



Gener som påverkar kaseininnehållet i getmjölken

Tova Pettersson

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för husdjurens biovetenskaper
Djur och hållbarhet (kandidat)
Uppsala 2024



Gener som påverkar kaseininnehållet i getmjölken

Genes affecting the casein content in goat milk

Tova Pettersson

Handledare: Anna Maria Johansson, Sveriges Lantbruksuniversitet,
Institutionen för husdjurens biovetenskaper
Examinator: Martin Johnsson, Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för
husdjurens biovetenskaper

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap
Kurskod: EX0865
Program/utbildning: Djur och hållbarhet (kandidat)
Kursansvarig inst.: Institutionen för tillämpad husdjursvetenskap och välfärd
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord: Get, kasein, mjölkegenskaper

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjurens biovetenskaper

Sammanfattning

Getter har globalt sett ökat i antal och i producerad mängd mjölk. Den viktigaste produkten från geten är osten, vars egenskaper kommer speglas från mjölken. Mjölken består av lipider, proteiner, kolhydrater, vitaminer och mineraler, och kommer vara sammansatt olika beroende på bland annat art, ålder, laktationsstadium och miljö. Proteinerna i mjölken består till största delen av kaseiner, vilka har en viktig roll i ostutbytet. Syftet med litteraturstudien är att få en överblick över vilka gener och alleler som påverkar egenskaperna hos mjölken och hur detta visar sig hos olika raser. Generna som visat sig påverka kaseininnehållet är *CSN1S1*, *CSN2*, *CSN1S2* och *CSN3*. *CSN1S1* har forskats mycket på och där kan man se en tydlig skillnad i allelfrekvens mellan olika raser i världen. Det framkommer att de italienska raserna har högre frekvens av starka alleler för α_{s1} -kasein (*CSN1S1*) jämfört med två nordiska raser, vilket bör visa sig i ett högre ostutbyte i Italien, då kaseinet spelar en viktig roll för ostutbytet. Genen har även en påverkan på andra egenskaper så som mängd av protein, fett och laktos. *CSN2*, *CSN1S2* och *CSN3* har främst forskats på i regionen kring Italien vilket gör att man inte kan göra en större jämförelse. De har inte heller visat ha en påverkan på andra egenskaper än kaseininnehållet ännu. *CSN3* har idag inte en gemensam nomenklatur för allelerna, vilket försvårar jämförelser mellan olika studier.

Nyckelord: get, kasein, mjölkegenskaper

Abstract

Goats have globally increased in number and in the amount of milk produced. The most important product from the goat is cheese, whose traits will be reflected from the milk. The milk consists of lipids, proteins, carbohydrates, vitamins and minerals, and will be composed differently depending on species, age, stage of lactation and environment. The protein in the milk consists mostly of caseins, which have an important role in cheese yield. The aim of this literature study is to get an overview of which genes and alleles that will affect the traits of the milk and how this is expressed in different breeds. The genes shown to affect casein content are *CSN1S1*, *CSN2*, *CSN1S2* and *CSN3*. *CSN1S1* has been extensively researched and you can see a clear difference in frequency between different breeds in the world. It appears that the Italian breeds have a higher frequency of strong alleles for α_{s1} -casein (*CSN1S1*) compared to two nordic breeds, which should be reflected in a higher cheese yield in Italy, as the casein plays an important role in cheese yield. The gene also has an impact on other traits such as amount of protein, fat and lactose. *CSN2*, *CSN1S2* and *CSN3* have mainly been researched in the region around Italy, which means that a major comparison can not be made. Nor have they shown to have an impact on traits other than the casein content yet. *CSN3* does not currently have a common nomenclature for the alleles, which makes comparisons between different studies difficult.

Keywords: goat, casein, milk traits

Innehållsförteckning

1.	Inledning	7
2.	Litteraturgenomgång	9
2.1	Gener med inverkan på kaseininnehåll i mjölken	9
2.2	Skillnad i kasein mellan olika raser	10
2.2.1	CSN1S1	10
2.2.2	CSN2	11
2.2.3	CSN1S2	12
2.2.4	CSN3	13
2.3	Kaseinens påverkan på andra egenskaper i mjölken	13
3.	Diskussion	15
3.1	Slutsats	17
	Referenser	19

1. Inledning

Globalt sett har antalet getter och därmed dess totala mjölmängd ökat (Haenlein 2001). År 2022 fanns det totalt 1,15 miljarder getter i världen, medan det för tio år sedan låg på 986,7 miljoner getter (FAOSTAT). I Sverige har antalet ökat från 5500 getter år 2003 till cirka 11 200 getter år 2018, vilket innebär att antalet getter i Sverige har fördubblats sedan 2003 (Jordbruksverket, 2019). Till följd av att samhället länge haft en negativ syn på getter har de inte prioriterats inom produktionssektorn, men getterna har fått en viktig roll hos både låg- och höginkomstländerna idag (Boyazoglu et al. 2005).

Geten är ett tåligt produktionsdjur och har flera olika anpassningar för att klara av olika klimatförhållanden, som kan leda till minskad vattentillgång, sämre beten och sjukdomsutbrott hos getpopulationerna (Nair et al. 2021). Till följd av ett sent intresse för geten finns det inte lika mycket forskning kring djurslaget jämfört med exempelvis nötkreatur. Till följd av det ökade intresset för geten såväl i låg- som höginkomstländer har därmed produkterna från geten börjat accepteras i högre grad, vilket har lett till att priserna för både kött och mjölk har kunnat höjas. (Boyazoglu et al. 2005).

Den mest populära produkten från getmjölken är ost, vars egenskaper speglas av mjölken (Nayik et al. 2022). Tillverkningen av osten följs av flera olika processer, där huvudprocessen är uttorkning för att höja koncentrationen av kasein och fett. Övriga steg som ingår i processen är surgörning, koagulering, separation av ostmassa och vassle, formning och saltning. Hur väl uttorkningen blir kommer bero på de olika stegen i processen, men även bero på vilken sammansättning mjölken har. En viktig del i processen är koaguleringen som innebär att kaseinfraktionen i proteinet bildar en gel som binder in fett (Fox & McSweeney 2017). En ökad gelstyrka får osten generellt vid ökad mängd av protein och fett i mjölken. Det är viktigt att gelen är tillräckligt stark för vidare process i osttillverkningen (Guinee et al. 1997).

Mjölakens primära komponenter är lipider, proteiner, kolhydrater, vitaminer och mineraler. Hur mjölken kommer vara sammansatt hos olika individer är beroende av flertalet olika faktorer så som foder, art, individ, laktationsstadium men även miljö.

När det gäller proteinet finns det två olika huvudgrupper. Det finns vassleproteiner som består av laktoglobulin och α -laktalbumin. Den andra gruppen är kaseinerna som består av fyra olika proteinvarianter (Guo 2003). Normalt sett består proteinfraktionen i mjölken av 80% kasein och 20% vassleproteiner, och dessa kodas då av sammanlagt sex olika gener (Selvaggi et al. 2014). Stewart et al. (1987) förklarar att kaseinets funktion är att transportera kalciumfosfat i mjölken och därmed se till att avkomman får i sig tillräckligt av detta. Det har visat sig att kaseingenerna har en väldigt viktig inverkan på ostutbytet och kommer därmed spela en viktig roll för ekonomin i produktionen (Selvaggi et al. 2014).

Hos de flesta mjölksorter är det de olika kaseinerna som står för de största proteinkomponenterna (Müller-Buschbaum et al. 2007), därav kommer arbetet att fokuseras på generna som påverkar uttrycket av kaseiner. Syftet med studien är att få en överblick över vilka gener och alleler som påverkar egenskaperna hos mjölken och hur detta visar sig hos olika raser. Frågeställningar blir därför följande: Vilka gener har en inverkan på getmjölkens kaseininnehåll? Hur skiljer sig generna för kasein mellan olika raser? Påverkar generna för kasein andra egenskaper hos mjölken?

2. Litteraturgenomgång

2.1 Gener med inverkan på kaseininnehåll i mjölken

Getmjölken består av flera olika komponenter så som protein, fett och kolhydrater men även mineraler och vitaminer. När det gäller protein finns det sex olika gener man främst pratar om. De innefattar två gener som kodar för de två vassleproteinerna, vilka är laktoglobulin och α -laktalbumin, och fyra gener som kodar för de fyra kaseinerna. Kaseinerna är den större gruppen av proteiner och dit hör α_{s1} -kasein, α_{s2} -kasein, β -kasein och κ -kasein. Kaseinerna finns i mjölken som miceller, vilket är en samling av molekyler som är löst bundna till varandra (Guo 2003). Miceller bildas av de olika kaseinproteinerna tillsammans, men dess sammansättning och struktur är man idag oense om (Müller-Buschbaum et al. 2007). De fyra kaseingenerna har en tät koppling och är namngivna på följande sätt: *CSN1S1* (α_{s1} -kasein), *CSN2* (β -kasein), *CSN1S2* (α_{s2} -kasein) och *CSN3* (κ -kasein). Kaseingenerna är belägna på kromosom 6 och är kopplade i ordningen som precis nämnts. *CSN1S1* och *CSN2* sitter väldigt nära varandra vilket leder till att de kan transkriberas tillsammans. Att det finns en stark koppling mellan generna gör att det kan vara lättare att kolla på hela haplotypen, alltså en grupp av gener som överförs tillsammans från en förälder. Det är fördelaktigt att titta på hela haplotypen när man exempelvis studerar biologisk mångfald och olika strategier för avel. (Caroli et al. 2006). Kaseingenerna kan delas in i två grupper utefter om de är kalciumkänsliga eller inte. De som är kalciumkänsliga är *CSN1S1*, *CSN2* och *CSN1S2*. Den kemiska, tekniska, fysiska och nutritionella kvaliteten hos mjölken kommer påverkas av hur mycket kasein det finns i mjölken, men främst hur mycket kalcium-känsliga kaseiner det finns (Marletta et al. 2005). Kalciumkänsliga kaseiner binder kalciumfosfat som bildar kemiska komplex (Smyth et al. 2004), och även bildar fällning med kalcium (Nagy et al. 2010). Det finns flera alleler som kodar för minskat eller inget uttryck av proteinet som det kodar för, detta ses främst hos de kalciumkänsliga kaseinerna (Caroli et al. 2007).

2.2 Skillnad i kasein mellan olika raser

2.2.1 CSN1S1

α_{s1} -kaseinets uppgift är troligtvis att transportera ut de andra kaseinerna från endoplasmatiskt retikulum till golgiapparaten (Chanat et al. 1999). Det har idag hittats 22 olika alleler för denna gen och dessa är uppdelade i fyra olika grupper utefter hur mycket som syntetiseras i getmjölken. Det finns 13 starka alleler som producerar mellan 3,5 och 4,2 gram per liter i mjölken för varje allel. Dessa heter A, A2, A3, A', B', B1, B2, B3, B4, C, H, L, M. Gruppen som producerar genomsnittet producerar en mängd mellan 1,1 till 1,6 gram per liter, och dessa alleler heter E, I och D1. Sedan finns det svaga alleler som heter D, F och G och producerar ungefär 0,6 gram per liter. Till sist finns det även tysta varianter, vilket innebär att dessa alleler gav 0 gram per liter, eller att det enbart finns spår av α_{s1} -kaseinet. Dessa alleler heter 01,02 och N. Det framkommer att man även hittat ytterligare två tysta alleler, men detta enbart hos en inhemsk ras i Norge (Cosenza et al. 2023).

I ett försök i Norge på dess inhemska getter, av Devold et al. (2010), har man hittat tysta alleler i mycket större utsträckning i jämförelse med andra raser. Resultatet visade att getter med stark allel låg på 17 %, medel låg på 2 % och den svaga allelen låg på 11 %. Däremot såg man att 73 % av getterna var homozygota för de tysta allelerna. Klassen på allelen, alltså dess styrka har visat sig ha en inverkan på flera olika egenskaper så som råprotein, kasein, storlek på micellerna, gelstyrka med fler. Författarna menar däremot att minskningen av α_{s1} -kaseinet i mjölken hos de tysta allelerna leder till att det blir en ökning av syntetisering av andra de kaseinerna. Skillnaden i totalt kaseininnehåll i mjölken blir därmed inte så anmärkningsbar, jämfört med skillnaden som kan ses på innehållet av α_{s1} -kasein i mjölken. Resultatet i försöket visade även att micellerna hos getterna med lägre syntes av α_{s1} -kasein visade sig vara större än de som hade de starka allelerna. Det framkommer även att de starkare allelerna har en starkare gelstyrka än de svagare vilket medför att getterna med de starkare allelerna ger ett högre ostutbyte jämfört med de tysta allelerna.

Även i Sverige finns det ganska mycket av de alleler som gav lågt eller inget uttryck av kaseinet (Johansson et al. 2023). 72 % av getterna visade sig ha allelen med lågt eller minimalt uttryck, medan 28 % hade alleler som gav uttryck för högre halter. Hos getterna hittades den tysta allelen D, den svaga allelen G och den starka allelen A. 59 % av getterna som testades visade sig ha genotypen DD, 26 % hade genotypen DG och sammantaget hade 13 % en genotyp innehållande minst en allel A, antingen AA, AG eller DA. Försöket visade att de getter som hade minst en allel A i sin genotyp hade högre mängd av α_{s1} -kasein än de andra två genotyperna. DD

genotypen visade sig ha 72 % lägre innehåll av α_{s1} -kasein jämfört med genotyp innehållande minst en A-allel. DG hade 50 % lägre innehåll av α_{s1} -kasein än de individerna med genotyp innehållande minst en A-allel.

I Italien gjordes ett försök av Sacchi et al. (2005) på fem olika raser med sammantaget 430 individer där man skulle undersöka hur haplotypstrukturen såg ut hos de olika individerna men även hur allelfrekvensen var fördelad mellan de olika raserna. Haplotypstrukturen undersöktes då uttrycket av en viss allel för ett lokus kan bli förvirrande, då det finns en koppling till andra lokus på samma kromosom. Avel för en viss allel på ett lokus kan göra att man får med sig en oönskad allel i högre frekvens, om man inte har tagit hänsyn till haplotypstrukturen och kopplingen som finns mellan de olika generna. Raserna som var inkluderade i försöket var Vallesana och Roccaverano som man kan hitta i de mer nordliga delarna av Italien. Och sedan fanns det även tre raser som lever i den mer södra delen av Italien, Jonica, Garganica och Maltese. När försöket gjordes hade man hittat 16 olika alleler vid detta lokus. Det man upptäckte var att de mest frekventa allelerna hos de södra raserna var allel A eller B. De fyra alleler som visade sig mest vanliga var C och H tillsammans med de mest frekventa A och B. Dessa summerade fanns hos de södra raserna i ett spann från 57 % till 78 %, medan man hittade högst frekvens av allel F hos de raserna som härstammade i nordligare delar av Italien. Raserna från de nordliga delarna visar sig vara mer lika de raser man kan hitta i Schweiz. Hos de södra raserna hittade man inga tysta alleler vilket man gjorde hos de nordliga raserna.

I ett försök på rasen Zaraibi från norra Egypten och rasen Damascus från mellanöstern jämförde man genotyper och allelfrekvens, men även hur det skilde sig i mjölkkomposition mellan de två raserna (Darwish et al. 2023). Analysen visade att det fanns tre olika genotyper i populationen där 6 % var AA, 34 % AB och 60 % BB hos Zaraibi, medan hos Damascus var det 26,6 % AA, 36,7 % AB och 36,7 % BB. Hos Zaraibi låg allelfrekvensen för A på 23 % och 77 % hos B medan det var 44,9 % A och 55,1 % B hos Damascus. Resultatet visade att AB-genotypen gav högst värden på de olika mjölkkomponenterna, protein, fett och laktos jämfört med AA- och BB- genotypen hos båda raserna. Zaraibi visade sig även ha högre värden på dessa mjölkkomponenter jämfört med Damascus.

2.2.2 CSN2

β -kasein kommer att påverka ytegenskaperna hos micellen och det kommer ha en inverkan på ostutbytet hos mjölken (Selvaggi et al. 2014). β -kasein verkar hittills ha fem olika allelvarianter. Tre av dem ger normalt innehåll av kaseinet, vilka heter A, B och C. Det finns även två tysta varianter som ger ett lägre innehåll eller inget innehåll av β -kaseinet. I försöket på de fem italienska raserna av Sacchi et al. (2005)

inkluderades Vallesana och Roccaverano från norra Italien, men även Jonica, Garganica och Maltese från södra Italien. Resultatet visade att man inte hittade någon polymorfism, alltså olika varianter av genen, hos de två nordliga raserna, Roccaverano och Vallesana. Det hittades alltså inte olika alleler hos populationen som ger uttryck för olika egenskaper. Allelerna som undersöktes var allel A och allel O. De nordliga raserna visade sig ha en frekvens på 1 hos allel A, vilket medför att det inte visades finnas någon polymorfism. Dock så användes ingen metod som kunde identifiera allel C och därmed räknas den i statistiken för A då det bara skiljer en aminosyra mellan dessa två och de står för samma innehåll av β -kasein. Raserna som var belägna i den södra delen av Italien visade sig ha ett fåtal individer som bar en tyst allel. Allelfrekvensen för allel A hos raserna låg på 0,964, 0,964 respektive 0,974 för raserna Maltese, Jonica och Garcanica.

I ett försök på raserna Girgentana och Argentata dell'Etna på Sicilien undersökte man de olika kalciumkänsliga kaseingenerna (Marletta et al. 2005). Hos CSN2 tog man hänsyn till allel A som är en stark allel, och till allel O som är en tyst allel som ger noll syntes eller spår av proteinet. Allelfrekvensen hos Girgentana blev 0,908 för allel A och 0,092 för allel O. För Argentata dell'Etna blev allelfrekvensen för A 0,975 och för allel O 0,025.

2.2.3 CSN1S2

α_{s2} -kasein är det minst undersökta kaseinet och därmed vet man inte riktigt vilken funktion den fyller i micellen (Selvaggi et al. 2014). Det har idag hittats åtta olika alleler som man kan dela upp i tre olika syntesnivåer (Sacchi et al. 2005). De som ger normala nivåer heter A, B, C, E, F och G. Allel D ger lägre nivåer och 0 ger i princip inget. Försöket på de fem olika italienska raserna visade att alla raser hade allel C och F som dominant för detta protein. Man hittade även väldigt låga frekvenser av en tyst allel. Hos Maltese låg frekvensen enbart på 0,007 och hos Jonica på 0,005.

I norra Italien gjordes ett försök på tre inhemska raser, Frisa, Orobica och Verzasca (Caroli et al. 2006). I försöket inkluderades även rasen Camosciata, vilket är en mer spridd ras i världen. Försöket jämförde allelfrekvens och haplotyp hos raserna. Allelerna som fanns hos populationerna var sammantaget fem och det var A, B, C, E och F. Hos Frisa var allel F och därefter A mest frekvent, och man hittade sammantaget alla fem alleler hos denna ras. Camosciata och Verzasca hade fyra olika alleler där A var mest frekvent och allel E uppkom inte alls. Däremot visade sig Orobica i princip vara monomorf, alltså att enbart en allel fanns hos rasen, vilket var allel F med vissa undantag för allel A.

2.2.4 CSN3

κ -kasein är den enda av de fyra kaseinvarianterna som är okänslig mot kalcium, vilket innebär att kaseinet inte faller ut, det löser sig helt enkelt inte utan förblir i fast form, och denna variant verkar ha en viktig roll för att stabilisera micellen (Alexander et al. 1988).

I försöket på de fem italienska raserna framkommer det att det finns 14 olika alleler för *CSN3* där elva av dem blir proteiner och tre av dem blir tysta (Sacchi et al. 2005). Allelerna som fanns hos dessa raser var A, B, C, D, X och Y, men nomenklaturen skiljer sig mellan olika delar av världen. Med denna nomenklatur har det visat sig att allel D var den som uppkom mest frekvent hos dessa fem raser. Allel D hade som högst frekvens hos Garganica som låg på 0,776 och som lägst hos Vallesana som hade 0,596. Det fanns ytterligare en allel som man kunde hitta hos alla fem raser och det var allel A. Allel B hittades hos alla raser förutom den nordliga rasen Vallesana, men man hittade enbart allel C hos de två nordliga populationerna.

Zaraibi och Damascus jämfördes tidigare i fråga om α_{s1} -kasein, men de har även jämförts kring κ -kasein (Darwish et al. 2023). Genotypfrekvensen för Zaraibi var 66 % AA, 30 % AG och 4 % GG medan Damascus hade en frekvens på 36,7 % AA, 56,7 % AG och 6,6 % GG. Allelfrekvensen blev därmed 81 % A och 19 % G hos Zaraibi, och 65 % A och 35 % G hos Damascus.

2.3 Kaseinens påverkan på andra egenskaper i mjölken

α_{s1} -kasein visade sig i ett försök på svensk lantras ha en inverkan på andra egenskaper hos mjölken (Johansson et al. 2023). Alleler med lågt (G) eller inget uttryck (D) av α_{s1} -kasein visade sig ha 10 % lägre innehåll av κ -kasein jämfört med getter som hade de högavkastande allelerna (A). Även den totala mängden protein var lägre. Hos getterna med alleler för lägre mängd α_{s1} -kasein visade de sig ha 17 % lägre innehåll av totalt protein jämfört med de individer som hade allel A, som gav en högre mängd med α_{s1} -kasein. Getterna med alleler som gav en lägre mängd α_{s1} -kasein visade sig däremot ha högre innehåll av de andra två grupperna av kasein, β -kasein och α_{s2} -kasein, jämfört med getterna som har alleler som ger en högre mängd α_{s1} -kasein. Utöver detta framkommer det även att både pH och innehåll av fria fettsyror var högre hos gruppen med allel D och G.

AB-genotypen hos Zaraibi-rasen visade sig ge en högre mängd protein, fett och laktos vid jämförelse med de andra två genotyperna (AA och BB). Även Damascus hade signifikant högre nivåer med AB-genotypen jämfört med de två andra genotyperna för egenskapen. (Darwish et al. 2023).

3. Diskussion

α_{s1} -kaseinet har visat sig ha en viktig del i ostutbytet (Selvaggi et al. 2014). I försöket i Norge på deras lantras visade sig 73 % av individerna vara homozygot för den tysta allelen hos genen *CSN1S1* (Devold et al. 2010). Även i Sverige var frekvensen hög, och låg på 59 % för homozygoter för den tysta allelen. Sverige har under en lång tid importerat avelsdjur från Norge till Sverige, detta medför ett nära släktskap mellan den svenska lantrasen och den norska (Johansson et al. 2023). Släktskapet är troligtvis förklaringen till att man hittat mycket av den tysta allelen hos de två länderna i Norden. En annan förklaring till att det finns en högre frekvens av tysta alleler i Norden skulle kunna vara att det är en produktionsform som inte prioriterats i den delen av världen. I Sverige kan i stället ses ett stort fokus på nötkreatur och dess produkter.

De italienska raserna i den södra regionen visade ha högst frekvens av fyra starka alleler, A, B, C och H. De hade en frekvens hos de tre olika raserna som spreds sig från 57 till 78 %. Man hittade ingen tyst allel hos dessa tre raser. I de nordliga raserna var det allel F som var mest frekvent och även denna är en stark allel. Man hittade däremot vissa individer som bar på den tysta allelen hos de två nordliga raserna (Sacchi et al. 2005). Zaraibi som finns i Egypten och Damascus från mellanöstern visade sig ha allelerna A och B, vilka också är alleler som ger hög syntes av α_{s1} -kasein (Darwish et al. 2023). Man kan därmed se en tydlig skillnad i uttryck av α_{s1} -kasein mellan olika raser i olika delar av världen där det är skillnad i vilka alleler som är mest frekventa.

Utöver skillnad mellan olika raser för kaseininnehållet i mjölken, har *CSN1S1* visat sig i flera studier ha en inverkan på andra egenskaper än kaseinet. I försöket av Johansson et al. (2023) framkommer det att *CSN1S1* har en inverkan på totalt innehåll av protein i mjölken men även en påverkan på mängden av de tre övriga kaseinerna. Utöver detta såg författarna att pH och fria fettsyror skilde sig i mjölken beroende på vilken alleluppsättning individerna hade för denna gen. I ett annat försök av Darwish et al. (2023) visade det sig att mängden protein, fett och laktos skiljde sig mellan olika genotyper hos genen *CSN1S1*.

Hos generna *CSN2*, *CSNIS2* och *CSN3* har inte tillräckligt många försöks gjorts för att kunna jämföra getter som finns på olika platser. *CSN2* visade dock samma mönster i två olika studier, vilket styrker resultatet kring vilken allelfrekvens det är i de olika delarna kring Italien. Däremot finns det ännu inga studier på getter som befinner sig längre ifrån Italien än de som redan nämnts. För *CSNIS2* finns enbart studier på olika italienska raser. Där kunde man se att alla raser i försöket av Sacchi et al. (2005) hade högst frekvens av allelerna C och F, vilka ger normala nivåer av α_2 -kasein. I det andra försöket på italienska getter av Caroli et al. (2006) visade sig även de raserna ha högst frekvens av alleler som gav normala nivåer av kaseinet, och därmed kunde ingen skillnad ses i mängd av α_2 -kasein mellan de olika raserna. Då *CSN3* ännu inte har en gemensam nomenklatur försvåras jämförelser ytterligare för den genen. I ena försöket på *CSN3* nämns inte vilken nomenklatur som används och därmed blir det svårt hur man ska tolka och jämföra resultat mellan olika studier. Hos *CSN2*, *CSNIS2* och *CSN3* har man inte heller sett en påverkan på andra egenskaper, men det krävs fler studier på dessa gener hos getter för att kunna dra en slutsats.

För en ekonomisk hållbarhet i produktionen av ost kommer det vara viktigt att ha starka alleler för kasein då dessa bidrar till en starkare gelstyrka, som i sin tur kommer ge ett högre ostutbyte (Guinee et al. 1997., Selvaggi et al. 2014). Men de länderna som främst har tysta eller svaga alleler kommer behöva fundera kring om det kommer vara ekonomiskt hållbart att införa ett avelsprogram som kommer bidra till ett högre ostutbyte. Det som då kommer behöva tas hänsyn till är efterfrågan och om det finns människor som är villiga att utöka sin produktion med getter. Fördelen med getter är att de är tåliga djur och klarar av tuffa klimat, vilket tas upp i studien av Nair et al. (2021). Getter tillsammans med andra boskap har visat sig ha en positiv inverkan på biologisk mångfald, mark och växtlighet (Peacock & Sherman, 2010). Detta genom att sprida frön med sina klövar och minimera risk för bränder genom att de bidrar till minskning av biomassa. Att de betar visar sig ha en positiv effekt på gräset och kan bryta upp hård jord, men även bidrar till att frön gror. Författarna förklarar att geten trots detta har ett rykte att överbeta och bidra till avskogning. För att getens påverkan på miljön ska vara hållbar behöver man se till att de betar hållbart och eventuellt införa betesrotation för att minimera risken för att markerna förstörs. Ansvaret för en miljömässigt hållbar produktion kommer bero mycket på hur lantbrukaren väljer att lägga upp sin produktion, därmed kan man inte bara skylla på getterna utan behöver ha en plan som är hållbar både ur en ekonomisk och miljömässig synvinkel.

En ökning av produkter från geten kan också ge positiva effekter för den sociala hållbarheten. Världen står inför många utmaningar med tanke på de klimatförändringar som skett och som kan ske framåt. Vi kommer behöva ha tåliga djur som klarar av lite tuffare och varierande väder. Det kommer även vara viktigt

för länderna att kunna försörja sig själva med tanke på oroligheterna i världen, som leder till att handeln i vissa fall minimeras eller blockeras. Att kunna försörja det egna landet kommer spela en stor roll om en kris uppstår, och där skulle de tåliga getterna i många länder spela en viktig roll, vilket de redan gör i många länder idag. Geten skulle kunna bli både en social och ekonomisk trygghet, och djuret ger idag status i många fattigare länder.

Det man däremot kan fundera över är hur aveln kommer utvecklas om geten och dess produkter får ett större inflytande i de länderna som idag inte producerar så mycket. Länderna som innehar populationer som övervägande har svaga alleler skulle kunna vilja importera djur från andra länder med starkare alleler eller eventuellt vilja experimentera med getens genom för att kunna få ut mjölk med önskade egenskaper. Att man genmodifierar individerna i en population, alltså förändrar genomet med avsikt att få ut önskade egenskaper, är något som kan anses som etiskt fel om syftet är att människorna ska få vinning av det. Det är heller inte självklart att genmodifieringen kommer lyckas, vilket skulle kunna ge negativa effekter på individen i fråga och eventuellt kunna skapa lidande i stället. Skulle man däremot importera djur från andra länder kommer man påverka den biologiska mångfalden genom att man sprider de populära allelerna till andra platser. Raser som har alleler som är mindre eftertraktade kommer därmed korsas med raser som innehar de högavkastande och önskvärda allelerna. Därmed kommer vissa raser att försvinna då man korsar in för mycket av en annan ras så att enbart de nya alleler i populationen finns kvar till slut. Det gör helt enkelt att det kommer vara en mindre variation mellan olika raser och den biologiska mångfalden får en negativ effekt.

3.1 Slutsats

Slutsats som kan dras kring *CSN1S1*-genen är att det finns en tydlig skillnad i vilka alleler som förekommer och i vilken frekvens, mellan olika raser. Mer likhet finns mellan de italienska raserna och raserna från Egypten och mellanöstern då dessa främst har starka alleler. Man ser däremot en tydlig skillnad om man jämför dessa med Norge och Sverige som har övervägande tysta alleler. Effekten blir att raserna från Norden bör ge ett lägre ostutbyte för den mjölk som produceras jämfört med de andra raserna, då kaseinet har en viktig roll i ostutbytet. *CSN1S1* har en effekt på andra egenskaper så som mängd av övriga kaseiner, pH, fria fettsyror, mängd av protein, fett och laktos i mjölken.

Det krävs flera studier av generna *CSN2*, *CSN1S2* och *CSN3* för att dra en slutsats kring om det skiljer sig mellan olika raser i olika delar av världen, men även för att se om andra egenskaper än kaseinet påverkas av generna. För *CSN3* behövs även en gemensam nomenklatur för att underlätta framtida jämförelser.

Referenser

- Alexander, L.J., Stewart, A.F., Mackinlay, A.G., Kapelinskaya, T.V., Tkach, T.M. & Gorodetsky, S.I. (1988). Isolation and characterization of the bovine κ -casein gene. *European Journal of Biochemistry*, 178 (2), 395–401. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1988.tb14463.x>
- Boyazoglu, J., Hatziminaoglou, I. & Morand-Fehr, P. (2005). The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Ruminant Research*, 60 (1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.06.003>
- Caroli, A., Chiatti, F., Chessa, S., Rignanese, D., Bolla, P. & Pagnacco, G. (2006). Focusing on the Goat Casein Complex. *Journal of Dairy Science*, 89 (8), 3178–3187. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72592-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72592-9)
- Caroli, A., Chiatti, F., Chessa, S., Rignanese, D., Ibeagha-Awemu, E.M. & Erhardt, G. (2007). Characterization of the Casein Gene Complex in West African Goats and Description of a New α s1-Casein Polymorphism. *Journal of Dairy Science*, 90 (6), 2989–2996. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-674>
- Chanat, E., Martin, P. & Ollivier-Bousquet, M. (1999). α S1-casein is required for the efficient transport of β - and κ -casein from the endoplasmic reticulum to the Golgi apparatus of mammary epithelial cells. *Journal of Cell Science*, 112 (19), 3399–3412. <https://doi.org/10.1242/jcs.112.19.3399>
- Cosenza, G., Albarella, S., D’Anza, E., Iannuzzi, A., Selvaggi, M., Pugliano, M., Galli, T., Saralli, G., Ciotola, F. & Peretti, V. (2023). A New AS-PCR Method to Detect CSN201 Allele, Genotyping at Ca-Sensitive Caseins Loci and Milk Traits Association Studies in Autochthonous Lazio Goats. *Animals*, 13 (2), 239. <https://doi.org/10.3390/ani13020239>
- Darwish, A.M., Darwish, H.R., Ali, N.I., Abdel-Salam, A.M., Lethy, H.M., Mohamed, I.E. & El-Badawy, M.M. (2023). Genetic variations of α -casein and K-casein genes associated with milk composition in goats. *Small Ruminant Research*, 229, 107146. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107146>
- Devold, T.G., Nordbø, R., Langsrud, T., Svenning, C., Jansen Brovold, M., Sørensen, E.S., Christensen, B., Ådnøy, T. & Vegarud, G.E. (2010). Extreme frequencies of the α _{s1}-casein “null” variant in milk from Norwegian dairy goats – Implications for milk composition, micellar size and renneting properties. *Dairy Science & Technology*,. <https://doi.org/10.1051/dst/2010033>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Uppdaterad 2023-12-27). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [2024-05-07]
- Fox, P.F. & McSweeney, P.L.H. (2017). Chapter 1 - Cheese: An Overview. I: McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D., & Everett, D.W. (red.) Cheese (Fourth Edition). Academic Press. 5–21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00001-6>

- Guinee, T.P., Gorry, C.B., O'Callaghan, D.J., O'Kennedy, B.T., O'Brie, N. & Fenelon, M.A. (1997). The effects of composition and some processing treatments on the rennet coagulation properties of milk. *International Journal of Dairy Technology*, 50 (3), 99–106.
<https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.1997.tb01747.x>
- Guo, M. (2003). GOAT | Milk. I: Caballero, B. (red.) *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*. Academic Press. 2944–2949.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00565-4>
- Haenlein, G.F.W. (2001). Past, Present, and Future Perspectives of Small Ruminant Dairy Research1. *Journal of Dairy Science*, 84 (9), 2097–2115.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74655-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74655-3)
- Johansson, M., Lundh, Å. & Johansson, A.M. (2023). Relation between α S1-casein, genotype, and quality traits of milk from Swedish dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 106 (8), 5582–5592. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22857>
- Marletta, D., Bordonaro, S., Guastella, A.M., Criscione, A. & D'Urso, G. (2005). Genetic polymorphism of the calcium sensitive caseins in sicilian Girgentana and Argentata dell'Etna goat breeds. *Small Ruminant Research*, 57 (2), 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.06.019>
- Müller-Buschbaum, P., Gebhardt, R., Roth, S.V., Metwalli, E. & Doster, W. (2007). Effect of Calcium Concentration on the Structure of Casein Micelles in Thin Films. *Biophysical Journal*, 93 (3), 960–968.
<https://doi.org/10.1529/biophysj.107.106385>
- Nagy, K., Pilbat, A.-M., Groma, G., Szalontai, B. & Cuisinier, F.J.G. (2010). Casein Aggregates Built Step-by-Step on Charged Polyelectrolyte Film Surfaces Are Calcium Phosphate-cemented. *The Journal of Biological Chemistry*, 285 (50), 38811–38817.
<https://doi.org/10.1074/jbc.M110.151167>
- Nair, M.R.R., Sejian, V., Silpa, M.V., Fonsêca, V.F.C., de Melo Costa, C.C., Devaraj, C., Krishnan, G., Bagath, M., Nameer, P.O. & Bhatta, R. (2021). Goat as the ideal climate-resilient animal model in tropical environment: revisiting advantages over other livestock species. *International Journal of Biometeorology*, 65 (12), 2229–2240. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02179-w>
- Nayik, G.A., Jagdale, Y.D., Gaikwad, S.A., Devkatte, A.N., Dar, A.H. & Ansari, M.J. (2022). Nutritional Profile, Processing and Potential Products: A Comparative Review of Goat Milk. *Dairy*, 3 (3), 622–647.
<https://doi.org/10.3390/dairy3030044>
- Peacock, C. & Sherman, D.M. (2010). Sustainable goat production—Some global perspectives. *Small Ruminant Research*, 89 (2), 70–80.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.029>
- Sacchi, P., Chessa, S., Budelli, E., Bolla, P., Ceriotti, G., Soglia, D., Rasero, R., Cauvin, E. & Caroli, A. (2005). Casein Haplotype Structure in Five Italian Goat Breeds. *Journal of Dairy Science*, 88 (4), 1561–1568.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72825-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72825-3)
- Selvaggi, M., Laudadio, V., Dario, C. & Tufarelli, V. (2014). Major proteins in goat milk: an updated overview on genetic variability. *Molecular Biology Reports*, 41 (2), 1035–1048. <https://doi.org/10.1007/s11033-013-2949-9>
- Smyth, E., Clegg, R.A. & Holt, C. (2004). A biological perspective on the structure and function of caseins and casein micelles. *International Journal of Dairy Technology*, 57 (2–3), 121–126. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2004.00141.x>

- Statens jordbruksverk (2019). Gethållning 2018. (2019:01). Statens jordbruksverk.
<https://jordbruksverket.se/download/18.29196bdf172db848a9e1384f/1592839852350/201901.pdf>
- Stewart, A.F., Bonsing, J., Beattie, C.W., Shah, F., Willis, I.M. & Mackinlay, A.G. (1987). Complete nucleotide sequences of bovine alpha S2- and beta-casein cDNAs: comparisons with related sequences in other species. *Molecular Biology and Evolution*, 4 (3), 231–241.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040437>

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. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

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.