



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och  
jordbruksvetenskap  
Institutionen för livsmedelsvetenskap

## **Proteinbaserade filmer för användning till livsmedelsförpackningar**

- En litteraturstudie med syfte att granska aktuell forskning kring proteinbaserade filmer som komplement till livsmedelsförpackningar

Protein based coatings for food package applications

- A literature study with purpose to evaluate current research regarding protein as complement in food packaging

*Marcus Östling*

**Proteinbaserade filmer för användning till livsmedelsförpackningar** – En litteraturstudie med syfte att granska aktuell forskning kring proteinbaserade filmer som komplement till livsmedelsförpackningar

Protein based coatings for food package applications – A literature study with purpose to evaluate current research regarding protein as complement in food packaging

*Marcus Östling*

**Handledare:** Kristine Koch, SLU,  
Institutionen för livsmedelsvetenskap

**Examinator:** Lena Dimberg, SLU,  
Institutionen för livsmedelsvetenskap

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Kandidatarbete i biologi

**Kurskod:** EX0689

**Program/utbildning:** Agronomprogrammet - Livsmedel

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2016

**Delnummer i serien:** 444

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Film, protein, proteintillsats, mjukgörare, aminosyra

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
**Swedish University of Agricultural Sciences**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för livsmedelsvetenskap



## Sammanfattning

Globalisering och en ökad efterfrågan av livsmedelsprodukter har bidragit till att högkvalitativa förpackningar är av stort intresse. Då dessa livsmedelsförpackningar idag har nackdelar såsom ohållbara framställningsmetoder, skadliga för hälsa och miljö samt otillräcklig kvalitet krävs att industrin utvecklar nya förpackningsmaterial. Filmer av olika komponenter såsom stärkelse och vax har sedan tidigare använts för att komplettera förpackningars egenskaper jämt emot aspekter som oxidering, nedbrytning och inverkan av yttre faktorer. Att proteiner inte använts i dessa sammanhang tidigare har till stor del grundats i för hög genomtränglighet av gaser, skörhet och för hög produktionskostnad. Längre har information huruvida proteiner är uppbyggda varit känt och aminosyrornas egenskaper varit välstuderade, men det är nu på senare tid det undersöks i större utsträckning i kombination med tillsatser. Tillförsel av tillsatser som verkar mekaniskt stärkande, mjukgörande eller till och med potentiellt inhiberande för mögel-/bakterietillväxt gör proteinbaserade filmer betydligt mer intressanta. I denna litteraturstudie har fyra olika proteiner (Zein, soja, vassle och myofibriller) studerats, främst då det är dessa som studerats i störst utsträckning och som även gav en diversitet av protein, både med animaliskt och vegetabiliskt ursprung. Att dra några definitiva slutsatser angående vilket protein som är bäst lämpat för ändamålet ansåg jag kräva betydligt mer utförlig eftersökning då behovet för enskilda livsmedelsprodukter skiljer sig markant. Att proteiner består av 20 monomerer, med den stora mängden potentiella tillsatser och tillämpningsområden gör att möjligheten för fördelaktiga kombinationer är stora. Frågeställningen i denna litteraturstudie var dels hur sannolik en extensiv produktion och användning av proteinbaserade filmer är inom livsmedelsförpackningsindustrin och varför just proteiner är ett lämpligt filmmaterial. Om större aktörer inom livsmedelsbranschen börjar investera i förpackningar med proteinbaserade filmer är möjligheten stor för att priset för produktionen blir sådant att det kan konkurrera med likvärdiga nedbrytbara filmer. Att ej nedbrytbara förpackningar och sådana framtagna ur icke förnybara resurser skulle tas bort från marknaden vore ett fördelaktigt scenario. Om utvecklingen fortsätter som den gjort till idag finns stora möjligheter för att proteinbaserade filmer kommer vara vida använda inom en snar framtid. Vad gäller de enskilda proteinernas egenskaper som gör de eftertraktade är till stor del beroende av livsmedlet som proteinet är avsett för. I slutändan är proteiners amfifila egenskaper en av de viktigaste egenskaperna för att få fram tillfredsställande egenskaper hos förpackningsmaterialen.

## Abstract

Globalisation and an increased demand for food products has contributed to a great interest in high-quality packaging. As the food packages today have drawbacks such as unsustainable productions, harmful to health and the environment and of inadequate quality it requires that the industry develops new packaging materials. Films of various components such as starch and wax has previously been used to supplement the packaging properties towards aspects of oxidation, degradation and the effects of external factors. The reason proteins have not been used in these contexts has largely been due to the high permeability of gases, brittleness and high production cost. Long have the structure of proteins been known, and its components amino acid's properties been well studied, but it is more recently it has been examined more closely in combination with additives. The additives acts as mechanical strengthener, as plasticizer or even as potentially inhibitors to mould-/bacterial growth, this makes protein-based films interesting. In this study, four different proteins (zein, soy, whey and myofibrils) were examined more thoroughly mainly because they were most well studied and also gave a diversity of protein, both with animal and vegetable origin. To draw any definitive conclusions about which protein is best suited for this purpose require much more detailed research regarding individual food products as they differ significantly. The proteins consisting of 20 monomers, with the large amount of potential additives and application areas makes the opportunity for advantageous combinations great. The issue in this study was partly to evaluate how likely an extensive production and use of protein-based films are in the food packaging industry and why proteins are a suitable film material. If the food industry are starting to invest in packages with protein-based films, it will be a great opportunity for the price of production to decrease so it can compete with similar biodegradable films. If the non-biodegradable packages and those produced from non-renewable resources would be removed from the market, it would make an optimal scenario. If the trend continues as today, it is possible that protein-based films will be widely used in the near future. As for the individual proteins' properties that make them desirable is largely dependent on the food that they are intended for. Ultimately the amphiphilic properties of the protein are one of the most important characteristics to obtain good properties of the packaging materials.

# Innehållsförteckning

<b>Förkortningar</b>	<b>4</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>5</b>
<b>2 Problemställning</b>	<b>7</b>
<b>3 Syfte och frågeställning</b>	<b>10</b>
3.1 Syfte	10
3.2 Frågeställning	10
<b>4 Metod</b>	<b>11</b>
<b>5 Resultat</b>	<b>12</b>
5.1 Proteiner för produktion av film	12
5.1.1 Zein	12
5.1.2 Soja	13
5.1.3 Vassle	14
5.1.4 Myofibriller från fisk	15
5.2 Tillsatser	15
5.2.1 Mjukgörare	15
5.2.2 Övriga tillsatser	16
5.3 Effekt av aminosyrakomposition	17
<b>6 Diskussion</b>	<b>18</b>
6.1 Framtida trender och riktlinjer	19
<b>7 Slutsats</b>	<b>20</b>
<b>8 Referenslista</b>	<b>21</b>

## Förkortningar

BSA	Bovine Serum Albumine (Bovint serum albumin)
FPI	Fish Protein Isolate (Fiskproteinisolat)
FMP	Fish Myofibriller Protein (Fiskmyofibrillprotein)
MMT	Montmorillonite (Montmorillonit)
MTGase	Microb. Transglutaminase (Mikrob. transglutaminas)
RH	Relative Humidity (Relativ fuktighet)
SPI	Soy Protein Isolate (Sojaproteinisaolat)
TS	Tensile Strength (Slitstyrka)
WVP	H <sub>2</sub> O-gas Permeability (Genomtränglighet H <sub>2</sub> O-ånga)
WPC	Whey Protein Concentrate (Vassleprotein koncentrat)
WPI	Whey Protein Isolate (Vassleproteinisolat)

# 1 Inledning

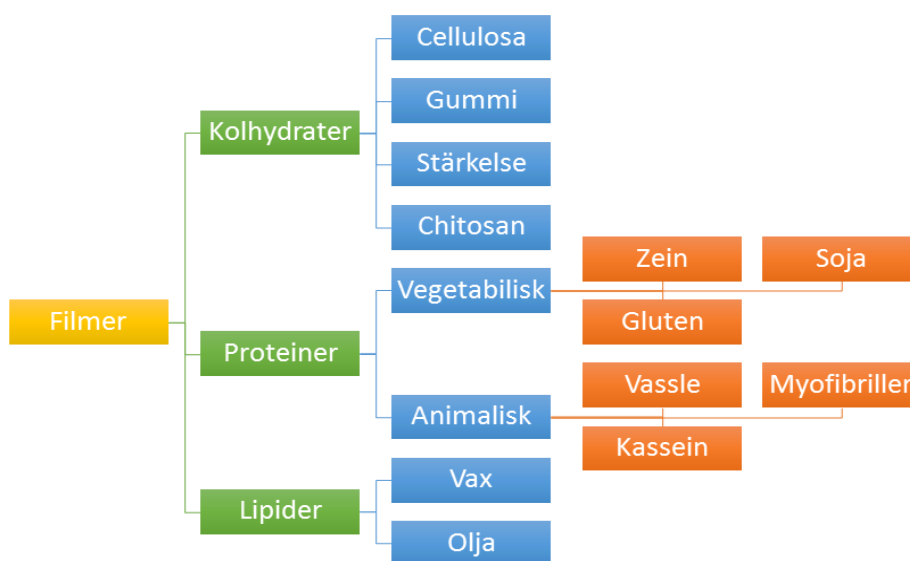
Hur ett livsmedel förpackas är en av de viktigaste aspekterna inom livsmedelsindustrin. Då det är helt avgörande för ett livsmedels förmåga att bibehålla önskvärda egenskaper under transport, tillverkning, lagring och slutligen konsumtion är det av stort intresse att fungerande metoder för förpackningsproduktion finns (Kelsey, 1985). Tidsspannet mellan skörd och konsumtion har länge präglats av förluster i kvalitet och kvantitet hos frukter (Solomos, 1987). Med ökad förståelse för frukters respiratoriska processer har metoder tagits fram för att öka dess kvalitet och hållbarhet. Metod som modifierade atmosfärer eller filmer nedbrytbara för människokroppen, har utvecklats till att idag vara vida använda medel för minskning av matsvinn av bland annat frukter (Han, 2014).

När det talas om skyddande lager för livsmedel är det ofta orden ”film” och ”coating” som används, vilka betyder snarlika saker såsom hinna, täcke, beläggning och film. För att skilja på dessa används inom litteraturen begreppet ”film” oftast där det används enskilt som en fristående film och något som inte är beroende av andra faktorer. ”Coating” används när hinnan direkt appliceras på livsmedlet i sig. För kroppen smältbara filmer har länge varit begränsade till vax på frukter men har på senare tid utvecklats till en viktig faktor inom livsmedelsindustrin med 600 producerande företag år 1996. Marknaden för nedbrytbara filmer har alltså växt oerhört. För många livsmedel är skyddande hinnor fortsatt ett av de mest kostnadseffektiva tillvägagångsätt för bibehållande av kvalitet och säkerhet (Embuscado & Huber, 2009). I det här arbetet kommer ordet ”film” att användas genomgående som ett samlingsord för både ”film” och ”coating”.

Filmer kan tillverkas från flertalet källor som exempelvis kolhydrater, vax och stärkelse. De från protein kan tas fram med både animaliskt och vegetabiliskt ursprung, vilket illustreras i **Figur 1**. Vid tillverkning av en proteinfilm är det främst tre komponenter som används: protein, lösningsmedel och mjukgörare, vars egenskaper tillsammans med framställningsmetoden påverkar den slutliga filmens



egenskaper (Panyam & Kilara, 1996). Den yttre påverkan som tillkommer vid framställningen kan vara temperatur, torkförhållanden, pH, jonstyrka, typ av salt, relativ fuktighet (RH) vid förvaring, framställningen i sig samt tryck (Damodaran, 2007). Med hjälp av dessa faktorer kan de egenskaper som gör just protein till ett bra filmbildande material användas. Det som särskiljer protein från övriga nedbrytbara filmer är deras konformation vid nedbrytning, elektrostatiska laddning och att de är amfifila, alltså kan vara både hydrofoba och hydrofila. Proteinernas sekundära-, tertiära och kvartära struktur kan även enkelt modifieras för att främja önskvärda egenskaper. Trots detta blir filmerna sköra och stela, vilket beror på de omfattande interaktionerna mellan polymererna (Krochta, 2002). Detta problem kan överkommas med hjälp av mjukgörare.



**Figur 1.** Olika sorter av ursprungsmaterial till filmer som idag används eller testas inom livsmedelsbranschen. t.

I denna studie utvärderas litteraturen där potentiella proteiner för filmtillverkning används och varför de besitter positiva alternativt negativa egenskaper för ändamålet. Anledningen till varför forskning inom området är aktuellt och varför dagens användning av plaster inte är hållbar tas upp för att bättre förstå vikten av att förändring är av yttersta nödvändighet.

## 2 Problemställning

Den idag vanligaste metoden för bibehållen kvalitet bland livsmedel är lågtemperaturförvaring inom intervallet 4-8 °C. Lägre temperatur sänker generellt sett aktiviteten hos oönskade enzymer men kan leda till ökad respiration och etylenproduktion (Eaks, 1980). Temperaturer under 0 °C inhiberar tillväxt av mögel men eliminerar inte andra kemiska och fysiokemiska reaktioner (Fennema, 1993) samtidigt som temperaturer på 10-12 °C kan skada cellmembran hos tropiska frukter. Köldtoleranta patogener kan proliferera vid kylskåpstemperatur (Embuscado & Huber, 2009). Att förlita sig på effekterna av nedsatt temperatur är därför problematiskt och kan inte endast användas som lagringsalternativ.

Protein, kolhydrater och lipider, som är några av de vanligaste komponenterna i dagens livsmedel, kan också utgöra väl fungerande ätbara filmer för att minimera matsvinn. Generellt sett används fett för att minimera vattentransmission, polysackarider för kontroll av syre- och gasutbyte samt proteiner för dess förmåga att bidra med stabilitet (Embuscado & Huber, 2009). Dessa komponenter kommer att behöva spela en större roll i användningsområden bortom konsumtion för att sträva mot en ökad hållbarhet av livsmedel.

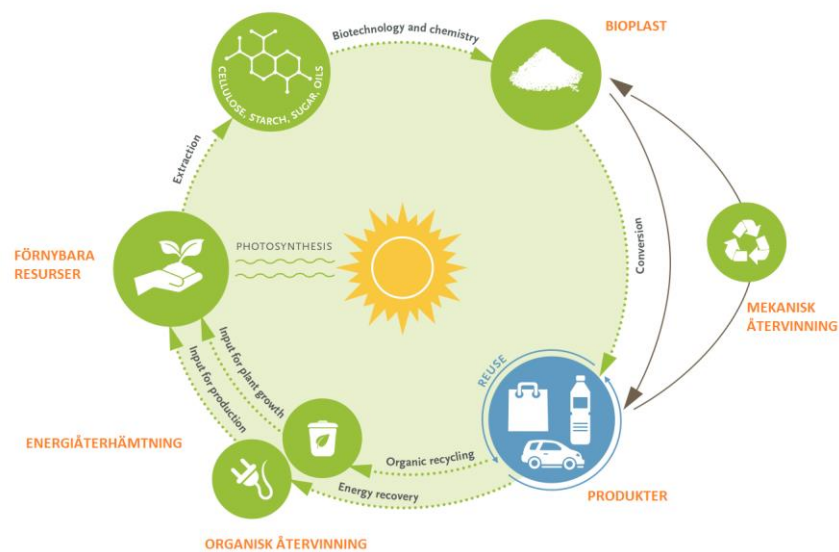
Utöver de ovan nämnda aspekterna är dagens användning av plast som förpackning det kanske största argumentet för att arbeta för en utvecklad framtid för biologiskt nedbrytbara plaster och filmer. Plast är ett material som används inom de flesta områden, från jordbruk till elektronik till sjukhusutrustning till förpackningar. År 2014 uppskattades den globala plastproduktionen uppgå till 311 miljoner ton (PlasticsEurope, 2015), vilket är en kraftig ökning sedan år 1950 då 1,65 miljoner ton producerades. Varje år förväntas produktionen att stiga med 3-4 % där industrialiseringen i tätbefolkade länder som Kina och Indien är en bidragande anledning. Fördelarna med just plast är att det är billigt, lättproducerat, väger lite och kan med dess mångsidiga egenskaper anpassas till många användningsområden. Användningen av plast i denna utsträckning ger upphov till i huvudsak två

problem: koldioxidavtrycket och hanteringen av avfallet efter användning (Narayan, 2011). Vid byte av kolkälla från fossilt till förnybart kan plast framställas utan att lämna koldioxidavtryck och därmed minimera de negativa konsekvenserna som följer av förbränning av icke-förnybart kol (Narayan, 2006a; Narayan, 2006b). Kostnaden att utveckla bioplast är för dyrt för att vara lönsamt i större skala och bioplast konkurrerar i en väletablerad marknad av plastprodukter framtagna ur fossila bränslen (Siracusa *et al.*, 2008).

Plastprodukter kan även de vara nedbrytbara i naturen, men blir de liggande utan att tas om hand i ett år eller längre kommer de långsamt att börja brytas ner till produkter som då blir toxiska bärare upp i livsmedelskedjan (Narayan, 2011). En produkt är biologiskt nedbrytbar om den i en komposteringsprocess kan brytas ner på ett säkert sätt av mikroorganismer till koldioxid, vatten och små rester av biomassa under ett kortare tidsintervall (Steuteville, 1993).

Målet med bioplaster är att återskapa livscykeln hos biomassa och därmed minimera användningen av fossila resurser och vatten och minska CO<sub>2</sub>-utsläpp, vilket visas i **Figur 2** (Siracusa *et al.*, 2008).

#### Bioplastics – closing the loop



**Figur 2.** Ett slutet kretslopp vid produktion av bioplaster och deras senare användningsområden och förnyelse. Figuren använd med tillåtelse av "European Bioplastics e.V" (Bioplastics, 2016).

Utöver att vara toxiska bärare, som exempelvis av bisfenol A, en plastkemikalie som visat sig skadlig för djur och människor i flertalet avseenden (Rogers *et al.*, 2013), bidrar förbränning av plaster framtagna ur fossila källor till frisättning av gaser som är potentiellt skadliga för hälsa och miljö. En plast som återanvänds bidrar inte ytterligare till denna frisättning, men det finns en gräns för antal gånger plast kan återanvändas vilket i slutändan leder till en restprodukt (Berkesch, 2005). Plastprodukter fria från bisfenol A finns idag på marknaden (Rogers *et al.*, 2013). Fiberbaserad polyfenol (PP) är en plast som i en livscykelanalys (LCA) visade på en betydlig reduktion i miljöpåverkan jämfört med andra plaster. Stålförstärkt (SRM) PP visade på en nästintill fördubblad miljöpåverkan (Yin *et al.*, 2016). PP finns i höga koncentrationer bland annat i tanniner och därmed i de flesta växter.

Sammanfattningsvis finns det flertalet aspekter som väger tungt i frågan huruvida biobaserade filmer och plastprodukter är nödvändiga att fortsätta utveckla för att i största möjliga mån frångå de problem som uppstår i stora delar av dagens produktion.

## 3 Syfte och frågeställning

### 3.1 Syfte

Denna litteraturstudies syfte var att utvärdera den information som finns kring livsmedelsförpackningar framställda av eller bestående av proteinbaserade material, och att med avseende på olika proteiners egenskaper se hur lämpade de är för tillämpning inom livsmedelsindustrin både teoretiskt och praktiskt.

### 3.2 Frågeställning

De frågeställningar som adresseras är:

- Vilka är möjligheterna för en utvecklad produktion och användning av protein som huvudkomponent i filmer anpassade för förpackningsändamål inom livsmedelsbranschen?
- Vilka egenskaper hos protein och dess undergrupper gör dessa komponenter till passande förpackningsmaterial och ungefär vad krävs för att uppnå önskvärda egenskaper?

## 4 Metod

Information har till viss del tagits fram från kvalitetsgranskade tidskrifter, enskilda studier och referenslitteratur såsom böcker. Områden begränsas till nyare studier, främst 2000-tal, exempelvis angående tillsatser till proteinfilm. Detta då det antas att metoderna som använts blivit mer beprövade på senare tid, både utveckling av befintliga och framställning av nya. Angående fakta om proteinerna i sig och deras egenskaper att bilda film har inte tidsbegränsats då jag bedömt att informationen bör vara oförändrad och att flertalet sammanställningar från senaste åren även har refererat tillbaka till 1970-tal.

Mycket information har hämtats ur främst två böcker: ”Innovations in food packaging” (Han, 2014) och ”Edible films and coatings for food applications” (Embuscado & Huber, 2009). Det är refererat till böckernas författare men främst har de refererade källorna använts.

I arbetet beskrivs ett fåtal proteiner djupare. Valet att gå in mer ingående på dessa är inte i proportion till dess användningsgrad eller användningsområden. Anledningen var att nämna några där relativt omfattande forskning fanns och information i största möjliga grad kunnat styrkas av flera oberoende forskningsgrupper.

Nyckelord för litteratursökningen: *Film, coating, protein, protein plasticizer, protein cross-linking, protein film enhancement, protein film nanocompounds, active packaging*

## 5 Resultat

### 5.1 Proteiner för produktion av film

Med mekaniska egenskaper, gasbarriär och en stor variation av andra egenskaper, tack vare en struktur bestående av 20 aminosyror, kan filmer baserade på protein överträffa andra nedbrytbara filmer, som de uppbyggda på lipider eller polysackarider. Att filmerna baserade på proteiner har en sämre vattenångspermeabilitet (*water vapour permeability*, WVP) och sämre hållfasthet jämfört med liknande filmer av annat material talar emot dem. Med hjälp av mjukningsmedel, andra tillsatser och bearbetning kan dessa egenskaper förbättras och antalet användningsområden vidgas (Bourtoom, 2009), t.ex. som komplement till plaster baserade på polyfenol (*polyphenol*, PP). Sojaproteinisolat (*soy protein isolate*, SPI) och vassleproteinisolat (*whey protein isolate*, WPI) visade på bra egenskaper då de applicerades på en PP-film (Lee *et al.*, 2008). De fysiska egenskaperna förbättrades när proteinet användes med en passande mjukgörare. Protein-isolaten visade även på stor potential för att användas som bärare av bioaktiva substanser i ”aktiva matförpackningssystem” (Lee *et al.*, 2008). Aktiva matförpackningssystem är system där förpackningen kan bidra till kontroll av flertalet parametrar som annars leder till att livsmedlet förändras. Detta kan vara: syreeliminering, absorption och kontroll av fukt, koldioxid- och etanolreglering samt antimikrobiell påverkan (Suppakul *et al.*, 2003). Utnyttjandet av proteiner som filmer har framtiden framför sig där ofantliga mängder grödor och animalier kan vara den optimala källan för en proteinfilm av de egenskaper som eftersöks för det specifika ändamålet. De valda proteinerna beskrivs för att ge en större förståelse för variationen i egenskaper proteinerna besitter och hur pass olika ursprung de kan ha.

#### 5.1.1 Zein

Ett alkohollösligt lagringsprotein som återfinns i majs är zein (Lawton, 2002). Jämfört med den största delen av proteiner som används i skyddande syfte har zein

större andel icke-polära aminosyror och låg andel basiska och sura aminosyror. Dess tre huvudsakliga aminosyror är glutamin (21-26 %), leucin (20 %) och prolin (10 %) (**Tabell 1**), vilket ger ett protein olösligt i vatten; en egenskap som är önskvärd för många filmers materialegenskaper. Zein finns dels som  $\alpha$ -zein och  $\beta$ -zein där  $\alpha$  är lösligt i 95 % etanol och upptar ca 80 % av majs-kornets totala prolaminer medan  $\beta$  finns i lägre utsträckning och är löslig i 60 % etanol. Tillsammans bildar dessa en sekundär helix-struktur som dominerar zeinproteinet (Shukla & Cheryan, 2001). Det finns ytterligare två former av zein,  $\delta$  och  $\gamma$ , som är mindre lösliga. Zein-typerna  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  och  $\gamma$  rangordnas efter deras förmåga att lösa upp sig där  $\alpha$  visar störst hydrofobiska egenskaper jämfört med övriga subgrupper (Momany *et al.*, 2006). Film baserade på zein är ogenomträngliga för fett, slitstarka och har en glatt yta. I jämförelse med övriga växtbaserade proteinfilmer är permeabiliteten för vattenånga låg (Embuscado & Huber, 2009).

### 5.1.2 Soja

Sojaprotein består av en blandning globulära proteiner. Till ca 90 % består dessa av 2S-, 7S-, 11S- eller 15S-fraktioner vilka baseras på dess molekylära vikt och sönderfallskoefficient (Cho & Rhee, 2004). Av sojaproteinerna består 37 % av  $\beta$ -konglycinin (7S) och 31 % av glycinin (11S) som är uppbyggda av tre respektive sex subenheter (Kunte *et al.*, 1997). Vanligtvis används en koncentration av 4-6 % (w/v) för att skapa en film av sojaprotein. Dessa extraheras genom att lösas upp i destillerat vatten under omrörning (Emiroğlu *et al.*, 2010; Cho & Rhee, 2002). Detta kan utföras vid både basiskt och surt pH, men SPI-filmer som bildats under basiska förhållanden erhåller bättre mekaniska egenskaper (Gennadios *et al.*, 1993). Värmebehandling av filmbildande lösningar kan förbättra SPI-filmers slitstyrka (*tensile strength*, TS) och dessas förmåga att töjas utan att brytas. Proteinerna antar då en struktur som via uppveckling av polypeptidbindningarna exponerar sulfydryl och hydrofoba grupper (Park *et al.*, 2002).  $\beta$ -Konglycinin och glycinin denaturerar vid  $\approx 70$  respektive  $80$  °C, vilket innebär att  $\beta$ -konglycinin har en mer värmestabil struktur (Renkema & van Vliet, 2002). För att förstärka filmernas egenskaper kan sojaproteinet blandas med andra komponenter såsom karboxymetylcellulosa, cellulosa eller gelatin som ger bra syre- och koldioxidbarriäregenskaper och en hög permeabilitet av vattenånga (Wu *et al.*, 2009).

SPI som film visar på att proteinet har stor potential då det är flexibelt, slitstarkt, elastiskt och kan, med tillsatser, vara användbart för flertalet livsmedelsprodukter. Det finns dock nackdelar med SPI, hydrofila mjukningsmedel eller andra naturliga polymerer (Koshy *et al.*, 2015). När tillsatser tillsätts kan dessa bidra till hög fukt-känslighet, svag bindning mellan SPI och hydrofoba mjukningsmedel och polyme-



rer samt att nanopartiklar tenderar att agglomerera och inte jämt fördelas i SPI-lösning. Men sammanfattningsvis tros SPI med rätt kombination av tillsatser och livsmedel, kunna vara ett bra substitut till bland annat plast uppbyggd på olja (Koshy *et al.*, 2015).

### 5.1.3 Vassle

Vassleprotein är lösliga i mjölkserum efter koagulering av kasein, och utgör ca 20 % av den totala halten protein i mjölk (Brunner, 1977). Proteinfraktionen består av fem olika proteiner,  $\beta$ -laktoglobulin som utgör majoriteten (57 %),  $\alpha$ -laktalbumin, bovine serum albumin (BSA), immunoglobulin samt proteose-peptoner (Dybing & Smith, 1991).  $\beta$ -Laktoglobulin består bland annat av en fri SH-grupp samt två S-S-bryggor.  $\beta$ -Laktoglobulin, som utgör majoriteten av vassleproteinerna, denaturerar vid upphettning varvid svavelgrupper från cystein exponeras och kors-binder med andra cysteiner, vilket då leder till att en olöslig film kan bildas. I ursprungligt tillstånd är vassleprotein annars vattenlösligt (McHugh & Krochta, 1994).  $\alpha$ -Laktalbumin utgör 20 % av vassleprotein och består dels av fyra S-S-bryggor samt bundet kalium vilket gör att proteinet kan bibehålla den sfäriska formen för proteinet och därmed vara stabilare och mer motståndskraftigt mot nedbrytning (Kinsella & Whitehead, 1989). Av vassle utgör BSA 7 % som innehåller 14 S-S-bindningar samt en fri SH-grupp vilket bidrar till en stark struktur (Morr & Ha, 1993).

Vasslefilmer har i vissa studier visats ha en dålig fuktbarriär, men att den kan förbättras i samverkan med lipider (Pérez-Gago & Krochta, 2001; Shellhammer & Krochta, 1997; McHugh & Krochta, 1994). Andra studier visar på att WPI-baserade filmer utgör en bra gasbarriärer, men att barriären påverkas av omgivningens RH (Cisneros-Zevallos & Krochta, 2003). I studier med vassleproteinbelagda frukter vid 70-80 % RH minskar syrenivåerna i frukten medan nivåerna för koldioxid ökar, vilket leder till att anaeroba förhållanden bildas och anaerob metabolism initieras (Cisneros-Zevallos & Krochta, 2003). Alltså finns variation i filmens benägenhet att släppa genom gas vilket både kan vara en önskad och oönskad egenskap. Proteinfilmerna baseras på isolat. För att klassas som ett isolat ska WPI ha en koncentration över 90 % protein (Shimada & Cheftel, 1989). För att få fram dessa koncentrationer inom industrin används oftast metoder som ultrafiltrering, omvänd osmos, gelfiltrering, elektrodialys, jonbyteskromatografi samt diafiltrering (Letendre *et al.*, 2002; St-Gelais *et al.*, 1992; Glover, 1985; Matthews, 1984; Boer *et al.*, 1977).

#### 5.1.4 Myofibriller från fisk

I en studie undersöktes protein från myofibriller (*fish myofibrill protein, FMP*) med ursprung från fisken guldbandsnapper. Effekterna av hur fenolgrupper i proteinet vid olika koncentrationer påverkade dess förmåga att tvärbinda och bilda film visade att en högre fenolkoncentration är gynnsam. Högre fenolkoncentration gav även en större minskning av fria aminosyror. Detta skulle kunna vara ett bra material i högfettsprodukter för att förhindra lipidoxidation (Prodpran *et al.*, 2012). Myofibriller som studerats med ursprung från torsk är lösliga i utspädd saltlösning eller neutrala lösningar med låg jonstyrka (Stefansson & Hultin, 1994). Som med övriga proteiner är det myofibrillers hydrofila egenskaper som gör dem till bra filmmaterial med bra barriäregenskaper. Aggregering och utfällning av aminosyror sker om den stabila hydrofila ytans laddning förloras och de hydrofoba delarna kan interagera, vilket är en viktig del i separeringen och upplösningen av fisk-myofibriller när proteinfilm eller gel ska bildas (Han, 2014).

Filmer baserade på isolat från fisk, s.k. *fish protein isolate* (FPI) har enligt en studie högre slitstyrka (*Tensile strength, TS*) jämfört med filmer baserade på tvättad fiskfärs vid samtliga testade pH-värden (3 till 11). Film av FPI visade sig starkast vid pH 3. FPI-baserade filmer visade på högre WVP än övrig färs och efter en testperiod på 20 dagar var FPI-filmer fortsatt transparenta medan övriga filmer fått en gul missfärgning. För förlängd förvaring vore här FPI ett bra filmmaterial men till produkter med lägre andel lipider och prooxidanter visade FPI på större benägenhet till missfärgning och gulhet (Tongnuanchan *et al.*, 2011).

## 5.2 Tillsatser

För att proteiner ska uppnå de krav som ställs på en film av kommersiellt intresse har tillsatser visats vara ett fördelaktigt komplement. Beroende på egenskap och användningsområde som proteinfilmen ämnas för varierar även vilka tillsatser som är mest lämpade. Den huvudsakliga tillsatsen som används är något som verkar mjukgörande och ökar flexibiliteten.

### 5.2.1 Mjukgörare

Som nämnt krävs mjukgörare (*plasticizers*) som tillsats för att göra proteinfilmerna mer flexibla. En mjukgörare är en substans med låg molekylvikt och som binds in i polymeriska material och därmed ökar rörligheten mellan polymerer. Detta sker genom att de kan positionera sig mellan de högmolekylära polymererna och interagera med polymer/polymer-bindningarna (Krochta, 2002; Guilbert & Gontard, 1995). Processen kan tillskrivas två olika mekanismer, antingen ökas den fria ytan för polymera strukturerna eller så ökar molekylära rörligheten hos de

polymera strukturerna (Sothornvit & Krochta, 2000). För båda mekanismerna innebär det att andelen kristallina regioner sjunker. De blir amorfa och saknar ordnad struktur. Detta i sin tur sänker temperaturen som krävs för glasövergången (Krochta, 2002; Guilbert *et al.*, 1997). Utöver att fungera elasticitetsreglerande påverkar mjukgöringsmedel ång- och gasbarriäregenskaperna negativt och proteinfilmerna kan därmed vara i behov av en kompletterande tillsats (Sothornvit & Krochta, 2001; Sothornvit & Krochta, 2000).

Det finns två sorters mjukgöringsmedel, interna och externa. De interna modifierar proteinkedjan genom att via kovalenta bindningar tillsätta ytterligare en grupp, vanligtvis via acetylering eller succinylering med monosackarider. Till följd av detta bildas ett steriskt hinder mellan proteinkedjorna och den fria ytan expanderar. Externa mjukgöringsmedel sänker glasövergångstemperaturen genom att smörja proteinkedjorna och ökar den fria ytan (Sothornvit & Krochta, 2001). Vatten är exempel på ett väl fungerande mjukgöringsmedel med nackdelen att det lätt går förlorat vid uttorkning (Guilbert & Gontard, 1995). För att förhindra detta kan hydrofila mjukningsmedel tillsättas vilket ökar andelen bundet vatten och att en hög vattenaktivitet bibehålls (Sothornvit & Krochta, 2001; Sothornvit & Krochta, 2000).

### 5.2.2 Övriga tillsatser

Tillsatser kan även användas för att förbättra materialegenskaper som styrka och gas-/fuktpermeabilitet. Exempelvis kan oktansyra tillsättas till proteinisolat från solros och därmed förbättra filmens mekaniska egenskaper och även minska dess vattenupptag. Då oktansyra inte är toxisk för människor, är biologiskt nedbrytbar och inhiberar svamptillväxt finns stora möjligheter att utveckla dess användning som livsmedelsförpackning (Orliac *et al.*, 2002). Påverkan hos sojaproteinfilmerna med tillsats av fenolsyra har visat sig positivt (Insaward *et al.*, 2015). Enligt en studie där fenolsyra i koncentrationerna 0,5, 1,0 och 1,5 % och dess oxiderade produkter testades som tillsats till sojaprotein erhöll filmerna en högre TS, lägre vattenpermeabilitet och större kontaktvinkel, speciellt vid högre koncentrationer av fenolsyra (Insaward *et al.*, 2015). Nanolera (MMT) och transglutamase (TGMase) undersöktes då de tillsattes till FMP genom scanning elektron mikroskopi. Resultatet visade signifikant ökat vattenupptag och permeabilitet för vattenånga hos filmerna (Rostamzad *et al.*, 2016). Samma studie visade även att låga koncentrationer MMT och TGMase gav en klar förbättring hos FMP-filmerna i dess fysiska och mekaniska egenskaper. Vid högre koncentrationer var inte MMT lika jämt fördelad vilket resulterade i lokalt försämrade egenskaper, främst WVP.

### 5.3 Effekt av aminosyrasammansättning

Aminosyror har strukturer av stor variation och antar därmed olika egenskaper. Det kan därför underlätta att dela in dessa i grupper för att lättare förstå varför protein beter sig som de gör (**Tabell 1**).

**Tabell 1.** Aminosyror uppdelade efter huruvida de är, neutrala, basiska eller sura

Neutral			Basisk	Syra
Alanin (B)	Isoleucin (B)	Serin (P)	Arginin (±)	Asparginasyra (-)
Asparagin (P)	Leucin (B)	Threonin (P)	Histidin (+)	Glutaminsyra (-)
Cystein (P)	Metionin (B)	Tryptofan (B)	Lysin (+)	
Glutamin (P)	Fenylalanin (B)	Tyrosin (P)		
Glycin (P)	Prolin (B)	Valin (B)		

(P) = hydrofil, (B) = hydrofob och (+/-) = laddning

Källa: (Aftabuddin & Kundu, 2007).

Proteiner med ursprung ur spannmål, som exempelvis majs, kan medverka i kemiska reaktioner med kovalenta- och icke-kovalenta bindningar. Icke-kovalenta bindningar omfattas av jon-, väte- och Van der Waal-bindningar vilka generellt sett är svagare än kovalenta bindningar. Utöver detta har hydrofoba interaktioner stor del i reaktionerna som uppstår mellan de icke-polära sidgrupperna hos aminosyrorna. Aminosyrasammansättningen har en avgörande roll i bland annat majsproteinernas förmåga att interagera i kovalenta- och icke-kovalenta bindningar (Kokini *et al.*, 1994). Som tidigare nämnts kan en förhöjd fenolkoncentration främja egenskaper hos film då de bland annat främjar aminosyrornas bindningsförmåga och bidrar till minskad andel fria aminosyror (Prodpran *et al.*, 2012).

Vissa aminosyror som tillsatts till frukter har visats förhindra brunfärgning men samtidigt visat på att de ökar WVP när de inkorporeras i filmer. Aminosyror med sådana egenskaper är vanligtvis hydrofila, exempelvis cystein och asparginasyra (**Tabell 1**) (Ayranci & Tunc, 2004). Vid en studie jämfördes nätverk av hydrofoba-, hydrofila-, laddade- och samtliga-aminosyror som genomgående kunde visa filmegenskaper hos dessa olika nätverk enskilt. Angående styrkan hos nätverken var det stor variation hos samtliga, men det visade en korrelation mellan nätverkets koncentration och styrka (Aftabuddin & Kundu, 2007). Laddade nätverk visade på störst styrka följt av hydrofila-, blandade- och till sist hydrofoba nätverk. Samtliga av nätverken visade också på ”*small world property*”, vilket innebär att utan att nödvändigtvis vara direkt sammankopplad så kan samtliga aminosyror via mindre justeringar binda till de övriga aminosyrorna och därmed enkelt göra omfattande förändringar i proteinernas konfiguration (Aftabuddin & Kundu, 2007).

## 6 Diskussion

Då efterfrågan av livsmedelsprodukter sträckt sig globalt har därmed transport och bibehållen kvalitet hos produkten fått nya utmaningar. Att många led inom livsmedelsbranschen inte är hållbara eller kanske direkt hälsofarliga har lett till att forskningen fått vända blickarna mot alternativa medel, som i detta fall, förpackningsfrågan. Idag är stora delar av maten som konsumeras inte producerad inom närområdet vilket leder till stora krav på möjligheten att transportera livsmedel på ett sätt som är hållbart både för enskilda produkten och samhället.

Gulbandssnapper är en bra källa till myofibriller. Gulbrandssnapperns naturliga habitat är på minst 90 meters djup vid korallrev och den fiskas vanligtvis med bottentrål (FAO, 2016). Bottentrålning är en fiskemetod som är skadlig för det marina livet och till stor del för kallvattenskoraller som är långsamt växande (Lastras *et al.*, 2016). Ska man ta fram material för film-/ plasttillverkning för att främja miljön och en hållbar produktion bör inte denna sorts fiskar användas. Om restprodukter från fiskproduktionen kan användas för tillverkning av film vore det en fördelaktig lösning. De övriga nämnda proteinkällorna är antingen vegetabilier eller vassle som tas fram ur mjölk. Att mindre djur bör användas till livsmedelsförsörjningen kan leda till en motståndskraft mot produktion av filmer baserade på vassleprotein. Med dessa aspekter i åtanke kan de vegetabiliska källorna antas ha ljusast framtidsutsikter ur ett rent framställningsperspektiv.

Nedbrytbara filmer är ett område med potential att lösa eller minska många av de problem som finns idag, dels inom förpackningsindustrin och dels miljömässiga. Att använda proteiner är inte den enskilda lösningen men då de besitter så olika egenskaper finns ändå många med stor potential och kan, i kombination med andra material, tillsatser och kors-länkning, vara till stor nytta. Att protein inte tidigare använts baseras dels på att det inte varit ekonomiskt försvarbart samt att förpackningar man nu vet kan vara skadliga för kropp (t.ex. bisfenol A) och miljö (råolja) måste ersättas med alternativa medel. Att det kan vara för dyrt med nedbrytbara

förpackningar stämmer i dagsläget men är på god väg att förändras då framsteg och ny teknologi ger möjlighet för effektivisering.

Inte bara filmer baserade på proteiner utan även övriga nedbrytbara material som stärkelse och cellulosa har ett stort antal användningsområden inom livsmedelsbranschen, främst för att bibehålla kvalitet på livsmedlet. Uttorkning, härskning, oxidering, brunfärgning och nedbrytning är exempel på mekanismer som kan motverkas med hjälp av dessa filmer. Om de dessutom kombineras med tillsatser, mjukningsmedel och rätt produkt finns möjlighet att inte bara minska svinn av mat utan att även förbättra en produkts fysiska-, närings- och smakegenskaper. Flertal studier har visat att integrering av antimikrobiella substanser, antioxidanter och bakterier i filmer har potential att förlänga hållbarheten och säkerheten hos produkter som fisk, kött, frukt och grönsaker under lagring (Rostamzad *et al.*, 2016; Vonasek *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2008).

### 6.1 Framtida trender och riktlinjer

Skulle marknaden utvecklas till att producera biobaserade förpackningar och frånga de fossila skulle en utökad belastning på lantbruket uppstå, vilket också kan vändas till en stor möjlighet (Siracusa *et al.*, 2008). För att det skulle vara möjligt krävs att efterfrågan blir så stor att även produktionen ökar. Därmed minskas marginalerna vilket pressar priserna och fler producenter kan använda sig av produkten. Användningen av biobaserade förpackningar har en positiv trend där amerikanska och japanska marknaden har stor potential (Mohanty *et al.*, 2000) vilket därmed bådär gott för proteinbaserade förpackningar. Nanopartiklar har visat på stor potential och kan vara en potentiell tillsats som bidrar till att proteinfilmer blir mer praktiskt användbara.

## 7 Slutsats

Sammanfattningsvis är proteinbaserade filmer av stort intresse. Ur global uppvärmning-, folkhälso-, produktkvalitet- och sanitära anledningar är det här ett område som bör vidareutvecklas. Att proteiner består av 20 monomerer med stor variation av egenskaper och bindningsförmåga bidrar till den enorma potential de besitter. Att ha beståndsdelar som kan vara hydrofoba, hydrofila, laddade, ha varierat pH och finnas tillgänglig i stor variation av förnybara och med nedbrytbara egenskaper är högst aktuella i dagens industri. Aminosyror med fenolgrupper eller andra subenheter som tillför specifika egenskaper och/eller tillsatser av bland annat nanopartiklar kan var bäst för att proteinbaserade filmer ska kunna konkurrera ut övriga material. För att detta ska ske är ytterligare forskning och ett utökat intresse från olika aktörer viktiga.

## 8 Referenslista

- Aftabuddin, M. & Kundu, S. (2007). Hydrophobic, hydrophilic, and charged amino acid networks within protein. *Biophysical Journal*, 93(1), ss. 225-231.
- Ayranci, E. & Tunc, S. (2004). The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annum* L.). *Food Chemistry*, 87(3), ss. 339-342.
- Berkesch, S. (2005). Biodegradable Polymers. *A Rebirth of Plastic*, ss. 1-14.
- Bioplastics, E. (2016). Environmental benefits of bioplastics. [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org): European Bioplastics.
- Boer, R.d., Wit, J.d. & Hiddink, J. (1977). Processing of whey by means of membranes and som applications of whey protein concentrate. *International Journal of Dairy Technology*, 30(2), ss. 112-120.
- Bourtoom, T. (2009). Edible protein films: properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16(1), ss. 1-9.
- Brunner, J. (1977). Milk proteins. *Food proteins*, ss. 175-208.
- Cho, S.Y. & Rhee, C. (2002). Sorption characteristics of soy protein films and their relation to mechanical properties. *LWT-Food Science and Technology*, 35(2), ss. 151-157.
- Cho, S.Y. & Rhee, C. (2004). Mechanical properties and water vapor permeability of edible films made from fractionated soy proteins with ultrafiltration. *LWT-Food Science and Technology*, 37(8), ss. 833-839.
- Cisneros-Zevallos, L. & Krochta, J. (2003). Whey protein coatings for fresh fruits and relative humidity effects. *Journal of Food Science*, 68(1), ss. 176-181.
- Damodaran, S. (2007). 5 Amino Acids, Peptides, and Proteins. *Fennema's food chemistry*, s. 217.
- Dybing, S. & Smith, D. (1991). Relation of chemistry and processing procedures to whey protein functionality: a review. *Cultured Dairy Products Journal*, 26(1).
- Eaks, I. (1980). Effect of chilling on respirations and volatiles of California lemon fruit [Physiological disorders]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*(105).
- Embuscado, M.E. & Huber, K.C. (2009). *Edible films and coatings for food applications*. NY: Springer Science + Business Media.
- Emiroğlu, Z.K., Yemiş, G.P., Coşkun, B.K. & Candoğan, K. (2010). Antimicrobial activity of soy edible films incorporated with thyme and oregano essential oils on fresh ground beef patties. *Meat Science*, 86(2), ss. 283-288.
- FAO *Bony Fishes*. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/009/y0770e/y0770e12.pdf> [23/5].



- Fennema, O. (1993). Frozen foods: challenges for the future. *Food Australia: official journal of CAFTA and AIFST*, 45(8), ss. 374-380.
- Gennadios, A., Brandenburg, A.H., Weller, C.L. & Testin, R.F. (1993). Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11), ss. 1835-1839.
- Glover, F. (1985). *Ultrafiltration and reverse osmosis for the dairy industry*: National Institute for research in Dairying.
- Guilbert, S., Cuq, B. & Gontard, N. (1997). Recent innovations in edible and/or biodegradable packaging materials. *Food Additives & Contaminants*, 14(6-7), ss. 741-751.
- Guilbert, S. & Gontard, N. (1995). Edible and biodegradable food packaging. *Special Publication-royal Royal Society of Chemistry*, 162(1), ss. 159-159.
- Han, J.H. (2014). *Innovations in Food Packaging*. (Food Sciences and Technology, International Series, Second). Plano, TX, USA: Academic Press.
- Insaward, A., Duangmal, K. & Mahawanich, T. (2015). Mechanical, Optical, and Barrier Properties of Soy Protein Film As Affected by Phenolic Acid Addition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(43), ss. 9421-9426.
- Kelsey, R.J. (1985). *Packaging in Today's Society*. Lancaster, PA: Technomic.
- Kinsella, J. & Whitehead, D. (1989). Proteins in whey: chemical, physical, and functional properties. *Adv Food Nutr Res*, 33(C), ss. 343-438.
- Kokini, J.L., Cocero, A.M., Madeka, H. & de Graaf, E. (1994). The development of state diagrams for cereal proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 5(9), ss. 281-288.
- Koshy, R.R., Mary, S.K., Thomas, S. & Pothan, L.A. (2015). Environment friendly green composites based on soy protein isolate – A review. *Food Hydrocolloids*, 50, ss. 174-192.
- Krochta, J.M. (2002). *Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status, and opportunities*. (Protein-based films and coatings. Tillgänglig: [http://sutlib2.sut.ac.th/sut\\_contents/66133.pdf](http://sutlib2.sut.ac.th/sut_contents/66133.pdf))
- Kunte, L., Gennadios, A., Cuppett, S., Hanna, M. & Weller, C.L. (1997). Cast films from soy protein isolates and fractions I. *Cereal Chemistry*, 74(2), ss. 115-118.
- Lastras, G., Canals, M., Ballesteros, E., Gili, J.-M. & Sanchez-Vidal, A. (2016). cold-water corals and anthropogenic impacts in la fonera submarine canyon head, Northwestern Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 11(5), s. e0155729.
- Lawton, J.W. (2002). Zein: A history of processing and use. *Cereal Chemistry*, 79(1), ss. 1-18.
- Lee, J.-W., Son, S.-M. & Hong, S.-I. (2008). Characterization of protein-coated polypropylene films as a novel composite structure for active food packaging application. *Journal of Food Engineering*, 86(4), ss. 484-493.
- 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(21), ss. 6017-6022.
- Matthews, M. (1984). Whey protein recovery processes and products. *Journal of Dairy Science*, 67(11), ss. 2680-2692.
- McHugh, T.H. & Krochta, J.M. (1994). Milk-protein-based edible films and coatings. *Food technology*, 48(1), ss. 97-103.
- Mohanty, A.K., Misra, M. & Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276-277(1), ss. 1-24.
- Momany, F.A., Sessa, D.J., Lawton, J.W., Selling, G.W., Hamaker, S.A. & Willett, J.L. (2006). Structural characterization of  $\alpha$ -zein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(2), ss. 543-547.
- Morr, C. & Ha, E. (1993). Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33(6), ss. 431-476.

- Narayan, R. (2006a). American Chemical Society Symposium Series, 939 (2006). C, 18, s. 282.
- Narayan, R. (2006b). Rationale, Drivers, Standards, and Technology for Biobased Materials; Ch 1 in Renewable Resources and Renewable Energy, Ed Mauro Graziani & Paolo Fornasiero. CRC Press.
- Narayan, R. (2011). Carbon footprint of bioplastics using biocarbon content analysis and life-cycle assessment. *MRS Bulletin*, 36(09), ss. 716-721.
- Orliac, O., Rouilly, A., Silvestre, F. & Rigal, L. (2002). Effects of additives on the mechanical properties, hydrophobicity and water uptake of thermo-moulded films produced from sunflower protein isolate. *Polymer*, 43(20), ss. 5417-5425.
- Panyam, D. & Kilara, A. (1996). Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification. *Trends in Food Science & Technology*, 7(4), ss. 120-125.
- Park, S.K., Hettiarachchy, N.S., Ju, Z. & Gennadios, A. (2002). *Formation and properties of soy protein films and coatings*. Protein-based films and coatings. ss. 123-137
- Pérez-Gago, M.B. & Krochta, J.M. (2001). Lipid particle size effect on water vapor permeability and mechanical properties of whey protein/beeswax emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), ss. 996-1002.
- PlasticsEurope *Plastics - the facts 2015. An analysis of european plastics production, demand and waste* data. <https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/finalplasticsthefacts2015ebookwebve/1> [6/3].
- Prodpran, T., Benjakul, S. & Phatcharat, S. (2012). Effect of phenolic compounds on protein cross-linking and properties of film from fish myofibrillar protein. *International journal of Biological Macromolecules*, 51(5), ss. 774-782.
- Renkema, J.M. & van Vliet, T. (2002). Heat-induced gel formation by soy proteins at neutral pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(6), ss. 1569-1573.
- Rogers, J.A., Metz, L. & Yong, V.W. (2013). Review: Endocrine disrupting chemicals and immune responses: A focus on bisphenol-A and its potential mechanisms. *Molecular Immunology*, 53(4), ss. 421-430.
- Rostamzad, H., Paighambari, S.Y., Shabanpour, B., Ojagh, S.M. & Mousavi, S.M. (2016). Improvement of fish protein film with nanoclay and transglutaminase for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 7, ss. 1-7.
- Shellhammer, T. & Krochta, J. (1997). Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. *Journal of Food Science*, 62(2), ss. 390-394.
- Shimada, K. & Cheftel, J.C. (1989). Sulfhydryl group/disulfide bond interchange reactions during heat-induced gelation of whey protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37(1), ss. 161-168.
- Shukla, R. & Cheryan, M. (2001). *Zein: the industrial protein from corn. Industrial Crops and Products*.13).
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S. & Rosa, M.D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), ss. 634-643.
- Solomos, T. (1987). *Principles of gas exchange in bulky plant tissues* USA: Hort Science.
- Sothornvit, R. & Krochta, J. (2000). Plasticizer effect on oxygen permeability of  $\beta$ -lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), ss. 6298-6302.
- Sothornvit, R. & Krochta, J.M. (2001). Plasticizer effect on mechanical properties of  $\beta$ -lactoglobulin films. *Journal of Food Engineering*, 50(3), ss. 149-155.
- St-Gelais, D., Haché, S. & Gros-Louis, M. (1992). Combined effects of temperature, acidification, and diafiltration on composition of skim milk retentate and permeate. *Journal of Dairy Science*, 75(5), ss. 1167-1172.
- Stefansson, G. & Hultin, H.O. (1994). On the solubility of cod muscle proteins in water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), ss. 2656-2664.
- Steuteville, R. (1993). Biodegradable Polymers Forge Ahead. *BIOCYCLE*, 34(9), ss. 72-74.

- Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K. & Bigger, S.W. (2003). Active packaging technologies with an emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*, 68(2), ss. 408-420.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., Prodpran, T. & Songtipya, P. (2011). Characteristics of film based on protein isolate from red tilapia muscle with negligible yellow discoloration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(5), ss. 758-767.
- Vonasek, E., Le, P. & Nitin, N. (2014). Encapsulation of bacteriophages in whey protein films for extended storage and release. *Food Hydrocolloids*, 37, ss. 7-13.
- Wu, R.-L., Wang, X.-L., Wang, Y.-Z., Bian, X.-C. & Li, F. (2009). Cellulose/soy protein isolate blend films prepared via room-temperature ionic liquid. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(15), ss. 7132-7136.
- Yin, S., Tuladhar, R., Sheehan, M., Combe, M. & Collister, T. (2016). A life cycle assessment of recycled polypropylene fibre in concrete footpaths. *Journal of Cleaner Production*, 112, Part 4, ss. 2231-2242.