



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för molekylära vetenskaper

Proteinbaserat material för livsmedelsförpackningar

– Med fokus på mjölkproteiner

*Protein based material for food packaging – Focusing on milk
proteins*

Gabriella Apelthun

Självständigt arbete • 15 hp

Agronomprogrammet - Livsmedel

Molekylära vetenskaper, 2018:17

Uppsala 2018

Proteinbaserat material för livsmedelsförpackningar – Med fokus på mjölkproteiner

Protein based material for food packaging – Focusing on milk proteins

Gabriella Apelthun

Handledare: Kristine Koch, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för molekylära vetenskaper

Examinator: Jana Pickova, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för molekylära vetenskaper

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Kurskod: Kandidatarbete i livsmedelsvetenskap

Program/ EX0669

utbildning: Agronomprogrammet - Livsmedel

Delnummer i serien 2018:17

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2018

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Protein, whey, casein, edible films, food packaging, material

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för molekylära vetenskaper

Sammanfattning

Livsmedelsförpackningar är ett område som har stor utvecklingspotential eftersom både konsumtionen och produktionen av plast har ökat sedan 50-talet. Trots att vi vet att konventionella plastmaterial framställs av råmaterialet petroleum, en icke förnybar och uttömbar källa. Förpackningsindustrin står för den största andelen plast. Det växande intresset för miljövänliga förpackningar från konsumenter och företag samt nya miljömål ger anledning till ökad forskning inom området. Syftet med detta arbete är att undersöka vad proteiner kan användas till inom området för livsmedelsförpackningar med fokus på mjölkproteinerna och undersöka vilka funktioner det kan komma att ha på marknaden. Proteinbaserat material kan användas som filmer och beläggningar för livsmedel. Protein är en polymer som ger tåliga filmer med god permeabilitet mot gaser och vattenånga. Proteinernas stora variation av funktionella grupper ger många möjligheter för olika kemiska reaktioner och gör det möjligt att modifiera deras egenskaper som filmer. Denna litteraturstudie utgår från frågeställningen om lämpliga egenskaper hos vassle och kasein som förpackningsmaterial med påföljande frågor kring deras för- och nackdelar. Vidare undersöktes möjliga hinder för att uppnå passande egenskaper för förpackningsmaterial. Filmer baserade på vassle eller kasein har goda gas- och syrebarriärer, dock tenderar kasein att ha bättre dragegenskaper samt lägre syrepermeabilitet och vattenångapermeabilitet. Mjölkproteinerna drar fördelar av sina karaktäristiska egenskaper såsom transparens, smak- och luktlöshet. Många proteiner kan uppvisa antioxidativa effekter, denna egenskap innehar till exempel vassleprotein. I filmer/beläggningar kan bioaktiva ämnen (t ex. antioxidanter och vitaminer) tillsättas i syfte att förlänga hållbarheten och färgen hos livsmedelsprodukter. Slutligen behandlas frågeställningen kring vilka fördelar ett förpackningsmaterial bestående av en blandning av olika biopolymerer besitter. Beroende på vilka egenskaper de ingående komponenterna besitter, kan egenskaperna förbättras och nya tillkomma. Tillsatsen av en polysackarid till en proteinlösning ger starkare och mer flexibla filmer med högre fuktbarriär. Proteinlösningar som utsätts för olika typer av fysiska- och kemiska behandlingar kan få förbättrade egenskaper. Proteinbaserade filmer av vassle och kasein har stor potential till att förlänga hållbarheten hos livsmedel och därmed ersätta och komplettera konventionell plast.

Nyckelord: protein, kasein, vassle, mjölkprotein, film, beläggningar, livsmedelsförpackning

Abstract

Food packaging is an area that has great potential for development as the consumption and production of plastic has increased since the 1950s. Although we know that conventional plastic materials are made from petroleum, a non-renewable and exhaustible source. The packaging industry represents the largest proportion of plastics. The growing interest in eco-friendly packaging from consumers and companies as well as new environment targets give rise to increased research in the area. The purpose of this work was to find out what can be achieved with proteins in the field of food packaging, focusing on milk proteins, and see what features it may have on the market. Protein-based material can be used as films and coatings for food. Protein is a polymer that delivers durable films that have good permeability to gases and water vapour. The wide variety of functional groups of proteins gives many opportunities for different chemical reactions and makes it possible to modify their properties as edible films. This literature study was based on the question of suitable properties of whey and casein as packaging materials, with the following questions about their pros and cons as well as the difficulties in achieving the appropriate properties of packaging materials. Films based on whey and casein have good gas and oxygen barriers, however casein seems to have better oxygen- and water vapour barriers as well as tensile properties. The milk proteins benefit greatly from their characteristic properties such as transparency, and the absence of odour and taste. Many proteins have antioxidative effects, for example whey protein. In films/coatings bioactive substances (e.g. antioxidants and vitamins) can be added in order to extend the durability and the colour of food products. Finally, the question was asked about what advantages a packaging material consisting of a mixture of different polymers possesses. Depending on the characteristics of the components in the mixture, the properties can be improved, and new ones added. The addition of a polysaccharide to a protein solution provides stronger and more flexible films with a higher moisture barrier. Film solutions exposed to different types of physical- and chemical treatments may have improved properties. Protein-based films of whey and casein have great potential to extend the durability of food and thereby replace and act as a supplement to conventional plastics.

Keywords: protein, casein, whey, milk protein, film, coating, food packaging

Innehållsförteckning

Förkortningar	4
1 Inledning/Introduction	5
2 Syfte och frågeställning	8
2.1 Syfte	8
2.2 Frågeställning	8
3 Bakgrund	9
3.1 Historia	9
3.2 Lagstiftning	9
4 Metod och material	11
5 Resultat	12
5.1 Egenskaper hos proteiner	12
5.2 Faktorer i tillverkningsprocessen	13
5.3 Vassle	14
5.4 Kasein	15
5.5 Ätbara filmer av kasein och vassle	16
5.5.1 Mekaniska egenskaper	16
5.5.2 Bioaktiva komponenter	18
5.6 Polymerkombinationer som ätbara filmer	20
6 Diskussion och slutsats	22
6.1.1 Framtid	23
Referenslista	24

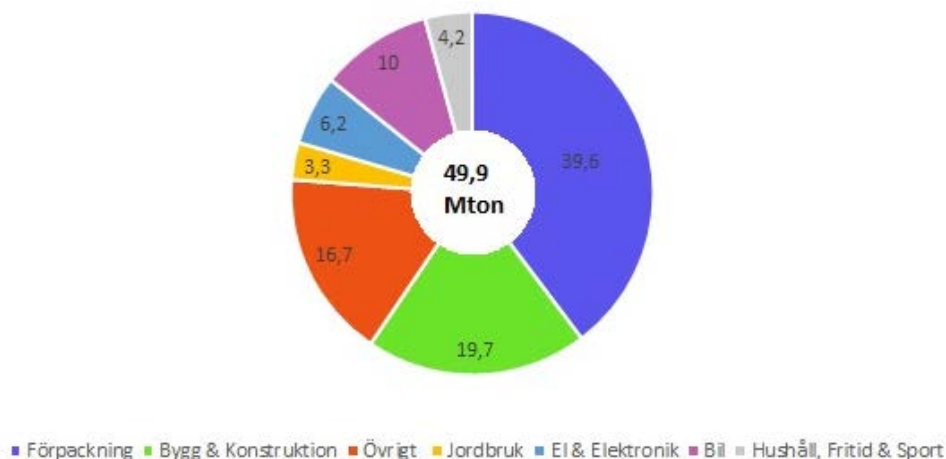
Förkortningar

WPC	Whey Protein Concentrate (vassleproteinkoncentrat)
WPI	Whey Protein Isolate (vassleproteinisolat)
WVP	Water Vapour Permeability (vattenånga-permeabilitet)
CC	Calcium caseinate (kalciumkaseinat)
CMC	Carboxymethyl cellulose sodium salt (karboxylmetylcellulosa natrium salt)
EC	Edible coating (ätbar beläggning)
EF	Edible film (ätbar film)
TS	Tensile strength (dragstyrka)
EM	Elastic modulus (elastisk modulus)

1 Inledning

Den stora användningen av plast i livsmedelsindustrin och på övriga områden i våra liv är inte något nytt. Plastkonsumtionen i världen har ökat stadigt sedan 1950 då konsumtionen låg på 1,65 miljoner ton (Narayan 2011). Siffror från 2016 visar att världsproduktionen är uppe i 335 milj. ton, varav Europa står för 60 milj. ton (PlasticsEurope 2017). Plastkonsumtionen i Europa är 49,9 milj. ton och förpackningsindustrin står för 39,6% och är därmed den sektor som förbrukar mest plast, se Figur 1 (PlasticsEurope, 2017). Livsmedelsförpackningar står för två-tredjedelar av förpackningssektorn (Gontard, Angellier-Coussy, Chalier, Gastaldi, Guillard, Guillaume & Peyron 2011). Här börjar huvudtexten, på en högersida (udda sidnummer).

Plastkonsumtionen i Europa för olika sektorer



Figur 1. Plastkonsumtionen i Europa 2017, fördelat i procent på olika sektorer. Övrigt står för möbler, mediciner etc.

Utmaningen ligger i att ta fram något som dels kan konkurrera med egenskaperna hos plast och som samtidigt kan vara kostnadseffektivt och miljövänlig. Även om man väljer att utgå från en biprodukt, dvs. en rests substans från den primära produktionen, kan det bli kostsamt i slutändan eftersom reningsprocessen för ett råmaterial kan vara komplicerad (Lacroix & Cooksey 2005). Framställning av syntetiskt polymer (SP) kostar ungefär \$1/lb vilket går att jämföra med WPI (Whey protein isolate) som ligger på \$6 - \$12/lb (Han 2013). Kostanden varierar för proteinerna beroende på ursprung, stor skillnad är det för sojaproteinisolat (SPI) och kollagen, se Tabell 1.

Tabell 1. Variationen i pris för olika proteiner (Han, 2013).

Protein	SP	SPI	WPI	Collagen
Pris \$/lb	1	1,30	6–12	49–54

Biofilmer baserade på protein tros kunna vara en framtida utmanare till plastmaterial inom områden som livsmedelsmaterial tack vare deras karakteristiska egenskaper (Khwaldia, Perez, Banon, Desobry & Hardy 2004). Biobaserade polymerer används redan inom medicinområdet där funktionen föregår kostnaden (Siracusa et al. 2008). Proteinbaserade livsmedelsförpackningar förekommer bland annat som ätbara filmer eller beläggningar. Ätbara filmer (edible films, EF) och beläggningar (edible coating EC) används för att förlänga hållbarheten och förbättra utseendet på livsmedel (Khwaldia et al. 2004). Ätbara beläggningar som används på frukt, grönsaker och andra livsmedelsprodukter i syfte att t ex. förlänga hållbarheten refereras ofta som ätbara filmer (Rossman 2009). Ätbara proteinfilmer kan vara bärare av tillsatser vars syfte är att migrera till livsmedlet, och därmed ha en konserverande effekt (Lacroix & Cooksey 2005). EF kan förbättra kvaliteten på heterogena livsmedel som beläggning på eller mellan matkomponenter. EF begränsar migrationen av fukt, färg och smak mellan matkomponenter (Khwaldia et al. 2004). EF är inte menat att ersätta syntetiskt material, utan bör snarare ses som ett komplement för att förbättra nuvarande produkter (Murrieta-Martínez, Soto-Valdez, Pacheco-Aguilar, Torres-Arreola, Rodríguez-Felix & Ríos 2018). Ett passande komplement eftersom konventionella plastmaterial framställs av råmaterialet petroleum som är en icke förnybar och uttömbar källa som medför stora prisfluktuationer (Gómez-Estaca, Gavara, Catalá & Hernández-Muñoz 2016). Proteinbaserade filmer och beläggningar är dessutom en källa till kväve och bidrar som gödningsmedel under nedbrytningsprocessen (Dangaran, Tomasula & Qi 2009).

För att proteiner ska kunna tas till användning och ersätta plast krävs det att filmerna motsvarar de egenskaper som väcker ett intresse på marknaden och hos

livsmedelsproducenter (Han, 2013). Proteinbaserade filmer har högre värden för vattenångpermeabiliteten (WVP) än de som erhålls från petroleum (Gällstedt, Hedenqvist & Ture 2011). Proteinfilmer har generellt en god förmåga att utestänga syre (i torra förhållanden) tack vare den mängd vätebindningar i proteinfilmstrukturen (Gällstedt et al. 2011). Svårigheten ligger i filmernas vattenkänslighet, något som också är direktkopplat till deras vätebindningar och polära grupper. När pH i proteinlösningen höjs över deras isoelektriska-punkt produceras istället olösliga filmer/beläggningar (Baldwin et al, 1996, refererad i Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). Proteinfilmer som ska användas till fuktiga eller våta produkter behöver därför en skyddande hinna med vattenavvisande egenskaper (Gällstedt et al. 2011). Kasein och vassle har fått stor uppmärksamhet för sina många funktionella egenskaper eftersom de kan forma transparenta, flexibla och smaklösa filmer som dessutom har bra näringsvärde (Lacroix & Cooksey, 2005; Khwaldia et al. 2014). Ätbara förpackningar gjorda på proteinfilmer skulle kunna fungera som näringskälla (Gällstedt et al. 2011).

I denna litteraturstudie presenteras en översiktlig bild av proteinernas framtida plats inom industrin för livsmedelsförpackningar i form av ätbara filmer och beläggningar (EF och EC) samt en mer ingående analys av mjölkproteinerna vassle och kasein.

2 Syfte och frågeställning

2.1 Syfte

Syftet med föreliggande arbete är att undersöka hur proteiner kan nyttjas inom området för livsmedelsförpackningar med fokus på mjölkproteinerna och undersöka vilka funktioner det kan komma att ha på marknaden.

2.2 Frågeställning

Denna litteraturstudie har utgått från följande frågeställningar:

- Vilka egenskaper hos proteiner, med fokus på vassle och kasein, gör det till ett lämpligt förpackningsmaterial?
- Vilka för- och nackdelar har vassle och kasein som förpackningsmaterial?
- Vilka svårigheter finns det för att uppnå passande egenskaper?
- Vilka fördelar har ett förpackningsmaterial bestående av en blandning av olika biopolymerer (polysackarider, polypeptider och lipider) gentemot syntetiskt material?

3 Bakgrund

3.1 Historia

Material som kan användas för att producera ätbara filmer kan delas in i fyra olika kategorier: biopolymera hydrokolloider, lipider, kompositer och harts (kåda) (Hernandez-Izquierdo & Krochta 2008). Biopolymera hydrokolloider inkluderar bland annat proteiner såsom: kasein, vassle, sojaprotein, gelatin, kollagen, keratin med flera. Proteiners förmåga att användas som ätbara beläggningar och filmer är egentligen inte någon ny upptäck. Redan under 1800-talet användes det som hård plast (Dangaran et al., 2009). Det användes bland annat till knappar, pennfodral och paraplyhandtag. I samband med världskriegen under det tidiga 1900-talet ökade intresset för proteinbaserat material. Till exempel användes soja, majs, jordnöt och kasein som substitut till ull, som var den huvudsakliga textilen. Proteinbaserade textilier kallades azlons. I USA fick vissa proteiner kommersiella namn. Kasein namngavs lanital, utifrån de silkeslika egenskaper dess proteinfiber utgjorde. Efter andra världskriget minskade användningen av jordbruksbaserat polymermaterial eftersom det var billigare (och enklare) att utveckla plast baserat på petroleum (Dangaran et al., 2009). Idag är förnybara källor och miljövänliga produkter något konsumenterna efterfrågar vilket driver livsmedelsförpackningsteknologin framåt. En stärkt miljölagstiftning och ökade transporter (till följd av den ökade globaliseringen) ställer högre krav på förpackningarna och spelar därmed stor roll i utvecklingen. Miljölagstiftning kan vara ett effektivt sätt att påskynda utvecklingen av miljövänliga förpackningar för bl.a. livsmedel (Dangaran et al., 2009).

3.2 Lagstiftning

Förordningar från EU gäller som nationell lagstiftning i alla medlemsländer. För att ett material som är avsett för att livsmedel ska komma att godkännas måste det uppfylla kriterierna i EG-förordningen nr 1935/2004 om material och produkter

avsedda att komma i kontakt med livsmedel. EG-förordningen nr 1935/2004 är det grundläggande ramverket för 'Food Contact Material' (FCM), som inkluderar alla material som är menat att komma i kontakt med mat (European Food Safety Authority 2018). FCM-säkerheten kompletteras av många olika förordningar i syfte att skydda konsumenten från otillåtna ämnen och osäkra nivåer av vissa ämnen.

Ansvar för att produkten eller materialet uppfyller lagstiftningen ligger hos den som släpper ut det på marknaden, t.ex. importör och tillverkare (SLV, 2018). Principen grundar sig i att material för livsmedel bör vara så pass inerta att ämnen inte överförs till livsmedlet. Detta är för att värna om människors hälsa, undvika oacceptabel förändring av livsmedlet, t ex. i produktens sammansättning eller att produkten ser färsk ut men i själva verket har passerat utgångsdatumet. Som komplement till (EG) nr 1935/2004 finns Livsmedelsverkets föreskrift LIVSFS 2011:7 "Material och produkter avsedda för att komma i kontakt med livsmedel". Vidare finns det specifik lagstiftning, t ex. (EG) nr 10/2011 om material och produkter av plast som är avsedda för att komma i kontakt med livsmedel.

Ätbara filmer (edible films, EF) har många olika användningsområden som väntas expandera i och med utvecklingen av 'Active Coating Systems' (Falguera et al. 2011). Det är förpackningsmaterial som innehåller kemikalier eller enzymer och kan förhindra mikrobiell tillväxt och fettoxidering i livsmedel, och kan bland annat förlänga hållbarheten. Ätbara filmer (EF) och ätbara beläggningar (EC) kan transportera substanser (bioaktiva komponenter) som kan vara till fördel för produkten och konsumenten. Detta område regleras i förordning (EG) nr 450/2009 "om aktiva och intelligenta material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel". Aktiva komponenter är till exempel: antioxidanter, smaker, vitaminer, enzymer, antimikrobiella substanser (Falguera et al. 2011).

4 Metod och material

Detta är en litteraturstudie där information och material i form av litteratur och forskningsartiklar har samlats in via databaserna FSTA, PudMed och Web of Science. Informationen har begränsats till att omfatta publikationer under 2000-talet. Begränsningen grundas i arbetets syfte, om att ta reda på hur marknadens förutsättningar för proteinförpackningar ser ut i nutid. Mycket framgångsrik forskning är gjord innan 2000-talet, men denna har kunnat breddas och fördjupas under 2000-talet tack vare den digitala teknikens snabba utveckling.

Mycket av informationen har hämtats ifrån två böcker: "Innovations in food packaging" (Han, 2013) och "Biopolymers: New Material for Sustainable Films and Coatings" (Plackett, 2011).

Sök/nyckelord: Protein, food packaging, material, whey, casein, caseinates, sodium caseinate, edible coating, edible films, film

5 Resultat

5.1 Egenskaper hos proteiner

På marknaden förekommer proteiner, som används till filmgjutning, i två olika kategorier: isolat och koncentrat (Gällstedt et al. 2011). Isolat är en mycket renad lösning av proteiner och genomgår ytterligare steg för att sedan delas in i olika proteinkoncentrationer. Koncentrat är renade proteiner som mer eller mindre innehåller rester av t ex. stärkelse. Efter förädlingsprocessen erhålls en proteinkoncentration mellan 35 och 90 procent. När det gäller den slutgiltiga produkten mellan proteinfilmerna av isolat och koncentrat är den största skillnaden att en film gjord på isolat har mer förutsägbara egenskaper och är dessutom mer transparent. Dock är isolat dyrare.

De inneboende egenskaperna hos proteiner, med sin unika struktur (baserade på 20 olika monomerer) gör de till mycket goda material för filmer och beläggningar (Murrieta-Martínez et al. 2018). Fördelningen av den polära, icke-polära och laddade aminosyror längs proteinkedjan gör att en kemisk potential skapas. De interaktiva krafterna producerar en sammanhängande proteinfilmens matris och filmerna stabiliseras av vätebindningar, kovalenta bindningar, van der Waals krafter, elektrostatiska interaktioner och disulfidbindningar (Dangaran et al. 2009; Hernandez-Izquierdo & Krochta, 2008). Den stora variationen av funktionella grupper hos proteiner ger många möjligheter för olika kemiska reaktioner och gör det möjligt att förändra och förbättra dem: fysiskt, kemiskt och enzymatiskt för det önskade ändamålet (Dangaran et al. 2009; Gómez-Estaca et al. 2016; Murrieta-Martínez et al. 2018). Detta är en fördel som proteiner har över polysackarider som består av ett begränsat antal monomerer. Cellulosa är ett exempel där glukos ensam är den repeterande monomeren (Gómez-Estaca et al. 2016; Hernandez-Izquierdo & Krochta 2008). Tvärbundna proteinfilmerna är oftast mer stabila än filmer baserade på

polysackarider och har dessutom längre livstid (Barone & Schmidt 2006, refererad i Dangaran et al. 2009).

I tillverkning av alla typer av polymera förpackningar, film såsom beläggning, är det två typer av krafter som är involverade: kohesion (interaktioner mellan filmbildande polymer) och adhesion (interaktioner mellan polymer och livsmedelsmolekylerna, för beläggningar) (Khwaldia et al. 2004). Graden av kohesion påverkar filmens egenskaper som flexibilitet och barriärer mot gaser och lösningar. Kohesionen styrs av biopolymerens struktur, tillverkningsprocess, fysio-kemiska förhållanden, mjukgörare, tillsats av tvärbindningsagenter och filmens tjocklek.

5.2 Faktorer i tillverkningsprocessen

De flesta ätbara filmer är vattenkänsliga, men deras hydrofila egenskap gör de till utmärkta barriärer mot opolära substanser såsom aromer och syre (Gällstedt et al. 2011; Khwaldia et al. 2004). Torra hydrokolloida filmer har goda syrebarriäregenskaper. I närvaro av fukt blir makromolekylernas kedjor mer rörliga vilket leder till en väsentlig ökning i syrepermeabiliteten (Khwaldia et al. 2004). Proteinfilmer har generellt lägre syrepermeabilitet än polysackaridfilmer. Detta kan vara relaterat till deras mer polära natur och mer linjära struktur som ger en högre sammanhållande effekt och lägre fri volym. Filmer som är baserade på globulära proteiner verkar ha högre syrepermeabilitet än t ex. kollagenbaserade filmer. Det beror förmodligen på att globulära proteiner besitter en större andel stora aminosyror och har en mindre linjär struktur, som resulterar i en mindre sammanhållande energidensitet och större fri volym (Khwaldia et al. 2004).

Fysiska behandlingar, såsom strålning, kan öka den sammanhängande styrkan av proteinet genom ökad bildning av tvärbindningar (Khwaldia et al. 2004; Letendre, D'Aprano, Lacroix, Salmieri & St-Gelais 2002). Likaså kan kemiska behandlingar användas, som t ex. mild alkali-behandling för att öka antalet tvärbindningar (Wihodo & Moraru 2013). Det går även att använda formaldehyd och glutaraldehyd för att producera fler tvärbindningar, men proteinfilmen kan då inte ätas eftersom bindningsagenterna är giftiga (Dangaran et al. 2009). Polymergenomsläppligheten minskar med ökad kristallisering, densitet, orientering, molekylvikt, och styrs av molekylernas förmåga att tvärbinda under och efter filmbildningen (Khwaldia et al. 2004). En faktor att ta i beaktning är att vätebindningarna i proteinfilmer gör att de kan bli sköra när de torkar, det är därför till stor vikt att välja rätt mjukgörare (dvs. glycerol, sorbitol, vatten) i tillverkningsprocessen för att nå de önskade egenskaperna (Gällstedt et al. 2011). Mjukgörare spelar en stor roll i produktionen av filmer eftersom de modifierar

polymerernas egenskaper både termiskt och mekaniskt och modifierar även barriäregenskaperna. Mjukgörare försvagar vätebindningarna i polymerkedjorna och förbättrar därmed flexibiliteten hos proteinfilmer (Shaw et al. 2002 refererad i Oh et al. 2004; Wagh et al. 2014). Mjukgörare försämrar fuktbarriären i proteinfilmen (Oh et al., 2004) och minskar dragstyrka (TS) och elastisk modulus (EM, mått på styvheten hos ett material) vilket kan resultera i svaga filmer (Wagh et al. 2014). En överdriven användning av mjukmedel ökar volymen i filmnätet och de intermolekylära krafterna mellan polymerkedjorna försvagas till följd av att vätebindningarna försvagas (Khwaldia et al., 2004) och hamnar längre ifrån varandra. Därmed reduceras dragstyrkan (TS) och Elastisk modulus (EM) (Wagh et al., 2014).

Socketalkoholer (polyoler) är vanligt förekommande som mjukgörare, några exempel är: glycerol, polyethylene glykol och sorbitol (Han 2013). Den mjukgörande effekten hos polyoler kan avspeglas i deras förmåga att lokalisera sig mellan polymermolekylerna, binda vatten och störa de intermolekylära polymerföreningarna (Shaw et al. 2002). I förpackningsmaterial ger glasomvandlingstemperatur (glass transition temperature, T_g) viktig information. T_g sker över en temperaturvariation vid vilket ett glasaktigt material går in ett gummiliknande fas och en sänkning av elastisk modulus (EM) sker (Murrieta-Martínez et al. 2018). Tvärbindningsreaktionerna kan leda till högre T_g -temperaturer och högre smältviskositet (Hernandez-Izquierdo & Krochta 2008). Tillsatsen av mjukgörare sänker T_g hos polymerer och minskar EM och smältviskositeten (Han 2013). Polymerer (ätbara eller oätbara) som har höga T_g värden är svåra att forma till filmer eller tenderar att vara sköra när de används som omslag. Lågt T_g ger istället låga smältpunkter vilket kan komplicera bildningen av filmer som inte tenderar att klibba sig. Andra negativa effekter är att mekaniska styrkan och WVP sänks (Murrieta-Martínez et al. 2018).

Det finns olika sätt att applicera ätbara filmer på livsmedelsprodukter. Några metoder är att doppa, spraya, gjuta och pensla (Lacroix & Cooksey 2005). Processfönstren för proteinerna, tidsspannet för de strukturella och mekaniska förändringarna, bestäms under uppvärmningen och filmgjutningen. Under arbetet med lösningsgjutning för filmer finns det ett antal viktiga faktorer såsom pH, tid, temperatur, lösningsmedel, mjukningsmedel (%) och fukttinnehåll. (Gällstedt et al. 2011).

5.3 Vassle

Vassle är ett globulärt mjölkprotein och är värmestabilt i sin natur (Krochta 1997, refererad i Hernandez-Izquierdo & Krochta 2008). Det består av fem olika

proteinkomponenter: α -laktalbumin (α -La), β -laktoglobulin (β -Lg), bovin serumalbumin (BSA), immunoglobuliner (Ig), och proteos peptoner (PP) (Khwaldia et al. 2004). Fraktionernas individuella filmegenskaper är inte vitt studerat på grund av höga renings -och separationskostnader.

I vanlig komjölk står vassle för ungefär 20% av proteinet. Vassleprotein är det protein som är kvar när kaseinutfällning sker kring pH 4,6 (Khwaldia et al. 2004). Vassle förekommer bland annat som en biprodukt från osttillverkning (kasein koagulerar och bildar ostmassan) och är en vattinig, svagt gul vätska. Vassle innehåller ganska mycket cystein och kan om omständigheterna tillåter bilda disulfidbryggor (även kallat svavelbryggor) vilket ger proteinet en stabil struktur och ger en produkt som kallas cystin (Gómez-Estaca et al. 2016). Det sker till exempel under filmgjutningen. En uppvärmd lösning gör att proteinerna vecklas ut (denatureras) med hjälp av värmen och intermolekylära svavelbryggor kan bildas (Gällstedt et al. 2011). Hos vassle är de hydrofoba, polära och laddade aminosyrorerna jämnt utspridda. Det bidrar till att proteinerna viker sig och de flesta hydrofoba grupperna döljs inom vassleproteinmolekylen (Dangaran et al. 2009)

Flytande vassle utvinns vanligen utifrån två metoder, ultrafiltration eller torr-sprayning och produkten blir antingen vassleproteinisolat (WPI) eller vassleproteinkoncentrat (WPC) (Gällstedt et al. 2011). WPI har ett proteininnehåll över 90%. Vid filmtillverkning är WPI både transparent och luktlös och består till 93,5% av proteiner (huvudsakligen β -laktoglobulin) WPC har en mer varierande proteinkoncentration, mellan 25 och 80%. Filmerna kan bli gul/röda i färgen och kan dofta ost. En WPC film består av 82% proteiner, främst β -laktoglobulin, och övrigt innehåll är laktos, fett och mineraler.

5.4 Kasein

Kasein är det dominerande proteinet i mjölk och utgör 80% av proteininnehållet. Det finns fem olika kaseinproteiner: β -kasein, α_{s1} -kasein, α_{s2} -kasein, κ -kasein och γ -kasein (Gällstedt et al. 2011). Kasein stabiliseras av kalciumfosfatbryggor (Khwaldia et al. 2004). De olika kasein-fraktionerna har en molekylär vikt mellan 19-23,9 kDa och skiljer sig också i proteinstrukturen. Samtliga fraktioner skiljer sig åt i hydrofilitet, aminosyrainnehåll, molarmassa och isoelektriska punkten (Gällstedt et al. 2011). β -kasein tros ha lägre WVP och gas-genomsläpplighet än andra mjölkproteiner, men alldeles för få studier har gjorts på kaseinfraktionernas individuella filmegenskaper (McHugh, & Krochta, 1994 refererad i Khwaldia et al. 2004).

κ -kasein som står för kappa-kasein är ett av majoritetsproteinerna i kasein och finns på kasein-micellens yta (Dangaran et al. 2009). Kappa-kasein är inte känsligt

för kalciumjoner vilket innebär att det skiljer sig från de övriga kaseinfraktionerna. Kasein är värmetåliga proteiner som binder kalcium och bildar miceller (Gällstedt et al. 2011). De har ett hydrofobt inre och den hydrofila ytan är täckt av glykomakropeptider (GMP) vilket ger micellen negativ laddning. Det innebär att micellerna kan bilda aggregat om man höjer pH i lösningen. Detta sker till exempel vid osttillverkning. När pH höjs bryts fosfatbryggorna mellan proteinerna.

Kasein som EF har en del fysiska karakteristiska fördelar som löslighet i vatten och förmågan att agera emulgator (Khwaldia et al. 2004). Kaseinproteinets struktur kan dels förklaras utifrån aminosyrakompositionen: Kasein har låga nivåer av cystein och därav få disulfid-tvärbindningar vilket ger proteinet en öppen struktur. Däremot har kasein ett högt, i jämförelse med vassle, innehåll av prolin och det förklarar varför kasein har bättre emulgeringsegenskaper. Kasein kan forma filmer som uppvisar resistens mot termisk denaturering och koagulering. I praktiken innebär det att kaseinfilmen förblir stabila trots pH- och temperaturförändringar och varierande saltkoncentration. Kommersiellt producerade kaseinater tas fram ur skummjolk vid pH 4,6 och 20°C. Genom neutralisering (vid tillsats av alkali) kan utfällning av kasein ske. Kalcium- och natriumkaseinater är vanligast (Khwaldia et al. 2004).

5.5 Ätbara filmer av kasein och vassle

5.5.1 Mekaniska egenskaper

Kasein bildar lätt filmer från vattenhaltiga kaseinatlösningar, utan ytterligare behandling, till följd av deras slumpmässiga spole-struktur (arrangerad i en serie av cirklar) och deras förmåga att bilda vätebindningar (Lacroix & Cooksey, 2005). Deras elektrostatiska och hydrofoba bindningar anses också ha betydelse för den inre sammanhållningen (Khwaldia et al. 2004; Lacroix & Cooksey, 2005). Dessa filmer är vattenlösliga men en tillsats av en buffertlösning vid kaseinets isoelektriska punkt ger vattenolösliga filmer (Khwaldia et al. 2004).

Kaseinfilmer och beläggningar har en mycket hydrofil natur som begränsar deras förmåga att tillhandahålla en tillräcklig fuktbarriär (Khwaldia et al. 2004). För en förbättrad barriäregenskap krävs en ökad sammanhållning (fler tvärbindningar) hos proteinpolypeptidkedjorna i filmen vilket kan åstadkommas med olika metoder. Kasein kan bland annat skapa tvärbindningar med kalciumjoner i närvaro av transglutaminas enzym (T_{gase}). Dock är det dyrt att tillverka mjölkproteinfilmer med T_{gase} -metoden samt att det förekommer en viss begränsad tillgänglighet av transglutaminas (Khwaldia et al. 2004). Brault et al (1997, refererad i Khwaldia et

al. 2004) använde γ -strålning för att producera tvärbundna kalcium-kaseinater (CaCas) – filmer. De kunde visa att filmernas mekaniska egenskaper förbättrades och blev vattenresistenta. CaCas-filmen reducerade vattenförlusten hos jordgubbar under förvaring. Kaseinets emulgeringsförmåga utnyttjades i ett experiment av Krochta et al (1990, refererad i Khwaldia et al. 2004) där man skapade kaseinlipidemulsionsfilmer som resulterade i förbättrade fuktbarriäregenskaper. Lipidmaterialet stod för motståndskraften mot vattenöverföring och kaseinet, bundet till den våta ytan, bidrog till strukturell sammanhållning samt reducerade det vaxliknande utseendet.

Enligt Danagaren et al (2009) har kasein överlägsna egenskaper för syrepermeabiliteten (OP) i jämförelse med LDPE (low density polyethylene). När Dangaran et al (2009) i en studie lät applicera en kaseinfilm på LDPE reducerades OP-värdena kraftigt (1,560 till 96 $\text{cm}^3 \mu\text{m}/\text{m}^2 \text{ d kPa}$) (Dangaran et al. 2009). Wagh, Pushpadass, Emerald & Nath (2014) kunde visa att cheddarost som förpackats med LDPE försämrades i snabbare grad än de ostprover som var behandlade med ett extra lager av proteinfilm av kasein eller WPC. Det kunde påvisas att för mjölkproteinerna emellan hade kasein lägre syrepermeabilitet och bättre dragstyrka än vassle. Ostproven med de ätbara filmerna fick lägre oxidationshastighet vilket tillskrivs deras överlägsna syrebarriäregenskap över LDPE. Mikrobielldata tillsammans med fysikalisk-kemiska data visade att det var möjligt att förlänga hållbarheten hos mjölkprodukter genom att paketera dem med ett extra lager av kasein- och WPC-filmer. Inte heller smaken påverkades av de olika filmerna (Wagh et al. 2014). I en studie av Vachon et al (2002, refererad i Lacroix & Cooksey 2005) tittade man på kombinationen av kasein- och vassleproteiner i film och kunde påvisa en direkt korrelation mellan de mekaniska egenskaperna och filmporositeten i en studie. De observerade att strukturen hos tvärbundna filmer och kaseinbaserade filmer med WPI generellt var mer täta och homogena än kaseinfilmer utan WPI (Lacroix & Cooksey 2005).

Några av de oönskade egenskaper som vassleprotein har är låg TS och hög WVP (Yoo & Krochta 2011). Pérez-Gago et al (1999, refererad i Wagh et al. 2014) visade att WPI generellt producerade filmer som var vattenlösliga men värmedenaturerade lösningar av WPI resulterade i olösliga filmer. Något som beror på att det produceras kovalenta disulfidbindningar under värmeprocessen (en förmåga som kasein saknar) (Lacroix & Cooksey 2005). WPI-filmerna uppvisade högre TS efter värmebehandling, dock fanns det ingen påvisad effekt i WVP (Perez-gago & Krochta 2001). Att WVP inte kunde sänkas beror på att när värmedenatureringen genererar tvärbindingar hos vassleproteinerna störs samtidigt proteinstrukturen och sulfhydryl- och hydrofoba grupper exponeras (Wagh et al. 2014). WPI-filmer är mycket goda barriärer mot CO_2 och O_2 (Khwaldia et al. 2004). I en studie som undersökte konsumenternas preferenser mellan en WPI-beläggning och den

vanligare shellac-beläggning på chokladdäckta mandlar, visade det sig att WPI-beläggningen var mest omtyckt (Lee, Dangaran, Guinard & Krochta 2002).

För både kasein- och vasslefilmer är glycerol en mer effektiv mjukgörare (Wagh et al 2014). Oavsett vilken mjukgörare som användes hade kaseinfilmerna överlägset bättre drag- och barriäregenskaper än vasslefilmerna. Även syre- och vattenångpermeabiliteten var lägre i kaseinfilmerna än i vassle. Att OP skiljer sig åt beror bland annat på proteinernas struktur, den fria volymen mellan polymererna och energin av molekylernas gemensamma attraherande kraft (cohesive energy density). WPC-filmer noterades också för adsorbering av mer fukt än kaseinfilmerna (Wagh et al. 2014). Kaseinbaserade filmer var en bättre fuktbarriär än WPI-filmer betonade McHugh et al (1994, refererad i Wagh et al. 2014).

Ätbara beläggningar kan användas på frukt och har förmågan att skapa en modifierad atmosfär genom att beläggningen isolerar frukten från den omgivande miljön (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). De beläggningar som har selektiv permeabilitet mot gaser kan minska utbytet av O₂ och CO₂ mellan frukten och omgivningen. När O₂-koncentrationen i frukten minskar ökar CO₂-koncentrationen vilket saktar ner metabolismen. En hög CO₂-koncentration i fruktvävnaden minskar etylensyntesen varpå mognaden av frukten försenas. Etylen är ett hormon som är avgörande för mognadsprocessen (Saltveit 2003, refererad i Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). Det har visast att äppelskivor som belagts med en vassle-film, fick en 20% lägre respirationshastighet (Lee et al., 2003 refererad i Olivas & Barbosa-Cánovas 2005).

Slutligen har koncentrationen av mjukgörare stor inverkan på interaktionerna mellan biopolymererna och påverkar vattenångpermeabiliteten (WVP) hos filmerna signifikant (Wagh et al., 2014). När koncentrationen av en mjukgörare ökar resulterar det i en mer porös och hydrofil polymer matris, vilket gör filmerna mer mottagliga för genomträngning av vattenånga (Arvanitoyannis & Biliaderis 1998, refererad i Wagh et al., 2014). På samma sätt förklarar Anker et al (2002, refererad i Wagh 2014) att vattenmolekylerna enkelt passerar genom vatten- och mjukgörarfaser när koncentrationen av mjukgörare stiger och resulterar i ett högt WVP.

5.5.2 Bioaktiva komponenter

De antioxidativa egenskaperna hos mjölkproteinfilmerna anses kunna bero på många olika faktorer. Ett flertal peptider har visat sig vara effektiva antioxidanter, där ibland anserine och karnosine (Kohen et al., 1988 refererad i Tien et al 2001). Colbert & Decker (1991, refererad i Tien et al. 2001) uttryckte att den antioxidativa aktiviteten hos vassle hänger ihop med dess fraktioners låga molekylvikter (500-5000 Da). Många proteiner kan tillämpa antioxidativa effekter genom närvaron av

aminosyrornas sidogrupper, t ex. cystein i mjölkproteinerna. De kan direkt och indirekt inhibera polyfenoloxidas via sina SH-grupper. SH-grupperna kopplar sig på o-quinone och det bildas en färglös komponent istället för brunfärgningen (Dudley & Hotchkiss 1989, refererad i Tien et al., 2001). Proteinfilmerna har en förebyggande effekt mot brunfärgning i det att oxidationsprocessen förhindras, åtminstone för en tid. I en studie på oxidativ brunfärgning på äpplen och potatis av Tien et al. (2001) hade vasslefilmer en bättre antioxidativ effekt än kalcium-kaseinat (CC) något som beror på skillnaden i aminosyra-kompositionen hos mjölkproteinerna. Dessutom har laktos en antioxidativ effekt, och vassle som innehåller en större andel laktos än kasein, kan bidra till att förklara skillnaden ytterligare. Det är sedan tidigare känt att enkla sockerarter reducerar fria radikaler (Tien et al. 2001).

Tien et al. (2001) lyfter fram att mjölkproteinfilmer som innehöll karboximetylcellulosa natriumsalt (CMC) hade bättre antioxidativa förmågor än de som endast var baserade på mjölkprotein (vassle eller kasein) och glycerol. När CMC tillsattes till filmlösningarna ökade både den antioxidativa kapaciteten och antioxidativa kraften. Vassleproteinerna kunde uppvisa högre effekt i båda fallen (Tien et al. 2001). Detta bekräftas i en studie av Xue et al. (1998, refererad i Tien et al. 2001) där tillsatsen av en polysackarid (t ex. CMC) till en proteinblandning ökade antioxidantaktiviteten hos filmerna. CMC kan agera "chelating agent" i vissa situationer vilket innebär att det interagerar med kopparbindningsstället för syret och polyfenoloxidas-aktiviteten minskar därmed (Tien et al. 2001). Studien kunde dessutom visa att både vassle och kasein var effektiva på att förhindra brunfärgning, då syrebarriären hos filmerna kunde förhindra reaktionen framfart (Tien et al. 2001). Mjölkproteinernas förmåga att vara naturliga antioxidanter ger de en trolig fördel inom utvecklingen av förpackningsteknologin och livsmedelsvetenskapen. Graden av syrepermeabiliteten för mjölkproteinfilmerna som studerades i Tien et al. (2001) visade att den egenskapen kunde variera.

Aktiva komponenter (såsom antioxidanter) kan inkorporeras till ätbara filmer (EF) och beläggningar (EC) (Lacroix & Cooksey 2005). Resultatet blir bioaktiva filmer eller beläggningar som är försedda med en inhiberande effekt mot förruttelse och patogena bakterier. De aktiva komponenterna sänker bakteriernas diffusion genom livsmedlet och en hög koncentration av aktiva komponenter på ytan (Gennadios & Kurth 1997, refererad i Lacroix & Cooksey 2005). I en studie av Ouattara et al. (2001, refererad i Lacroix & Cooksey 2005) där man gjorde en EC av mjölkprotein tillsammans med en naturlig antimikrobiell komponent (. timjanolja och transcinnaraldehyd) och lät applicera EC på räkor (genom att doppa ner de i lösningen) förlängdes hållbarheten med 12 dagar.

Det går att göra EF utifrån totalt mjölkprotein (total milk protein, TMP). Både kaseinprotein och vassleprotein är då närvarande. TMP kan fås av fettfri torrmjök

(non-fat dry mik, NFDM). Tillverkning av TMP filmer kan vara komplicerat i närvaro av laktos som kristalliseras under filmgjutningen och ger då en icke-homogen film (Maynes och Krochta 1994, refererad i Khwaldia et al. 2004). Laktosfri TMP kan fås genom ultrafiltration, då extraheras laktos från NFDM och ger UF-TMP som är mer flexibel och har en bättre vattenfuktighetsbarriär. Kristalliseringen inhiberas genom tillsats av kaliumsorbat (Maynes och Krochta 1994, refererad i Khwaldia et al. 2004). Vid tillverkningen av mjölkproteinfilmer värms de upp i en vattenlösning till 75-100°C för att intermolekylära disulfidbindningar ska produceras. Disulfidbindningar är delvis ansvariga för filmens struktur (Wagh et al. 2014). Filmer av proteinfraktionerna α -La, β -Lg, och en mix av α -La: β -Lg testades på WVP egenskaper. Filmerna gjorda på en mix α -La: β -Lg hade högre WVP värde än de rena proteinerna (Mahmoud och Savello, refererad i Khwaldia et al., 2004). Närvaro av laktos ökar minimum-temperaturen för värmedenaturering (Khwaldia et al. 2004).

5.6 Polymerkombinationer som ätbara filmer

Protein och polysackarider passar bra som EC och EF, tack vare sina goda mekaniska- och strukturella egenskaper. Som nämnt är de inte särskilt bra mot fuktöverföring. Däremot har lipider bättre barriäregenskaper av denna sort eftersom de är hydrofoba (Falgulera et al. 2011). För att förbättra proteinfilmers WVP går det att inkorporera lipider till hydrofila proteinfilmer och skapa en stabil emulsion eller att man laminerar filmen med ett lipidskikt. Kompositfilmer av detta slag är starkt beroende av filmkomponenternas polaritet och fördelningen av hydrofoba ämnen i filmen för sin slutgiltiga barriäreffekt (Falgulera et al. 2011). Kompositfilmer kan vara heterogena och bildas av blandning av en protein/polysackarid/mjukgörare och en lipid. Med denna metod kan man bättre utnyttja egenskaperna hos varje komponent (Lacroix & Cooksey 2005).

En blandning av biopolymerer kan förbättra filmens egenskaper, något som Brindle & Krochta (2008) kunde visa när de kombinerade WPI med eller utan hydroxypropylmetylcellulosa (HPMC). Filmer med HPMC var starkare och mer flexibla än de utan. En tillsats av en polysackarid till en proteinlösning kan förbättra filmens fuktbarriär, mikrobiella resistans och mekaniska egenskaper. Polysackarider (såsom CMC, pektin och alginate) kan bilda "charge-charge electrostatic complexes" med proteiner (Letendre, D'Aprano, Lacroix, Salmieri & St-Gelais 2002; Lacroix & Cooksey 2005). Under vissa förhållanden (t ex. autoklivering) kan polysackarider såsom pektin bilda tvärbindingar med proteiner (Thakur et al. 1997, refererad i Letendre et al. 2002).

Letendre et al. (2002) kunde i ett försök med en blandning av proteiner (WPI och CC) och polysackariderna (pektin och agar) visa på vilken effekt fysisk behandling (strålning och autoklivering) har på slutresultatet. Resultatet, som mättes i punkteringsstyrka, fick högst värde när proteinlösningen blev utsatt för strålning och polysackaridlösningen för autoklivering. De betonade att både värme- och strålningsbehandlingar av pektin och agar gav en signifikant effekt hos filmernas punkteringstyrka, och därmed de mekaniska egenskaperna (Letendre et al. 2002). Värmebehandling av polysackarider ger dessa en mindre ordnad struktur och de funktionella grupperna blir tillgängliga. När de tillsätts till proteinlösningen ökar protein-polysackarid-interaktioner som resulterar i ett tredimensionellt nätverk med förbättrade mekaniska egenskaper. Punkteringsstyrkan hos de bestrålade filmerna som innehöll obehandlade polysackarider gav liknande resultat som de icke-bestrålade filmerna som saknade polysackariderna pektin och agar (Letendre et al. 2002). Obehandlade polysackarider behåller sin ursprungliga struktur och förhindrar gynnsamma interaktioner med proteinerna (Letendre et al. 2002). Användningen av kitosan (polysackarid) är utbredd inom förpackningsindustrin för filmer och beläggningar då den har förmågan att inhibera tillväxten av både svamp- och bakterie-patogener av olika slag (Romanazzi 2002, refererad i Falgulera et al. 2011).

Ätbara filmer som inkluderar både hydrokolloider och lipider kan appliceras i form av en kompositfilm där alla komponenter blandas homogent och appliceras som en beläggning eller att de appliceras i två skikt (dubbelskiktsfilmer): första lagret av hydrokolloid och det följande av lipider (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). Dubbelskiktsfilmer är mer effektiva som barriärer mot gaser och vattenånga än kompositfilmer eftersom livsmedelsytan har belagts med två skikt istället för ett. En kombination av hydrokolloider och lipider har visat sig vara framgångsrik i syfte för att förbättra barriäregenskaperna hos beläggningar som ska täcka färsk frukt. I dessa kombinationer sammanstrålas polymerernas olika styrkor, hydrokolloidernas goda gasbarriäregenskaper och lipidernas goda vattenbarriäregenskaper (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). Ett användningsområde för kompositfilmer är vid bevarande av färsk hackad frukt. Ett sådant exempel återfinns i Pavlath et al (1993, refererad i Olivas & Barbosa-Cánovas 2005), där skivade äpplen fick en kompositfilm bestående av kasein, alginsyra och acetylerad monoglycerid. Filmen skyddade äppelklyftorna mot fuktförlust och missfärgning (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005).

6 Diskussion och slutsats

Med hjälp av lagstiftning kan ätbara material (filmer och beläggningar) gynnas och bidra till att driva upp marknadstillväxten (Khwaldia et al. 2004). Konsumenternas efterfrågan på miljövänliga alternativ ska inte underskattas. Allt fler företag försöker bemöta dessa krav, och då behövs det mer forskning för att kunna ta fram material som kan ersätta syntetisk plast (Mahalik & Nambiar 2010). Proteinbaserade filmmaterial har som nämnt många goda egenskaper och svårigheten ligger främst i att förbättra de mekaniska egenskaperna (Dangaran et al. 2009). Dock ska man inte förringa mjölkproteinernas (vassle och kasein) överlägsna OP i jämförelse med LDPE (Dangaran et al. 2009; Wagh et al 2014). Ätbara filmer och beläggningar kommer troligtvis inte ersätta plast som produceras av petroleum men däremot kan det fungera som ett mycket bra komplement och ersätta vissa typer av förpackningar (Murrieta-Martínez et al. 2018). När det gäller filmer och beläggningar finns deras största potential i att skydda livsmedelsprodukter mot kemiska samt biologiska nedbrytningsprocesser (Dangaran et al. 2009). Det kan framförallt bidra till att livsmedel får längre hållbarhet och om möjligt minska den växande problematiken med matsvinn. Bara i EU är det beräknade matsvinnet 88 miljoner ton årligen (Stenmarck et al. 2016).

Förutom att kunna konkurrera med egenskaperna hos syntetisk plast är det också kostnaden för råvaran och framställningen som i slutändan kommer styra produktionen. En stor utmaning är övergången från laboratorium till verklig kommersialisering. Metoderna behöver utvecklas för att vara realistiska och attraktiva. Kanske kommer konsumenten behöva betala mer för produkter av ätbara proteinförpackningar än en motsvarande med syntetisk plast. Ätbara förpackningar skulle kunna fungera som näringskälla (Gällstedt et al. 2011) och passa utmärkt till produkter som kommer styckvis i en större yttre förpackning, troligen i konventionell plast. Det blir en praktisk produkt eftersom de i praktiken inte behöver öppnas eller källsorteras, förutom huvudförpackningen. En annan fördel som proteinfilmer har över t ex. filmer av polysackarider och lipider är att det är en källa

till kväve och skulle kunna bidra som gödningsmedel under nedbrytningsprocessen (Dangaran, Tomasula & Qi 2009). Livsmedelsäkerhet är en viktig aspekt att ta hänsyn till. Filmer och beläggningar baserade på protein får inte lösas upp i livsmedel under någon omständighet, förutsatt att det inte är syftet, eftersom det i så fall skulle kunna utgöra en risk för människor med allergiker- och intoleranser (EG nr 1935/2004). Det får inte vara vilseledande och tydlig information för konsumenten behöver anges. Samtidigt är filmer med inkorporerade bioaktiva ämnen en möjlighet för att förlänga hållbarheten och motverka patogener i vissa mer utsatta livsmedel. Proteinbaserad EF och EC kommer inte att kunna användas på alla områden. En vegan skulle till exempel kanske inte vilja äta ett äpple med en film av animaliskt ursprung. Fördelen med mjölkproteiner som filmer och beläggningar är att vegetarianer ofta äter mejeriprodukter.

Sammanfattningsvis har ätbara filmer baserade på protein en stor potential i att förlänga hållbarheten och förbättra livsmedels säkerheten för livsmedelsprodukter. Forskning behövs för att förbättra egenskaperna och tillverkningsmetoderna.

6.1.1 Framtid

Som det framgår i texten har proteiner länge använts för att producera ätbara material men mycket kvarstår i att förstå de fysiska och kemiska mekanismerna under proteinernas interaktioner (Ar^eas 1992; Li & Lee 1996; Redl et al. 1999a; Pommet et al. 2005, refererad i Hernandez-Izquierdo & Krochta, 2008). Proteinbaserade filmer behöver förbättras trots sin goda gasbarriärförmåga. Nanoteknologin tros vara en väg framåt för att öka dragstyrkan och barriäregenskaper (Lagaron et al. 2005 refererad i Dangaran et al 2009). Det innebär att man inkorporerar nanopartiklar (0,1 – 50nm) som interagerar med atomer och elektroner utan att för den delen påverka kemin (Dangaran et al 2009). I en studie där man använde sig av nanopartiklar av titanoxid (TiO₂) lät man de inkorporeras i en film av vassleproteinisolat (WPI) vilket ökade dragstyrkan hos filmen betydligt (Zhou et al. 2009 refererad i Wihodo & Moraru 2013).

Trots att detta var en litteraturstudie var avsikten att komplimentera med information från företag inom området för livsmedelsindustrin, men då svar ej erhållits har denna komplettering uteblivit. Företagens åsikter skulle kunna ge en intressant vinkel och kunna bidra till kommunikation mellan forskningen och industrin, något som skulle kunna tas med i framtida arbeten.

Referenslista

- Brindle, L.P., Krochta, J.M. (2008). Physical Properties of Whey Protein–Hydroxypropylmethyl-cellulose Blend Edible Films. *Journal of Food Science* 73, E446–E454. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2008.00941.x
- Dangaran, K., Tomasula, P.M., Qi, P. (2009). Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings, I: Huber, K.C., Embuscado, M.E. (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer New York, New York, pp. 25–56. DOI: 10.1007/978-0-387-92824-1
- European Food Safety Authority. (2018). *Food Contact Materials-Legislation*. Tillgänglig: https://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety/food_contact_materials/legislation_en [2018-05-23]
- Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 1935/2004 av den 27 oktober 2004 om material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel och om upphävande av direktiven 80/590/EEG och 89/109/EEG, 2004.
- Gontard, N., Angellier-Coussy, H., Chalier, P., Gastaldi, E., Guillard, V., Guillaume, C., Peyron, S. (2011). Food Packaging Applications of Biopolymer-Based Films. I: Plackett, D. *Biopolymers: New Materials for Sustainable Films and Coatings*. John Wiley & Sons, Incorporated, NY, United Kingdom.
- Gómez-Estaca, J., Gavara, R., Catalá, R., Hernández-Muñoz, P. (2016). The Potential of Proteins for Producing Food Packaging Materials: A Review. *Packaging Technology and Science* 29, 203–224. DOI: 10.1002/pts.2198
- Gällstedt, M., Hedenqvist M S., Ture, H. (2011). Production, Chemistry and Properties of Proteins. I: Plackett, D. *Biopolymers: New Materials for Sustainable Films and Coatings*. John Wiley & Sons, Incorporated, NY, United Kingdom.
- Han, J.H. (2013). *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Science & Technology, San Diego, United Kingdom.

- Khwalidia, K., Perez, C., Banon, S., Desobry, S., Hardy, J. (2004). Milk Proteins for Edible Films and Coatings. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44, 239–251. DOI: 10.1080/10408690490464906
- Kommissionens förordning (EG) nr 450/2009 av den 29 maj 2009 om aktiva och intelligenta material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel.
- Lacroix, M., Cooksey, K. (2005). 18 - Edible films and coatings from animal origin proteins, I: Han, J.H. (Ed.), *Innovations in Food Packaging*, Food Science and Technology. Academic Press, London, pp. 301–317. DOI: 10.1016/B978-012311632-1/50050-4
- Lee, S.-Y., Dangaran, K.L., Guinard, J.-X., Krochta, J.M. (2002). Consumer Acceptance of Whey-protein-coated as Compared with Shellac-coated Chocolate. *Journal of Food Science* 67, 2764–2769. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08812.x
- Letendre, M., D'Aprano, G., Lacroix, M., Salmieri, S., St-Gelais, D. (2002). Physicochemical Properties and Bacterial Resistance of Biodegradable Milk Protein Films Containing Agar and Pectin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 6017–6022. DOI: 10.1021/jf011688h
- LIVSFS 2011:7. Livsmedelsverkets föreskrifter om material och produkter avsedda att komma i kontakt med livsmedel. Statens Livsmedelsverk.
- Mahalik, N.P., Nambiar, A.N. (2010). Trends in food packaging and manufacturing systems and technology. *Trends in Food Science & Technology, Advances in Food Processing and Packaging Automation* 21, 117–128. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.12.006
- Murrieta-Martínez, C.L., Soto-Valdez, H., Pacheco-Aguilar, R., Torres-Arreola, W., Rodríguez-Félix, F., Ríos, E.M. (2018). Edible protein films: Sources and behavior. *Packaging Technology and Science* 31, 113–122. DOI: 10.1002/pts.2360
- Narayan, R. (2011). Carbon footprint of bioplastics using biocarbon content analysis and life-cycle assessment. *MRS Bulletin* 36, 716–721. DOI: 10.1557/mrs.2011.210
- Olivas, G.I., Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45, 657–670. DOI: 10.1080/10408690490911837
- Perez-gago, M.B., Krochta, J.M. (2001). Denaturation Time and Temperature Effects on Solubility, Tensile Properties, and Oxygen Permeability of Whey Protein Edible Films. *Journal of Food Science* 66, 705–710. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb04625.x
- PlasticsEurope. (2017). *Plastics – the Facts 2017, An analysis of European plastics production, demand and waste data*. 16-22. Tillgänglig: https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf [2018-05-09]
- Rossmann, J.M. (2009). Commercial Manufacture of Edible Films. I: Huber, K.C., Embuscado, M.E. (Eds.), *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer New York. DOI: 10.1007/978-0-387-92824-1

- Statens Livsmedelsverk. (2018). *Material i kontakt med livsmedel*. Tillgänglig: <https://www.livsmedelsverket.se/produktion-handel--kontroll/lokaler-hantering-och-hygien/material-i-kontakt-med-livsmedel> [2018-05-05]
- Stenmarck, Å., Jensen, C., Quedsted, T., Moates, G., Buksti, M., Cseh, B., Juul, S., Parry, A., Politano, A., Redlingshofer, B., Scherhauser, S., Silvennoinen, K., Soethoudt, H., Zübert, C., Östergren, K. (2016). *Estimates of European food waste levels*. Tillgänglig: <http://edepot.wur.nl/378674> [2018-05-20]
- Shaw, N.B., Monahan, F.J., O’Riordan, E.D., O’Sullivan, M. (2002). Physical Properties of WPI Films Plasticized with Glycerol, Xylitol, or Sorbitol. *Journal of Food Science* 67, 164–167. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb11377.x
- Tien, C.L., Vachon, C., Mateescu, M.-A., Lacroix, M. (2001). Milk Protein Coatings Prevent Oxidative Browning of Apples and Potatoes. *Journal of Food Science* 66, 512–516. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb04594.x
- Wagh, Y.R., Pushpadass, H.A., Emerald, F.M.E., Nath, B.S. (2014). Preparation and characterization of milk protein films and their application for packaging of Cheddar cheese. *J Food Sci Technol* 51, 3767–3775. DOI: 10.1007/s13197-012-0916-4
- Wihodo, M., Moraru, C.I. (2013). Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review. *Journal of Food Engineering* 114, 292–302. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.08.021
- Yoo, S., Krochta, J.M. (2011). Whey protein–polysaccharide blended edible film formation and barrier, tensile, thermal and transparency properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91, 2628–2636. DOI: 10.1002/jsfa.4502