). Ett biologiskt ensileringsmedel (Xtrasil Bio Ultra, Lantmännen) tillsattes enligt rekommendation med 1 g i 2 l vatten/ton grönmassa (> 210000 cfu/g grönmassa). Biokolet (OBIO Fòrkull, Oplandske Energi, Biri, Norge) var framställt av gran vid en pyrolystemperatur av ca 650 °C, torkat till ca 96% TS och malt så att 53 % av viktandelen passerade 1 mm sållöppning. Biokolen tillsattes antingen vid ensilering av rundbalarna eller vid utfodringen av dem. Då biokol tillsattes vid ensileringen, blandades biokolen under minst 5 minuter med vallensilaget i en mixervagn med två vertikala skruvar (Kverneland Siloking Duo 20 m³) innan det pressades till rundbalar. Det biologiska ensileringsmedlet tillsattes också i mixervagnen. Då biokolen tillsattes innan utfodring, blandades det med vallensilage i en mixervagn (Kverneland Siloking 14 m³) strax innan utfodring.

Vallensilaget med biokol vägdes upp i plastbaljor med ca 18-20 kg i varje, två till tre gånger per vecka för respektive behandling. De förvarades sedan i en fryscontainer med en temperatur mellan -5°C till -7°C, innan de flyttades in i ladugården för att utfodras manuellt. Utfodringen skedde kl. 6.00 på morgonen och kl. 18.00 på kvällen. Totalt utfodrades omkring 5 baljor med vallensilage (ca 90-100 kg vallensilage) per tråg och dag, för varje behandling. Foderträgen registrerade sedan automatiskt foderkonsumtionen, kg per kvinga och dag.

Kvigorna utfodrades *ad libitum*, men fodergivan justerades efter hand så att det inte var mer än 5-10 % foderrester kvar i träget per dag. I de fall foderresterna var mycket små eller näst intill obefintliga ökades fodergivan. Trågen tömdes även på foderrester dagligen, vilket gjordes strax innan kvällsutfodringen.

Justering av foderstat

Under den första perioden sågs små skillnader mellan behandlingarna vad gäller träckkonsistensen. För att se om biokol hade en tydlig effekt på träckkonsistensen tillsattes ett magnesiumrikt mineralfoder (Effekt Mg, Lantmännen) med 1 % av TS med start under den andra perioden. Förhoppningarna var att en tillsats motsvarande 3 g extra Mg per kg TS skulle ge en lösare träck och på så vis också ge en tydligare bild på om en tillsats av biokol ger en fastare träckkonsistens eller ej.

Tabell 5. Kemisk komposition (g/kg TS om ej annat anges) av vallensilage, medelvärde (N=5) och $\pm$ standardavvikelse (STD) för respektive behandling

Variabel	Behandling									
	KONTROLL ¹		LÅGENS ²		LÅGMIX ³		HÖGENS ⁴		HÖGMIX ⁵	
	Medelvärde	STD	Medelvärde	STD	Medelvärde	STD	Medelvärde	STD	Medelvärde	STD
TS, g/kg	242,6	4,3	264,5	4,2	249,0	7,4	267,1	4,0	251,8	4,0
Aska	90,4	3,5	91,6	2,1	89,2	2,9	89,4	2,8	88,4	1,7
NDF	473,8	10,3	464,6	9,2	476,3	5,2	473,2	12,7	478,7	4,8
Råprotein (RP)	193,5	2,8	194,3	3,0	189,2	3,8	193,4	2,0	186,9	2,0
NH ₄ , g/kg										
tot N	74,1	4,1	70,5	4,6	75,2	3,6	70,3	2,4	75,3	4,2
Ättiksyra	29,1	1,4	26,7	1,3	27,7	1,6	26,4	0,8	26,8	0,7
Propionsyra	0,6	0,4	0,5	0,2	0,6	0,3	0,5	0,3	0,4	0,1
Smörsyra	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0
Mjölksyra	111,8	3,5	106,1	2,8	107,9	4,0	102,5	1,6	106,3	4,2
Etanol	6,6	0,3	6,3	0,3	6,2	0,5	6,2	0,2	5,6	0,6
pH	4,3	0,1	4,3	0,1	4,3	0,1	4,4	0,1	4,3	0,1
VOS ⁶ , g/kg	849,5	11,6	855,5	20,4	859,9	13,6	849,8	13,0	851,1	3,7

¹Vallensilage utan biokolstillsats

²Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1.5 % av TS

³Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1.5 % av TS

⁴Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3 % av TS

⁵Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av TS

⁶Vomvätskelöslig organisk substans bestämd med buffrad vomvätska efter 96 h inkubation

4.3 Insamling av prover och data

Ensilageprovtagning

Under varje period togs prover på vallensilaget för respektive behandling. Totalt samlades ett prov på ca 500-800 g vallensilage per dag under varje insamlingsperiod. Proverna förvarades sedan i en frys i -20°C . Efter varje insamlingsperiod tinades proverna upp. Proverna för respektive behandling och vecka blandades sedan samman (poolades) och maldes med hjälp av en köttkvarn genom 10 mm såll, för att ett representativt prov för varje behandling och period skulle kunna tas och analyseras.

Prov togs även på vallensilaget under tillvänjningsperioden som säkerhet ifall något skulle se missvisande ut vid analyser från insamlingsperioden.

Träckprovtagning

Träckprovtagning gjordes på morgonen, kl. 8.00-10.00 och på eftermiddagen, kl. 15.00-17.00 under dag 8 till 12 i varje försöksperiod. Träcken från respektive kviga

samlades med hjälp av en hinkar, genom att träcken fångades med hinken då kvigorna defekerade, det vill säga vid ett naturligt nedsläpp av träcken. Alternativt kunde träcken också plockas upp från skrapgången, så länge den inte var kontaminerad av strömedel som spån eller liknande. Totalt samlades 600 g träck per kviga och dag, 300 g på morgonen och 300 g på eftermiddagen, vilket frystes in i påsar i -20 °C. Vid träckprovtagningen på morgonen samlades ytterligare 200 g träck per kviga och dag i provburkar, som användes i ett test för att bedöma träckkonsistensen och träckens färg.

Vid respektive periods slut tinades de frysta träckproverna upp för att blandas i en hink med hjälp av en eldriven färgblandare. För att träcken lättare skulle kunna blandas och för att ett så representativt prov som möjligt skulle kunna tas, tillsattes vatten motsvarande 10 % av den totala träckvikten. Efter att träcken blandats ordentligt kunde ett representativt prov på 200 g träck vägas upp i petriskålar, en för respektive kviga och period, vilket senare skickades till labbet för analys. Ytterligare 600 g träck vägdes upp i återförslutningsbara plastpåsar och frystes in som säkerhet om mer träck skulle behövas i en senare analys. Även ett delprov på 1000 g träck vägdes upp och frystes in i påsar i -20 °C för vidare forskning om gödsellagring, som del av det så kallade biokolsprojektet.

Träckkonsistens- och färgbedömning

Träckkonsistensen bestämdes dagligen under insamlingsperioden enligt en 7-gradig skala baserad på Ireland-Perry & Stallings (1993) och senare modifierad av Melendez & Roy (2016) (Tabell 6). En högre träckkonsistenspoäng i skalan innebar en fastare och hårdare träck. Vid bedömningen släpptes 200 g träck, vilket samlats i provburkar vid träckprovtagningen, med hjälp av ett stativ från en meters höjd, för att sedan falla ned på en plastmatta enligt Ireland-Perry & Stallings (1993) och Atkinson et al. (2020). Sedan bestämdes träckkonsistensen utifrån den 7-gradiga skalan (Ireland-Perry & Stallings 1993; Melendez & Roy 2016), samtidigt som också träckens spridning, det vill säga träckens största och minsta mått i diameter (cm) mättes, vilket var en del av bedömningen av träckkonsistensen. Träckens diameter mättes alltså från två olika håll, vilket sedan bestämdes till träckens största respektive minsta mått. Se exempel på träckkonsistensbedömningen under bilaga 1.

Tabell 6. Träckkonsistensbedömning enligt Ireland-Perry & Stallings (1993); Melendez & Roy (2016)

Poäng	Träckkonsistensbedömning
1.0	Flytande och vattnig konsistens, stänker och sprider sig lätt vid nedsläpp. Har en spridning på > än 50 cm i diameter.
1.5	Lite mindre flytande och vattnig konsistens, stänker vid nedsläpp och sprider sig <50 cm i diameter.
2.0	Har en lös konsistens, samt kan staplas något och formen är rund. Stänker och sprids måttligt vid nedsläpp, > 30 cm i diameter.
2.5	Staplas något mer och formen är rundare. Stänker och sprids måttligt vid nedsläpp, <30 cm i diameter.
3.0	Lös, men fast konsistens (inte hård). Har en rund form, och kan staplas. Sprider sig försiktigt vid nedsläpp, <30 cm i diameter
3.5	Fast och något hård konsistens. Har en rund form och kan staplas. Sprider sig nästan inget vid nedsläpp, <30 cm i diameter.
4.0	Fast och hård, samt torr konsistens. Dess ursprungliga form ändras inte vid nedsläpp, <30 cm i diameter.

Vid bedömningen av träckkonsistensen bedömdes också färgen på träcken, vilket gjordes utifrån en fyrgradig skala, och som baserades på ett examensarbete av Steen (2004), då träckdiagnostik hos mjölkkor utvärderades. Eftersom kvigorna upplevdes ha en mycket mörk nyans på träcken, utökades skalan med definitionen ”svartbrun träck”. Skalan löd enligt följande; 1. Gulbrun träck, 2. Brun träck, 3. Mörkbrun träck och 4. Svartbrun träck (figur 1). I detta försök var det dock ingen av kvigornas träck som bedömdes till poäng 1. Gulbrun träck.



Figur 1. Bedömning av färg, från vänster; 2. Brun träck, 3. Mörkbrun träck och 4. Svartbrun träck. Inget träckprov bedömdes ha färgpoäng 1. Gulbrun träck.

Renhetsbedömning

Renheten på kvigorna bedömdes varje morgon kl. 8.00. Kvigorna graderades utifrån en fyrgradig skala för lår och flank, samt bakben (Tabell 7). Vid bedömning togs även bilder på kvigorna, för att göra en senare bedömning möjlig. Se exempel under bilaga 2.

Tabell 7. Renhetsbedömning enligt Hulsen (2008)

Poäng	Bakben	Lår och flank
1	Ingen eller mycket lite gödsel på klöven och nedre delen av benet	Ingen gödsel på lår och flank
2	Lite gödselstänk på nedre delen av benet	Lite gödselstänk på lår och flank
3	Gödsel på nedre delen av benet men man ser fortfarande hårremmen	Gödsel på delar av benet men man ser fortfarande hårremmen
4	Stora delar av nedre delen av benet är täckta med gödsel som bildar skorpor långt upp på benet	Stora delar av låret och flanken är täckta med gödsel som bildar skorpor

Konsumtionsförmåga

Den totala foderkonsumtionen för respektive kviga registrerades automatiskt via databasen Basreg. När ett djur går in i tråget registreras vikten på det foder som finns i trågen när de börjar äta och hur mycket som är kvar efter att de har ätit, samt under hur lång tid de äter.

4.4 Analyismetoder

Analys av foder

Ett representativt prov på 400 g torkades vid 60°C under 18 h, och förvarades sedan i rumstemperatur för att jämnvikta med luften innan vägning. Ensilageproverna maldes därefter i en hammarkvarn (Slagy modell 200, Kamas, Malmö) genom 1 mm såll, för att ett så homogent prov som möjligt skulle kunna användas för analys. TS-halten bestämdes genom torkning vid 103°C. För att bestämma aska förbrändes allt organiskt material med en temperatur på 550°C. OS kunde sedan beräknas, genom att subtrahera askan från TS-halten. Neutral Detergent Fibre (NDF) analyserades i värmeskåp (Chai & Udén 1998). NDF är det som är kvar efter att ett prov kokats med natriumlaurylsulfat och etylendiamintetraättiksyra (EDTA), det vill säga lignin, cellulosa och hemicellulosa (McDonald et al. 2010). Råprotein (RP) analyserades med Kjeldahlmetoden och beräknades som $N \times 6,25$ (McDonald et al. 2010). Smältbar organisk substans *in vitro* analyserades med VOS-metoden (vomvätskelöslig organisk substans) i en 96-timmarsinkubation enligt Lindgren (1979). Saltsyraolöslig aska (AIA) (Van Keulen & Young 1977) analyserades också för beräkning av smältbarhet *in vivo*.

Från 100 g otorkat ensilageprov pressades vätska ut från ensilaget. Vätskan analyserades för NH_4 , pH, VFA, alkoholer och mjölksyra.

Analys av träck

TS-halten och aska bestämdes, samt OS beräknades även för träckproverna med samma metoder beskrivna för analys av foder. NDF, RP och mineralämnen analyserades även på torkade och malda prover.

Ett representativt träckprov på 200 g i petriskålar frystorkades och maldes till 1 mm. Smältbarheten skattades sedan med AIA.

4.5 Beräkningar

Konsumtionen, kg TS per dag och g NDF per kg TS och dag beräknades utifrån ensilagens TS-halt för varje period och periodmedelvärden för färskviktsintaget. För att beräkna konsumtionen, g per kg TS och dag i % av levande vikt (LV) och g NDF per kg TS och dag i % av LV, användes vikten som uppmättes 2022-03-25 (Tabell 4). Periodmedelvärden beräknades även för bedömningen av träckenskonsistens, träckens största och minsta mått i diameter (cm) hos träckprovet när det släppts från stativet, träckens färg och djurens renhet (bakben, lår och flank).

Smältbarheten av TS beräknades med hjälp av AIA genom formeln;

$$\frac{\text{Markör i träcken, g/kg TS} - \text{Markör i foder, g/kg TS}}{\text{Markör i träcken, g/kg TS}}$$

enligt McDonald et al. (2010). Smältbarheten beräknades även för OS, NDF och RP.

Under period 1 var kviga 2411 halt och behandlades med antibiotika, vilket gjorde att hennes foderkonsumtion minskade till vad som kan ses som onormala nivåer. Hennes träck var även ovanligt fast och mörk. Därav har data för kvigan 2411, rörande konsumtion, kg TS per dag, kg TS per dag i % av LV, g NDF per kg TS och dag, g NDF per kg TS och dag i % av LV, träckkonsistens- och färgbedömningen, samt smältbarheten av TS, OS, NDF och RP tagits bort från period 1.

4.6 Statistisk analys

Statistiska beräkningar har gjorts med hjälp av dataprogrammet Minitab® 19 (State College, PA: Minitab, Inc. www.minitab.com). Metoden som användes var ANOVA och ”general linear model”.

I analysen användes följande modell: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{l(k)} + e_{ijkl}$ där μ är periodmedelvärdet, α_i är effekten av behandling ($i = 1$ till 5), β_j är effekten av period ($j = 1$ till 5), γ_k är effekten av ras ($k=1$ till 2), δ är effekten av djur inom ras ($l = 1$ till 5). Period, behandling och ras betraktades som fixa faktorer, medan djur var slumpmässig faktor. Försöket var upplagt som två identiska romerska kvadrater och varje kvadrat representerades av en ras. De fem behandlingssekvenserna i respektive kvadrat fördelades slumpmässigt på djur inom ras. De två djur som tilldelades samma behandlingssekvens delade på ett fodertråg.

Parvisa jämförelser gjordes för samtliga behandlingar med korrektion för multipla jämförelser enligt Tukey med 95 % konfidensintervall. En parvis jämförelse gjordes även för responsen träckkonsistens mot period, för att se om det var skillnad på träckkonsistensen mellan de olika perioderna, då extra mineraler tillsattes under period 2.

5. Resultat

5.1 Konsumtionsförmåga och smältbarhet

Det var inga signifikanta skillnader mellan behandlingarna för konsumtionen, kg TS per dag, kg TS per dag i % av LV, g NDF per kg TS och dag eller g NDF per kg TS och dag i % av LV (Tabell 8). Det var inte heller några signifikanta skillnader mellan behandlingarna vad gäller smältbarheten av TS, OS, NDF och RP (Tabell 8).

Tabell 8. Periodmedelvärden för konsumtionen, kg TS per dag, kg TS per dag i % av LV, g NDF per kg TS och dag, g NDF per kg TS och dag i % av LV, samt smältbarheten av TS, OS, NDF och RP.

Variabel	Behandling						P-värde
	KONTROLL ¹	LÅGENS ²	LÅGMIX ³	HÖGENS ⁴	HÖGMIX ⁵	SED ⁶	
<u>Konsumtion</u>							
Kg TS per dag	11,22	11,73	11,63	11,37	11,78	0,31	0,308
Kg TS per dag i % av LV	1,76	1,85	1,83	1,79	1,85	0,05	0,295
g NDF per kg TS och dag	4,95	5,09	5,18	5,05	5,28	0,15	0,254
g NDF per kg TS och dag i % av LV	0,78	0,80	0,82	0,80	0,83	0,02	0,231
<u>Smältbarhet</u>							
TS ⁷	0,73	0,73	0,72	0,73	0,69	0,02	0,267
OS ⁸	0,75	0,75	0,74	0,75	0,71	0,02	0,280
NDF ⁹	0,80	0,81	0,80	0,80	0,77	0,02	0,348
RP ¹⁰	0,74	0,74	0,72	0,75	0,69	0,03	0,161

¹Vallensilage utan biokolstillsats

²Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1.5 % av ts

³Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1.5 % av ts

⁴Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3 % av ts

⁵Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av ts

⁶Standard error of difference (största värdet av två på grund av obalans)

⁷Smältbarheten av torrsubstansen (TS)

⁸Smältbarheten av organisk substans (OS)

⁹Smältbarheten av Neutral detergent fibre (NDF)

¹⁰Smältbarheten av råprotein (RP)

5.2 Bedömning av träck och kvigornas renhet

5.2.1 Träckkonsistens

Behandlingarna HÖGMIX (vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av TS) och LÅGMIX (vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1,5 % av TS) skiljde sig signifikant mot KONTROLL (vallensilage utan biokolstillsats), vilket tyder på att en tillsats av biokol i vallensilage utfodrat till kvigor ger en signifikant fastare och hårdare träckkonsistens jämfört med KONTROLL (Tabell 9). Behandlingarna HÖGENS (vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3 % av TS) och LÅGENS (vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1,5 % av TS) skiljde sig däremot inte mot KONTROLL. Kvisor som fick HÖGMIX fick den högsta träckkonsistenspoängen och därmed den fastaste och hårdaste träckkonsistensen, medan kvigor som fick KONTROLL fick den lägsta träckkonsistenspoängen, det vill säga den lösaste träckkonsistensen (Tabell 9).

HÖGMIX skiljde sig signifikant mot HÖGENS trots samma inblandningsnivå av biokol. Det betyder att träckkonsistensen blir fastare och hårdare då biokol med hög inblandningsnivå, blandas i vallensilaget vid utfodring, än vid ensilering. Däremot skiljde sig inte LÅGMIX och LÅGENS mot varandra, vilka också hade samma inblandningsnivå av biokol (Tabell 9).

Det går inte med säkerhet att säga att träckkonsistensen påverkades av inblandningsnivån av biokol. Det vill säga om biokol tillsattes med 1,5 % av TS eller 3 % av TS. Det var ingen signifikant skillnad mellan HÖGMIX och LÅGMIX, eller HÖGENS och LÅGENS (Tabell 9). Dock skiljde sig HÖGMIX signifikant mot KONTROLL, LÅGENS och HÖGENS, och hade därmed den fastaste och hårdaste träckkonsistensen. I jämförelse med KONTROLL hade HÖGMIX också den signifikant minsta spridningen, det vill säga största och minsta mått i cm (Tabell 9).

Då mineralfoder innehållande Mg tillsattes med start från period 2, sågs ingen signifikant skillnad mellan KONTROLL och behandlingarna med biokolstillsats. En tillsats av mineralfoder påverkade därmed inte träckkonsistensen. Däremot sågs en signifikant skillnad ($p < 0,001$) mellan period 2 och 5, då träckkonsistensen var fastare under period 5.

5.2.2 Färg

De kvigor som utfodrades med vallensilage med biokolstillsats fick en signifikant mörkare färg på träcken, och därmed högre färgpoäng än de kvigor som fick KONTROLL (Tabell 9). De kvigor som fick KONTROLL hade den ljusaste färgen på träcken och därmed lägsta färgpoängen. Det finns även en tendens till att en

högre inblandningsnivå av biokol ger en mörkare färg på träcken då HÖGMIX hade den högsta färgpoängen. LÅGENS skiljer sig även signifikant mot både HÖGENS och HÖGMIX, dock skiljer sig inte LÅGMIX mot HÖGENS och HÖGMIX (Tabell 9).

Det fanns en signifikant skillnad mellan LÅGMIX och LÅGENS, vilket betyder att vid låg inblandning av biokol får träcken en mörkare färg om det är tillsatt vid utfodring, än om det är tillsatt vid ensilering. Det var dock inga signifikanta skillnader på färgen vid hög inblandning av biokol (Tabell 9).

5.2.3 Renhet

För bedömningen av renheten på kvigornas bakben sågs en signifikant skillnad mellan behandlingarna LÅGENS och LÅGMIX (Tabell 9). De kvigor som fick LÅGENS hade en lägre renhetspoäng och var därmed signifikant renare än de kvigor som fick LÅGMIX. I övrigt var det inga signifikanta skillnader mellan de resterande behandlingarna och det var ingen av behandlingarna som skiljde sig mot KONTROLL. Vid bedömningen av renheten för lår och flank sågs inga signifikanta skillnader mellan de olika behandlingarna.

Tabell 9. Periodmedelvärden för träckkonsistens, träckens största och minsta mått (cm), färg och renhet, samt SED för varje behandling.

Variabel	Behandling					SED ⁶	P-värde
	KONTROLL ¹	LÅGENS ²	LÅGMIX ³	HÖGENS ⁴	HÖGMIX ⁵		
Träckkonsistens	2,78 ^c	2,86 ^{bc}	3,01 ^{ab}	2,92 ^{bc}	3,13 ^a	0,066	<0,001
Största mått (cm) ⁷	15,29 ^a	14,58 ^{ab}	14,48 ^{ab}	14,70 ^{ab}	13,75 ^b	0,428	0,022
Minsta mått (cm) ⁷	13,67 ^a	13,22 ^{ab}	12,94 ^{ab}	13,19 ^{ab}	12,18 ^b	0,418	0,018
Färg	2,09 ^c	3,29 ^b	3,64 ^a	3,88 ^a	3,94 ^a	0,121	<0,001
Renhet bakben	2,48 ^{ab}	2,42 ^b	2,72 ^a	2,64 ^{ab}	2,60 ^{ab}	0,098	0,031
Renhet lår och flank	1,14	1,14	1,04	1,02	1,04	0,085	0,443

¹Vallensilage utan biokolstillsats

²Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1,5 % av ts

³Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1,5 % av ts

⁴Vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3 % av ts

⁵Vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av ts

⁶Standard error of difference (största värdet av två på grund av obalans)

⁷Träckens största och minsta mått i cm (diameter) då 200 g träckprov släpps från 1 m höjd mha ett stativ

^{abc}Värden som inte delar samma bokstav är statistiskt signifikanta, $p < 0,05$

6. Diskussion

6.1 Biokolens inverkan på konsumtionsförmåga och smältbarhet

En tillsats av biokol i vallensilage utfodrat till kvigor gav inga signifikanta skillnader vad gäller konsumtionsförmågan, kg TS per dag, kg TS per dag i % av LV, g NDF per kg TS och dag och g NDF per kg TS i % av LV, vilket överensstämmer med tidigare forskning på området (Garillo et al. 1994; Schmidt et al. 2019; Terry et al. 2019; Winders et al. 2019). I snitt konsumerade kvigorna i kg TS, ca 1,8 % av sin levande vikt (LV) och ca 0,8 % NDF av sin LV, vilket skulle kunna anses som rimliga nivåer, då kor har en maximal konsumtionskapacitet på ca 3,2 – 4,5 % av sin LV (Nilsson 2019), samt kan konsumera uppåt 1 % NDF av sin LV (Jardstedt 2019). Kvigorna ökade också i vikt under försökets gång. Det tyder därmed på att inga synbara negativa effekter kunde ses då kvigorna fick en tillsats av biokol i sitt vallensilage. En tillsats av biokol verkar heller inte påverka kvigornas smakpreferens. I en studie av Erickson et al. (2011), då kvigorna däremot hade chans att välja mellan ensilage med eller utan tillsats av aktivt kol, så valde de ensilaget utan tillsats av aktivt kol. I studien sågs dock inga skillnader i konsumtionsförmåga när de inte hade chans att välja foder (Erickson et al. 2011).

En tillsats av biokol i vallensilage utfodrat till kvigor gav inte heller någon signifikant påverkan på smältbarheten av TS, OS, NDF och RP, vilket också överensstämmer med tidigare forskning av Garillo et al. (1994), Terry et al. (2019) och Winders et al. (2019), då inga signifikanta skillnader har setts på *in vivo* smältbarheten av TS. Även i en studie av Hansen et al. (2012) har inte någon signifikant skillnad setts på *in vitro* smältbarheten av TS vid användning av en biokolstillsats. I en studie av Saleem et al. (2018) sågs dock en ökning av *in vitro* smältbarheten av TS, OS, NDF och RP. En orsak till att smältbarheten kan förbättras vid en tillsats av biokol eller aktivt kol kan vara att mykotoxiner, tanniner, gifter mm kan adsorberas, vilket skulle kunna leda till en förbättrad nedbrytning och ökat näringsupptag (Kutlu et al. 2001; Van et al. 2006; Erickson et al. 2011). Det finns dock en risk att det samtidigt skulle kunna leda till en minskad smältbarhet

då biokol och aktivt kol också riskerar att dra åt sig viktiga enzymer, vitaminer och fetter (Kutlu et al. 2001).

Hur smältbarheten påverkas av biokol eller aktivt kol, skulle också kunna bero på vilket material som produkterna är tillverkade av. Enligt Hansen et al. (2012) var exempelvis *in vitro* smältbarheten av TS högre då biokol tillverkat av halm användes, än när en träbaserad eller gasifierad biokol användes. Möjligtvis kan även biokolens tillverkningsprocess spela roll för hur den påverkar smältbarheten. Exempelvis kan pyrolystemperatur avgöra hur porös biokolen blir, vilket kan påverka förmågan att adsorbera näringsämnen och ta upp vatten (Lehmann 2007; Laird et al. 2010). Olika typer av biokol skiljer sig också i ytarea, bulkdensitet och pH, vilket gör att mikrobiotan i vommen hos korna kan påverkas på olika sätt, vilket i sin tur kan påverka nedbrytningen av fodret och därmed smältbarheten (Terry et al. 2019). Det skulle också kunna leda till att näringsupptaget påverkas (Terry et al. 2019). Smältbarheten skulle dock kunna förbättras, då biokol skapar större yta i vommen för mikrober att tillväxa på (Saleem et al. 2018).

6.2 Träckkonsistens, färg och renhet på djuren

Vid en tillsats av biokol i vallensilage tenderade kvigornas träckkonsistens att bli fastare och hårdare, vilket resulterade i en högre träckkonsistenspoäng. Detta stämmer överens med tidigare forskning på området då en tillsats av aktivt kol eller biokol lett till en fastare träckkonsistens hos bland annat nötkreatur, får och möss (Garillo et al. 1994; Watarai et al. 2008; Qian et al. 2018; Schmidt et al. 2019; Dungkokkrud et al. 2021). En fastare avföring har även setts hos människor vid användning av aktivt kol (Sergio et al. 2008; Senderovich & Vierhout 2018). Vid en fastare och hårdare träckkonsistens var också spridningen, det vill säga träckens största och minsta mått i cm, mindre, vilket tidigare forskning också bekräftar (Ireland-Perry & Stallings 1993; Melendez & Roy 2016; Atkinson et al. 2020).

Hur biokolen blandas i vallensilaget har en signifikant påverkan på träckkonsistensen, då behandlingarna HÖGMIX och LÅGMIX skiljde sig signifikant mot KONTROLL, medan behandlingarna HÖGENS och LÅGENS inte gjorde det. Träckkonsistensen var alltså signifikant fastare och hårdare då biokolen tillsattes i vallensilaget vid utfodring, än vid ensilering. HÖGMIX skiljde sig även signifikant mot HÖGENS trots samma inblandningsnivå av biokol, vilket stödjer att det kan finnas en påverkan i hur biokolen blandas i vallensilaget. Varför det skiljer sig om biokolen är tillsatt vid ensilering eller vid utfodring är svårt att säga, och det skulle behövas mer forskning på området för att ta reda på varför. En teori skulle dock kunna vara att biokolens förmåga att absorbera vatten vid nedbrytning av foder är sämre då biokol är tillsatt vid ensilering, än om det är tillsatt vid

utfodring. Om biokolen är tillsatt vid ensilering har troligen redan mycket vatten från ensilaget absorberats, vilket skulle kunna innebära att biokolet delvis är mättat. Det skulle kunna innebära att biokolets förmåga att absorbera vatten vid nedbrytningen av fodret försämras.

Det var svårt att tyda om inblandningsnivån, det vill säga om biokol tillsattes med låg inblandning, 1,5 % av TS eller med hög inblandning, 3% av TS påverkade träckkonsistensen, eftersom det inte var någon signifikant skillnad mellan HÖGMIX och LÅGMIX, respektive HÖGENS och LÅGENS. Däremot skiljde sig HÖGMIX signifikant mot KONTROLL och LÅGENS, vilket stödjer att en högre inblandningsnivå av biokol skulle ge en fastare och hårdare träckkonsistens. I jämförelse med KONTROLL gav också behandlingen HÖGMIX också en signifikant mindre spridning på träcken, det vill säga största och minsta mått i diameter (cm), vilket i sig tyder på en fastare och hårdare träckkonsistens.

Om syftet är att påverka träckkonsistensen bör biokol enligt denna studie blandas i ensilaget innan utfodring och inte vid ensilering. Å andra sidan har dock biokol och aktivt kol visat sig vara effektivt som ensileringsmedel för att förbättra den hygieniska kvaliteten i ensilaget och skulle också kunna minska nedbrytningen av protein till ammoniak-kväve ($\text{NH}_3\text{-N}$) och fria aminosyror (Calvelo Pereira et al. 2014). Exempelvis kan biokol gynna tillväxten av mjölksyrabakterier, vilket i sin tur kan leda till en snabbare pH sänkning i ensilaget (Erickson et al. 2011; Calvelo Pereira et al. 2014; Schmidt et al. 2019). Det kan också leda till minskad produktion av smörtsyra. Biokolen kan även adsorbera mykotoxiner i ensilaget (Erickson et al. 2011; Calvelo Pereira et al. 2014; Schmidt et al. 2019). Erickson et al. (2011) såg exempelvis i sin studie att mjölkkor tenderade till att öka sitt TS-intag då aktivt kol tillsattes i ett ensilage av dålig kvalitet och med innehåll av mykotoxiner. Biokol skulle därför vara motiverat att tillsätta om ensilagens hygieniska kvalitet är dålig.

Trots en fastare och hårdare träckkonsistens sågs ingen signifikant effekt av biokoltillsats på kvigornas renhet i denna studie. Det skulle kunna bero på att kvigorna överlag var rena vid försökets utförande. Kvigornas träck hade också en relativt fast och hård träckkonsistens redan innan försökets start, vilket är normalt för kvigor som närmar sig kalvning (Hulsen et al. 2008). Det var ingen av kvigorna som bedömdes ha en träckkonsistenspoäng lägre än 2,5 på skalan enligt Ireland-Perry & Stallings (1993) och Melendez & Roy (2016). Träckens största och minsta mått var också mindre än 30 cm i diameter. De kvigor som fick KONTROLL (vallensilage utan biokoltillsats) hade i snitt en träckkonsistenspoäng på 2,78, vilket ligger inom ramen för ett önskvärt träckkonsistenspoäng mellan 2-3 enligt Melendez & Roy (2016). En fast och hård träckkonsistens skulle i detta fall också kunna bero på att foderstaten var grovfoderbaserad och hade ett högt innehåll av NDF (Ireland-Perry & Stallings 1993; Melendez & Roy 2016). Eftersom kvigorna

också hölls i lösdrift var risken för att de skulle lägga sig ned i sin egen gödsel även liten. Om kvigorna hade haft en lösare träck vid försökets start hade eventuellt en större effekt på både träckkonsistensen och djurens renhet setts då biokol tillsattes.

Biokol skulle kunna vara lämpligt att använda som tillsats i foder för att minska risken för lös träckkonsistens eller diarré. Det skulle särskilt kunna vara aktuellt att använda i foderstater till högproducerande mjölkkor, vilka enligt Ireland-Perry & Stallings (1993) och Kononoff et al. (2002) har högre tendens för att producera en lösare träck, eftersom de har ett högt foderintag, hög passagehastighet, ofta får en proteinrik foderstat och en foderstat med lågt innehåll av NDF, samt ADF. Det skulle dock behövas göras forskning för att se hur en tillsats av biokol i sådant fall skulle påverka kornas produktionssegenskaper. Biokol skulle även kunna användas för att motverka diarré vid plötsliga foderbyten, vilket stöds av Garillo et al. (1994) eller minska diarré hos exempelvis kalvar (Watarai et al. 2008). Då en högre passagehastighet kan leda till en lösare träck (Shellenberger & Kesler 1961; Ireland-Perry & Stallings 1993; Kononoff et al. 2002), vore det också intressant att undersöka om en tillsats av biokol påverkar passagehastigheten, samt om det kan ha en påverkan på näringsupptaget. En fastare och hårdare träckkonsistens skulle också potentiellt kunna leda till en bättre klövhälsa, då underlaget skulle kunna hållas renare och torrare (Somers et al. 2005). Det skulle också kunna leda till att skötseln av djuren blir lättare, då det exempelvis skulle kunna bli enklare att hålla liggbåsen rena. Det skulle på sikt kunna vara positivt för djurvälfaerden.

En tydlig effekt av inblandning av biokol i vallensilage är att det leder till en mörkare färg på träcken, nästintill svart nyans. Eftersom LÅGENS också skiljde sig signifikant mot HÖGENS och HÖGMIX, tyder det på att en högre biokolsinblandning även ger en mörkare färg på träcken, vilket överensstämmer med studien av Romero et al. (2021), då träcken blev mörkare ju högre inblandningsnivå av biokol som användes. Att träcken blir mörkare beror troligen helt enkelt på att biokolen är svart (Romero et al. 2021). Då det fanns en signifikant skillnad mellan behandlingarna LÅGMIX och LÅGENS, skulle inblandningssättet kunna spela roll. Träcken skulle i sådant fall få en mörkare färg om biokol tillsattes vid utfodring, än om det tillsattes vid ensilering.

6.3 Biokolens framtida användningsområden

För att biokol ska vara lämpligt att använda som tillsats i foder är det viktigt att dess effekter är tillräckliga för att göra det försvarbart. Hur biokol minskar metanproduktionen är inte helt kartlagt. Det tros ske antingen genom adsorption (Hansen et al. 2012), påverkan av mikrobiotan genom ökning av antalet metanotrofer, vilka konsumerar CH₄ (Feng et al. 2012; Leng 2014; Kammann et al.

2017) eller genom att biokol kan fungera som elektronacceptor i redoxreaktioner (Kammann et al. 2017). Om CH₄ adsorberas, är det dock oklart hur länge gasen kan lagras i biokolen innan den frisläpps. Biokol är känd för att vara lagringsstabil och den kan lagras i jorden upp till flera tusen år innan den bryts ned och CO₂ frisläpps till atmosfären (Lehmann et al. 2006; Lehmann & Joseph 2009). Det skulle behövas mer forskning på hur väl biokol faktiskt minskar metanproduktionen, samt för att kartlägga hur lagringsstabil biokol är, och hur länge i sådant fall CH₄ kan lagras innan det frigörs i atmosfären. Det gäller även för hur bra den näringshållande förmågan är och hur väl biokol kan minska risken för näringsläckage. Det finns dock flera studier som tyder på att biokol ökar både den vatten- och näringshållande förmågan och bildar en slags näringsreservoar, så att både vatten och näring finns tillgänglig för grödan under en längre tid (Laird et al. 2010; Basso et al. 2013; Schmidt et al. 2019).

Biokol skulle kunna vara en viktig del i ett framtida kretslopp i lantbruket, dels som kolsänka (Lehmann et al. 2006) och för att minska näringsläckage (Laird et al. 2010; Ghezzehei et al. 2014; Al-Kindi et al. 2016; Williams & Edwards 2017; Schmidt et al. 2019). Eftersom biokol också kan användas som tillsats i foder ökar dess användningspotential i lantbruket. Biprodukter från skog- och lantbruk skulle då kunna tas omhand för att producera biokol (Lehmann et al. 2006), vilket sekundärt också skulle generera en produktion av exempelvis värme eller biobränslen (Lehmann 2007; Lehmann & Joseph 2009). Sedan kan biokol tillsättas i ensilage som ensileringsmedel eller blandas direkt i fodret för att senare leda till flera positiva effekter då det utfodras till idisslare. Exempelvis minskad metanproduktion (Hansen et al. 2012; Leng et al. 2012a; Saleem et al. 2018), ökad mikrobproteinsyntes (Leng 2014; Saleem et al. 2018; Terry et al. 2019), fastare träckkonsistens (Garillo et al. 1994; Watarai et al. 2008; Qian et al. 2018; Schmidt et al. 2019; Dungkokkruad et al. 2021) och renare djur. Väl i gödseln kan biokolen sedan minska näringsläckage och utsläpp av växthusgaser tack vare sina adsorberande egenskaper, vid både lagring av gödsel och vid spridning av den (Brennan et al. 2015), för att till slut appliceras i jorden som jordförbättrande medel (Lehmann et al. 2006). Vid lagring av biokol i jorden kan den även ses som en stabil kolsänka (Lehmann et al. 2006). För att användningen av biokol ska ses som hållbar bör produktionen vara baserad på lokal biomassa eller gårdens egna biprodukter, där den senare också kan återföras. Användningen av biokol kan på så sätt bli del av ett kretslopp på gårdsnivå.

Något som kan vara relevant att diskutera vid användningen av biokol på gårdsnivå är hur produkten ska hanteras. Förslagsvis då biokol ska användas som en tillsats i foder kan den blandas i en mixervagn tillsammans med övriga fodermedel. Exempelvis skulle biokolen kunna tillsättas med hjälp av en traktor med lastare och skopa. Eventuellt finns det dock en risk att biokolen dammar och det skulle kunna

vara hälsofarligt att andas in vid foderberedningen. Det skulle därför vara bra om lantbrukaren använder munskydd eller liknande när biokolen blandas i fodret. Då biokol ska användas som ensileringsmedel behövs bättre metoder utvecklas för hur det ska tillsättas i ensilaget. I detta försök tillsattes biokolen genom att vallensilaget hackades och blandades med biokol i en mixervagn innan det pressades till rundbalar. Det är dock inte lämpligt att göra på gårdsnivå då det både är en tids- och energikrävande process, och som troligen inte heller är lönsam att utföra. För att användningen av biokol ska kunna tillämpas på gårdsnivå behövs troligen ett mer effektivt sätt att hantera produkten på utvecklas. Det behövs även utförligare riktlinjer kring tillverkningen av produkten, så att den erhåller samma form av kvalité, då den ska användas som tillsats i foder.

7. Slutsatser

En tillsats av biokol i vallensilage utfodrat till kvigor leder till en fastare och hårdare träckkonsistens, vilket också innebär en mindre spridning, det vill säga största och minsta mått på träcken, då det är tillsatt i ensilaget innan utfodring. En högre inblandningsnivå av biokol, i detta fall ca 3 % av TS gav också en fastare och hårdare träck. Träcken får även en mörkare färg då biokol tillsätts, och den blir mörkare ju mer biokol som tillsätts i vallensilaget. I denna studie ledde inte en fastare och hårdare träckkonsistens till renare djur, vilket skulle kunna bero på att kvigorna redan hade en relativt fast träck vid försökets start. Ingen signifikant skillnad på träckkonsistensen sågs i denna studie då biokol tillsattes vid ensilering. I de fall det finns risk för dålig hygienisk kvalitet i ensilaget kan det dock vara motiverat att tillsätta biokol vid ensilering, då det kan adsorbera exempelvis mykotoxiner, samt gynna mjölksyrabakterier, vilket kan resultera i en snabbare pH-sänkning.

En tillsats av biokol i vallensilage har ingen påverkan på kvigornas konsumtionsförmåga, vilket tyder på att smakligheten av fodret inte påverkas. En tillsats av biokol påverkade inte heller smältbarheten av TS, OS, NDF och RP. Det betyder att biokol i detta fall inte påverkar vallensilagets fodervärde.

Referenser

- Al-Kindi, A., Dickhoefer, U., Schlecht, E., Sundrum, A. & Schiborra, A. (2016). Effects of quebracho tannin extract (*Schinopsis balansae* Engl.) and activated charcoal on nitrogen balance, rumen microbial protein synthesis and faecal composition of growing Boer goats. *Archives of Animal Nutrition*, 70 (4), 307–321. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2016.1175807>
- Atkinson, G.A., Smith, L.N., Smith, M.L., Reynolds, C.K., Humphries, D.J., Moorby, J.M., Leemans, D.K. & Kingston-Smith, A.H. (2020). A computer vision approach to improving cattle digestive health by the monitoring of faecal samples. *Scientific Reports*, 10 (1), 17557. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74511-0>
- Basso, A.S., Miguez, F.E., Laird, D.A., Horton, R. & Westgate, M. (2013). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy*, 5 (2), 132–143. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12026>
- Brennan, R.B., Healy, M.G., Fenton, O. & Lanigan, G.J. (2015). The Effect of Chemical Amendments Used for Phosphorus Abatement on Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Dairy Cattle Slurry: Synergies and Pollution Swapping. *PLOS ONE*, 10 (6), e0111965. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111965>
- Calvelo Pereira, R., Muetzel, S., Camps Arbestain, M., Bishop, P., Hina, K. & Hedley, M. (2014). Assessment of the influence of biochar on rumen and silage fermentation: A laboratory-scale experiment. *Animal Feed Science and Technology*, 196, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.06.019>
- Chai, W. & Udén, P. (1998). An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fibre. *Animal Feed Science and Technology*, 74 (4), 281–288. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00187-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00187-4)
- Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y. & Zhang, W. (2019). Past, present, and future of biochar. *Biochar*, 1. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00008-3>
- Dungkokkrud, P., Tomita, S., Hiromori, Y., Ishida, K., Matsumaru, D., Mekada, K., Nagase, H., Tanaka, K. & Nakanishi, T. (2021). Alginate-coated activated charcoal enhances fecal excretion of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in mice, with fewer side effects than uncoated one. *Journal of Toxicological Sciences*, 46 (8), 379–389. <https://doi.org/10.2131/jts.46.379>
- Edmunds, B., Spiekers, H., Südekum, K.-H., Nussbaum, H., Schwarz, F.J. & Bennett, R. (2014). Effect of extent and rate of wilting on nitrogen components of grass silage. *Grass and Forage Science*, 69 (1), 140–152. <https://doi.org/10.1111/gfs.12013>
- Erickson, P.S., Whitehouse, N.L. & Dunn, M.L. (2011). Activated carbon supplementation of dairy cow diets: Effects on apparent total-tract nutrient digestibility and taste preference1. *The Professional Animal Scientist*, 27 (5), 428–434. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30515-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30515-5)

- European Biochar Certificate (EBC). (2022). *Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <https://www.european-biochar.org/en/ct/2-EBC-guidelines-documents> [2022-04-26]
- Feng, Y., Xu, Y., Yu, Y., Xie, Z. & Lin, X. (2012). Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.016>
- Foris, B., Mangilli, L.G., Van Os, J.M.C., von Keyserlingk, M. a. G., Fregonesi, J.A. & Weary, D.M. (2022). Individual and environmental factors associated with defecation while lying down in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105 (1), 726–733. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20012>
- Fransson, A.-M., Gustafsson, M., Malmberg, J. & Paulsson, M. (2020). *Bikolshandboken-för användare*. 2020, 2020, 78
- Garillo, E.P., Pradhan, R. & Tobioka, H. (1994). Effects of activated carbon on growth, ruminal characteristics and blood profiles in sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, (1), 43-50. <https://doi.org/10.5713/ajas.1995.43>
- Gerlach, H. & Schmidt, H.-P. (2012). Biochar in poultry farming. *Ithaka Journal*, 262–264.
- Ghezzehei, T.A., Sarkhot, D.V. & Berhe, A.A. (2014). Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties. *Solid Earth*, 5 (2), 953–962. <https://doi.org/10.5194/se-5-953-2014>
- Guo, X., Zheng, M., Wu, S., Zou, X., Chen, X., Zhang, Q. & Wang, M. (2021). A Preliminary Investigation on Bacterial Diversity and Fermentation Quality of High-Moisture Alfalfa Silage Prepared with Biochar. *Agronomy-Basel*, 11 (10), 1971. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101971>
- Hansen, H.H., Storm, I.M.L.D. & Sell, A.M. (2012). Effect of biochar on *in vitro* rumen methane production. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 62 (4), 305–309. <https://doi.org/10.1080/09064702.2013.789548>
- Hossain, M.Z., Bahar, M.M., Sarkar, B., Donne, S.W., Ok, Y.S., Palansooriya, K.N., Kirkham, M.B., Chowdhury, S. & Bolan, N. (2020). Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*, 2 (4), 379–420. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Hulsen, J. & Aerden, D. (2014). *Utfodringssignaler, En praktisk guide till att utfodra mjölkkor för hälsa och produktion*. (Cow signals)
- Hulsen, J., Corthals, B. & Mehlqvist, M. (2008). *Kosignaler : en praktisk bok om mjölkföretagande med kon i fokus*. Zutphen: Roodbont.
- Ireland-Perry, R.L. & Stallings, C.C. (1993). Fecal Consistency as Related to Dietary Composition in Lactating Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 76 (4), 1074–1082. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77436-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77436-6)
- Jardstedt, M. (2019). *Roughage feeding of suckler cows during winter, intake, utilization, and energy status in pregnant cows*. Diss. Skara. Sveriges lantbruksuniversitet. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 1652-6880 ; 2019:24. <https://pub.epsilon.slu.se/16079/>
- Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M.L., Estavillo, J., Fuertes-Mendizábal, T., Jeffery, S., Kern, J., Novak, J., Rasse, D., Saarnio, S., Schmidt, H.-P., Spokas, K. & Wrage-Mönnig, N. (2017). Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden – knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1319375>

- Khan, F.A. & Zahoor, M. (2014). *In vivo* detoxification of aflatoxinB1 by magnetic carbon nanostructures prepared from bagasse. *BMC Veterinary Research*, 10 (1), 255. <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0255-y>
- Koenig, K.M., Newbold, C.J., McIntosh, F.M. & Rode, L.M. (2000). Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen. *Journal of Animal Science*, 78 (9), 2431–2445. <https://doi.org/10.2527/2000.7892431x>
- Kononoff, P., Heinrichs, J. & Varga, G. (2002). Using Manure Evaluation to Enhance Dairy Cattle Nutrition. *Dairy & Animal Science*. https://globe-swiss.ch/files/Downloads/1442/Download/manure_dairy_cattle.pdf [2022-06-12]
- KRAV. (2022). KRAV. <https://www.krav.se/> [2022-02-03]
- Kutlu, H.R., Ünsal, I. & Görgülü, M. (2001). Effects of providing dietary wood (oak) charcoal to broiler chicks and laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 90 (3), 213–226. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00205-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00205-X)
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158 (3), 436–442. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.012>
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5 (7), 381–387. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11 (2), 403–427. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>
- Lehmann, J. & Joseph, S. (red.) (2009). *Biochar for environmental management: science and technology*. London ; Sterling, VA: Earthscan.
- Lehmann, J. & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: an introduction. *Biochar for Environmental Management*. 2. uppl. Routledge
- Leng, R., Inthapanya, S. & Preston, T. (2012a). Biochar lowers net methane production from rumen fluid *in vitro*. *Livestock Research for Rural Development*, 24
- Leng, R., Preston, T. & Inthapanya, S. (2012b). Biochar reduces enteric methane and improves growth and feed conversion in local "Yellow" cattle fed cassava root chips and fresh cassava foliage. *Livestock Research for Rural Development*, 24
- Leng, R.A. (2014). Interactions between microbial consortia in biofilms: a paradigm shift in rumen microbial ecology and enteric methane mitigation. *Animal Production Science*, 54 (5), 519–543. <https://doi.org/10.1071/AN13381>
- Lindgren, E. (1979). *Vallfodrets näringsvärde bestämt in vivo och med olika laboratoriemetoder* =. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för husdjurens näringsfysiologi. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Vallfodrets+na%CC%88ringsva%CC%88rde+besta%CC%88mt+in+vivo+och+med+olika+laboratoriemetoder+%3D&author=Lindgren%2C+Erik.&publication_year=1979 [2022-04-13]
- Man, K.Y., Chow, K.L., Man, Y.B., Mo, W.Y. & Wong, M.H. (2021). Use of biochar as feed supplements for animal farming. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51 (2), 187–217. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1721980>
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. & Wilkinson, R.G. (2010). *Animal nutrition*. Seventh Edition. Pearson.
- Melendez, P. & Roy, E. (2016). The Association between Total Mixed Ration Particle Size and Fecal Scores in Holstein Lactating Dairy Cows from

- Florida, USA. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 11, 33–40. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2016.33.40>
- Moss, A.R., Jouany, J.-P. & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 49 (3), 231–253. <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Nationalencyklopedin. (u.å.a). *Adsorption*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/adsorption> [2022-06-11]
- Nationalencyklopedin. (u.å.b). *Absorption*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/absorption> [2022-06-11]
- Nilsson, M. (2019). *Mjölkör. 3. uppl. BMM Förlag*.
- Qian, Y., Song, J.-L., Yi, R., Li, G., Sun, P., Zhao, X. & Huo, G. (2018). Preventive Effects of *Lactobacillus Plantarum* YS4 on Constipation Induced by Activated Carbon in Mice. *Applied Sciences-Basel*, 8 (3), 363. <https://doi.org/10.3390/app8030363>
- Robles, I., Zambelis, A., Kelton, D.F., Barkema, H.W., Keefe, G.P., Roy, J.P., von Keyserlingk, M. a. G. & DeVries, T.J. (2021). Associations of freestall design and cleanliness with cow lying behavior, hygiene, lameness, and risk of high somatic cell count. *Journal of Dairy Science*, 104 (2), 2231–2242. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18916>
- Romero, C.M., Redman, A.-A.P.H., Terry, S.A., Hazendonk, P., Hao, X., McAllister, T.A. & Okine, E. (2021). Molecular speciation and aromaticity of biochar-manure: Insights from elemental, stable isotope and solid-state DPMAS ¹³C NMR analyses. *Journal of Environmental Management*, 280, 111705. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111705>
- Saleem, A.M., Ribeiro, G.O., Yang, W.Z., Ran, T., Beauchemin, K.A., McGeough, E.J., Ominski, K.H., Okine, E.K. & McAllister, T.A. (2018). Effect of engineered biocarbon on rumen fermentation, microbial protein synthesis, and methane production in an artificial rumen (RUSITEC) fed a high forage diet. *Journal of Animal Science*, 96 (8), 3121–3130. <https://doi.org/10.1093/jas/sky204>
- Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Draper, K. & Kammann, C. (2019). The use of biochar in animal feeding. *PeerJ*, 7, e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>
- Schmidt, M., Torn, M., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D., Nannipieri, P., Rasse, D., Weiner, S. & Trumbore, S. (2011). Persistence of Soil Organic Matter as an Ecosystem Property. *Nature*, 478, 49–56. <https://doi.org/10.1038/nature10386>
- Senderovich, H. & Vierhout, M.J. (2018). Is there a role for charcoal in palliative diarrhea management? *Current Medical Research and Opinion*, 34 (7), 1253–1259. <https://doi.org/10.1080/03007995.2017.1416345>
- Sergio, G.-C., Félix, G.-M. & Luis, J.-V. (2008). Activated charcoal to prevent irinotecan-induced diarrhea in children. *Pediatric Blood & Cancer*, 51 (1), 49–52. <https://doi.org/10.1002/pbc.21491>
- Shellenberger, P.R. & Kesler, E.M. (1961). Rate of Passage of Feeds through the Digestive Tract of Holstein Cows. *Journal of Animal Science*, 20 (3), 416–419. <https://doi.org/10.2527/jas1961.203416x>
- Sjaastad, Ø.V., Hove, K. & Sand, O. (2010). *Physiology of domestic animals*. 2nd edition. Oslo: Scandinavian Veterinary Press.
- Somers, J.G.C.J., Frankena, K., Noordhuizen-Stassen, E.N. & Metz, J.H.M. (2005). Risk factors for digital dermatitis in dairy cows kept in cubicle houses in The Netherlands. *Preventive Veterinary Medicine*, 71 (1–2), 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2005.05.002>

- Steen, K. (2004). *Träckdiagnostik hos mjölkkor*. (Examensarbete 205) Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV). Uppsala.
- Tamayao, P., Ribeiro, G.O., McAllister, T.A., Ominski, K.H., Saleem, A.M., Yang, H.E., Okine, E.K. & McGeough, E.J. (2021). Effect of pine-based biochars with differing physiochemical properties on methane production, ruminal fermentation, and rumen microbiota in an artificial rumen (RUSITEC) fed barley silage. *Canadian Journal of Animal Science*, 101 (3), 577–589. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0129>
- Teoh, R., Caro, E., Holman, D.B., Joseph, S., Meale, S.J. & Chaves, A.V. (2019). Effects of Hardwood Biochar on Methane Production, Fermentation Characteristics, and the Rumen Microbiota Using Rumen Simulation. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1534. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01534>
- Terry, S.A., Ribeiro, G.O., Gruninger, R.J., Chaves, A., Beauchemin, K.A., Okine, E. & McAllister, T.A. (2019). A Pine Enhanced Biochar Does Not Decrease Enteric CH₄ Emissions, but Alters the Rumen Microbiota. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 308. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00308>
- Van, D.T.T., Mui, N.T. & Ledin, I. (2006). Effect of method of processing foliage of *Acacia mangium* and inclusion of bamboo charcoal in the diet on performance of growing goats. *Animal Feed Science and Technology*, 130 (3), 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.008>
- Van Keulen, J. & Young, B.A. (1977). Evaluation of Acid-Insoluble Ash as a Natural Marker in Ruminant Digestibility Studies. *Journal of Animal Science*, 44 (2), 282–287. <https://doi.org/10.2527/jas1977.442282x>
- Watarai, S., Tana & Koiwa, M. (2008). Feeding Activated Charcoal from Bark Containing Wood Vinegar Liquid (Nekka-Rich) Is Effective as Treatment for Cryptosporidiosis in Calves. *Journal of Dairy Science*, 91 (4), 1458–1463. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0406>
- Wee, E. ter, Wierenga, H.K. & Smits, A.C. (1989). Claw and leg disorders in cattle in relation to the design and construction of floors. <https://research.wur.nl/en/publications/claw-and-leg-disorders-in-cattle-in-relation-to-the-design-and-co> [2022-03-07]
- Williams, R.E. & Edwards, D.R. (2017). Effects of Biochar Treatment of Municipal Biosolids and Horse Manure on Quality of Runoff from Fescue Plots. *Transactions of the Asabe*, 60 (2), 409–417. <https://doi.org/10.13031/trans.11891>
- Winders, T.M., Jolly-Breithaupt, M.L., Wilson, H.C., MacDonald, J.C., Erickson, G.E. & Watson, A.K. (2019). Evaluation of the effects of biochar on diet digestibility and methane production from growing and finishing steers. *Translational Animal Science*, 3 (2), 775–783. <https://doi.org/10.1093/tas/txz027>
- Zhang, S., Wang, L., Wei, W., Hu, J., Mei, S., Zhao, Q. & Tsang, Y.F. (2018). Enhanced roles of biochar and organic fertilizer in microalgae for soil carbon sink. *Biodegradation*, 29 (4), 313–321. <https://doi.org/10.1007/s10532-017-9790-0>

Populärvetenskaplig sammanfattning

Biokol är en produkt som tillverkas av organiskt material eller biomassa i en process som kallas pyrolys, då materialet upphettas i en temperatur mellan 350 och 1000 °C i en syrefri miljö. Intresset för produkten har under den senaste tiden ökat dels då den fungerar som en stabil kolsänka och kan användas som bland annat jordförbättringsmedel. Biokol har exempelvis god närings- och vattenhållande förmåga och kan öka jordens bördighet, vilket kan resultera i ökad avkastning för de grödor som odlas där. Nyligen har också intresset för att använda produkten i foder till idisslare blivit aktuellt. Främst i syfte att minska metanproduktionen i vommen genom att påverka mikrobiotan, adsorbera metan och vara delaktig i olika redox-reaktioner. Biokol har också testats som ensileringsmedel för att sänka vattenaktiviteten och gynna mjölksyrabakterier, vilket i sin tur kan generera en snabbare pH-sänkning. Det minskar därmed risken för feljäsning i ensilaget och kan förbättra den hygieniska kvaliteten. Då biokol tros ha en påverkan på mikrobiotan i vommen, skulle det också kunna leda till att produktionen av mikrobprotein ökar. I gödsel har biokol också visat sig minska avrinningen av näringsämnen och utsläpp av växthusgaser.

Syftet med denna studie var att undersöka hur en tillsats av biokol i vallensilage utfodrat till kvigor kan påverka konsumtionsförmågan, smältbarheten, träckens konsistens och färg, samt djurens renhet. Totalt undersöktes fem olika behandlingar och biokolen tillsattes antingen vid ensilering eller innan utfodring med två olika inblandningsnivåer. Behandlingarna var; KONTROLL (vallensilage utan biokolstillsats), LÅGENS (vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 1,5 % av TS), LÅGMIX (vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 1,5 % av TS), HÖGENS (vallensilage med biokol tillsatt vid ensilering ca 3% av TS) och HÖGMIX (vallensilage med biokol tillsatt vid utfodring ca 3 % av TS).

Det visade sig att en tillsats av biokol i vallensilage inte påverkade, varken konsumtionsförmågan eller smältbarheten. Däremot ledde en inblandning av biokol till en signifikant fastare och hårdare träckkonsistens, då biokol blandades in i vallensilaget innan utfodring. Den högre inblandningsnivån på ca 3 % av TS gav också den fastaste och hårdaste träckkonsistensen. Träckens spridning, det vill säga träckens minsta och största mått i diameter, då ett träckprov släpptes från ett stativ på 1 m höjd, var också mindre vid en högre inblandning av biokol. En inblandning

av biokol tenderade även till att ge en mörkare färg på träcken. Potentiellt skulle en fastare och hårdare träckkonsistens kunna leda till att djuren blir renare, men inga signifikanta resultat visades för djurens renhet i denna studie. Generellt var alla kvigor som deltog i studien rena under hela försökets gång. En effekt av fastare och hårdare träckkonsistens skulle även kunna vara att det kan leda till förbättrad klövhälsa.

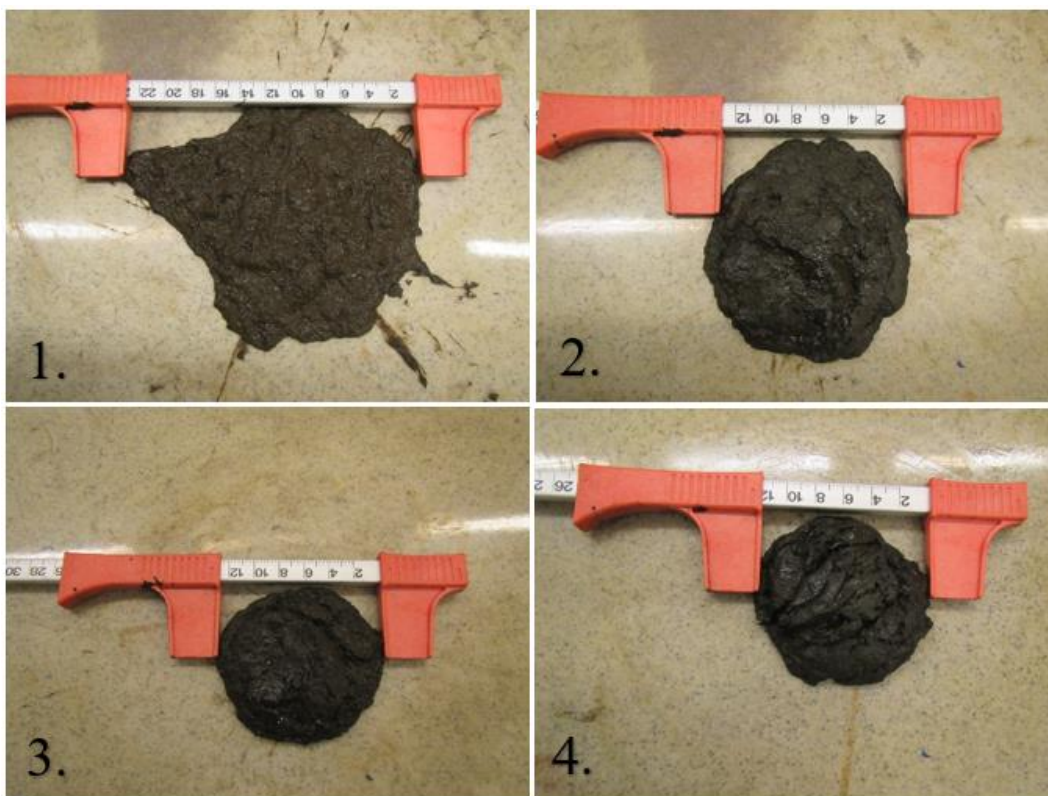
Utifrån denna studie och resultat beskrivna i litteratur inom området så finns det god potential för biokol att användas som tillsats i foder till idisslare, då inga negativa effekter har uppmätts. Enligt denna studie bör biokolen tillsättas innan utfodring om det ska påverka träckkonsistensen, om syftet inte är att använda det som ensileringsmedel. Biokol har också god potential att ingå i ett kretslopp på gården, där den både kan tillverkas och användas för många nyttor. Dels som tillsats i fodret för att minska metanproduktionen eller påverka mikrobproteinsyntesen i vommen, resultera i en fastare och hårdare träckkonsistens, renare djur, och dels som gödselmedel för att minska risken för näringsläckage då den sprids på åkern igen. Om biokol ska fungera som tillsats i foder behöver också riktlinjer för tillverkningen av produkten utvecklas, så att kvalitén på biokolen kan säkras. Det är också viktigt att undersöka hur den praktiska hanteringen av produkten ska göras på gårdsnivå, samt om det är ekonomiskt försvarbart för lantbrukare att använda sig utav produkten.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Bengt-Ove Rustas och Torsten Eriksson som har hjälpt, svarat på många frågor och stöttat mig under detta arbete, samt varit till stor hjälp för att planera utförandet för den praktiska insamlingen av data på Lövsta.

Bilaga 1

Exempel träckkonsistensbedömning, där nr 1. har den lösaste konsistensen (2,5) och 4. har den hårdaste och fastaste konsistensen (4):



- 1. Träckkonsistenspoäng – 2,5
- 3. Träckkonsistenspoäng – 3,5

- 2. Träckkonsistenspoäng – 3
- 4. Träckkonsistenspoäng – 4

Bilaga 2

Exempel på renhetsbedömning från period 5, 23 mars 2022; från vänster, kvigorna 2420 och 2405:



1. Bakben – 2
Lår och flank – 1

2. Bakben - 2
Lår och flank - 2

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. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Läs om SLU:s publiceringsavtal 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.